EDITORA
UnB

Ernst Mayr

O Desenvolvimento do Pensamento Biológico

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Reitor
Lauro Morhy

Vice-Reitor
Timothy Martin Mulholland

EDITORA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

Diretor
Alexandre Lima

CONSELHO EDITORIAL

Presidente
Emanuel Araújo

Alexandre Lima
Álvaro Tamayo
Aryon DalHgna Rodrigues
Dourimar Nunes de Moura
Emanuel Araújo
Euridice Carvalho de Sardinha Ferro
Lúcio Benedito Reno Salomon
Marcel Auguste Dardenne
Sylvia Ficher
Vilma de Mendonça Figueiredo
Volnei Garrafa

ERNST MAYR

O DESENVOLVIMENTO DO PENSAMENTO BIOLÓGICO

DIVERSIDADE, EVOLUÇÃO E HERANÇA

Criação ePub
Reliquia

Tradução
Ivo Martinazzo

Revisão técnica
José Maria G. de Almeida Jr.

EDITORA
UnB

Direitos exclusivos para esta edição:
EDITORA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
SCS Q. 02 – Bloco C – Nº 78 – Ed. OK – 2º andar
70300-500 – Brasília – DF Fax: (061) 225-5611

Copyright © 1998 *by Emst Mayer*

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte desta publicação poderá ser armazenada reproduzida por qualquer meio sem a autorização por escrito da editora.

Impresso no Brasil

SUPERVISÃO EDITORIAL
AÍRTON LUGARINHO
PREPARAÇÃO DE ORIGINAIS
WILMA GONÇALVES ROSAS SALTARELLI
REVISÃO
WILMA G. ROSAS SALTARELLI E GILVAM COSMO
ÍNDICE
FATIMA REJANE DE MENESES E WILMA G. ROSAS SALTARELLI
CRIAÇÃO E FORMATAÇÃO EPUB
RELÍQUIA
CAPA
RESA
SUPERVISÃO GRÁFICA
ELMANO RODRIGUES PINHEIRO

ISBN: 85-230-0375-4

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central
da Universidade de Brasília

M474 Mayr, Emst
Desenvolvimento do pensamento biológico: diversidade,
evolução e herança/Emst Mayr; tradução de Ivo Martinazzo
Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 1998
1107p.

Tradução de: The Growth of Biological Thought
1. Biologia. I. Título.
CDU: 57

SUMÁRIO

PREFÁCIO
1. INTRODUÇÃO: COMO ESCREVER A HISTÓRIA DA BIOLOGIA
- Subjetividade e viés
- Por que estudar a história da biologia?

2. O LUGAR DA BIOLOGIA NAS CIÊNCIAS E SUA ESTRUTURA CONCEITUAL
- A natureza da ciência
- Métodos na ciência
- A posição da biologia dentro das ciências
- Como e por que a biologia é diferente?
- As leis na física e nas ciências biológicas
- Características especiais dos organismos vivos
- Redução e biologia
- Emergência
- A estrutura conceituai da biologia
- Uma nova filosofia da biologia

3. O MEIO INTELECTUAL DA BIOLOGIA EM TRANSFORMAÇÃO
- Antiguidade
- A imagem cristã do mundo
- A Renascença
- A descoberta da diversidade
- A biologia no Iluminismo
- O surgimento da ciência, do século XVII ao século XIX
- Desdobramentos divisores no século XIX
- A biologia no século XX
- Os principais períodos da história da biologia
- A biologia e a filosofia
- A biologia hoje

Parte 1
A DIVERSIDADE DA VIDA
4. MACROTAXIONOMIA, A CIÊNCIA DA CLASSIFICAÇÃO
- Aristóteles
- Classificação descendente por divisão lógica
- Os zoologistas pré-lineanos
- Carl Lineu
- Buffon
- Um novo impulso na classificação animal
- Os caracteres taxionômicos
- Classificação ascendente por agrupamento empírico
- Período de transição (1758-1859)

Classificações hierárquicas
5. AGRUPAMENTO SEGUNDO ASCENDÊNCIA COMUM
O declínio da pesquisa macrotaxionômica
Fenética numérica
Cladística
A metodologia tradicional ou evolutiva
Novos caracteres taxionômicos
A epistemologia da classificação
Facilidade de recuperação de informações
Estado atual e o futuro da sistemática
O estudo da diversidade
6. MICROTAXIONOMIA, A CIÊNCIA DAS ESPÉCIES
Os primitivos conceitos de espécie
O conceito essencialista de espécie
O conceito nominalista de espécie
O conceito darwiniano de espécie
O surgimento do conceito biológico de espécie
A nova sistemática
A validade do conceito biológico de espécie
Aplicação do conceito biológico de espécie aos taxa multidimensionais de espécies
O significado de espécie na biologia

Parte II
EVOLUÇÃO
7. ORIGENS SEM EVOLUÇÃO
O impacto do cristianismo
O advento do evolucionismo
O Iluminismo francês
Desenvolvimento em outras partes da Europa
A herança do período pré-lamarckiano
8. A EVOLUÇÃO ANTES DE DARWIN
França
Inglaterra
Alemanha
A estagnação pré-darwiniana
9. CHARLES DARWIN
Darwin e a evolução
Alfred Russel Wallace
A procrastinação de Darwin
10. A EVIDÊNCIA DE DARWIN PARA A EVOLUÇÃO E PARA A DESCENDÊNCIA COMUM
A evidência da evolução da vida
A evidência da descendência comum

11. A CAUSA DA EVOLUÇÃO: SELEÇÃO NATURAL
A lógica da teoria da seleção natural
Os componentes mais importantes da teoria da seleção natural
A origem do conceito de seleção natural
O impacto da revolução darwiniana
A resistência à seleção natural
Teorias evolucionistas alternativas
Progressão evolutiva, regularidade e leis
12. A DIVERSIDADE E A SÍNTESE DO PENSAMENTO EVOLUCIONISTA
O neodarwinismo
A crescente divisão entre os evolucionistas
Os avanços na genética evolucionária
Os avanços da sistemática evolucionária
A síntese evolucionista
13. DESENVOLVIMENTOS PÓS-SÍNTESE
A genética de populações
A biologia molecular
Seleção natural
Os modos de especiação
Macroevolução
A evolução do homem
Problemas não resolvidos da biologia evolucionista
Evolução no pensamento moderno

Parte III
A VARIAÇÃO E SUA HEREDITARIEDADE
14. TEORIAS PRIMITIVAS E EXPERIMENTOS DE CRUZAMENTO
As teorias da hereditariedade entre os antigos
Novos começos
Os precursores de Mendel
15. CÉLULAS GERMINAIS, VEÍCULOS DA HEREDITARIEDADE
A teoria celular de Schwann e Schleiden
O significado do sexo e da fertilização
A base material da variação e da hereditariedade
Os cromossomos e o seu papel
16. A NATUREZA DA HEREDITARIEDADE
Darwin e a variação
Hereditariedade tênue ou hereditariedade sólida
August Weismann
Hugo de Vries
Gregor Mendel
17. O FLORESCIMENTO DA GENÉTICA MENDELIANA
Os redescobridores de Mendel

O período clássico da genética mendeliana
A emergência da genética moderna
18. AS TEORIAS DO GENE
As teorias concorrentes da hereditariedade
A explicação mendeliana da variação contínua
19. A BASE QUÍMICA DA HEREDITARIEDADE
A fortuna errante da teoria ácido-nucléica da hereditariedade
A descoberta da dupla-hélice
A genética no pensamento moderno
EPÍLOGO: POR UMA CIÊNCIA DA CIÊNCIA
Os cientistas e o meio científico
A maturação das teorias e dos conceitos
As ciências e o meio externo
O papel dos avanços técnicos na pesquisa científica
Progresso em ciência
NOTAS
GLOSSÁRIO

PREFÁCIO

Muitos aspectos da moderna biologia, particularmente as várias controvérsias entre diferentes escolas de pensamento, não podem ser plenamente entendidos sem um conhecimento dos antecedentes históricos dos problemas. Sempre que eu expunha esse particular aos meus alunos, eles me perguntavam em que livro poderiam ler sobre tais matérias. Para meu embaraço, eu tinha de admitir que nenhum dos volumes publicados cobria essa necessidade. Por certo, existe muita literatura sobre a vida dos biologistas e suas descobertas, mas esses escritos são invariavelmente inadequados, tanto no que concerne a uma análise dos problemas maiores da biologia, como a uma história dos conceitos e idéias em biologia. Conquanto algumas das histórias de disciplinas biológicas particulares, como a genética e a fisiologia, sejam indubitavelmente histórias de idéias, nada existe de aproveitável no sentido de cobrir a biologia como um todo. Preencher essa lacuna na literatura constitui o objeto do presente trabalho. Este volume não é, e isso precisa ser sublinhado, uma história da biologia, e não pretende substituir histórias da biologia existentes, como a de Nordenskiöld. A ênfase é posta nos fundamentos e na evolução das idéias dominantes da moderna biologia; em outras palavras, trata-se de uma história evolutiva, não puramente descritiva. Uma tal abordagem justifica, e mesmo impõe, a negligência de certos desdobramentos temporários na biologia, que não deixaram nenhum impacto na subsequente história das idéias.

Quando pela primeira vez concebi o plano de escrever a história das idéias da biologia, a meta parecia-me proibitivamente remota. Os primeiros anos (1970-1975) foram dedicados à leitura, a apontamentos, à preparação de um primeiro esboço. Cedo, tornou-se evidente que o tema era muito vasto para um único volume, e então decidi preparar primeiro um volume sobre a biologia das causas "últimas" (evolutivas). Mas mesmo esse objetivo limitado é uma empresa desesperadoramente vasta. Se enfim tive sucesso, foi porque pessoalmente já havia realizado quantidade considerável de pesquisa sobre a maioria das áreas cobertas por este volume. Isto significa que eu já estava razoavelmente familiarizado com os problemas e com boa parte da literatura das áreas envolvidas. Espero poder tratar da biologia das causas "próximas" (funcionais) num volume posterior, que cobrirá a fisiologia em todos os seus aspectos, biologia do crescimento e neurobiologia. Quando uma disciplina biológica – por exemplo a genética – trata ao mesmo tempo das causas últimas e próximas, apenas as causas últimas vêm consideradas no presente volume. Há duas áreas da biologia que poderiam ter sido incluídas (pelo menos em parte) neste volume, mas não o foram: a história conceitual da ecologia e a da biologia comportamental (particularmente a etologia). Felizmente, essa omissão não será tão lamentável, como de outro modo o seria, tendo em conta que diversos volumes de outros autores, abordando a história da ecologia e a da etologia, estão neste momento em plena preparação.

O historiador profissional provavelmente não terá muito a aprender com os Capítulos 1 e 3; de fato, ele pode considerá-los algo amadorístico. Juntei esses dois capítulos em benefício dos não-historiadores, na certeza de que isso os ajudará a encarar os desdobramentos puramente científicos dos outros capítulos com uma percepção mais profunda.

Sou devedor de uma imensa gratidão para com numerosos indivíduos e instituições. Peter

Ashlock, F. J. Ayala, John Beatty, Walter Bock, Robert Brandon, Arthur Cain, Fred Churchill, Bill Coleman, Lindley Darden, Max Delbrück, Michael Ghiselin, John Greene, Carl Gustav Hempel, Sandra Herbert, John Hodge, David Hull, David Layzer, E. B. Lewis, Robert Merton, J. A. Moore, Ron Munson, Edward Ree, Phillip Sloan, Frank Sulloway, Mary Wiiliams e outros leram os esboços e vários capítulos, apontaram erros e omissões, e fizeram muitas sugestões construtivas. Nem sempre eu segui os seus conselhos, e sou por isso o único responsável pelos erros remanescentes e pelas deficiências. A. P. Ax, Muriel Blaisdell e B. Werner sou devedor pelas preciosas informações factuais.

Gillian Brow, Cheryl Burgdorf, Sally Loth, Agnes I. Martin, Maureen Sepkoski e Charloette Ward datilografaram inumeráveis rascunhos, e ajudaram na bibliografia. Walter Borawski não apenas datilografou as versões preliminares, mas também a cópia final do manuscrito e da bibliografia, e preparou o manuscrito do índice. Randy Bird colaborou no preenchimento das lacunas, nas referências. Susan Wallace revisou o manuscrito e, no processo, eliminou numerosas inconsistências, redundâncias e infelicidades estilísticas. Todas essas pessoas contribuíram materialmente para a qualidade do produto final: Obviamente, grande é o meu dever de gratidão para com elas.

O Museu de Zoologia Comparada, mediante a cortesia do seu diretor, professor A. W. Crompton, proporcionou espaço para o trabalho, apoio de secretaria e facilidades bibliotecárias, mesmo após eu me aposentar. Períodos de pesquisa no Instituto de Estudos Avançados (Princeton, primavera de 1970), na biblioteca do Instituto Max Planck de Biologia (Tübingen, 1970), uma bolsa como membro sênior da Fundação Alexander von Humboldt (Würzburg, 1977), uma bolsa concedida pela Fundação Rockefeller (Villa Serbelloni, Bellagio, 1977), e uma doação (No, GS 32176), pela Fundação Nacional da Ciência, facilitaram grandemente o meu trabalho.

Sempre que não se podia dispor do apoio de secretaria, minha mulher assumia esse trabalho, transcrevia ditados, selecionava literatura, e ajudava de mil formas no trabalho do manuscrito. Impossível reconhecer adequadamente a sua inestimável contribuição para este volume.

Emst Mayr
Museu de Zoologia Comparada
Universidade de Harvard

1. INTRODUÇÃO: COMO ESCREVER A HISTÓRIA DA BIOLOGIA

Tudo o que muda no tempo tem, por definição, uma história – o Universo, os países, as dinastias, a arte e a filosofia, e as idéias. Também a ciência, já desde a sua origem nos mitos e nas filosofias primitivas, experimentou uma constante mudança histórica, e por isso constitui um tema legítimo para o historiador. Tendo em vista que a essência dá ciência é o processo continuado de solução de problemas na busca de um entendimento do mundo em que vivemos, uma história da ciência é antes de tudo uma história dos problemas da ciência e de sua solução, ou de soluções tentadas. Mas ela é também uma história do desenvolvimento dos princípios que formam a estrutura conceitual da ciência. Como as grandes controvérsias do passado muitas vezes se estendem até a ciência moderna, muitos problemas atuais não poderão ser plenamente entendidos sem uma compreensão da sua história.

Histórias escritas, como a própria ciência, necessitam constantemente de revisão. Interpretações errôneas de um autor antigo eventualmente se tomam mitos, aceitos sem discussão e transmitidos de geração em geração. Um particular empenho meu tem sido expor e eliminar o maior número possível desses mitos – sem todavia, assim espero, criar em demasia outros novos. De qualquer maneira, a razão principal por que as histórias sofrem constantemente a necessidade de revisão consiste em que, em qualquer tempo determinado, elas meramente refletem o estado atual do conhecimento; elas dependem da maneira como o autor interpretou o corrente *zeitgeist*[(*)] (espírito do tempo) da biologia, da sua própria estrutura conceitual e de conhecimentos. Dessa forma, a atividade de escrever história é necessariamente subjetiva e efêmera. [1]

Quando comparamos entre si publicações sobre história das ciências, toma-se de relance evidente que historiadores diferentes tem conceitos perfeitamente diversos sobre a ciência, bem como sobre o escrever história. Ultimamente, todos eles procuram retratar o aumento do conhecimento científico e as flutuações dos conceitos interpretativos. Mas nem todos os historiadores da ciência tentaram responder as seis questões principais que devem ser encaradas por qualquer um que se proponha descrever o progresso da ciência, de modo crítico e compreensivo: Quem? Quando? Onde? O quê? Como? e Por quê? Tomando como base a escolha feita pelos autores dentre essas questões, a maioria das histórias que conheço pode ser classificada da maneira seguinte (Cf. Passmore, 1965: 857-861), embora se deva reconhecer que quase todas as histórias são uma combinação das várias abordagens ou estratégias.

Histórias lexicográficas

Estas são mais ou menos histórias descritivas, com uma forte ênfase nas questões sobre Ó quê? Quando? e Onde? Quais foram as principais atividades em determinado período do passado? Quais foram os centros de ciência em que os cientistas principais trabalharam, e como eles influenciaram o curso do tempo? Ninguém poderá contestar o valor de tais histórias. Uma correta apresentação dos fatos verdadeiros é indispensável, porque grande parte da história tradicional da ciência (e dos seus textos padrão) é permeada de mitos e de anedotas espúrias. Todavia, uma história puramente

descritiva fornece apenas parte da história.

Histórias cronológicas

Uma consideração da sequência do tempo é crucial para toda espécie de historiografia. Por certo, pode-se fazer da cronologia o critério principal de organização, e alguns autores assim o fizeram. Eles indagaram, por exemplo, o que aconteceu em biologia entre 1749 e 1789, ou entre 1789 e 1830? Histórias cronológicas apresentam uma sequência de seções cruzadas ao longo do conjunto dos desdobramentos em todos os ramos da biologia. Isso não é apenas uma aproximação legítima, mas também muito reveladora. Ela cria uma sensibilidade para o *zeitgeist* e para o conjunto das influências contemporâneas. Ela permite investigar como os desenvolvimentos em outros ramos da ciência puderam influenciar a biologia, e mesmo como, no seio da própria biologia, os avanços efetuados por experimentalistas afetaram o pensamento dos naturalistas, e vice-versa. A compreensão de muitos problemas no desenvolvimento da biologia é grandemente facilitada por essa abordagem cronológica. Mas, todavia, ela padece do inconveniente de atomizar todo problema científico maior.

Histórias biográficas

O empenho dessas obras é no sentido de retratar os progressos da ciência através das vidas dos principais cientistas. Essa aproximação também é legítima, uma vez que a ciência é feita por pessoas, e o impacto de cientistas individuais como Newton, Darwin e Mendel foi muitas vezes de natureza quase revolucionária. Mas, de qualquer maneira, essa abordagem compartilha uma séria fragilidade com a abordagem puramente cronológica: ela atomiza cada problema científico maior. O problema das espécies, por exemplo, deveria ser discutido sob Platão, Aristóteles, Cesalpino e os herbalistas, Buffon, Lineu, Cuvier, Darwin, Weismann, Nägeli, de Vries, Jordan, Morgan, Huxley, Mayr, Simpson, e assim por diante. Todavia, essas discussões sobre o mesmo problema ficam separadas umas das outras por muitas páginas, senão por capítulos.

Histórias culturais e sociológicas

Essa aproximação sublinha o aspecto que a ciência é uma forma de atividade humana, e por isso inseparável do meio intelectual e institucional da época. Trata-se de um ponto de vista particularmente fascinante para aqueles que chegam à história da ciência pelo caminho da história geral. Eles podem levantar questões tais como: por que a ciência britânica, de 1700 a 1850, era tão fortemente experimental e mecanicista, enquanto a ciência francesa contemporânea tendia a ser matemática e racionalista? Por que a teologia natural dominou a ciência na Inglaterra por 75 anos a mais do que no Continente? Em que medida a teoria da seleção natural de Darwin foi um ponto da revolução industrial?

Mesmo que o historiador de biologia opte por não adotar essa aproximação, ele deve estudar cuidadosamente o ambiente cultural e intelectual de um cientista, se quiser determinar as causas do aparecimento de novos conceitos. Isso é de evidente importância no presente trabalho, uma vez que um dos objetivos maiores do meu esforço é investigar as razões das mudanças nas teorias biológicas.

O que possibilitou a um pesquisador fazer uma descoberta que escapou aos seus contemporâneos? Por que ele rejeitou as interpretações tradicionais para desenvolver uma nova? De onde lhe veio a inspiração para essa nova abordagem? São questões que devem ser levantadas.

As mais antigas histórias da ciência, particularmente as de disciplinas científicas especiais, foram escritas por cientistas atuantes, que tinham por certo que o elã da mudança científica provinha do interior do próprio campo (influências "internas"). Mais tarde, quando a história da ciência se tomou mais profissional, e os historiadores e sociólogos começaram a analisar o progresso do pensamento científico, elas tenderam a acentuar a influência geral do meio intelectual, cultural e social da época (influências "externas"). Ninguém ousaria por em dúvida que ambas as espécies de influências existem, mas há uma grande medida de desacordo sobre a sua importância relativa, particularmente em relação a desenvolvimentos específicos, como a teoria da seleção natural de Darwin.

Muitas vezes até é bem difícil distinguir fatores externos de fatores internos. A Grande Cadeia do Ser *(scala naturae*) era um conceito filosófico que exerceu claramente um impacto na formação dos conceitos, no caso de Lamarck e de outros evolucionistas primitivos. Não obstante, Aristóteles havia desenvolvido esse mesmo conceito, com base em observações empíricas dos organismos. Mas, por outro lado, ideologias universalmente aceitas situam-se entre os fatores externos mais inquestionáveis. O dogma cristão do criacionismo e a questão de um plano, procedente da teologia natural, dominaram o pensamento biológico durante séculos. O essencialismo (desde Platão) é outra ideologia todo-poderosa. Interessante notar que a sua remoção, por obra de Darwin, foi largamente devida a observações de criadores de animais e de taxionomistas – isto é, a fatores internos.

Os fatores externos não se originam necessariamente da religião, da filosofia, da vida cultural ou política, mas – no que concerne à biologia – eles podem ter origem numa ciência diferente. O fisicalismo externo (incluindo o determinismo e o extremo reducionismo), que prevalecia no pensamento ocidental após a revolução científica, influenciou fortemente a formação teórica em biologia, por muitos séculos, muitas vezes, inclusive, exatamente contra aquilo que hoje é evidente. A lógica escolástica, para citar outro exemplo, dominou o método taxionômico, desde Cesalpino até Lineu. Tais exemplos, que poderiam ser acrescidos de muitos outros, documentam sem dúvida a importância de influências externas na formação de teorias biológicas. Serão analisadas detalhadamente nos capítulos competentes.

Importa ter presente que os fatores externos influenciam a ciência de duas maneiras completamente diferentes: eles podem ou afetar por completo o nível da atividade científica, num dado lugar e num dado tempo, ou afetar e até dar origem a uma particular teoria científica. Com muita frequência, no passado, esses dois aspectos andaram juntos, resultando em muita controvérsia sobre a importância relativa de fatores externos *versus* internos.

O efeito das condições circunstantes sobre o "nível" das atividades científicas sempre foi considerado, desde quando existiu uma história da ciência. Especulou-se infinitamente sobre as razões que levaram os gregos a terem tanto interesse pelas questões científicas, e por que durante o Renascimento houve um ressurgimento da ciência. Qual foi o efeito do Protestantismo sobre a ciência (Merton, 1938)? Por que durante o século XIX a ciência conheceu um tão vasto florescimento na Alemanha? Em alguns casos, podem ser especificados importantes fatores externos, como, por exemplo (segundo destacou Merz, 1896-1914), a substituição, em 1694, do latim pelo alemão na Universidade de Halle, e a fundação, em 1737, de uma Universidade em Göttingen, onde a

Wissenschaft (Ciência) desempenhava um importante papel. Mudanças institucionais de toda sorte a fundação da Royal Society inclusive – , eventos políticos, como as guerras, e o lançamento do Sputnick, bem como necessidades tecnológicas, tiveram um efeito ora estimulante ora depressivo sobre o nível da atividade científica. Todavia, isso ainda deixa em aberto a questão altamente controvertida sobre em que medida tais fatores externos favoreceram ou inibiram teorias científicas "específicas".

Em anos recentes, historiógrafos marxistas, em particular, formularam a tese segundo a qual ideologias sociais influenciam as idéias de um cientista, e que a história da ciência, como até agora praticada, negligenciou completamente o contexto social. O resultado foi, segundo acreditam, uma história burguesa da ciência, que é totalmente diferente daquilo que seria uma história proletária da ciência. O que faz falta em vez disso, dizem eles, é uma história "radical". Essa exigência remonta em última instância à tese de Marx, segundo a qual idéias dominantes não podem ser separadas de classes dominantes. Por isso é que uma história burguesa da ciência será completamente diferente de uma história proletária da ciência.[†]

Seja como for, a tese de que existe uma maneira proletária de escrever a história da ciência está em conflito com três grupos de fatos: primeiro, as massas não estabelecem teorias científicas que sejam diferentes daquelas da classe científica. Se alguma diferença existe, ela reside em que o "homem comum" muitas vezes retém idéias que já foram há muito tempo descartadas pelos cientistas. Segundo, há uma grande mobilidade social entre os cientistas, onde de um quarto a um terço de cada nova safra de cientistas provém das classes socioeconômicas mais baixas. Terceiro, a ordem de nascimento dentro de uma classe social tende a ser muito mais importante na determinação daqueles que dão origem a idéias novas e revolucionárias, do que o fato de uma classe particular (Sulloway, MS). Tudo isso está em conflito com a tese de que o ambiente socioeconômico exerce um impacto dominante no nascimento de idéias e conceitos científicos particularmente novos. Cabe evidentemente aos autores dessas proposições a tarefa de fornecer provas, e isso tanto mais quanto falharam em apresentar alguma evidência concreta, qualquer que seja (veja Capítulo 11).

Evidentemente, ninguém vive num vácuo, e todo aquele que lê vorazmente, como por exemplo o fez Darwin após o seu retorno da viagem do *Beagle,* sujeita-se a ser influenciado por suas leituras (Schweber), 1977). Os cadernos de notas de Darwin são exemplo evidente da justeza dessa inferência. Todavia, como sublinha Hodge (1974), isso por si só não prova a tese dos marxistas que "Darwin e Wallace estenderam o *ethos* do *laissez-faire* capitalista da sociedade a toda a natureza". Até agora, parece que a influência de fatores sociais no desenvolvimento de progressos específicos em biologia tem sido negligenciável. O inverso, obviamente, não é verdadeiro. Mas o estudo do impacto da ciência sobre a teoria social, sobre instituições sociais e sobre a política pertence aos domínios da história, da sociologia e da ciência política, e não ao da história da ciência. Concordo com Alexander Koyré (1965:856), no sentido que é fútil "deduzir a existência" de certos cientistas e ciências da sua circunstância. "Atenas não explica Platão, assim como Siracusa não explica Arquimedes, ou Florença Galileu. Procurar explicações nessa linha é uma empreitada inteiramente fútil, e tão fútil como tentar predizer a evolução futura da ciência, ou das ciências, como uma função da estrutura do contexto social". Thomas Kuhn (1971: 280) observou igualmente que o historiador parece invariavelmente emprestar "excessiva ênfase ao papel do clima circunstante de idéias extracientíficas" (veja também Passmore, 1965).

Histórias de problemas

Há mais de cem anos, Lord Acton aconselhou aos historiadores: "Estudai problemas, não períodos". Esse conselho é particularmente apropriado para a história da biologia, que se caracteriza pela longevidade dos seus problemas científicos. Muitas das grandes controvérsias do século XIX e começo do século XX dizem respeito a problemas já conhecidos por Aristóteles. Tais controvérsias perduram de geração a geração, e de século a século. Elas são processos, não eventos, e só poderão ser plenamente compreendidas por meio de um tratamento histórico. Como R.

Collingwood disse da história (1939:98), ela "se refere não a eventos mas a processos. Processos são coisas que não começam e terminam, mas que se imbricam umas com as outras". Isso deve ser particularmente sublinhado em face das posições estáticas dos positivistas lógicos, que pensavam que a estrutura lógica era o real problema da ciência: "A filosofia da ciência é concebida (por eles) primariamente como uma análise cuidadosa e detalhada da estrutura lógica e dos problemas conceituais da ciência contemporânea" (Laudan, 1968). Atualmente, a maioria dos problemas científicos são melhor entendidos pelo estudo da sua história do que da sua lógica. De qualquer maneira, é preciso lembrar que a história dos problemas não substitui a história cronológica. As duas abordagens são complementares.

Na aproximação problemática, a ênfase principal situa-se na história das tentativas de solução dos problemas – por exemplo, a natureza da fertilização, ou o fator diretivo na evolução. É apresentada a história não apenas das tentativas bem sucedidas, mas também das tentativas fracassadas, na solução desses problemas. No tratamento das maiores controvérsias nesse campo, faz-se esforço no sentido de analisar as ideologias (ou dogmas), tanto quanto a particular evidência com que os adversários sustentaram as suas teorias contrárias. Na história dos problemas, a ênfase concentra-se no cientista atuante e no seu mundo conceitual. Quais foram os problemas científicos do seu tempo? Quais foram os instrumentos conceituais e técnicos de que dispunha na sua busca de uma solução? Quais foram os métodos que ele pôde utilizar? Que idéias predominantes na sua época orientaram a sua pesquisa e influenciaram as suas decisões? Questões dessa natureza prevalecem na aproximação da história de problemas.

Foi essa a abordagem que eu escolhi para o presente livro. O leitor pode estar certo do fato que esta não é uma história tradicional da ciência. Devido à sua concentração na história dos problemas e dos conceitos científicos, ela necessariamente desconsidera os aspectos biográficos e sociológicos da história da biologia. Ela poderá, assim, ser utilizada conjuntamente com a história geral da biologia (como a de Nordenskiöld, 1926), com o *Dicionário de biografia científica,* e com histórias disponíveis sobre áreas especiais da biologia. Tendo em vista que eu sou um biólogo, sou mais bem qualificado para escrever uma história dos problemas e conceitos da biologia do que uma história biográfica ou sociológica.

É próprio da essência da história dos problemas indagar o "porquê". Por que foi na Inglaterra que a teoria da seleção natural se desenvolveu, de fato independentemente, por quatro vezes? Por que a genuína genética da população apareceu na Rússia? Por que os esforços explicativos em genética, de Bateson, eram quase uniformemente errados? Por que Correns se perdeu em toda sorte de problemas periféricos, e por isso tão pouco contribuiu para maiores avanços em genética, após 1900? Por que a escola de Morgan dedicou por tantos anos os seus esforços na consolidação da já bem estabelecida teoria dos cromossomos da hereditariedade, em vez de abrir novas fronteiras? Por

que de Vries e Johannsen foram tão menos exitosos na aplicação evolucionista das suas descobertas, do que no seu trabalho direto em genética? As tentativas de respostas para essas perguntas requerem a coleta e o exame atento de muitas evidências, e isso quase sempre conduz a novas aberturas, mesmo que a respectiva questão resulte inválida. Respostas às perguntas "por que" são inevitavelmente algo de especulativo e subjetivo, mas elas obrigam a um ordenamento das observações e ao teste constante de conclusões consistentes com o método hipotético-dedutivo.

Agora que a legitimidade das questões do porquê foi estabelecida mesmo para a pesquisa científica, particularmente na biologia evolutiva, não será difícil admitir a legitimidade dessas perguntas na historiografia. Na pior das hipóteses, a análise detalhada exigida por tal pergunta poderá evidenciar que as pressuposições latentes na questão estão erradas. Mas mesmo isso pode significar um avanço do nosso conhecimento.

Ao longo deste volume, esforcei-me por analisar cada problema tão profundamente quanto possível, e por dissecar teorias e conceitos heterogêneos nos seus componentes individuais. Nem todos os historiadores tiveram consciência da complexidade de muitos conceitos biológicos – em realidade, de como é complexa a estrutura da biologia como um todo. Em consequência disso, alguns relatos excessivamente confusos da história da biologia têm sido publicados por autores que não entenderam que existem duas biologias, uma das causas funcionais, outra das causas evolutivas. Da mesma forma, alguém que venha a escrever sobre "a teoria da evolução de Darwin" no singular, sem distinguir as teorias da evolução gradual, descendência comum, especiação, e o mecanismo da seleção natural, será simplesmente incapaz de discutir o assunto com competência. Grande parte das maiores teorias biológicas – quando foram apresentadas pela primeira vez – não passava de tais compostos. A sua história e o seu impacto não poderão ser compreendidos, a menos que os seus vários componentes sejam separados e estudados independentemente. Eles muitas vezes pertencem a linhagens conceituais muito diferentes.

Estou plenamente convencido de que não é possível entender o crescimento do pensamento biológico sem uma compreensão da estrutura conceitual da biologia. Por essa razão, procurarei apresentar as idéias e os conceitos da biologia de uma forma bastante detalhada. Isso foi particularmente necessário no tratamento da diversidade (Parte I), porque não existe nenhum outro tratamento adequado, ou estrutura conceitual, relativo à ciência da diversidade. Estou consciente do perigo que algum crítico possa exclamar: "Mas isso é um livro-texto de biologia, historicamente arranjado!" Talvez seja isso mesmo que uma história dos problemas da biologia deva ser. Talvez, a maior dificuldade a ser superada por uma concepção histórica da biologia seja a longevidade das controvérsias. Muitas das discussões ainda em voga tiveram a sua origem há gerações e mesmo há séculos, algumas delas remontando até os gregos. Uma apresentação mais ou menos "intemporal" dessas questões é mais construtiva, nesses casos, do que uma apresentação cronológica.

Tentei fazer de cada uma das maiores seções do presente volume (Diversidade, Evolução, Herança) uma unidade acabada e independente. Igual separação foi tentada em cada problema em particular, no interior dessas três áreas maiores. Isso conduz a certo número de superposições e redundâncias, porque existem muitas conexões cruzadas entre os diversos tópicos, e cada junção tópica passa pela mesma sequência de meios intelectuais interdependentes no tempo. Esforcei-me especialmente por um equilíbrio entre certo número de duplicações inevitáveis e convenientes referências da transição para outros capítulos.

Subjetividade e viés

Um bem conhecido teórico soviético do Marxismo referiu-se uma vez aos meus escritos como sendo "puro materialismo dialético". Não sou um marxista, e não conheço a última definição do materialismo dialético, mas devo admitir que compartilho algumas das idéias anti-reducionistas de Engels, tais como expressas no *Anti-Dühring,* e que sou grandemente atraído pelo esquema hegeliano da tese-antítese-síntese. Além disso, acredito que uma antítese é mais facilmente provocada pela formulação categórica de uma tese, e que a questão é mais prontamente resolvida por tal confronto de tese e antítese irredutíveis, e que a síntese final é por isso alcançada de forma mais rápida. Muitos exemplos disso podem ser encontrados na história da biologia.

Esse ponto de vista dominou a minha exposição. Sempre que possível, tentei a síntese de posições contrárias (a menos que uma delas seja claramente errada). Quando a situação é simplesmente insolúvel, descrevo os pontos de vista opostos em termos categóricos, por vezes até unilaterais, de modo a provocar uma réplica, desde que justificável. Por detestar fazer rodeios, fui taxado às vezes de dogmático. Penso que este é um epíteto errado para a minha atitude. Uma pessoa dogmática insiste em estar certa, sem consideração pela evidência contrária. Essa nunca foi a minha atitude e, na verdade, orgulho-me pelo fato de ter mudado de opinião em frequentes ocasiões. Em todo caso, verdade é que a minha tática consiste em fazer afirmações categóricas e radicais. Se isso é ou não uma falha, no mundo livre do intercâmbio de idéias científicas, é ponto discutível. Segundo a minha particular maneira de sentir, isso conduz mais rapidamente à solução definitiva dos problemas científicos do que a uma posição hesitante e cautelosa. Por certo, concordo com Passmore (1965) no sentido que histórias sempre são polêmicas. Tais histórias despertam contradições, e desafiam o leitor para uma contestação. Pelo processo dialético, isso apressa uma síntese da perspectiva. A adoção, sem ambiguidade, de um ponto de vista definitivo não deverá ser confundida com subjetividade.

A advertência tradicional aos historiadores sempre foi no sentido de serem estritamente objetivos. Esse ideal foi bem expresso pelo grande historiador Leopold von Ranke, quando disse que o historiador deve "mostrar como realmente foi". A história era encarada por ele como a cuidadosa reconstrução de uma série de eventos passados. Tal objetividade é inteiramente apropriada quando se tenta responder às perguntas sobre "quem", "o quê", "quando" e "onde", embora se deva acentuar que, mesmo ao apresentar fatos, o historiador é subjetivo, porque ao destacar os fatos ele utiliza julgamentos de valor, e ao decidir sobre quais são aceitáveis e como relacioná-los uns com os outros é seletivo.

A subjetividade entra em cada fase de um relato de história, especialmente quando se procuram explicações e quando se pergunta o "porquê", como é necessário numa história de problemas. Não se pode chegar a explicações sem usar o próprio julgamento pessoal, e isso é inevitavelmente subjetividade. Um tratamento subjetivo é usualmente muito mais estimulante do que um julgamento frio e objetivo, porque tem maior valor heurístico.

Em que medida a subjetividade é permitida, e quando ela se toma um viés? Radl (1907-08), por exemplo, tinha um tão forte preconceito antidarwiniano que não era nem mesmo capaz de apresentar a teoria de Darwin adequadamente. Isso claramente foi longe demais. A subjetividade é apta a tomar-se viés sempre que é envolvida a avaliação dos cientistas sobre os períodos anteriores. Aqui os historiadores tendem a ir a um ou a outro extremo. Ou adotam puramente uma aproximação

retrospectiva, em que se avalia o passado inteiramente à luz dos conhecimentos e compreensão atuais, ou então suprimem por completo uma interpretação e descrevem os eventos passados estritamente em termos do pensamento daquela época. Parece-me que nenhuma dessas aproximações é inteiramente satisfatória.

Um procedimento mais adequado seria combinar os melhores aspectos das duas abordagens. Ele procuraria antes de tudo reconstruir o meio intelectual do período, tão fidedignamente quanto possível. Mas não seria satisfatório tratar as controvérsias passadas estritamente em termos da informação e opacas como o eram quando surgiram. Em vez disso, o conhecimento moderno deverá ser usado sempre que ele ajudar a entender as dificuldades do passado. Somente uma aproximação desse tipo nos habilita a determinar as razões das controvérsias e o fracasso em resolvê-las. O que é uma dificuldade semântica (por exemplo, o uso da mesma palavra em sentidos diferentes), ou uma discordância conceitual (como pensamento essencialista *versus* pensamento de população), ou um erro primário (como a confusão entre causas últimas e causas próximas)? Um estudo das controvérsias passadas é particularmente esclarecedor, se os argumentos e as objeções forem analisados em termos do nosso conhecimento atual.

Os problemas semânticos são particularmente tediosos pelo fato de serem tão amiúde desconhecidos. Os gregos, por exemplo, tinham um vocabulário técnico muito limitado, e muitas vezes usavam o mesmo termo para coisas e conceitos bem diferentes. Tanto Platão como Aristóteles usaram o termo *eidos* (e Aristóteles, pelo menos, usou-o em diversos sentidos), mas o sentido principal do termo é totalmente diferente nos dois autores. Platão era um essencialista, enquanto Aristóteles o era apenas num sentido bem limitado (Balme, 1980). Aristóteles usou o termo *genos* ocasionalmente, como um substantivo coletivo (correspondendo ao gênero dos taxionomistas), mas muito mais frequentemente no sentido de espécie. Quando Aristóteles foi redescoberto, na alta Idade Média, e traduzido para o latim e outras línguas européias ocidentais, os seus termos foram traduzidos em termos "equivalentes", disponíveis nos dicionários medievais. Essas traduções equivocadas tiveram uma infeliz influência no nosso entendimento do pensamento aristotélico. Alguns autores modernos tiveram a coragem de usar termos modernos para revelar o seu pensamento, termos que Aristóteles teria usado de boa mente se fosse vivo hoje. Lembro o uso da expressão "programa genético", de Delbrück, para esclarecera intenção de Aristóteles quando usa a palavra *eidos* na descrição do desenvolvimento individual. Da mesma forma, poder-se-ia utilizar "teleonomia" (em vez de "teleologia"), quando Aristóteles discute a direção orientada, controlada por uma *eidos* (programa). Não vai nisso anacronismo, mas é simplesmente uma forma de tornar mais claro o que um autor antigo pensava, mediante o uso de uma terminologia sem ambiguidade para um leitor moderno.

Todavia, seria totalmente impróprio usar interpretações modernas para juízos de valor. Lamarck, por exemplo, não estava assim tão errado como parece aos familiarizados com o selecionismo e com a genética mendeliana, quando relacionava em termos dos fatos por ele conhecidos e das idéias dominantes na sua época. A expressão "interpretação liberal da história" foi introduzida pelo historiador Herbert Butterfield (1931), para caracterizar o hábito de alguns historiadores constitucionais ingleses de encararem o seu objeto como uma ampliação progressiva dos direitos humanos, onde bons liberais "progressistas" estão sempre em luta contra conservadores "retrógrados". Butterfield, mais tarde (1957), aplicou o termo *whiggish* (liberal) a essa espécie de história da ciência, em que todo cientista é julgado pelo alcance da sua contribuição para o

estabelecimento da nossa interpretação corrente da ciência. Em vez de avaliar um cientista em termos do ambiente intelectual em que ele atuou, passa-se a avaliá-lo estritamente em termos dos conceitos atuais. Nessa abordagem ignora-se completamente o contexto dos problemas e conceitos em que se movia o cientista antigo. A história da biologia está cheia dessas interpretações livres, distorcidas, *whig*.

Sempre que há uma controvérsia científica, os pontos de vista da parte perdedora são mais tarde, quase sempre, deturpados pelos vitoriosos. São exemplos disso o tratamento de Buffon pelos lineanos, de Lamarck pelos cuvierianos, de Lineu pelos darwinianos, de biometristas pelos mendelianos, e assim por diante. O historiador de biologia deve esforçar-se por apresentar um relato melhor balanceado. Muitas teorias, hoje rejeitadas, como a da hereditariedade dos caracteres adquiridos, esposada por Lamarck, pareciam formalmente tão consistentes com os fatos que os autores não sofriam críticas por haverem adotado essas teorias dominantes, embora há tempo se tenham revelado erradas. Quase sempre, aqueles que sustentaram uma teoria errônea tinham aparentemente razões válidas para assim proceder. Eles tentavam enfatizar alguma coisa que foi negligenciada pelos seus oponentes. Os pré-formacionistas, por exemplo, empenharam-se em acentuar algo que mais tarde foi ressuscitado, como o programa genético. Os biometristas defenderam os conceitos darwinianos da evolução gradual, contra o saltacionismo dos mendelianos. Em ambos os casos, idéias corretas foram misturadas com idéias errôneas, e juntas pereceram com os erros. No meu caso, pretendo dar especial atenção aos menosprezados (sejam eles pessoas ou teorias), porque, pelo passado, eles foram muitas vezes tratados deslealmente, ou ao menos de modo inadequado.

O caminho da ciência nunca é linear. Sempre há teorias que rivalizam entre si, e grande parte da atenção dedicada a um período poderá ser dirigida a questões periféricas, que eventualmente acabam por se revelarem estéreis. Tais desdobramentos, porém, muitas vezes iluminam melhor o *zeitgeist* de uma época do que os avanços diretos da ciência. Infelizmente, a falta de espaço impede um tratamento adequado de muitos desses desenvolvimentos. Nenhuma história pode permitir-se tratar de cada causa perdida e de cada desvio. Contudo, existem exceções. Algumas falhas e erros do passado revelam, de modo muito adequado, aspectos do pensamento contemporâneo, que, caso contrário, perderíamos de vista. O quinarianismo de Macleay e de Swainson, por exemplo, que foi totalmente eclipsado pelo *Origem das espécies,* representou um esforço sincero de reconciliar a diversidade aparentemente caótica da natureza com a então convicção dominante de que deveria existir alguma ordem "mais elevada" na natureza. Ele também revela a permanência ainda poderosa do velho mito que toda ordem no mundo é em última instância numérica. Por mais equivocada e efêmera que tenha sido a teoria do quinarianismo, ela contribui, sem embargo, para o nosso entendimento do pensamento da sua época. O mesmo pode ser dito de quase toda teoria ou escola do passado, que não são mais consideradas válidas. Os interesses de um historiador, necessariamente, influenciam a sua decisão quanto a quais questões merecem ser tratadas com maior detalhe, e quais outras apenas sumariamente. Inclino-me a concordar com Schuster, que disse no *The progress of Physics* (1911):

Prefiro ser francamente subjetivo, e advirto-lhes de antemão que o meu relato será fragmentário, e em grande medida evocativo daqueles aspectos que se coadunaram com as minhas próprias e pessoais convicções.

Historiadores versus *cientistas*

Dois grupos de eruditos, com pontos de vista e formação inteiramente diferentes – historiadores e cientistas têm reclamado para si o direito de uma história da ciência. As suas respectivas contribuições são a seu modo diferentes, ditadas pela diversidade dos seus interesses e competência. Um cientista tende a selecionar, para análise e discussão, problemas bastante diferentes do que seriam os de um historiador ou sociólogo. Por exemplo, em relatos recentes sobre a evolução, produzidos por vários evolucionistas, H. Spencer quase não recebeu nenhuma atenção. Há boas razões para essa negligência. Spencer não apenas era vago e confuso, mas as idéias que ele defendia eram as de outros, e já obsoletas quando ele as assumiu. Que as idéias copiadas de Spencer eram bem populares e influentes, em relação ao público em geral, isso é sem dúvida uma verdade, mas não compete ao historiador cientista invadir o domínio do sociólogo. Falta usualmente aos biologistas a competência para tratar de história social. Por outro lado, seria perfeitamente ridículo pretender que um historiador social apresentasse uma análise competente de conquistas científicas. A história da ciência requer inspiração, informação e apoio metodológico, tanto da ciência como da história, e, em contrapartida, contribui com as suas descobertas para ambos os campos.

Existem razões válidas para o interesse, tanto de historiadores como de cientistas, na história da ciência. Os gregos não possuíam uma ciência, como a definimos hoje, e aquela que eles manipulavam era praticada por filósofos e por físicos. Depois da Idade Média, houve uma contínua tendência à emancipação da ciência em relação à filosofia e ao *zeitgeist* geral. No período da Renascença, e durante o século XVIII, as idéias científicas eram fortemente influenciadas pela atitude dos cientistas em face da religião e da filosofia. Um cartesiano, um cristão ortodoxo, ou um deísta teriam inevitavelmente conceitos diversos sobre cosmologia, geração, e demais aspectos relativos à interpretação da vida, da matéria, e das origens. Nada assinalou de modo mais definitivo a emancipação da ciência em face da religião e da filosofia do que a revolução darwiniana. Desde aquele tempo, tomou-se praticamente impossível dizer, com base em publicações científicas de um autor, se ele era um cristão devoto ou um ateu. Exceto em relação a alguns fundamentalistas, isso é verdadeiro mesmo para os escritos dos biologistas sobre o assunto da evolução.

Essa tendência à emancipação da ciência teve um considerável efeito sobre a historiografia da ciência. Quanto mais longe retrogredirmos no tempo, tanto menos importante se toma o acervo dos conhecimentos científicos do período, e tanto mais importante a atmosfera intelectual dominante. No que tange à biologia, só após mais ou menos o ano de 1740 os problemas científicos começam a afastar-se das controvérsias intelectuais gerais da época. E indiscutível que os historiadores são particularmente bem qualificados para tratar do período mais antigo da história da biologia. De qualquer maneira, a história de disciplinas biológicas especiais dos séculos XIX e XX foi inteiramente dominada por cientistas, até a sua profissionalização em época bem recente. Isso fica bem ilustrado pelas histórias recentes de áreas de biologia especiais, como as de Dunn, Stubbe e Sturtevant, em genética; de Fruton, Edsall e de Leicester, em bioquímica; de Needham e de Oppenheimer, em embriologia; de Baker e Hughes, em citologia; de Stresemann, em ornitologia; isto só para mencionar uns poucos nomes na vasta literatura. Elas demonstram a qualificação dos cientistas para a pesquisa histórica.

O viés dos cientistas físicos

Muitas histórias gerais da "ciência" foram escritas por historiadores da física, os quais nunca superaram inteiramente a atitude paroquial de considerar que qualquer coisa que não for aplicável em física não é ciência. Cientistas físicos tendem a avaliar os biólogos numa escala de valores que depende da medida em que biólogo utilizou "leis", mensurações, experimentos, e outros aspectos da pesquisa científica, altamente considerados nas ciências físicas. Como resultado, os julgamentos sobre as áreas de biologia emitidos por certos historiadores das ciências físicas, encontráveis nessa literatura, são tão burlescos que não se pode senão sorrir. Por exemplo, sabendo que Darwin desenvolveu a sua história da evolução baseando-se largamente nas suas observações como naturalista, só podemos ficar estupefatos diante desta afirmação feita por um bem conhecido historiador de Newton:

O naturalista é certamente um observador treinado, mas as suas observações diferem das de um guarda florestal apenas em grau, não em espécie; a sua única qualificação esotérica consiste na familiaridade com nomenclatura sistemática.

Esse tipo de pensamento fisicalista distorcido é inteiramente deslocado no estudo da biologia evolutiva, como veremos no Capítulo 2. A formação de teorias e a sua história na biologia evolutiva e sistemática requerem uma aproximação radicalmente diferente, aproximação essa que de alguma forma mais se assemelha à adotada por um historiador da arqueologia, ou por um intérprete da moderna história do mundo.

Outros viéses

Não apenas o físico, mas qualquer especialista, com toda naturalidade, considera que o seu domínio particular de pesquisa é o mais interessante de todos, e o seu método o mais produtivo. Em consequência disso, muitas vezes instaura-se entre os campos uma espécie de chauvinismo invejoso, e mesmo no interior de um campo como a biologia. É chauvinismo, por exemplo, quando Hartmann (1947) dedicou 98% da sua grande *Biologia geral* à biologia fisiológica, e apenas 2% à biologia evolutiva. É chauvinismo quando certos historiadores atribuem a ocorrência dá síntese evolutiva inteiramente às descobertas da genética, ignorando completamente a contribuição feita pela sistemática, pela paleontologia e outros ramos da biologia evolutiva (Mayr e Provine, 1980).

Existe às vezes também um chauvinismo nacional dentro de um campo que tende a exagerar, ou então adulterar, a importância de cientistas do país do próprio escritor, e minimizar ou ignorar cientistas de outras nações. Não se trata necessariamente de um patriotismo deslocado, mas é muitas vezes o resultado de inabilidade na leitura das línguas em que contribuições importantes de cientistas de outros países foram publicadas. No meu próprio trabalho, estou plenamente consciente da probabilidade da introdução de distorções, devidas à minha inabilidade em ler línguas eslavas ou japonês.

Armadilhas e dificuldades

A maior dificuldade no esforço de identificar o vasto número de problemas da biologia e de reconstituir o desenvolvimento da sua estrutura conceitual reside na quantidade imensa de material a ser estudado. Este consiste, em princípio, no inteiro acervo dos conhecimentos em biologia,

incluindo todos os livros e artigos de periódicos publicados por biólogos, as suas cartas e biografias, informação sobre as instituições a que pertenceram, a história social contemporânea, e muito mais. Nem o mais consciencioso historiador seria capaz de cobrir mesmo só um décimo de um por cem de todo esse material. A situação é agravada pela aceleração exponencial da proporção de produções científicas atuais. Num período de anos espantosamente curto, publicam-se hoje em dia mais trabalhos (e páginas!) do que em toda a precedente história da ciência. Os próprios especialistas se queixam que já não conseguem dar conta da avalanche de publicações de pesquisas no seu campo específico. Curiosamente, o mesmo se aplica à tarefa de escrever história. Há hoje, nos Estados Unidos, talvez cinco vezes mais historiadores de biologia do que há apenas vinte e cinco anos.

Mesmo tendo buscado corajosamente ler as publicações mais importantes, sei que os especialistas encontrarão numerosas omissões na minha abordagem, e presumivelmente não raros erros. O plano primeiro da maior parte do manuscrito foi assentado entre 1970 e 1976, e a literatura mais recente nem sempre foi incorporada tão adequadamente como seria desejável. A minha tarefa teria sido totalmente impossível, não fossem a riqueza e a excelência da moderna literatura secundária. A literatura mais antiga era muitas vezes bastante superficial, onde os autores, uns após os outros, copiavam os mesmos mitos e erros, como se descobre ao consultar as publicações originais. Obviamente num volume como o presente, que poderá conter mais de vinte mil tópicos de informação individual, é impossível verificar cada passo na fonte original. Considerando que o meu trabalho não é uma história lexicográfica, um erro factual ocasional não seria uma fatalidade. O meu objetivo maior tem sido sintetizar uma enorme literatura, com ênfase consistente na interpretação e na análise das causalidades.

A oportunidade

Uma crítica muitas vezes levantada contra os historiadores da ciência, e não sem razão, é que eles se preocupam quase exclusivamente com a "pré-história" da ciência, isto é, com períodos cujos eventos são grandemente irrelevantes para a ciência moderna. Para evitar essa censura, procurei trazer a história para tão perto do presente quanto possível a um não-especialista. Em alguns casos, por exemplo a^descoberta, nos últimos cinco a dez anos, de numerosas famílias de DNA na biologia molecular, as consequências conceituais são ainda muito incertas para merecerem consideração.

Não concordo coma afirmação de um historiador recente, no sentido que "o objeto da história da ciência são a investigação e as disputas que foram encerradas, muito mais do que os resultados presentemente em vigor". Isto é simplesmente um erro. A maioria das controvérsias científicas estende-se por períodos de tempo muito mais longos do que geralmente se pensa. E mesmo as discussões de hoje têm usualmente raízes que se lançam distantes no tempo. É precisamente o estudo histórico de tais controvérsias que muitas vezes contribui materialmente para o esclarecimento conceitual, tomando assim possível a solução conclusiva. Analogamente ao campo da história do mundo, onde a "história corrente" é reconhecida como um espaço legítimo, há uma "história corrente" na história da ciência. Nada mais equivocado do que admitir que a história da ciência trata apenas de tentativas abortadas. Ao contrário, pode-se chegar ao ponto de considerar pré-história os relatos de resultados há muito tempo fracassados, dos séculos remotos e de milênios.[{‡}]

Simplificação

Um historiador que venha a cobrir uma área tão vasta como se propõe o presente volume é obrigado a apresentar um relato muito enxuto. 0 leitor deve estar prevenido de que a aparente simplicidade de muitos dos desdobramentos é bem decepcionante. Assim, devem ser consultados relatos detalhados, que se concentram em desenvolvimentos especiais ou em períodos curtos, se quiser apreciar o pleno sabor das muitas correntes cruzadas, falsos pontos de partida, e hipóteses malsucedidas, que prevaleceram num dado período. Os desenvolvimentos, virtualmente, nunca foram tão lineares e lógicos como parecem ser num relato retrospectivo simplificado. É particularmente difícil enfatizar adequadamente o poder muitas vezes paralisante de conceitos arraigados, quando confrontados com novas descobertas, ou novas concepções.

Comete-se também facilmente o erro de rotular certos autores como vitalistas, pré-formacionistas, teleologistas, saltacionistas ou neodarwinianos, como se essas etiquetas se referissem a tipos homogêneos. Nos dias de hoje, tais categorias consistem em indivíduos em que nem dois dentre eles têm exatamente os mesmos pontos de vista. Isso é particularmente verdadeiro para os epítetos de "lamarckianos" e "neolamarckianos", alguns dos quais não tiveram nada em comum entre si, a não ser a crença numa herança dos caracteres adquiridos.

Assunções tácitas

Uma ulterior dificuldade para. o historiador é apresentada pelo desconhecimento de muitos cientistas sobre o seu próprio arcabouço de idéias. Raramente eles sabem articular – quando chegam a cogitar disso – quais verdades ou conceitos aceitam sem discussão, e quais outros são por eles totalmente rejeitados. Em muitos casos, o historiador só pode estabelecer uma ordem mediante a reconstrução completa do meio intelectual da época. E, ainda, um entendimento dessas assunções tácitas pode ser necessário para responder a questões anteriormente enigmáticas. Em ciência, tratamos sempre com prioridades e sistemas de valor; eles determinam a direção de novas pesquisas, quando completada uma parte prévia da investigação; eles determinam quais teorias o pesquisador está mais ansioso por confirmar ou refutar; determinam também, sim ou não, se ele considera exaurida uma área de pesquisa. E mesmo um estudo dos fatores que determinam tais prioridades, ou sistemas de valor, tem sido em grande parte negligenciado até agora. O historiador deve esforçar-se por descobrir o que se passava na cabeça do agente quando deu uma nova interpretação a um conjunto de fatos longamente aceitos. É talvez legítimo afirmar que os eventos verdadeiramente cruciais na história da ciência sempre tiveram lugar na mente de um cientista. Deve-se, por assim dizer, tentar pensar como o cientista pensou, quando completava o trabalho que estamos querendo analisar.

Muitos cientistas, em suas publicações, tendem a concentrar-se em fatos novos, ou melhor, em novas descobertas, e particularmente em algo que seja espetacular. Ao mesmo tempo, deixam geralmente de referir importantes e progressivas mudanças de conceitos, ou de ênfases. Podem mesmo chegar a omitir o reconhecimento de tais mudanças, ou considerá-las negligenciáveis, embora bem conscientes das mesmas. O historiador moderno, ao tentar reconstruir tais mudanças nos séculos passados, não pode evitar a projeção na história dos interesses e da escala de valores do presente. Tal perigo de interpretação só pode ser minimizado, se o historiador estiver plenamente consciente

do que está fazendo.

Por que estudar a história da biologia?

O meu particular interesse pela história da ciência foi suscitado pela leitura de *A grande cadeia do ser,* de A. O. Lovejoy, onde é feita a tentativa – eminentemente bem-sucedida – de traçar a história dá vida, por assim dizer, a partir de uma única idéia (ou um complexo coerente de idéias), desde os antigos até o fim do século XVIII. Aprendi mais desse único volume do que de quase tudo o mais que tenho lido. Outros que tentaram uma aproximação semelhante foram Emst Cassirer e Alexander Koyré. Eles proporcionaram padrões inteiramente novos para a historiografia científica.

No caso da história da ciência, os pontos focais são os problemas, em vez de idéias, mas a aproximação do historiador da ciência não difere muito da do historiador de idéias, como Levejoy. E à maneira desse autor, ele procura identificar o problema no seu começo, e seguir a sua história e ramificações desde aquele começo, para chegar ou à sua solução ou ao tempo atual.

É o objetivo principal deste volume descobrir, em relação a cada ramo da biologia e a cada período, quais foram os problemas manifestados e quais foram as propostas para a sua solução; a natureza dos conceitos dominantes, as suas mudanças, e as causas da sua modificação e do desenvolvimento de novos conceitos; e, finalmente, que efeito tiveram conceitos prevalentes, ou recentemente surgidos, sobre o retardamento ou a aceleração da solução dos problemas principais do período. O melhor dessa aproximação é que ela permite retratar a história completa de cada problema da biologia.

A preocupação com esta espécie de história conceitual da ciência é por vezes subestimada, como um *hobby* de cientistas aposentados. Tal atitude ignora as múltiplas contribuições devidas a esse ramo do saber. A história da ciência, como muitas vezes foi afirmado, é particularmente adequada como uma primeira introdução à ciência. Ela ajuda a cobrir a distância entre "crenças gerais" e as atuais descobertas científicas, uma vez que mostra de que maneira e por quais razões a ciência avançou além das crenças do folclore. Só para ilustrar isso, para um único ramo da biologia, na história da genética, pode ser mostrado por quais descobertas e argumentos crenças errôneas, e largamente admitidas, foram refutadas, como por exemplo a existência de uma herança dos caracteres adquiridos; que as matérias genéticas dos pais "se misturam"; que o "sangue" de uma fêmea fica contaminado, a ponto de não mais poder produzir uma cria "pura", uma vez que foi inseminada, mesmo por uma só vez; que um único óvulo é simultaneamente fertilizado pelo esperma de diversos machos; ou que acidentes de uma mãe grávida podem conduzir à produção de caracteres hereditários. Tais crenças errôneas, derivadas do folclore, mitos, documentos religiosos, ou de antigas filosofias, foram originalmente sustentadas em muitos campos da biologia. A demonstração histórica da substituição gradual dessas crenças pré-científicas, ou primitivamente científicas, por teorias científicas e conceitos mais bem fundamentados ajuda grandemente a explicar a estrutura atual das teorias biológicas.

O leigo muitas vezes excusa a sua ignorância da ciência, alegando que acha a ciência muito técnica, ou muito matemática. Seja-me permitido assegurar ao leitor prospectivo deste volume que ele dificilmente encontrará alguma matemática nestas páginas, e que este livro não é técnico a ponto de um leigo ter dificuldade com a exposição. A vantagem maior da história das idéias na biologia

consiste em que se pode estudá-la sem um conhecimento fundamental do nome de cada espécie de animal ou de planta, ou dos maiores grupos taxionômicos e sua classificação. Todavia, um estudante da história das idéias deve adquirir algum conhecimento sobre conceitos dominantes em biologia, como herança, programa, população, variação, emergência, ou organísmico. O objeto do Capítulo 2 é proporcionar uma introdução ao mundo dos conceitos maiores da biologia. Muitos desses conceitos (e os termos que os acompanham) também já foram incorporados aos vários ramos das humanidades, e tomou-se simplesmente uma questão de formação estar familiarizado com eles. Todos esses conceitos são indispensáveis para uma compreensão do homem e do mundo em que vive. Qualquer esforço para elucidar a origem e a natureza do homem precisa basear-se no conhecimento seguro dos conceitos e teorias da biologia. Finalmente, será de grande valia familiarizar-se com um pequeno repertório de termos técnicos, como gameta, zigoto, espécie, gene, cromossomo, e assim por diante, termos esses que são definidos no Glossário. Entretanto, o inteiro vocabulário desses termos técnicos é muito menor do que o que um estudante de qualquer área de humanidades deve aprender, seja em música, literatura, ou história contemporânea.

Não é apenas o leigo que terá o seu horizonte ampliado grandemente pelo estudo da história das idéias em biologia. Avanços em muitos campos da biologia são tão acelerados, no tempo presente, que os próprios especialistas já não conseguem se atualizar com os desenvolvimentos em áreas da biologia que não a sua própria. A visão abrangente da biologia e dos seus conceitos dominantes, contida no presente volume, ajudará a preencher algumas dessas lacunas. O meu apanhado também se dirige àqueles que ingressaram na biologia em anos recentes, provindos de fora, isto é, da química, física, matemática, ou outras áreas afins. A sofisticação técnica desses "neobiologistas", infelizmente, só de raro vem acompanhada de uma equivalente sofisticação conceitual. Com certeza, aqueles que conhecem organismos na natureza e entendem os caminhos da evolução ficam muitas vezes espantados com a ingenuidade de algumas generalizações em certos escritos de biologia molecular. Admite-se que não há maneira rápida e fácil de compensar essa deficiência. Como Conant, estou persuadido de que o estudo da história de um campo é a melhor forma de adquirir um conhecimento dos seus conceitos. Somente percorrendo o árduo caminho da elaboração desses conceitos – capacitando-se dos antigos postulados falsos, que tiveram que ser refutados um a um, em outras palavras, conhecendo todos os erros do passado – pode-se ter a esperança de alcançar realmente um conhecimento completo e sadio. Em ciência não se aprende apenas com os erros próprios, mas também com a história dos erros dos outros.

2. O LUGAR DA BIOLOGIA NAS CIÊNCIAS E SUA ESTRUTURA CONCEITUAL

É totalmente impossível tentar entender o desenvolvimento de qualquer conceito particular, ou problema, na história da biologia, sem previamente ter a resposta para as seguintes questões: O que é ciência? Qual é o lugar da biologia entre as ciências? E qual é a estrutura conceitual da biologia? Respostas inteiramente equivocadas foram dadas a essas três perguntas, particularmente por filósofos e outros não-biologistas, e isso impediu em larga medida o entendimento do avanço do pensamento

biológico. Tentar, então, dar uma resposta correta a essas três questões básicas é a primeira tarefa da minha análise. Ela proporcionará uma base segura para o estudo da história de conceitos específicos.

A natureza da ciência

Desde os tempos mais antigos, o homem indagou sobre a origem e o sentido do mundo, e frequentemente sobre o seu objetivo. As respostas, tentativas para essas questões, podem ser encontradas nos mitos, característicos de todas as culturas, mesmo as mais primitivas. Ele avançou além desses começos simples, em duas direções bem diferentes. Em uma delas, as suas idéias formalizaram-se em religiões, preconizando um conjunto de dogmas, usualmente baseados na revelação. O mundo ocidental, por exemplo, no final da Idade Média, era completamente dominado por uma confiança implícita nos ensinamentos da Bíblia, e, além disso, por uma crença universal no sobrenatural.

A filosofia e, mais tarde, a ciência constituem o outro caminho para abordar os mistérios do mundo, embora a ciência não estivesse estritamente separada da religião, na sua história primitiva. A ciência encara esses mistérios com perguntas, com dúvidas, com curiosidade, e com tentativas de explicação, portanto, com uma atitude totalmente diferente da religião. Os filósofos pré-socráticos (jônios) iniciaram essa aproximação de modo diferente, buscando explicações "naturais", nos termos das forças observáveis da natureza, como o fogo, a água e o ar (veja o Capítulo 3). Esse esforço para entender a causalidade dos fenômenos naturais foi o início da ciência. Durante muitos séculos, depois da queda de Roma, essa tradição foi virtualmente esquecida; mas foi ressuscitada na Alta Idade Média, e durante a revolução científica. Aumentou a crença de que a verdade divina não nos era revelada apenas por meio da Escritura, mas também pela criação de Deus.

É bem conhecida a declaração de Galileu sobre essa idéia: "Eu penso que, na discussão de problemas naturais, não devemos começar com a autoridade dos passos da Escritura, mas sim com experimentos sensíveis e demonstrações necessárias. Pois, do Verbo Divino procedem igualmente a sagrada Escritura e a Natureza". E continuava dizendo que "Deus se nos revela igualmente de modo admirável, tanto nas ações da Natureza, como nas sagradas sentenças da Escritura". Ele pensava que um deus que governa o mundo com o auxílio de leis eternas inspira, finalmente, tanta confiança e fé como um que intervém constantemente no curso dos eventos. Foi essa forma de pensar que ocasionou o nascimento da ciência, como agora podemos entender. A ciência de Galileu não era uma alternativa para a religião, mas parte inseparável dela. Da mesma forma, muitos grandes filósofos, do século XVII ao século XIX – por exemplo, Kant – incluíam Deus nos seus esquemas explicativos. A assim chamada teologia natural era, a despeito do seu nome, tanto ciência quanto teologia. O conflito entre ciência e teologia desenvolveu-se só mais tarde, quando a ciência explicava mais e mais processos e fenômenos da natureza por "leis naturais", fenômenos e processos esses que anteriormente eram considerados inexplicáveis, a não ser pela intervenção do Criador, ou por leis especiais ordenadas por Ele. [1]

Uma diferença fundamental entre religião e ciência reside, então, no fato de que a religião usualmente consiste em um conjunto de dogmas, dogmas muitas vezes "relevados", diante dos quais não há alternativa, nem muita flexibilidade de interpretação. Na ciência, ao contrário, as explicações alternativas são virtualmente um prêmio, e com facilidade uma teoria é substituída por outra. A

descoberta de um esquema alternativo de explicação é muitas vezes fonte de grande exultação. O valor de uma idéia científica só em pequena escala é julgado por critérios extrínsecos à ciência, porque, no seu conjunto, é arbitrado inteiramente por sua eficácia na explicação e, às vezes, na previsão.

Curiosamente, os cientistas têm sido bastante desarticulados quanto a uma definição abrangente da ciência. No auge do empirismo e do inducionismo, o objetivo da ciência era o mais das vezes descrito como sendo a acumulação de novos conhecimentos. Em contraste, quando se lêem os escritos de filósofos da ciência, tem-se a impressão que para eles a ciência é uma metodologia. Conquanto ninguém queira pôr em dúvida a indispensabilidade do método, a preocupação quase exclusiva de alguns filósofos da ciência com o mesmo desviou a atenção do objetivo mais fundamental da ciência, que é de aumentar o nosso auto-entendimento e o do mundo em que vivemos.

A ciência tem diversos objetivos. Ayala (1968) descreveu-os da seguinte forma: (1) A ciência procura organizar o conhecimento de forma sistemática, esforçando-se por descobrir padrões de afinidade entre fenômenos e processos. (2) A ciência empenha-se no fornecimento de explicações para a ocorrência dos eventos. (3) A ciência propõe hipóteses explicativas, que devem ser testadas, isto é, acessíveis à possibilidade de rejeição. Mais amplamente, a ciência procura juntar a vasta diversidade dos fenômenos e processos da natureza, sob o menor número de princípios explicativos.

Descoberta de fatos novos ou desenvolvimento de novos conceitos?

As descobertas são o símbolo da ciência, na idéia do público. A descoberta de um fato novo é em geral facilmente divulgável, e por isso os meios de comunicação também enxergam a ciência em termos de novas descobertas. Quando Alfred Nobel elaborou as condições para os prêmios nobéis, ele pensava inteiramente em termos de novas descobertas, particularmente as que seriam úteis para a humanidade. Todavia, pensar na ciência como mera acumulação de fatos é muito equivocado. Na ciência biológica, e isso talvez seja mais verdadeiro para a biologia evolutiva do que para a biologia funcional, muitos dos maiores progressos foram devidos à introdução de novos conceitos, ou à melhoria dos conceitos existentes. A nossa compreensão do mundo é alcançada mais efetivamente por aperfeiçoamento de conceitos do que pela descoberta de fatos novos, muito embora os dois aspectos não sejam mutuamente exclusivos.

Seja-me permitido ilustrar isso com um ou dois exemplos. As proporções de 3:1 foram descobertas por criadores de plantas muito antes de Mendel. O próprio Darwin obteve um número de tais relações, na sua atividade de viveirista. Todavia, tudo isso era sem sentido, até que Mendel introduziu os conceitos apropriados, e até que Weismann aportou conceitos adicionais, fazendo com que a segregação mendeliana adquirisse mais sentido. Da mesma forma, os fenômenos que hoje são explicados pela seleção natural foram largamente conhecidos muito antes de Darwin, mas não faziam sentido algum, até que fosse introduzido o conceito de populações, consistentes de indivíduos únicos. A partir desse momento, a seleção natural adquiriu grande poder explicativo. Os conceitos de pensamento de população e variação geográfica, juntamente com o de isolamento, foram, em contrapartida, os pré-requisitos para o desenvolvimento da teoria da especiação geográfica. O fato que a consecução de isolamento reprodutivo é um componente crucial no processo de especiação não foi plenamente entendido, até que fosse esclarecido o conceito dos mecanismos da isolação. O verdadeiro papel desses mecanismos não foi percebido enquanto se introduziam barreiras

geográficas nos mecanismos de isolamento, como ainda era feito por Dobzhansky (1937).

Pode-se tomar quase todo tipo de avanço, seja ria biologia evolutiva ou na sistemática, e mostrar que ele não dependeu tanto das descobertas quanto mais da introdução de conceitos melhorados. Os historiadores da ciência sabiam disso há muito tempo, mas tal fato, infelizmente, é muito pouco conhecido entre os não-cientistas. Por certo, as descobertas são um componente essencial do avanço científico, e alguns impasses atuais na biologia, tais como o problema da origem da vida, e da organização do sistema nervoso central, devem-se antes de tudo ao desconhecimento de certos fatos básicos. Mas nem por isso a contribuição dada por conceitos novos, ou pela transformação mais ou menos radical de conceitos antigos, deixa de ser igualmente e muitas vezes mais importante que os fatos e suas descobertas. Na biologia evolutiva, conceitos como evolução, descendência comum, especiação geográfica, mecanismos de isolamento, ou seleção natural conduziram a uma reorientação drástica numa área da biologia, anteriormente confusa, bem como a uma nova formação teórica e a incontáveis novas investigações. Não estão longe da verdade aqueles que insistem em que o progresso da ciência consiste principalmente no progresso dos conceitos científicos.

O uso de conceitos, evidentemente, não se limita à ciência, pois há conceitos em arte, em história (e outras áreas de humanidades), em filosofia, e certamente em qualquer atividade da mente humana. Que critérios então, além do uso de conceitos, podem ser usados para a demarcação entre a ciência e essas outras atividades humanas? A resposta para esta questão não é tão simples como se poderia esperar, como se comprova pela pergunta sobre em que medida as ciências sociais são ciências. Tentativamente, poder-se-ia sugerir que o que caracteriza a ciência é o rigor da sua metodologia, a possibilidade de testar ou falsear as suas conclusões, e de estabelecer "paradigmas" (sistemas de teorias) não-contraditórios. O método, mesmo que não seja tudo em ciência, é um dos seus aspectos importantes, particularmente porque ele difere de alguma maneira, conforme as várias disciplinas científicas.

Métodos na ciência

Os gregos sempre procuraram por explicações racionais no mundo dos fenômenos. A escola de Hipócrates, por exemplo, quando buscava determinar a causa de uma doença, não a procurava numa influência divina, mas a atribuía a causas naturais, como clima ou nutrição. Os filósofos jônios, da mesma forma, tentavam encontrar explicações racionais para os fenômenos do mundo inanimado e vivo. Aristóteles, incontestavelmente o pai da metodologia científica, fornece, na sua *Analítica posterior*, um registro tão marcante de como se deve tratar uma explicação científica (McKeon, 1947; Foley, 1953; Vogei, 1952) que quase até o século XIX, diz Laudan (1977: 13), numa afirmação um tanto extrema, "os filósofos da ciência ainda trabalhavam amplamente dentro dos limites dos problemas metodológicos discutidos por Aristóteles e seus comentadores". Os filósofos gregos, Aristóteles inclusive, eram antes de tudo racionalistas. Eles pensavam – Empédocles é exemplo típico disso – que podiam resolver problemas científicos simplesmente mediante um agudo raciocínio, envolvendo ordinariamente o que hoje chamaríamos dedução. O indubitável sucesso que aqueles antigos físicos e filósofos obtiveram em suas explanações conduziu ao exagero de uma aproximação puramente racional, que alcançou o seu clímax com Descartes. Embora ele tenha feito

algumas pesquisas empíricas (dissecações, por exemplo), muitas das afirmações desse filósofo soam como se ele acreditasse que tudo podia ser resolvido simplesmente por um pensamento concentrado.

Os subsequentes ataques ao cartesianismo, por parte dos indutivistas e experimentalistas, deixou bem claro que a questão do método era considerada de grande importância na ciência. Isso é tão válido hoje em dia quanto o era no século XVII. Mas, infelizmente, muitíssimos filósofos continuavam a acreditar, até bem tarde no século XIX, que podiam resolver os enigmas do universo simplesmente raciocinando ou filosofando. Quando as suas conclusões conflitavam com as descobertas da ciência, alguns deles ainda insistiam que eles estavam certos e a ciência errada. Foi essa atitude que induziu Helmholtz a se queixar amargamente da arrogância dos filósofos. A reação dos filósofos em face da seleção natural, da relatividade e da mecânica quântica mostra como aquela atitude não foi de forma alguma inteiramente superada.

Descartes esforçou-se por apresentar apenas aquelas conclusões e teorias que ofereciam a certeza de uma prova matemática. Embora sempre tenha havido alguns dissidentes, a convicção de que um cientista devia apresentar provas absolutas das suas descobertas e teorias prevaleceu até os tempos modernos. Ela dominou não apenas as ciências físicas, onde uma prova da natureza de uma prova matemática é muitas vezes possível, mas também as ciências biológicas. Mas aqui inferências são por vezes tão conclusivas que podem ser aceitas como prova, como por exemplo a afirmação de que o sangue circula, ou de que um particular tipo de lagarta é o estágio larval de uma espécie particular de borboleta. O fato de que a exploração mais minuciosa da face da terra não foi capaz de revelar a presença de dinossauros pode ser aceito como uma prova de que eles se extinguiram. Na medida em que se lida com fatos, provar que uma assertiva corresponde ou não a um fato é tarefa possível. Em muitos casos, e talvez na maioria das conclusões dos biologistas, é impossível fornecer uma prova de tal grau de certeza (Hume, 1738). Como haveriamos de "provar" que a seleção natural é o agente diretor que guia a evolução dos organismos?

Eventualmente, os físicos também se deram conta de que nem sempre podiam apresentar provas absolutas (Lakatos, 1976), e a nova teoria da ciência já não o exige. Em vez disso, os cientistas dão-se por satisfeitos ao considerar como verdadeiro tanto o que aparece como muito provável, com base em evidência disponível, como o que é consistente com um maior número de fatos, ou de fatos mais sugestivos, de preferência a hipóteses competitivas. Percebendo a impossibilidade de fornecer provas absolutas para muitas conclusões científicas, o filósofo Karl Popper propôs que a possibilidade de falsificação seja colocada como teste da sua validade. O ônus da argumentação é assim transferido para o adversário de uma teoria científica. Segundo essa posição, é aceita aquela teoria que resistiu com sucesso ao maior número e variedade de tentativas de refutação. A proposição de Popper permite também delimitar elegantemente a ciência da não-ciência: qualquer afirmação que, em princípio, não seja suscetível de ser falsificada está fora do âmbito da ciência. Desta forma, a assertiva de que existem homens na nebulosa de Andrômeda não é uma hipótese científica.

Contudo, apresentar uma falsificação é às vezes tão difícil como uma prova positiva. Por isso, ela não é considerada a única medida para se obter à aceitação científica. Como o demonstra a história da ciência, a rejeição de teorias científicas frequentemente não ocorreu porque elas foram claramente refutadas, mas muito mais porque uma nova teoria alternativa pareceu mais provável, mais simples, ou mais elegante. Além disso, teorias rejeitadas são, amiúde, tenazmente mantidas por uma minoria de seguidores, a despeito de uma série de refutações aparentemente definitivas.

A nova teoria da ciência, baseada numa interpretação probabilística das conclusões científicas, admite que é impróprio falar de verdade, ou de prova, como algo absoluto. Isso traz consequências maiores em alguns ramos da biologia do que em outros. Todo evolucionista que entrou em discussão com indivíduos leigos defrontou-se com esta pergunta: "A evolução foi comprovada?", ou "Como pode você provar que o homem descende dos macacos?" É o momento em que ele se obriga a discutir primeiramente a natureza da prova científica.

O cientista profissional, em contraste, sempre foi pragmático. Sempre sentiu-se razoavelmente feliz com uma teoria, até que aparecia uma melhor. Os fatores que se revelavam irredutíveis a uma explicação eram tratados como uma caixa-preta, como o fez Darwin em relação à fonte da variabilidade genética, um dos componentes principais da sua teoria da seleção natural. Não é sem motivo que um cientista se perturbava, e ainda se perturba, pelo fato de que muitas das suas generalizações são apenas probabilísticas, e que em muitos, senão na maioria, dos processos naturais há um componente conjetural consideravelmente elevado. Aceitando a grande flexibilidade como um dos atributos das teorias científicas, o cientista procura testar numerosas teorias, combinar elementos de teorias diferentes, e às vezes inclusive considerar, simultaneamente, diversas teorias alternativas (múltiplas hipóteses de trabalho), na sua busca de evidência, que lhe permita adotar uma de preferência a outras (Chamberlin, 1890). Não se poderia ignorar, contudo, que a abertura de espírito dos cientistas não é sem limitações. Quando as teorias são "estranhas" ou alheias ao meio intelectual corrente, elas tendem a ser ignoradas ou silenciadas. Como veremos, isso é verdadeiro, por exemplo, quanto aos conceitos do emergentismo e das propriedades de níveis específicos das hierarquias.

É interessante observar que a aproximação de Darwin estava em perfeito acordo com a teoria moderna. Ele se dava conta de que nunca poderia demonstrar as conclusões evolucionistas com a certeza de uma prova matemática. Ao contrário, em quase vinte passagens diferentes do *Origin* ele se pergunta: "Será esta particular descoberta – ou um modelo de distribuição, ou uma estrutura anatômica – mais facilmente explicável por criação especial ou por oportunismo evolutivo?" Invariavelmente ele insiste em que a segunda alternativa é a mais provável. Darwin antecipou muitos dos mais importantes princípios da atual filosofia da ciência. Embora os cientistas agora adotem universalmente a interpretação probabilística da verdade científica – e mais ainda a completa impossibilidade de fornecer demonstrações com uma certeza de prova matemática para a maioria das suas conclusões – esse novo ponto de vista ainda não é apreciado por muitos não-cientistas. Seria desejável que esse conceito novo de verdade científica integrasse amplamente a introdução às ciências.

Há indicações, todavia, de que a importância atribuída à escolha do método foi exagerada. Nesse ponto concordo com Koyré (1965), cuja opinião era de que "a metodologia abstrata é de uma importância relativamente pequena para o desenvolvimento concreto do pensamento científico". E Goodfield não conseguiu descobrir diferenças de sucessos científicos e formação de teorias, de reducionistas e anti-reducionistas, entre os fisiologistas. Kuhn e outros, da mesma forma, minimizaram a importância da escolha do método. Os cientistas, na sua pesquisa atual, muitas vezes oscilam entre uma fase em que coletam material, ou conduzem em termos puramente descritivos ou classificatórios, e outra fase, de formação de conceitos, ou de teste das teorias.

Indução

Durante séculos, houve argumentos sobre os méritos respectivos do método indutivo *versus* o método dedutivo (Medawar, 1967). Hoje em dia está claro que esse é um assunto relativamente irrelevante. O indutivismo proclama que um cientista pode chegar a conclusões objetivas e sem deformações, apenas mediante simples registro, mensuração e descrição dos seus achados, sem ter previamente qualquer hipótese, ou expectativas preconcebidas. Francis Bacon (1564-1626) foi o principal promotor do indutivismo, embora nunca tivesse aplicado consistentemente esse método na sua própria obra. Darwin, que se vangloriava de seguir "o verdadeiro método baconiano", era tudo, menos um indutivista. Chegou mesmo a ridicularizar esse método, dizendo que, se alguém acredita nele, "seria o mesmo que entrar num poço de pedras, contar os cascalhos e descrever as suas cores". Sem embargo, Darwin foi muitas vezes classificado, na literatura filosófica, como um indutivista. O indutivismo teve uma grande reputação no século XVIII e começo do século XIX, mas hoje está claro que uma aproximação puramente indutiva é simplesmente estéril. Isso é ilustrado pelo criador de plantas Gaertner, que pacientemente fez e registrou dezenas de milhares de cruzamentos, sem chegar a qualquer generalização. Liebig (1863) foi o primeiro cientista proeminente a repudiar o indutivismo baconiano, arguindo de modo convincente que nenhum cientista jamais seguiu, ou pôde seguir, o método descrito no *Novum organum.* A crítica incisiva de Liebig decretou o fim do reino do indutivismo (Laudan, 1968).

Método hipotético-dedutivo

O indutivismo foi substituído mais e mais conscientemente pelo assim chamado método hipotético-dedutivo.[2] Segundo esse método, o primeiro passo, como o chamou Darwin, é "especular", isto é, generalizar a hipótese. O segundo passo é conduzir experimentos ou reunir observações que permitam testar essa hipótese. O emprego desse método por Darwin foi excelentemente descrito por Ghiselin (1969), Hull (1973a), e Ruse (1975b). Há um forte elemento de senso comum nesse método, e pode-se argumentar que ele já está implícito no método aristotélico, e certamente em larga medida no assim chamado dedutivismo de Descartes e dos seus seguidores. Embora temporariamente eclipsado pelo prestígio do indutivismo durante o século XVIII, ele se tomou o método prevalente no século XIX.

A razão por que o método hipotético-dedutivo foi tão amplamente adotado reside em que ele tem duas grandes vantagens. Em primeiro lugar, ele se encaixa perfeitamente na crescente convicção que não há verdade absoluta, e que as nossas conclusões e teorias devem continuamente ser testadas. E em segundo lugar, em conexão com esse novo relativismo, ele encoraja o contínuo estabelecimento de novas teorias e a busca de novas observações e novas experiências, que confirmam ou refutam as novas hipóteses. Isso toma a ciência mais flexível e mais ativa, e fez com que algumas controvérsias científicas deixassem de ser tão acrimoniosas, uma vez que não está mais em questão uma vitória na batalha pela verdade última.

Em que medida os cientistas atualmente empregam uma aproximação hipotético-dedutiva é assunto discutível. Collingwood (1939) afirmou corretamente que uma hipótese é sempre uma resposta tentativa a uma pergunta, e que a formulação de uma pergunta é realmente o primeiro passo no caminho de uma teoria. A história da ciência conhece dezenas de instâncias em que um pesquisador estava de posse de todos os fatos importantes para uma nova teoria, mas simplesmente deixou de colocar a pergunta correta. Em qualquer caso, a aceitação da importância das perguntas

conduz imediatamente a novas indagações: em primeiro lugar, por que a questão foi levantada? A resposta deve ser porque um cientista observou alguma coisa que ele não compreendeu, ou algo cuja origem o intrigou, ou porque ele descobriu alguns fenômenos aparentemente contraditórios, cuja contradição ele procurou remover. Em outras palavras, a observação dos fatos deu origem às perguntas.

Os anti-indutivistas, evidentemente, têm inteira razão ao proclamarem que tais fatos, por si mesmos, jamais conduziram a uma teoria. Eles adquirem significado apenas quando uma mente inquiridora indaga uma questão importante. Uma mente criativa é capaz de, como afirmou Schopenhauer, "ao olhar alguma coisa que todo mundo vê, pensar algo que ninguém ainda pensou". Assim sendo, a imaginação é, em última instância, o pré-requisito mais importante do progresso científico.

O método hipotético-dedutivo é, na sua essência, o moderno método científico da descoberta, embora o estabelecimento de uma hipótese tentativa seja invariavelmente precedido de observações e da formulação de perguntas.

Experimento versus *comparação*

A diferença entre pesquisa física e pesquisa biológica não é, como muitas vezes se disse, uma diferença de metodologia. A experimentação não se restringe às ciências físicas, mas é um método maior da biologia, particularmente da biologia funcional (veja a seguir). A observação e a classificação são claramente mais importantes nas ciências biológicas do que nas ciências físicas, ainda que seja evidente que esses são métodos dominantes em ciências físicas, tais como geologia, meteorologia e astronomia. A análise é igualmente importante nas ciências físicas e nas ciências biológicas, como veremos.

Nas filosofias das ciências escritas por cientistas físicos, o experimento é muitas vezes mencionado como *o* método da ciência. [3] Isso não é verdade, porque outros métodos estritamente científicos são de maior importância em ciências, como biologia evolutiva e oceanografia. Cada ciência requer o seu próprio método apropriado. Para Galileu, o estudioso da mecânica, medida e quantificação eram de importância superior. Para Aristóteles, o estudioso de sistemas vivos e da diversidade orgânica, a análise do que hoje chamamos processos teleonômicos e o estabelecimento de categorias constituíam abordagens favoráveis. Em fisiologia, e em outras ciências funcionais, o método experimental não é apenas apropriado, mas, a bem dizer, a única aproximação que conduz a resultados.

Muitos historiadores das ciências físicas exibem uma extraordinária ignorância quando discutem métodos outros que não o experimental. Morgan (1926) é um exemplo típico da arrogância do experimentalista. Ele negava ao paleontologista qualquer competência para a formação de teoria:

> O meu bom amigo paleontólogo (sem dúvida, ele se referia a H. F. Osborn) corre um perigo maior do que imagina, ao deixar as descrições para tentar explicações. Ele não tem como confirmar as suas especulações (…) (e referindo-se às lacunas na história dos fósseis) o geneticista diz ao paleontólogo, uma vez que este ignora, e pela própria natureza do seu caso nunca poderá saber, se as suas diferenças foram devidas a uma alteração/uma única mutação ou a mil alterações; este, com certeza, nada nos tem a dizer sobre as unidades hereditárias que

constituíram o processo da evolução.

Como se o paleontologista não pudesse traçar, a partir do seu material, inferências perfeitamente válidas, inferências essas que podem ser testadas de inúmeras formas. Se se quiser insinuar que o trabalho experimental nunca é descritivo, então isso também é uma inverdade. Ao relatarem os resultados dos seus experimentos, os praticantes do método experimental são tão descritivos quanto os naturalistas ao relatarem as suas observações. Evidentemente, a alternativa da experimentação é a observação. O progresso em muitos ramos da ciência depende de observações feitas no intuito de responder cuidadosamente a questões levantadas. A biologia moderna, evolutiva, comportamental e ecológica demonstrou de modo conclusivo que essas ciências, largamente observacionais, são algo mais do que puramente descritivas. Atualmente, muitos escritos baseados em experimentos feitos sem uma adequada *Fragestellung*{§} (que, aliás, são muitíssimos!) são mais descritivos do que muitas publicações não-experimentais sobre biologia evolutiva.

A mera observação, todavia, não é suficiente. Ainda no decurso do século XVIII, foi empregado pela primeira vez, e com seriedade, um método peculiarmente adequado ao estudo da diversidade; trata-se do método comparativo. Embora tivesse tido alguns predecessores, Cuvier foi, sem dúvida, o primeiro grande campeão do método comparativo (veja Capítulo 4). Muitas vezes não se deu a devida atenção ao fato de que o método comparativo deve ser precedido de uma classificação dos itens a serem comparados. Sem dúvida, o sucesso da análise comparativa depende, em larga medida, da qualidade do procedimento de classificação. Ao mesmo tempo, discrepâncias reveladas pela comparação conduziram muitas vezes a uma melhoria da classificação dos fenômenos. Tais idas e vindas entre dois métodos caracterizam muitos ramos da ciência, e não é de forma alguma algo circular (Hull, 1967).

A diferença entre os métodos experimental e comparativo não é tão grande como pode parecer à primeira vista. Em ambos coletam-se dados, e em ambos a observação desempenha um papel crucial (embora o experimentalista usualmente não mencione o fato que os seus resultados são devidos à observação das experiências realizadas). Nas assim chamadas ciências observacionais, o observador estuda experimentos da natureza. A principal diferença entre os dois conjuntos de observações consiste em que no experimento artificial é possível escolher as condições, capacitando assim o teste dos fatores que determinam o êxito do experimento. Num experimento da natureza, seja que se trate de um terremoto, ou da produção de uma fauna insular, a tarefa principal consiste em inferir, ou reconstruir, as condições sob as quais esse experimento natural ocorreu. Mediante a procura da constelação correta dos fatores, é por vezes quase possível, numa observação "controlada", obter a confiabilidade de um experimento controlado. Como disse Pantin (1968: 17), "em astronomia, em geologia e em biologia, a observação de eventos naturais, em tempo e lugar selecionados, pode às vezes fornecer informação tão completa e suficiente para uma conclusão a ser registrada, como a que pode ser obtida através de um experimento".

É importante enfatizar a legitimidade do método observacional-comparativo, tendo em conta que o método experimental é inaplicável em muitos problemas científicos. E diga-se ainda, contrariamente às{**} afirmações de alguns fisicistas, que os ramos da ciência que dependem do método comparativo não são inferiores. Como disse há muito tempo um cientista sábio, E. B. Wilson: "Os experimentos realizados em nossos laboratórios apenas suplementam os que aconteceram, e ainda acontecem, na natureza, e os seus resultados devem ser forjados na mesma oficina". Wilson

opunha-se firmemente àqueles que afirmavam que o progresso na biologia podia ser alcançado "apenas pelo do experimento". A observação conduziu à descoberta de faunas e floras estranhas, e tornou-se a base da biogeografia; a observação revelou a diversidade da natureza orgânica e conduziu ao estabelecimento da hierarquia lineana e à teoria da ascendência comum; a observação conduziu aos fundamentos da etologia e da ecologia. A observação, na biologia, forneceu, provavelmente, mais conhecimentos do que todos os experimentos juntos.

A posição da biologia dentro das ciências

Em confronto com a mitologia e com a religião, a ciência tem a prerrogativa de oferecer uma face unificada. Todas as ciências, a despeito das suas múltiplas diferenças, têm em comum o fato de se dedicarem ao esforço de compreender o mundo. A ciência deseja explicar, generalizar e determinar a causalidade das coisas, dos eventos, dos processos. É nessa medida, enfim, que existe uma unidade da ciência (Causey, 1977).

A partir desse ponto de vista, muitas vezes tirou-se a conclusão de que o que é verdadeiro para uma ciência, digamos a física, deve ser igualmente verdadeiro para todas as ciências. Ilustrando isso, devo ter nas minhas estantes uns seis ou sete volumes que se propõem a tratar da "filosofia da ciência", mas todos eles atualmente tratam somente da filosofia das ciências físicas. Os filósofos da ciência, a maioria deles com uma formação em física, infelizmente basearam a sua abordagem da filosofia e da metodologia científicas quase exclusivamente nas ciências físicas. Tais tratamentos são muito incompletos porque deixam a descoberto o rico domínio dos fenômenos e dos processos que se encontram no mundo dos organismos vivos. Filósofos e humanistas, quando descrevem ou criticam a "ciência", quase sempre têm apenas em mente as ciências físicas (ou mesmo a tecnologia). Quando os historiadores falam da revolução científica, que foi primariamente uma revolução das ciências mecânicas, na grande maioria dos casos eles subentendem, tacitamente, tratar-se de uma revolução que abrangeu igualmente as ciências biológicas.

O fato de que existem diferenças importantes entre a biologia e as ciências físicas é muitas vezes inteiramente ignorado. Muitos fisicistas[†††] parecem admitir como certo que a física é o paradigma da ciência, e que quando se entende de física, pode-se entender qualquer outra ciência, biologia inclusive. A "arrogância dos físicos" (Hull, 1973) tomou-se proverbial entre os cientistas. O físico Emest Rutherford, por exemplo, referiu-se à biologia como "uma coleção de selos postais". O próprio V. Weisskopf, normalmente bastante isento da usual insolência dos fisicistas, cometeu recentemente um notável esquecimento ao proclamar que "o mundo científico, na sua visão, se baseia nas grandes descobertas do século XIX, concernentes à natureza da eletricidade e do calor e à existência de átomos e de moléculas" (1977: 405), como se Darwin, Bemard, Mendel e Freud (para não mencionar centenas de outros biólogos) não tivessem dado uma tremenda contribuição para a nossa concepção científica do mundo e, por que não, talvez uma contribuição maior do que a dos físicos.

Para contrabalançar tal atitude, é por vezes benéfico, ou mesmo necessário, salientar a pluralidade da ciência. Com demasiada frequência, Newton e as leis naturais são considerados extensivos a toda a ciência. Todavia, se olharmos para o cenário intelectual ao longo dos séculos XVI, XVII e XVIII, descobriremos que existiram, simultaneamente, diversas outras tradições, que

virtualmente nada tinham a ver umas com as outras, ou com a mecânica. A botânica dos herbalistas, as magníficas placas anatômicas de Versalius, os ubíquos museus de história natural, as viagens científicas, os *jardins des plantes,* as coleções de animais – o que tudo isso tem a ver com Newton? Contudo, é essa outra ciência que inspirou o romanticismo de Rousseau e o dogma do selvagem nobre.

Somente em anos recentes tornou-se evidente o quanto é ingênua e equivocada a admissão da igualdade entre as ciências físicas e biológicas. O físico C. F. von Weizsaecker (1971) admite que a explicação física convencional

> e a forma matemática abstrata em que ela é expressa não (…) satisfazem a nossa necessidade de uma compreensão real da natureza. E, além disso, uma comum visão do mundo já não abrange os grandes grupos das ciências (…) a física defronta-se com uma biologia autônoma.

Um estudo dos fenômenos biológicos conduz, por isso, a uma indagação legítima: em que medida a metodologia e a estrutura conceitual das ciências físicas são modelos apropriados para as ciências biológicas? Tal questão não se cinge meramente a problemas um tanto quanto excepcionais como "consciência" ou "intenção", mas alcança alguns fenômenos ou conceitos biológicos, tais como população, espécie, adaptação, digestão, seleção, competição, e outros semelhantes. Teriam esses fenômenos biológicos e conceitos um equivalente nas ciências físicas?

Em nenhum outro aspecto a diferença entre ciências diversas é mais evidente do que nas suas aplicações filosóficas. Muitos filósofos sentenciaram que não há nenhuma conexão concebível entre as ciências físicas e a ética. Todavia, é evidente que existe a possibilidade de semelhante conexão entre ciências biológicas e ética. O spencerianismo social constitui um exemplo; a eugenia é outro. Tem certa validade a afirmação do físico no sentido de que não há conexão entre ciências físicas e a ética (mas pense-se na física nuclear!). De qualquer maneira, ao proclamar, como muitos físicos o fizeram, que não há relação entre "ciência" e ética, ele exibe uma parvoíce paroquial. As ideologias políticas sempre mostraram muito maior interesse nas ciências biológicas que nas ciências físicas. O lysenkoísmo e o ensinamento *tábula rasa* do behaviorismo (e os seus seguidores marxistas) constituem apenas alguns exemplos. Por tais motivos, é errado falar de filosofia da ciência, tendo-se em mente a filosofia das ciências físicas.

A convicção de muitos cientistas físicos de que todos os conhecimentos da biologia podem ser reduzidos às leis da física levou muitos biologistas, em atitude de autodefesa, a proclamarem a autonomia da biologia. Embora esse movimento de emancipação dos biologistas tenha encontrado, naturalmente, considerável resistência, não apenas entre os cientistas físicos, mas também entre os filósofos adeptos do essencialismo, ele continuou a ganhar força nas décadas recentes. Uma discussão desapaixonada da questão se os princípios, teorias e leis das ciências físicas tudo explicam nas ciências biológicas, ou se a biologia é, pelo menos em parte, uma ciência autônoma, tomou-se muito difícil por causa de uma grande rivalidade – para não dizer mútua hostilidade – entre as ciências, tanto no seio das ciências físicas e biológicas como entre esses dois campos. Numerosas têm sido as tentativas (por exemplo, a de Comte) de classificar as ciências, colocando a matemática (ou a geometria em particular) como a rainha de todas. A rivalidade se toma manifesta na competição de honrarias, como os prêmios nobéis, orçamentos dentro de universidades e governos, posições, e prestígio geral *vis-à-vis* dos não-cientistas. [4]

A discussão precedente pode dar a impressão de que eu também estaria pleiteando uma completa autonomia das ciências biológicas – em outras palavras, que desejo abandonar radicalmente o conceito da unidade da ciência, substituindo-o pelo conceito de duas ciências separadas, a ciência física e a ciência biológica. Mas a minha posição não é essa. Tudo o que eu quero dizer é que as ciências físicas não constituem um parâmetro apropriado para a ciência. A física, simplesmente, não é adequada para cumprir esse papel, porque, como o físico Eugene Wigner muito bem acentuou, "hoje em dia a física trata de um caso-limite". Para usar uma analogia, a física corresponde à geometria euclidiana, que é o caso – limite de todas as geometrias (inclusive a não-euclidiana). Ninguém descreveu melhor essa situação que G. G. Simpson (1964b: 106-107):

> A insistência em que o estudo dos organismos requer princípios adicionais aos das ciências físicas não implica uma visão dualista ou vitalista da natureza. A vida (…) por isso não é necessariamente considerada não-física, ou não-material. É simplesmente porque os seres vivos foram afetados durante (…) bilhões de anos por processos históricos (…) Os resultados desses processos são sistemas especificamente diferentes de quaisquer sistemas não-vivos, e quase incomparavelmente mais complicados. Não são necessariamente, por isso, algo menos material, ou menos físico, na natureza. O núcleo da questão é que *todos* os processos materiais conhecidos, bem como seus princípios explicativos, aplicam-se aos organismos, enquanto apenas um número limitado dos mesmos se aplica aos sistemas não-vivos (…) A biologia é, então, a ciência que se coloca no centro de toda ciência (…) E é aqui, no campo em que se incorporam todos os princípios de todas as ciências, que a ciência pode verdadeiramente tomar-se unificada.

O reconhecimento de que nas ciências biológicas tratamos de fenômenos que são estranhos aos objetos inanimados não é de forma alguma uma novidade. A história da ciência, desde Aristóteles, foi uma história de esforços para assegurar a autonomia da biologia, e de tentativas de barrar a onda de explicações mecanístico-quantitativas simplistas. De qualquer maneira, quando naturalistas e outros biólogos, bem como alguns filósofos, acentuaram a importância da qualidade, unicidade e história na biologia, os seus esforços foram muitas vezes ridicularizados e simplesmente varridos como "má ciência". Tal destino coube ao próprio Kant, quando defendeu de maneira muito convincente, na sua *Kritik der Urteilskraft* (1790), que a biologia é diferente das ciências físicas, e que os organismos vivos são diferentes dos objetos inanimados. Lamentavelmente, muitas vezes tais esforços foram taxados de vitalismo, e por isso fora das fronteiras da ciência. As reivindicações da autonomia da biologia só começaram a ser levadas a sério mais ou menos ao longo da última geração, isto é, após a extinção definitiva de qualquer vitalismo genuíno.

Está se tomando perfeitamente evidente que nunca será possível fazer afirmações universalmente válidas sobre a ciência em geral sem antes comparar as várias ciências entre si e determinar o que elas têm em comum e o que as distingue.

Como e por que a biologia é diferente?

A palavra "biologia" é recente, do século XIX. Antes dessa data, não havia uma tal ciência.

Quando Bacon, Descartes, Leibniz e Kant escreveram sobre ciência e sua metodologia, a biologia como tal não existia, mas apenas medicina (incluindo anatomia e fisiologia), história natural, e botânica (mais ou menos uma miscelânea). A anatomia, a dissecação do corpo humano, foi até longamente, no século XVIII, um ramo da medicina, e a botânica, da mesma forma, era praticada primariamente por médicos interessados em ervas medicinais. A história natural dos animais era estudada principalmente como uma parte da teologia natural, no intuito de apoiar o argumento de um plano. A revolução científica nas ciências físicas deixou as ciências biológicas virtualmente intocadas. As maiores inovações no pensamento biológico só ocorreram ao longo dos séculos XIX e XX. Não pode haver surpresa, portanto, que a filosofia da ciência, ao desenvolver-se nos séculos XVII e XVIII, baseava-se exclusivamente nas ciências físicas e que, subsequentemente, tem sido muito difícil revisá-la de maneira tal a englobar também as ciências biológicas. Foi somente em décadas recentes que diversos filósofos (como Scriven, Beckner, Hull e Campbell) tentaram caracterizar as diferenças entre biologia e as ciências físicas (Ayala, 1968). O pensamento sobre esse problema é ainda tão novo que apenas se podem fazer afirmações provisórias. O objetivo da discussão a seguir é mais no sentido de delinear a natureza dos problemas do que fornecer soluções definitivas.

As leis na física e nas ciências biológicas

As leis desempenham um importante papel demonstrativo nas ciências físicas. Considera-se explicado um evento particular quando se pode demonstrar que ele é devido a fatores causais particulares, consistentes com as leis gerais. Alguns filósofos designaram o estabelecimento de leis como o critério diagnosticador da ciência. Admite-se que tais leis sejam estritamente determinísticas, permitindo, assim, previsões exatas.

Em anos recentes foi levantada a questão de se as leis, sim ou não, são tão importantes na biologia como parecem sê-lo nas ciências físicas. Alguns filósofos, como Smart (1963; 1968), chegaram ao ponto de negar que haja qualquer lei universal em biologia, como é característico na física. Outros filósofos – como Ruse (1973), e, em menor medida, Hull – defenderam enfaticamente a existência de leis biológicas. Os biólogos, virtualmente, não deram atenção ao assunto, implicando isso que a questão é de menor relevância para o biologista profissional.

Se olharmos para a história da biologia, veremos que autores do século XIX, como Lamarck, Agassiz, Darwin, Haeckel, Cope, e muitos dos seus contemporâneos, referiam-se frequentemente a leis. Contudo, se consultarmos um compêndio moderno de quase todos os ramos da biologia, não encontraremos uma vez sequer o termo "lei". Isso não significa que em biologia não ocorrem regularidades; significa simplesmente que estas são ou demasiadamente óbvias para serem mencionadas, ou excessivamente triviais. Isto é perfeitamente ilustrado pela centena de "leis" evolutivas elencadas por Rensch (1968: 109-114). Todas elas se referem às tendências de adaptação, decorrentes da seleção natural. Muitas delas têm exceções, ocasionais ou frequentes, e são apenas "regras", não leis universais. Elas são explicativas à medida que dizem respeito a eventos passados, mas não são previsíveis, a não ser num sentido estatístico (probabilístico). Quando digo: "Um macho de ave canora, chefe de território, tem 98,7% (ou qualquer que seja o índice correto) de probabilidades de vencer um intruso", dificilmente poderia afirmar que estabeleci

uma lei. Quando os biologistas moleculares afirmam que as proteínas não transmitem informações aos ácidos nucléicos, eles consideram isso muito mais um fato do que uma lei.

Generalizações em biologia são quase sempre de natureza probabilística. Como alguém formulou com muita propriedade, há somente uma lei universal em biologia: "Todas as leis biológicas têm exceções". Esta concepção probabilística apresenta um notável contraste com a visão dos primeiros períodos da revolução científica, segundo a qual a causalidade na natureza é regulada por leis que podem ser expressas em termos matemáticos. Com efeito, essa idéia, aparentemente, ocorreu pela primeira vez a Pitágoras. E permaneceu uma idéia dominante, particularmente nas ciências físicas, até os nossos dias. Sempre de novo ela foi colocada como base de uma certa filosofia abrangente, mas assumindo formas muito diferentes, segundo a variedade dos seus autores. Em Platão, ela deu origem ao essencialismo, em Galileu, à imagem mecanicista do mundo, em Descartes, ao método dedutivo. Essas três filosofias tiveram um impacto fundamental na biologia.

O pensamento de Platão era o de um estudioso da geometria: um triângulo, qualquer que seja a combinação dos seus ângulos, tem sempre a *forma* de um triângulo, e por isso ele é, de modo descontínuo, diferente de um quadrado ou de qualquer outro polígono. Para Platão, o mundo variado dos fenômenos, analogamente, nada mais era do que o reflexo de um número limitado de formas fixas e imutáveis, *eidos* (como ele as chamava), ou *essências,* como foram chamadas pelos tomistas na Idade Média. Essas essências são o que existe de real e importante neste mundo. Como idéias, elas podem existir independentemente de qualquer objeto. A constância e a descontinuidade são pontos de especial ênfase para os essencialistas. A variação é atribuída à manifestação imperfeita das essências subjacentes. Tal conceitualização foi a base não apenas do realismo dos tomistas, mas também do assim chamado idealismo, ou do positivismo, dos filósofos posteriores, até o século XX. Whitehead, que era uma peculiar mistura de matemático e de místico (talvez poder-se-ia chamá-lo de pitagórico), afirmou certa vez: "A caracterização geral mais segura da tradição filosófica européia é que ela consiste numa série de notas de rodapé de Platão". Não há dúvida que isso foi mencionado como um mérito, mas na realidade era uma condenação, na exata medida em que exprimia uma verdade. Significa realmente que a filosofia européia, ao longo de todos os séculos, foi incapaz de libertar-se da camisa-de-força do essencialismo platônico. O essencialismo, com a sua ênfase na descontinuidade, na constância, e nos valores típicos ("tipologia"), dominou o pensamento do mundo ocidental em grau tal que ainda não foi plenamente percebido pelos historiadores das idéias. Darwin, um dos primeiros pensadores a rejeitar o essencialismo (pelo menos em parte), não foi absolutamente entendido pelos filósofos contemporâneos (todos eles essencialistas), e o seu conceito de evolução por meio da seleção natural foi por isso julgado inaceitável. A mudança verdadeira, de acordo com o essencialismo, só é possível mediante a origem descontínua de novas essências. Considerando que a evolução, segundo Darwin, é necessariamente gradual, ela é totalmente incompatível com o essencialismo. De qualquer modo, a filosofia do essencialismo adequava-se muito bem ao pensamento dos cientistas físicos, cujas "classes" consistem em entidades idênticas, sejam elas átomos de sódio, prótons, ou mésons-pi.

Para Galileu, da mesma forma, a geometria era a chave das leis da natureza. Só que ele a aplicava de um modo muito mais matemático do que Platão:

> A filosofia está escrita nesse grande livro, que é o universo, o qual permanece continuamente aberto à nossa contemplação. Mas o livro não pode ser entendido, a menos que se aprenda

> primeiro a compreender a linguagem e ler os símbolos em que está composto. Ele está escrito na linguagem da matemática, e os seus caracteres são triângulos, círculos, e outras figuras geométricas, sem os quais é humanamente impossível entender uma única palavra do mesmo; sem eles, vagueamos num labirinto escuro (*The Assayer*, 1623, como citado por Keamey, 1964).

Por certo, não era apenas a geometria que ele considerava básica, mas também todos os aspectos da matemática, e, particularmente, toda sorte de quantificação de medida.

A "mecanização da imagem do mundo" – crença em um mundo supremamente ordenado, segundo a imagem de um mundo designado pelo criador para obedecer a um conjunto limitado de leis eternas (Maier, 1938; Dijksterhuis, 1961) – fez rápido progresso nos séculos seguintes, e alcançou o seu maior triunfo na unificação newtoniana da mecânica terrestre e celeste. Esses sucessos esplêndidos conduziram a um prestígio por assim dizer ilimitado da matemática. Isso culminou no famoso – ou afamado – dito de Kant "que, em qualquer ramo das ciências naturais, somente haverá ciência genuína na medida em que contiver matemática". Se isso fosse verdadeiro, onde a *Origin of Species* poderia aparecer como um trabalho científico? Sem surpresa alguma, Darwin tinha a matemática em baixo conceito (Hull, 1973: 12).

A fé cega na magia dos números e das quantidades talvez alcançou o seu clímax em meados do século XIX. Mesmo um pensador do discernimento de Merz (1896: 30) chegou a afirmar que

> a ciência moderna define o método, não o objetivo do trabalho. Ela se baseia no número e no cálculo – em suma, em processos matemáticos; e o progresso da ciência depende tanto da introdução de noções matemáticas em áreas que aparentemente não são matemáticas, quanto da extensão de métodos e conceitos matemáticos em si mesmos.

A despeito de refutações posteriores simplesmente devastadoras (Ghiselin, 1969: 21), filósofos de formação matemática ou física continuam a apegar-se ao mito da matemática, como sendo a rainha das ciências. Por exemplo, o matemático Jacob Bronowski (1960, p. 218) chegou a afirmar que

> hoje em dia, a nossa confiança em alguma ciência é, *grosso modo,* proporcional ao volume de matemática que ela emprega … Julgamos que a física é verdadeiramente uma ciência, contanto que ela não se apegue, de algum modo, ao mais informal odor (e ódio) do livro de receitas culinárias da química. Se avançarmos mais em frente para a biologia, depois para a economia, e por fim para os estudos sociais, perceberemos que estamos como que escorregando ladeira abaixo, longe da ciência.

Esses conceitos equivocados, em relação às ciências qualitativas e históricas, ou às ciências quê tratam de sistemas demasiadamente complexos para serem expressos em fórmulas matemáticas, culminaram na assertiva arrogante de que a biologia é uma ciência inferior. Isso conduziu a explicações matemáticas levianas e completamente distorcidas, em diversas áreas da biologia.

Ninguém ficou mais impressionado com a importância da matemática que Descartes, mas as consequências dessa admiração no seu pensamento foram completamente diferentes das ocorridas no pensamento de Galileu ou de Newton. Descartes impressionou-se com o rigor das provas

matemáticas e com a exatidão com que eram tiradas conclusões de premissas definidas, chegando ao ponto de afirmar que as leis da matemática foram ditadas por Deus, da mesma forma como um rei baixa leis para o seu reino. Descartes desenvolveu uma lógica em que os métodos da matemática eram usados estritamente de maneira dedutiva, de sorte a obter um conhecimento racional. Era uma estrutura de pensamento principalmente matemático, mais do que uma linguagem de equações ou de fórmulas matemáticas. Todavia, ele favoreceu explicações estritamente determinísticas e um pensamento essencialista. Leibniz, que seguiu a metodologia cartesiana, foi o fundador da lógica matemática.

Por mais absorvente que tenha sido o predomínio da matemática nas ciências, durante diversos séculos, houve vozes em contrário quase desde o princípio. Pierre Bayle (1647-1706) foi aparentemente o primeiro a negar a afirmação de que o conhecimento matemático era a única espécie de conhecimento alcançável pelo método científico. Ele dizia, por exemplo, que a certeza histórica não era inferior, mas simplesmente diferente da certeza matemática. Os fatos da história, como o que uma vez existiu o Império Romano, eram tão certos quanto qualquer coisa em matemática. Da mesma forma, um biologista poderia insistir que a existência, no passado, de dinossauros e trilobitas era tão certa quanto um teorema matemático. Um outro autor a lançar um ataque devastador às interpretações matemático-geométricas do mundo de Descartes foi Giambattista Vico. Ele asseverava que os métodos de observação, a classificação e as hipóteses eram com certeza aptos a fornecer um genuíno, embora modesto, conhecimento "exterior" do mundo material.

A história natural foi a segunda fonte de rebelião contra o ideal matemático da ciência de Galileu. Ela foi movida, em particular, por Buffon, que afirmava enfaticamente (*Oeuvr. Phil*.: 26) que alguns temas são excessivamente complicados para um uso aproveitável da matemática, colocando entre eles todas as partes da história natural. Aqui, a observação e a comparação eram os métodos apropriados. A *Histoire naturelle* de Buffon, por sua vez, influenciou decisivamente Herder, e por intermédio dele os românticos e a *Filosofia da natureza.* O próprio Kant, em 1790, abandonou a sua subserviência à matemática. Se a invalidade do ideal matemático da ciência não era óbvia antes, certamente acabou sendo com a publicação do *Origin of Species*.

Pode-se mencionar, incidentalmente, o quanto é enganoso referir-se à matemática como sendo a "rainha das ciências". É evidente que a matemática. é uma ciência tão pequena quanto a gramática é uma linguagem (comparável ao latim ou ao russo); a matemática é uma linguagem que se relaciona com todas as ciências, ou com nenhuma, conquanto em graus altamente variáveis. Existem algumas ciências, como as ciências físicas e grande parte da biologia funcional, em que a quantificação e outras abordagens matemáticas têm um alto valor explicativo ou heurístico. Outras ciências há, como a sistemática e grande parte da biologia evolutiva, em que as contribuições da matemática são muito menores.

De fato, uma aplicação imprudente da matemática nesses ramos da biologia conduziu, por vezes, a um pensamento tipológico, e por isso a concepções erradas. O geneticista Johannsen, por exemplo, foi vítima dessa tentação, e "simplificou" populações geneticamente variáveis em "linhas puras", perdendo com isso o verdadeiro sentido de "população" e tirando conclusões errôneas em relação à importância da seleção natural. Os fundadores da genética matemática de populações, da mesma forma, em nome de um tratamento matemático, supersimplificaram os fatores que entravam nas suas fórmulas. Isso conduziu a uma ênfase nos valores absolutos de adaptação dos genes, a uma supervalorização dos efeitos genéticos aditivos, e à admissão de que os genes, em vez dos

indivíduos, eram o alvo da seleção natural. Isso, invariavelmente, levou a resultados irreais.

Quando Darwin calculou que a terra devia ter mais do que um bilhão de anos, de modo a poder explicar os fenômenos da geologia e da filogenia, Lord Kelvin declarou-o enfaticamente errado, com base nos cálculos da perda de calor de um globo do tamanho do Sol: 24 milhões de anos era o máximo que ele podia permitir (Burchfield, 1975). É simplesmente divertido ver com que segurança Kelvin admitia a correção da sua própria determinação da idade, e o erro da dos naturalistas. Considerando que a biologia era uma ciência inferior, não podia haver dúvida sobre onde estava o erro. Kelvin jamais permitiu a possibilidade da existência de um fator físico desconhecido, que eventualmente viesse a validar os cálculos dos biologistas.. Nesse clima intelectual, os biologistas abandonaram o seu caminho para interpretar as suas descobertas em termos da simples física. Weismann (na sua primeira obra) explicava a hereditariedade como sendo devida a "movimentos moleculares", e Bateson, como sendo atribuída a "movimento de vórtices", explicações essas que simplesmente retardaram o progresso científico.

A situação mudou, de modo bastante dramático, durante os últimos cinquenta anos. O indeterminismo dos processos mais estritamente biológicos já não está em agudo contraste com o determinismo estrito dos processos físicos. O estudo dos efeitos de turbulência nas galáxias e nebulosas, bem como nos oceanos e nos sistemas climáticos, mostrou como são frequentes e poderosos os processos aleatórios na natureza inanimada. Tal conclusão não foi bem aceita por alguns cientistas, levando Einstein, por exemplo, a exclamar: "Deus não joga dados!" Todavia, processos estocásticos ocorrem em cada nível hierárquico, desde o núcleo atômico até os sistemas produzidos pela grande explosão. E os processos estocásticos, embora permitindo previsões mais probabilísticas (ou impossíveis) que absolutas, são tão causais como os processos determinísticos. Só que predições absolutas são impossíveis, devido ao fato da complexidade dos sistemas hierárquicos, do grande número de opções possíveis em cada fase, e das inumeráveis interações de processos que acontecem simultaneamente. Sistemas climáticos e nebulosas cósmicas, sob esse aspecto, não são, em princípio, diferentes dos sistemas vivos. O número de interações potencialmente possíveis, em sistemas tão altamente complexos, é demasiadamente elevado para permitir previsões, como atualmente todos se dão conta. Os estudiosos da seleção natural e de outros processos evolutivos, da mecânica quântica e da astrofísica chegaram a essa conclusão em tempos diferentes, e mais ou menos independentemente.

Por todos esses motivos, a física já não é mais o critério da ciência. Em particular, quando se trata do estudo do homem, é a biologia que fornece a metodologia e a conceituação. O presidente da França formulou essa convicção, com as seguintes palavras:

> Não há dúvida que a matemática, a física, e outras ciências, consideradas bastante indevidamente "exatas" (…), continuarão a apresentar descobertas surpreendentes – todavia, não posso evitar o pensamento de que a verdadeira revolução científica do futuro deverá vir da biologia.

Os conceitos nas ciências biológicas

Em vez de formular leis, os biologistas, usualmente, organizam as suas generalizações em

estruturas conceituais. Tem-se afirmado que leis *versus* conceitos não passa de uma diferença formal, uma vez que todo conceito pode ser traduzido em uma ou em diversas leis. Mesmo que isso fosse formalmente verdadeiro, coisa de que não estou absolutamente seguro, tal tradução seria de pouca utilidade no desempenho atual da pesquisa biológica. Faltam às leis a flexibilidade e o aproveitamento heurístico dos conceitos.

O progresso na ciência biológica é, talvez, em grande medida, uma questão de desenvolvimento desses conceitos, ou princípios. O progresso da sistemática caracterizou-se pela cristalização e refinamento de conceitos, tais como classificação, espécie, categoria, *taxa,* e assim por diante; a ciência evolutiva por conceitos, tais como descendência, seleção e aptidão. Conceitos-chaves semelhantes poderiam ser listados para cada ramo da biologia. [5]

O progresso científico consiste no desenvolvimento de novos conceitos, como seleção ou espécie biológica, e no repetido aperfeiçoamento das definições pelas quais esses conceitos são articulados. Particularmente importante é o reconhecimento ocasional que um termo mais ou menos técnico, que anteriormente se acreditava pudesse caracterizar ou designar um certo conceito, era na realidade utilizado para uma mistura de dois ou mais conceitos; assim, "isolamento", para isolamento geográfico e reprodutivo, "variedade" (como, por exemplo, usado por Darwin), para indivíduos e para populações, ou "teleológico", para quatro fenômenos diferentes.

É estranho que a filosofia da ciência deu tão pouca atenção à importância avassaladora dos conceitos. Por esse motivo, ainda não é possível uma descrição detalhada dos processos de descoberta e maturação dos conceitos. Mas é muito evidente, de qualquer maneira, que a contribuição maior dos mestres do pensamento biológico consistiu no desenvolvimento e no refinamento de conceitos, e, ocasionalmente, na eliminação de conceitos errôneos. A biologia evolucionista deve notavelmente grande parte desses conceitos a Charles Darwin; e a etologia a Konrad Lorenz.

A história dos conceitos, tão negligenciada até agora, é cheia de surpresas. "Afinidade" ou "parentesco", usados na sistemática pré-evolucionista para designar não muito mais do que simples similaridade, passaram a significar, após 1859, "proximidade de descendência", sem provocar qualquer confusão ou dificuldade. Mas, por outro lado, a tentativa de Hennig de transpor o termo "monofilético", de uma caracterização de um grupo taxionômico, para a caracterização de uma linhagem de descendência, causou penosos sobressaltos na taxionomia. O estudo dos conceitos, por vezes, revela sérias deficiências terminológicas em algumas línguas. O termo *resource,* por exemplo, tão importante para a ecologia (compartição de, competição para, e assim por diante), não tinha equivalente em alemão, até que a palavra inglesa foi germanizada para *Ressourcen.*

Há conceitos de natureza mais diversa. A biologia, por exemplo, beneficiou-se grandemente do apuro de conceitos quase filosóficos ou metodológicos, como causalidade próxima e evolutiva, ou a delimitação clara entre o método comparativo e o método experimental. O reconhecimento da existência de uma aproximação comparativa significou a introdução de um novo conceito na biologia.

As dificuldades no interior de uma ciência são particularmente grandes quando se introduz um conceito verdadeiramente novo. Isso aconteceu, por exemplo, com a introdução da idéia de população, como substituta do conceito de essência de Platão, ou com a introdução de conceitos como seleção, ou como genético (fechado) ou programas abertos. É isso que Kuhn, em parte, estava dizendo quando se referia a revoluções científicas.

Em alguns casos, a simples introdução de um termo novo, como "mecanismos de isolamento",

"taxionomia", ou "teleonômico", ajudou grandemente a esclarecer situações de conceitos anteriormente confusos. No mais das vezes, a barafunda conceitual teve que ser previamente eliminada, antes que a introdução de uma nova terminologia pudesse trazer algum benefício. Isso aconteceu com os termos "genótipo" e "fenótipo", de Johannsen (embora eles mesmos fossem um pouco confusos; veja Roll-Hansen, 1978a).

Uma outra dificuldade é apresentada pelo fato de que um mesmo termo pode ser usado para conceitos diferentes, em ciências diferentes, ou mesmo em disciplinas de uma mesma ciência. O termo "evolução" teve por vezes um significado muito diferente para embriologistas do século XVIII (Bonnet), ou para Louis Agassiz (1874), em comparação com o dos darwinianos; igualmente, ele significou algo muito diverso para a maioria dos antropologistas (pelo menos os direta ou indiretamente influenciados por Herbert Spencer) do que para os selecionistas. Muitas controvérsias célebres na história da ciência foram provocadas quase inteiramente pelo fato de que os adversários se referiam a conceitos muito diferentes, sobre o mesmo termo.

Na história da biologia, a formulação de definições comprovou-se como sendo muito difícil, e bom número de definições foi repetidamente modificado. Isso não deve causar surpresa, tendo em vista que as definições são verbalizações temporárias de conceitos, e os conceitos (particularmente os difíceis) são usualmente repetidas vezes revisados, quando crescemos os nosso conhecimento e intelecção. Isto é muito bem ilustrado pelas definições de conceitos como espécie, mutação, território, gene, indivíduo, adaptação e aptidão.

Há um aspecto metodológico da ciência, extremamente importante, que foi muitas vezes mal compreendido, e que foi a causa maior da controvérsia sobre os conceitos de homologia ou classificação. Trata-se da relação entre uma definição e a evidência que essa definição se efetiva num caso particular (Simpson, 1961: 68-70). Isso fica melhor ilustrado por meio de um exemplo: o termo "homólogo" já existia antes de 1859, mas adquiriu o seu atual significado consensual apenas depois que Darwin estabeleceu a teoria da descendência comum. Segundo essa teoria, a definição biologicamente mais significativa de "homólogo" é como segue: "Os traços de duas ou mais *taxas* são homólogos, quando derivam de um mesmo (ou correspondente) traço do seu ancestral comum". Mas qual a natureza da evidência que pode ser empregada para demonstrar uma provável homologia num caso dado? Existe todo um conjunto de tais critérios (como a posição de uma estrutura em relação a outras), mas seria completamente perturbadora a inclusão de tal evidência na definição de "homólogo", como foi feito por alguns autores. A mesma relação entre definição e a evidência da sua realização concreta também na definição de virtualmente todos os termos usados em biologia. Por exemplo, um autor poderia tentar uma "classificação filogenética", mas pode estar confiando inteiramente na evidência morfológica para inferir parentesco. Essa particularidade não faz com que seja uma classificação morfológica. A definição de espécie mais largamente aceita hoje em dia inclui o critério da comunidade reprodutor ("intergeração"). Um paleontólogo não tem como comprovar a intergeração nos seus materiais fósseis, mas pode usualmente juntar várias outras espécies de evidências (associação, similaridade, e assim por diante) para fortalecer a probabilidade de co-especificidade. A definição articula um conceito, mas não precisa incluir as evidências da sua realização.

A idéia de população versus *essencialismo*

O pensamento ocidental, durante mais de dois mil anos depois de Platão, foi dominado pelo essencialismo. Apenas no século XIX, começou a espalhar-se um modo novo e diferente de pensamento sobre a natureza, o assim chamado pensamento de população. O que é a idéia de população, e em que ela difere do essencialismo? Os pensadores de população acentuam a unicidade de cada coisa no mundo orgânico. O que para eles é importante é o indivíduo, não o tipo. Eles enfatizam que cada indivíduo, em espécies reproduzíveis sexualmente, é, de maneira única, diferente de todos os outros, existindo, inclusive, grande individualidade em elementos de reprodução uniparental. Não há indivíduos "típicos", e valores de significação são abstrações. Muito do que pelo passado foi designado em biologia como "classes" é de fato populações, constituídas de indivíduos únicos (Ghiselin, 1974b; Hull, 1976).

O pensamento de população existia em potencial na teoria leibniziana das mônadas, pois Leibniz postulava que cada mônada era individualisticamente diferente de qualquer outra mônada: um abandono maior do essencialismo. Todavia, o essencialismo estava tão fortemente arraigado na Alemanha, que a sugestão de Leibniz não resultou em qualquer pensamento de população. Quando finalmente ele veio a se desenvolver alhures, teve duas vertentes. Uma constituída pelos criadores ingleses de animais (Bakewell, Sebright, e muitos outros) que chegaram a perceber que cada indivíduo dos seus rebanhos tinha características hereditárias diferentes, com base no que eles selecionavam os machos e as matrizes para a próxima geração. A outra vertente foi a sistemática. Todo naturalista prático ficava impressionado com a observação de que, ao juntar uma "série" de indivíduos de uma única espécie, descobria que nem mesmo dois espécimens eram completamente iguais. Não foi apenas Darwin que acentuou isso, na sua obra sobre gansos, mas os seus próprios críticos colaboraram para esse ponto. Wollaston (1860), por exemplo, escreveu que

> entre as milhares de pessoas que nasceram no mundo, estamos seguros de que nem duas delas jamais foram precisamente iguais sob todos os aspectos; e, de modo semelhante, não seria excessivo afirmar o mesmo a respeito de todas as criaturas vivas que jamais existiram (por mais semelhantes que algumas delas possam parecer aos nossos olhos destreinados).

Afirmações semelhantes foram feitas por muitos taxionomistas da metade do século XIX. Tal unicidade se aplica não só aos indivíduos, mas também a cada estágio do ciclo de vida do indivíduo, e a agregações de indivíduos, seja que se trate de demes (grupos de células indiferenciadas), de espécies, ou de associações de plantas e animais. Considerando o grande número de genes, que ora são admitidos ora são eliminados de uma determinada célula, é perfeitamente possível que nem mesmo duas células do organismo sejam completamente iguais. Essa unicidade dos indivíduos biológicos implica que uma abordagem dos mesmos deve ser feita num espírito bem diferente da maneira como tratamos grupos de seres inorgânicos idênticos. Esse é o significado básico da idéia de população. As diferenças entre os indivíduos biológicos são reais, enquanto os valores de significação que podemos estipular na comparação de grupos de indivíduos (por exemplo espécies) são inferências externas. Essa diferença fundamental entre as classificações dos cientistas físicos e as populações dos biologistas traz várias consequências. Aquele, por exemplo, que não entende a unicidade dos indivíduos é incapaz de entender o funcionamento da seleção natural. [6]

As estatísticas do essencialista são totalmente diferentes das do populacionista. Quando medimos uma constante física – por exemplo, a velocidade da luz sabemos que em circunstâncias

equivalentes ela é constante, e que qualquer variação nos resultados observados é devida à inexatidão da medida, sendo que a estatística simplesmente indica o grau de confiabilidade dos nossos resultados. As estatísticas antigas, de Petty e Graunt a Quetelet (Hilts, 1973), eram estatísticas essencialistas, procurando chegar a valores verdadeiros, no intuito de superar os efeitos confusos da variação. Quetelet, um seguidor de Laplace, estava interessado nas leis determinísticas. Ele esperava, por esse método, poder chegar à calcular as características do "homem médio", isto é, a descobrir a "essência" do homem. A variação não passava de "erros" em tomo dos valores significativos.

Francis Galton foi talvez o primeiro a dar-se conta, plenamente, de que o valor de significação de populações biológicas variáveis não passa de uma construção. As diferenças de altura, dentro de um grupo de pessoas, são reais, e não o resultado da imprecisão da mensuração. Os parâmetros mais interessantes na estatística das populações naturais são a variação atual, o seu volume e a sua natureza. O volume da variação difere de caráter para caráter, e de espécie para espécie. Darwin não podia ter chegado à teoria da seleção natural se não tivesse adotado o pensamento de população. As afirmações radicais da literatura racista, por outro lado, quase sempre estão baseadas no pensamento essencialista (tipológico).

Tão importante quanto a introdução de novos conceitos, como a idéia de população, foi a eliminação, ou revisão, de conceitos errôneos. Este aspecto vem bem ilustrado pelo conceito de teleologia.

O problema da teleologia

Desde Platão, Aristóteles e os estóicos, prevalecia a crença (negada pelos epicuristas) de que existe um objetivo, um fim predeterminado, na natureza e nos seus processos. Os partidários dessa idéia, nos séculos XVII e XVIII – os teleologistas – viam claramente a expressão de um objetivo não apenas na *scala naturae,* culminando no homem, mas também na total unidade e harmonia da natureza e suas múltiplas adaptações. Em oposição aos teleologistas, estavam os mecanicistas estritos, que encaravam o universo como um mecanismo que funciona de acordo com leis naturais. Mas, de qualquer maneira, a aparente finalidade do universo, os processos orientados para um objetivo, no desenvolvimento dos indivíduos, bem como a adaptação dos órgãos eram algo por demais evidente para ser ignorado pelos mecanicistas. Como poderia um mecanismo ser dotado de todas essas propriedades, como puro resultado de leis, sem o concurso de causas finais? Talvez ninguém mais do que Kant tinha uma consciência aguda desse dilema. Ser a favor ou contra a teleologia permaneceu um grito de guerra ao longo do século XIX, entrando mesmo nos tempos modernos.

Somente nos últimos vinte e cinco anos, mais ou menos, a solução tomou-se evidente. Está bem claro hoje em dia que existem na natureza processos aparentes orientados para um fim, e que de forma alguma estão em conflito com uma explicação estritamente físico-química. Como tantas vezes acontece na história da ciência, a solução foi encontrada pela dissecação de um problema complexo, repartindo-o nos seus componentes. Ficou óbvio (Mayr, 1974d) que o termo "teleológico" tinha sido aplicado a quatro diferentes conceitos ou processos.

1. *Atividades teleonômicas*. A descoberta da existência de programas genéticos forneceu uma explicação mecânica para uma categoria de fenômenos teleológicos. Um processo fisiológico, ou um comportamento, que deve a sua orientação a um fim à operação de

um programa, pode ser designado "teleonômico" (Pittendrigh, 1958). Todos os processos de desenvolvimento individual (ontogenia), bem como todos os comportamentos aparentemente direcionados dos indivíduos, incidem nessa categoria, e se caracterizam por duas componentes: eles são guiados por um programa; e eles dependem da existência de algum termo, ou objetivo, previsto no programa que regula o comportamento. O termo final pode ser uma estrutura, uma função fisiológica ou uma situação estável, a conquista de uma nova posição geográfica, ou um ato comportamental consumado. Cada programa particular é o resultado da seleção natural, e é ajustado constantemente pelo valor seletivo do termo alcançado (Mayr, 1974d). Aristóteles chamou essas causas "as causas *do para quê*" (Gotthelf, 1976). Do ponto de vista da causalidade, é importante salientar que tanto o programa como os estímulos que desencadeiam o comportamento finalístico precedem no tempo aos aparentes movimentos em direção ao objetivo. Existem normalmente múltiplos expedientes de retroalimentação, que melhoram a precisão do processo teleonômico, mas o aspecto verdadeiramente característico do comportamento teleonômico é que há mecanismos que iniciam, ou "causam", esse comportamento voltado para o objetivo. Os processos teleonômicos são particularmente importantes na ontogenia, na fisiologia e no comportamento. Eles pertencem ao campo das causas próximas, mesmo que os programas tenham sido adquiridos ao longo da história da evolução. São as metas que determinam a pressão seletiva, a qual causa a construção histórica do programa genético.

2. *Processos teleomáticos.* Qualquer processo, particularmente algum que se relacione a objetos inanimados, em que um fim definido é alcançado estritamente como consequência das leis físicas, pode ser designado "teleomático" (Mayr, 1974d). Quando uma rocha que despenca alcança o seu ponto final, o chão, não estão aí implicados nenhuma busca do objetivo, nenhum comportamento intencional ou programado, mas apenas a conformidade com a lei da gravitação. É o que acontece com um rio que flui inexoravelmente para o oceano. Quando uma peça incandescente de ferro alcança um estado final, em que a sua temperatura e a do meio ambiente são iguais, o atingimento desse ponto é, mais uma vez, devido ao estrito cumprimento de uma lei física, a primeira lei da termodinâmica. O inteiro processo da evolução cósmica, desde o primeiro *big bang* até o tempo presente, é rigorosamente devido a uma sequência de processos teleomáticos, em que perturbações aleatórias são superimposições. As leis da gravitação e da termodinâmica situam-se entre as leis naturais que mais frequentemente governam os processos teleomáticos. O próprio Aristóteles tinha consciência da existência em separado dessa classe de processos, referindo-se a eles como sendo causados por "necessidade".
3. *Sistemas adaptados.* Os teólogos da teologia natural estavam particularmente impressionados com o plano de todas as estruturas responsáveis pelas funções fisiológicas: o coração, que foi feito para bombear o sangue pelo corpo; os rins, que foram feitos para eliminar os subprodutos do metabolismo protéico; o tubo intestinal, que realiza a digestão e torna as substâncias nutritivas aproveitáveis para o corpo, e assim por diante. Uma das conquistas mais decisivas de Darwin foi haver mostrado

que a origem e o aperfeiçoamento gradual desses órgãos podiam ser explicados por meio da seleção natural. É aconselhável, por isso, não usar o termo teleológico ("orientado a um fim") para designar órgãos que devem a sua adaptação a um *passado* processo seletivo. Aqui, uma linguagem de adaptação, ou selecionista, é mais apropriada (Munson, 1971; Wimsatt, 1972) do que uma linguagem teleológica, a qual pode implicar a existência de forças ortogenéticas como responsáveis pela origem desses órgãos.

Estudamos sistemas adaptados mediante indagações do porquê. Por que existem válvulas nas veias? Sherrington (1906: 235) acentuou essa questão, de modo muito apropriado, em relação ao reflexo:

> Não podemos (…) obter um devido proveito do estudo de um particular reflexo típico, a menos que possamos discutir o seu objetivo imediato como um ato de adaptação. (…) O objetivo de um reflexo parece um objeto de inquirição natural tão legítimo e urgente como o objetivo da coloração de um inseto ou de uma flor. E a importância para a fisiologia consiste em que o reflexo não pode realmente ser inteligível ao fisiologista, até que conheça a sua finalidade.

4. *Teleologia cósmica.* Embora Aristóteles tenha desenvolvido o seu conceito de teleologia com base no estudo do desenvolvimento individual, onde ele é inteiramente legítimo, eventualmente aplicou-o também ao universo como um todo. Tendo isso acontecido dois mil anos antes da proposição da teoria da seleção natural, Aristóteles só pôde pensar em duas alternativas ao defrontar-se com casos de adaptação: coincidência (acaso) ou objetivo. Desde que não pode ser coincidência que os dentes molares são sempre achatados e os incisivos sempre agudos, a diferença deve ser assinalada como objetivo. "Existe então finalidade, no que há e no que acontece na natureza". Por certo, são tantos os reflexos no universo, que aparentam um objetivo, que a causalidade final deve ser postulada. [7]

No devido tempo, esse conceito de teleologia cósmica, particularmente quando combinado com o dogma cristão, tornou-se o conceito predominante da teologia natural. É essa teleologia que a ciência moderna rejeita sem reservas. Não há, e nunca houve, qualquer programa com base no qual ocorreu uma evolução cósmica ou biológica. Se existe um aparente aspecto de progressão na evolução biológica, desde os procarióticos de dois ou três bilhões de anos atrás, até as plantas e os animais superiores, isso pode ser inteiramente explicado como o resultado de forças seletivas, geradas pela competição entre indivíduos e espécies, e pela colonização de novas zonas de adaptação.

Até que a seleção natural não fosse plenamente compreendida, muitos evolucionistas, desde Lamarck até H. F. Osbom e Teilhard de Chardin, postulavam a existência de uma força não-física (talvez mesmo não-material), que impelia o mundo vivo para cima, na direção de uma perfeição sempre maior (ortogênese). Não foi muito difícil para os biólogos materialistas mostrar que não há evidência de uma tal força, e que a evolução raramente produz a perfeição, bem como que o aparente progresso na direção de maior perfeição pode ser perfeitamente bem explicado pela seleção natural.

A linearidade de muitas tendências evolutivas é devida às inumeráveis coações que o genótipo e o sistema epigenético impõem na resposta às pressões seletivas.

A teoria da ortogênese foi recentemente reavivada por cientistas físicos obstinados. Eigen (1971), na sua história dos hiperciclos, está convencido de "que a evolução da vida (…) deve ser considerada um processo inevitável, a despeito do seu curso indeterminado". Monod (1974a: 22) refere-se a Eigen e a Prigogine como sendo "animistas", que deveram aos seus esforços o "haver mostrado, primeiramente, que a vida não podia deixar de aparecer sobre a terra, e, segundo, que a evolução não podia deixar de acontecer". Os biológistas, naturalmente, haveriam de rejeitar os aspectos determinísticos da teoria de Eigen, considerando que semelhantes conclusões podem ser baseadas muito melhor em processos imprevisíveis, constantemente "ordenados" pela seleção natural. Monod, na sua teoretização, curiosamente não soube reconhecer o devido peso da seleção natural.

A decomposição, em quatro títulos, do agregado de conceitos abrangidos pelo termo "teleológico" é de ordem a eliminar a teleologia como fonte de argumento. Seria desejável, todavia, que esses recentes avanços fossem mais amplamente conhecidos entre os não-biologistas. Por exemplo, muitos psicólogos, nas suas discussões sobre comportamento direcionado, ainda trabalham com conceitos tão indefiníveis, como "intenções", e "consciência", que tornam impossível uma análise objetiva. Desde que não temos como determinar quais animais (ou plantas) são dotados de intenções ou de consciência, o uso desses termos não acrescenta nada à análise; ao contrário, apenas a ofusca. O progresso na solução desses problemas depende de uma reconceitualização da intenção e da consciência, em termos do nosso novo entendimento evolutivo.

Características especiais dos organismos vivos

A questão por que alguns objetos da natureza são inanimados, enquanto outros são vivos, e quais são as características especiais dos organismos vivos já ocupou o pensamento dos antigos. Desde os tempos dos epicuristas e de Aristóteles, até as primeiras décadas deste século, sempre houve duas interpretações opostas sobre o fenômeno da vida. De acordo com uma das escolas – os mecanicistas – , os organismos não passam de máquinas, cujos movimentos podem ser explicados pelas leis da mecânica, da física e da química. Muitos mecanicistas dos séculos XVII e XVIII não chegavam a discernir uma diferença significativa entre uma pedra e um organismo vivo. Não compartilhavam ambos as mesmas características – gravidade, inércia, temperatura, e assim por diante – e não obedeciam às mesmas forças físicas? Quando Newton propôs a sua lei da gravitação, em termos puramente matemáticos, muitos dos seus seguidores postulavam uma força gravitacional invisível, mas estritamente materialista, para explicar tanto os movimentos planetários como a gravidade terrestre. Fazendo recurso à analogia, alguns biologistas invocaram uma força igualmente materialista invisível *(vis viva),* para explicar os processos vivos.

Autores posteriores, todavia, acreditavam que essa força vital era exterior ao domínio das leis físico-químicas. Continuaram, assim, a tradição que começou com Aristóteles e outros filósofos antigos. Essa escola vitalista opunha-se aos mecanicistas, acreditando que nos organismos vivos existem processos que não obedecem às leis da física e da química. O vitalismo teve os seus expoentes mesmo no século XX, sendo o embriologista Hans Driesch um dos últimos. De qualquer

modo, pelos anos 1920 ou 1930, os biologistas já praticamente rejeitavam universalmente o vitalismo, por duas razões principais. Em primeiro lugar, o vitalismo, virtualmente, abandona o reino da ciência, para cair num fator desconhecido, e presumivelmente desconhecível; e segundo, porque se tomou eventualmente possível explicar em termos físico-químicos todos aqueles fenômenos que, de acordo com os vitalistas, "demandavam" uma explicação vitalista. Pode-se dizer tranquilamente que, para os biólogos, o vitalismo foi um natimorto durante mais de cinquenta anos. Mas, curiosamente, nesse mesmo período, ainda foi defendido por bom número de físicos e filósofos.

O abandono do vitalismo foi possível pela rejeição simultânea do conceito tosco de que "os animais outra coisa não são do que máquinas". Como Kant, nos seus últimos anos, muitos biologistas deram-se conta de que os organismos vivos são diferentes da matéria inanimada, e que essa diferença devia ser explicada não postulando uma força vital, mas, antes, modificando drasticamente a teoria mecanicista. Tal teoria começa por admitir que nos processos, funções e atividades dos organismos vivos nada há que esteja em conflito com qualquer lei da física e da química, ou de fora delas. Todos os biologistas são inteiramente "materialistas", no sentido de que não reconhecem forças sobrenaturais, ou imateriais, mas apenas forças físico-químicas. Não aceitam, contudo, a explicação mecanicista ingênua de século XVII, e discordam da afirmação segundo a qual os animais "não são outra coisa" do que máquinas. Os biólogos organicistas acentuam o fato de que os organismos são dotados de muitas características que não têm paralelo no mundo dos objetos inanimados. O aparato explicativo das ciências físicas é insuficiente para dar conta dos sistemas vivos complexos, e, em particular, da interação entre informação historicamente adquirida e as respostas desses programas genéticos sobre o mundo físico. Os fenômenos vitais têm um objetivo mais amplo do que os fenômenos relativamente simples de que tratam a física e a química. É essa a razão por que é simplesmente impossível incluir a biologia na física, tanto quanto é impossível incluir a física na geometria.

Tentativas para definir a "vida" foram feitas com frequência. Tais esforços são simplesmente fúteis, pois hoje está perfeitamente claro que não há uma substância especial, um objeto, ou uma força que possam ser identificados com a vida. Contudo, os processos da vida podem ser definidos. Não há dúvida de que os organismos vivos possuem certos atributos que não se encontram, ou não se encontram da mesma maneira, nos objetos inanimados. Autores diversos salientaram características diversas, mas eu não consegui encontrar na literatura uma listagem adequada de tais traços. A lista que a seguir apresento é presumivelmente ao mesmo tempo incompleta e um pouco redundante. Ela poderá servir, de qualquer maneira, para a busca de uma melhor tabulação, para ilustrar os tipos de características pelas quais os organismos vivos diferem da matéria inanimada.

Complexidade e organização

A complexidade, por si só, não é uma diferença fundamental entre sistemas orgânicos e inorgânicos. Existem alguns sistemas inanimados altamente complexos (as massas do sistema climático do mundo, ou qualquer galáxia), mas existem também alguns sistemas orgânicos relativamente simples, como muitas macromoléculas. Os sistemas podem ter qualquer grau de complexidade, mas, em média, os sistemas no mundo dos organismos são infinitamente mais complexos do que os dos objetos inanimados. Simon (1962) definiu os sistemas complexos como sendo aqueles em que

> o todo é mais do que a soma das partes, não no sentido último, metafísico, mas no importante sentido pragmático, em que, dadas as propriedades das partes e as leis da sua interação, não é questão de menor importância inferir as propriedades do todo.

Aceito essa definição, exceto que podemos continuar a considerar alguns sistemas relativamente simples – como o Sistema Solar – tão complexos ainda, mesmo após termos conseguido explicar a sua complexidade. A complexidade dos sistemas vivos existe em todos os níveis, desde o núcleo (com o seu programa de DNA), até a célula, até cada sistema orgânico (como os rins, o fígado, ou o cérebro), o indivíduo, o ecossistema, ou a sociedade. Os sistemas vivos são invariavelmente caracterizados por sofisticados mecanismos de retroalimentação, desconhecidos, na sua precisão e na sua complexidade, em qualquer sistema inanimado. Eles têm a capacidade de responder aos estímulos externos, a capacidade de metabolismo (absorvendo ou liberando energia), bem como a capacidade de crescer e diferenciar-se.

Os sistemas vivos não possuem uma complexidade casual, ao contrário, são altamente organizados. Muitas estruturas de um organismo são sem sentido, quando separadas do organismo; asas, cabeça, pernas, rins não podem viver por si mesmos, mas apenas como partes do conjunto. Consequentemente, todas as partes têm um significado de adaptação, e podem ser capazes de realizar atividades teleonômicas. Uma tal adaptação mútua das partes não existe no mundo inanimado. Essa mútua co-adaptação das partes já era conhecida por Aristóteles, quando dizia: "Assim como cada instrumento e cada membro corporal servem a um fim parcial, isto é, a alguma especialização, assim também o corpo todo deve estar destinado a servir a alguma esfera plenária de ação" (*De Partibus* 1.5.645a 10-15).

Unicidade química

Os organismos vivos são compostos de macromoléculas, com as mais extraordinárias características. Por exemplo, há ácidos nucléicos que podem ser convertidos em polipeptídios, enzimas que servem de catalisadores nos processos metabólicos, fosfatos que permitem transferência de energia, e lipídios que podem construir membranas. Muitas dessas moléculas são tão específicas e tão unicamente capazes de realizar uma função particular, como a rodopsina nos processos, de fotorrecepção, que ocorrem no reino animal e das plantas sempre que há necessidade dessa particular função. Essas macromoléculas orgânicas não diferem, em princípio, das outras moléculas. Mas, de qualquer maneira, elas são muito mais complexas do que as moléculas de baixo peso molecular, que são as componentes regulares da natureza inanimada. As macromoléculas orgânicas maiores normalmente não se encontram na matéria inanimada.

Qualidade

O mundo físico é um mundo de quantificação (movimentos e forças newtonianos) e de ações de massa. Em contraste, o mundo vivo pode ser designado como um mundo de qualidades. Diferenças individuais, sistemas de comunicação, informações armazenadas, propriedades das grandes moléculas, interações em ecossistemas e muitos outros aspectos dos organismos vivos são

prevalentemente de natureza qualitativa. Pode-se traduzir esses aspectos qualitativos em aspectos quantitativos, mas com isso perde-se o real significado do respectivo fenômeno biológico, exatamente como se quisesse descrever uma pintura de Rembrandt em termos do comprimento de ondas da cor predominante, refletida por cada milímetro quadrado da obra.

De forma semelhante, muitas vezes na história da biologia os esforços diligentes para traduzir fenômenos biológicos qualitativos em termos matemáticos revelaram-se, finalmente, um completo fracasso, porque perderam o contato com a realidade. Os primeiros esforços no sentido de enfatizar a importância da qualidade, como os de Galeno, Paracelso e van Helmont, voltaram-se igualmente ao insucesso, por causa da escolha de parâmetros errados; mas foram os primeiros passos na direção certa. Os campeões da quantificação tendem a considerar as manifestações da qualidade algo não-científico, ou, na melhor das hipóteses, algo puramente descritivo e classificatório. Revelam, por esse viés, quão pequena é a sua compreensão dos fenômenos da natureza biológica. A quantificação é importante em muitos campos da biologia, mas não a ponto de excluir todo aspecto quantitativo.

Este é particularmente importante nos fenômenos relacionais, que são precisamente os fenômenos que dominam a natureza viva. Espécies, classificação, ecossistemas, comportamento comunicativo, regulação, bem como quase todos os outros processos biológicos dizem respeito a propriedades relacionais. Estas, na maioria dos casos, só podem ser expressas qualitativamente, não quantitativamente.

Unicidade e variabilidade

Em biologia, raramente lidamos com classes de entidades idênticas, mas quase sempre se estudam populações, que consistem em indivíduos únicos. Isso é válido para cada nível da hierarquia, das células aos ecossistemas. Muitos fenômenos biológicos, particularmente fenômenos de população, caracterizam-se por variações extremamente altas. Tipos de evolução, ou tipos de especiação, podem diferir entre si em três e até cinco ordens de magnitude, um grau de variabilidade que, raramente ou nunca, se encontra nos fenômenos físicos.

Enquanto as entidades nas ciências físicas, digamos átomos ou partículas elementares, possuem características constantes, as entidades biológicas caracterizam-se por sua mutabilidade. As células, por exemplo, alteram continuamente as suas propriedades, e assim também ocorre com os indivíduos. Todo indivíduo está sujeito a mudanças drásticas, desde o nascimento até a morte, isto é, desde o zigoto original, ao longo da adolescência, da idade adulta, da senectude, até a morte. Mais uma vez, não há nada parecido com isso na natureza inanimada, exceto em relação ao declínio radioativo, ao comportamento de sistemas altamente complexos (tais como a Torrente de Gulf, e sistemas climáticos), e a algumas vagas analogias na astrofísica.

Posse de um programa genético

Todos os organismos possuem um programa genético historicamente aperfeiçoado, codificado no DNA do núcleo do zigoto (ou no RNA, em alguns vírus). Nada de semelhante existe no mundo inanimado, exceto nos computadores, feitos por mão humana. A presença desse programa confere aos organismos uma peculiar dualidade, consistindo num fenótipo e num genótipo (veja Cap. 16). Dois aspectos desse programa devem ser especialmente enfatizados: o primeiro é que ele é o resultado de

uma história que remonta à origem da vida, e por isso incorpora as "experiências" de todos os antepassados (Delbrück, 1949). O segundo é que ele dota os organismos da capacidade de realizar processos e atividades teleonômicos, capacidade essa totalmente ausente no mundo inanimado. Exceto em relação à zona de penumbra da origem da vida, a posse de um programa genético é responsável por uma diferença absoluta entre os organismos e a matéria inanimada.

Uma das propriedades do programa genético é que ele consegue comandar a sua própria repetição precisa, bem como a de outros sistemas vivos, como organelos, células é organismos inteiros. Nada há exatamente igual na natureza inorgânica. Um erro ocasional poderá ocorrer durante a réplica (digamos um erro em dez mil ou em cem mil réplicas). Uma vez consumada tal mutação, ela passa a ser um traço constante do programa genético. A mutação é a fonte primária de toda variação genética.

A plena compreensão da natureza do programa genético foi alcançada pela biologia molecular, apenas em 1950, após haver elucidado a estrutura do DNA. Sem embargo, os antigos já haviam sentido que devia existir alguma coisa que ordenava a matéria bruta nos sistemas padronizados dos seres vivos. Como Delbrück (1971) salientou corretamente, os *eidos* de Aristóteles (embora considerado imaterial, por ser invisível) era virtualmente idêntico, no conceito, ao programa ontogenético do fisiologista evolutivo. O *moule intérieur* de Buffon era também uma descoberta nesse sentido. Todavia, foi necessário o surgimento da informática para que o conceito de um tal programa fosse realmente levado em consideração. O que é particularmente importante é que o programa genético em si mesmo permanece inalterado, enquanto emite as suas instruções para o corpo. O conceito global de programa é tão inovador que ainda encontra resistências por parte de muitos filósofos.

Natureza histórica

Um dos resultados da posse de um programa genético herdado é que as classes dos organismos vivos não se aproximam ou não se reconhecem primariamente pela similitude, mas pela descendência comum, isto é, por um conjunto de propriedades reunidas, devidas a uma história comum. Em decorrência disso, muitos dos atributos das classes, reconhecidos pelos lógicos, não são de forma alguma características próprias da espécie ou de ordenamentos superiores. Isso também é válido para as linhagens de células, na ontogenia. Em outras palavras, as "classes" do biologista muitas vezes não são equivalentes às "classes" do lógico. Isso deve ser lembrado em muitos aspectos relativos a definições, acima de tudo no que se refere à questão de saber se os critérios da espécie são "os indivíduos" ou as classes.

Seleção natural

A seleção natural, a reprodução diferenciada de indivíduos que diferem unicamente na sua superioridade de adaptação, é um processo que não tem equivalente exato nos processos de mudanças do mundo inanimado. Tendo em vista o quanto a seleção natural ainda continua sendo mal compreendida, vale a pena citar a arguta observação de Sewall Wright (1967a):

> O processo darwiniano do jogo contínuo entre o acaso e o processo seletivo não se situa no

meio termo entre a pura casualidade e o puro determinismo, mas sim nas suas consequências, completamente diferentes de uma e de outro, no seu aspecto qualitativo.

Tal processo, pelo menos nas espécies reproduzíveis sexualmente, é além disso caracterizado pelo fato de que, por meio de recombinação, se organiza um novo conjunto de genes, a cada geração, e com isso se instaura um começo novo e imprevisível, no procedimento seletivo da nova geração.

Indeterminismo

Foi discutida longamente entre biologistas e filósofos a questão de se os processos físicos e os processos biológicos diferem nos aspectos de determinismo e previsão. Infelizmente, considerações epistemológicos e ontológicas foram solidamente confundidas, e isso impediu uma boa solução.

A *previsão* do mundo está sendo usada em dois sentidos inteiramente diferentes. Quando o filósofo da ciência fala de previsão, ele tem em mente a *previsão lógica*, isto é, a conformidade da observação individual com uma teoria ou uma lei científica. A teoria da descendência comum de Darwin, só para dar um exemplo, permitiu a Haeckel a previsão de que "os elos perdidos" entre o macaco e o homem seriam encontrados nos documentos fósseis. As teorias são testadas mediante as previsões que elas permitem. Dado que as ciências físicas são um sistema de teorias com um alcance bem mais amplo do que a biologia, a previsão desempenha nelas um papel muito maior do que na biologia.

A previsão, no uso cotidiano, é uma inferência do presente no futuro; ela trata de uma sequência de eventos, ela é uma *previsão temporal*. Nas leis estritamente determinísticas da física, as previsões temporais absolutas são muitas vezes possíveis, como as previsões da ocorrência de eclipses. Mas as previsões temporais nas ciências biológicas são muito mais raramente possíveis. O sexo do próximo filho de uma família não pode ser previsto. Ninguém poderia ter previsto, no início do Cretáceo, que o florescente grupo dos dinossauros se extinguiria ao final daquela era. As previsões, na biologia, em média, são muito mais probabilísticas do que nas ciências físicas.

A existência dos dois tipos de previsão deve ser levada em conta quando se discutem causalidade e explicação. G. Bergmann define uma explicação causai como sendo tal "que, pertencendo a uma lei da natureza, permite fazer previsões sobre estados futuros de um sistema, quando é conhecido o seu estado no presente". Essencialmente, trata-sê aí apenas da tradução em outras palavras da notória pretensão de Laplace. Enunciados desse tipo foram rejeitados por Scriven (1959: 477), ao afirmar que a previsão (temporal) não é parte da causalidade e "que não se pode considerar explicações como insatisfatórias, quando elas (…) não são tais que permitiram a previsão do evento em questão".

Na biologia, e particularmente na biologia evolutiva, as explicações, ordinariamente, dizem respeito a narrativas históricas. Já no distante ano de 1909, Baldwin especificava duas razões por que os eventos biológicos são tão frequentemente imprevisíveis: a grande complexidade dos sistemas biológicos, e a frequência com que emergem novidades inesperadas nos níveis hierárquicos mais altos. Eu poderia enumerar diversas outras. Algumas delas podem ser consideradas indeterminações ontológicas, outras epistemológicas. Esses fatores não abalam o princípio da causalidade, concebido num sentido "pós-visto". [8]

Casualidade de um evento, em relação à sua significância. A mutação espontânea, causada por-

um erro na réplica do DNA, ilustra muito bem essa causa da indeterminação. Não há conexão alguma entre o evento molecular e sua significância potencial. O mesmo se aplica a eventos tais como permuta, segregação cromossômica, seleção gamética, seleção de parceiro, e a muitos outros aspectos da sobrevivência. Nem os fenômenos moleculares subjacentes, nem os movimentos mecânicos envolvidos em alguns desses processos estão relacionados aos seus efeitos biológicos.

Unicidade. As propriedades de um evento único, ou de uma entidade única recentemente produzida, não podem ser previstas (veja anteriormente).

Magnitude das perturbações estocásticas. Permito-me ilustrar os efeitos desse fator mediante um exemplo. Digamos que uma espécie consiste em um milhão de indivíduos diferentes e únicos. Cada indivíduo tem a possibilidade de ser morto por um inimigo, sucumbir a uma patogenia, enfrentar uma catástrofe da natureza, de padecer desnutrição, fracassar no encontro de um parceiro, ou perder a sua descendência antes que esta possa reproduzir. Estes são alguns dos numerosos fatores que determinam o êxito reprodutivo. Qual desses fatores será o verdadeiro agente, isso depende de constelações circunstantes altamente variáveis, as quais são únicas e imprevisíveis. Temos, assim, dois sistemas altamente variáveis (indivíduos únicos e constelações circunstanciais únicas) interagindo. É o acaso que determina, em larga medida, a forma como eles se entrelaçam.

Complexidade. Cada sistema orgânico é tão rico em retroalimentação, recursos homeostáticos, e de *caminhos múltiplos* possíveis, que uma descrição completa é simplesmente impossível. Por isso, é também impossível a previsão dos seus efeitos. Além do mais, a análise de um tal sistema requereria a sua destruição, impedindo, com isso, a própria efetivação da análise.

Emergência de qualidades novas e imprevisíveis nos níveis hierárquicos (isso será discutido mais detalhadamente a seguir).

As oito características apontadas, a par de algumas outras adicionais, a serem mencionadas mais adiante, na discussão sobre o reducionismo, tomam bem claro que um sistema vivo-é algo profundamente diferente de qualquer objeto inanimado. Ao mesmo tempo, nenhuma dessas características está em conflito com uma interpretação estritamente mecanicista do mundo.

Redução e biologia

A proclamação de uma autonomia da ciência dos organismos vivos, segundo manifestado pelos oito caracteres únicos ou especiais, anteriormente listados, teve acolhida bastante impopular junto a muitos cientistas físicos e a filósofos das ciências físicas. Eles reagiram, afirmando que a aparente autonomia do mundo da vida realmente não existe, mas que todas as teorias da biologia podem, pelo menos em princípio, ser reduzidas às teorias da física. Isto, segundo afirmam, restabelece a unidade da ciência. [1]

A assertiva de que o reducionismo é a única aproximação justificável é muitas vezes reforçada pela afirmação adicional de que a alternativa seria o vitalismo. Isso não é verdade. Mesmo que alguns anti-reducionistas tenham sido de fato vitalistas, virtualmente todos os anti-reducionistas recentes rejeitaram, de modo enfático, o vitalismo.

Hoje em dia, seria difícil encontrar uma palavra mais ambígua do que o verbo "reduzir". Ao estudar a literatura reducionista, descobrimos que o termo "redução" foi utilizado em pelo menos três sentidos diferentes (Dobzhansky e Ayala, 1974; Hull 1973b; Schaffner, 1969; Nagel, 1961).

Reducionismo constitutivo

Ele afirma que a composição material do organismo é exatamente a mesma que se encontra no mundo inorgânico. Além disso, estabelece que nenhum dos eventos e processos no mundo dos organismos vivos está em qualquer conflito com os fenômenos físico-químicos, em nível dos átomos e das moléculas. Tais afirmações são aceitam pelos modernos biologistas. A diferença entre a matéria inorgânica e os organismos vivos não consiste na substância de que são compostos, mas na organização dos sistemas biológicos. O reducionismo constitutivo, por isso, não é controvertido. Virtualmente, todos os biologistas aceitam as proposições do reducionismo constitutivo, e assim o fizeram (exceto os vitalistas) nos últimos duzentos anos ou mais. Os autores que aceitam o reducionismo constitutivo, mas rejeitam outras formas de redução, *não* são vitalistas, apesar das opiniões em contrário de alguns filósofos.

Reducionismo explicativo

Este tipo de reducionismo assevera que não se pode compreender um todo enquanto não é dissecado nos seus componentes, e estes, por sua vez, nos seus próprios componentes, e assim por diante até o nível ínfimo de integração. Nos fenômenos biológicos, isto significa reduzir o estudo de todos os fenômenos em nível molecular, isto é, "a biologia molecular é tudo na biologia". Sem dúvida, é bem verdade que tal reducionismo explicativo, por vezes, é iluminante. O funcionamento dos genes não era entendido, até que Watson e Crick estabelecessem a estrutura do DNA. Da mesma forma, na fisiologia, o funcionamento de um órgão em geral não é plenamente compreendido, até que sejam esclarecidos os processos moleculares, em nível de célula.

Há, contudo, diversas limitações severas em relação a uma tal redução explicativa. Uma delas é que os processos, no seu nível hierárquico mais elevado, são muitas vezes largamente independentes dos de níveis mais baixos. As unidades dos níveis mais baixos podem ser tão completamente integradas que operam como unidades nos níveis mais altos. O funcionamento de uma articulação, por exemplo, pode ser explicado sem um conhecimento da composição química da cartilagem. Além disso, ao substituir a superfície articulada por um plástico, como é feito na moderna cirurgia, pode-se restaurar completamente o funcionamento normal de uma articulação. Existem, provavelmente, tantos casos em que a dissecação de um sistema funcional nos seus componentes é inútil, ou pelo menos irrelevante, quanto outros em que isso oferece valor explicativo. Uma aplicação fácil da redução explicativa, na história da biologia, fez muitas vezes mais mal do que bem. Exemplos disso são a antiga teoria das células, que interpretava os organismos como sendo "um agregado de células", ou a primitiva genética de população, que considerava o genótipo um agregado de genes independentes, com constantes valores de adaptação.

O reducionismo analítico extremo é um fracasso, porque não consegue atribuir o valor apropriado à interação dos componentes de um sistema complexo. Um componente isolado, quase invariavelmente, tem características que são diferentes das do mesmo componente, quando faz parte do seu conjunto; e quando isolado não revela a sua contribuição para as interações. René Dubos (1965: 337) salientou bem as razões por que a aproximação atomizada é singularmente improdutiva, quando aplicada a sistemas complexos:

> Nos fenômenos vitais mais comuns, e provavelmente os mais importantes, as partes constitutivas são tão interdependentes que perdem o seu caráter, o seu sentido, e com certeza a sua existência própria, quando dissecadas dos conjunto funcional. Ao tratar de problemas de complexidade organizada, é por isso essencial investigar as situações em que diversos sistemas correlacionados funcionam de uma maneira integrada.

As conclusões mais importantes que podemos extrair de um estudo crítico do reducionismo explicativo é que os níveis inferiores das hierarquias, ou sistemas, fornecem apenas uma quantidade limitada de informações sobre as características e processos dos níveis superiores. Como bem o exprimiu o físico P. W. Anderson (1972: 393-396):

> Quanto maior a importância da partícula elementar, de que falam os físicos, para a natureza das leis fundamentais, tanto menor a relevância que essas partículas parecem ter para os problemas verdadeiramente reais do resto da ciência, e muito menos para a sociedade.

Quanto ao mais, é propriamente equivocado aplicar o termo "redução" a um método analítico.

Há muitas outras maneiras pelas quais a análise de sistemas biológicos complexos pode ser facilitada. A genética de animais, por exemplo, foi originariamente estudada em cavalos, vacas e cachorros, e outros mamíferos grandes. Os geneticistas, mais tarde, voltaram-se para as aves e várias espécies de roedores. Para obter mais numerosas gerações por ano, e talvez sistemas genéticos mais simples, os roedores foram substituídos, após 1910, na maioria dos laboratórios genéticos, pela *Drosophila melanogaster,* e por outras espécies de *Drosophila.* A isso se seguiu a mudança, nos anos 1930, para o *Neurospora* e outras qualidades de fungos (fermentos). Finalmente, a maior parte da genética molecular passou a ser realizada com bactérias (por exemplo, *Escherichia coli*) e vírus diversos. Acrescentando-se a uma mais rápida sequência de gerações, o esforço voltou-se para a procura de sistemas genéticos cada vez mais simples, deles extrapolando para sistemas mais complexos. De modo geral, esse objetivo coroou-se de pleno êxito, exceto o fato de que o sistema genético de procariotos (bactérias), e de vírus revelou-se, eventualmente, não perfeitamente comparável ao de eucariotos, em que o material genético é organizado em cromossomos complexos. Por esse motivo, a simplificação deve ser encarada com cuidado. Há sempre o perigo de passar-se a um sistema que, na sua simplicidade, seja a tal ponto diferente que não serve mais como comparação.

Reducionismo teórico

Esse tipo de reducionismo postula que as teorias e as leis, formuladas em um campo da ciência (usualmente um campo mais complexo, ou mais elevado na hierarquia), podem revelar-se como casos especiais de teorias e de leis formuladas em algum outro ramo da ciência. Quando isso ocorre efetivamente, um ramo da ciência foi "reduzido" a outro, na curiosa linguagem de certos filósofos da ciência. Para tomarmos um caso específico, a biologia é considerada como sendo reduzida à física, quando os termos da mesma são definidos em termos da física, e quando as suas leis são deduzidas das leis da física.

Essa redução teórica foi tentada repetidas vezes no seio das ciências físicas, mas de acordo

com Popper (1974), nunca com pleno êxito. Não tenho conhecimento de que alguma teoria biológica tenha jamais sido reduzida a uma teoria físico-química. A afirmação de que a genética tenha sido reduzida à química, após a descoberta da estrutura do DNA, RNA, e certas enzimas, não tem como ser justificada. É certo que a natureza química de numerosas caixas-pretas, na teoria genética clássica, foi confirmada, mas isso de forma alguma afetou a natureza da teoria da genética de transmissão. Por mais gratificante que seja poder suplementar a teoria clássica da genética por meio da análise química, isso não reduz minimamente a genética à química. Os conceitos essenciais da genética, tais como gene, genótipo, mutação, diploidia, heterozigoticidade, segregação, recombinação, e assim por diante, não são de forma alguma conceitos químicos, e debalde procurar-se-ia por eles nos manuais de química.

O reducionismo teórico é uma falácia, porque confunde *processos* e *conceitos*. Como Beckner (1974) acentuou, processos tais como meiose, gastrulação e predação são também processos químicos e físicos, mas só biologicamente são conceitos, e não podem ser reduzidos a concepções físico-químicas. Além disso, qualquer estrutura adaptada é resultado da seleção, mas isso, mais uma vez, é um conceito que não pode ser expresso em termos estritamente físico-químicos.

Trata-se de uma falácia, porque deixa de levar em consideração o fato de que o mesmo evento pode ter sentidos inteiramente diferentes, em diversos esquemas conceituais diferentes. O cortejo de um macho, por exemplo, pode ser inteiramente descrito na linguagem e na estrutura conceitual das ciências físicas (locomoção, movimentação de energia, processos metabólicos, e assim por diante), mas pode também ser descrito mediante o aparato da biologia comportamental ou reprodutiva. O mesmo se aplica a muitos outros eventos, propriedades, relações e processos relativos aos organismos vivos. Espécie, competição, território, migração e hibernação são exemplos de fenômenos de organismos, para os quais uma descrição puramente física é, na melhor das hipóteses, incompleta, e em geral biologicamente irrelevante.

Essa discussão do reducionismo pode ser resumida, dizendo que a análise de sistemas é um método válido, mas que as tentativas de "redução" de conceitos ou fenômenos puramente biológicos a leis das ciências físicas raramente, ou nunca, têm conduzido a qualquer avanço na nossa compreensão. A redução é quando muito uma aproximação inócua, mas com muito maior frequência completamente enganadora e fútil. Essa futilidade é particularmente bem ilustrada pelo fenômeno da emergência.

Emergência

Os sistemas quase sempre têm a peculiaridade de que as características do todo, por mais completo que seja, não podem (nem mesmo em teoria) ser deduzidas do conhecimento das partes, consideradas em separado ou em outras combinações parciais. Esse aparecimento de características novas nos conjuntos foi designado *emergência.* [9] A emergência, muitas vezes, foi invocada nas tentativas de explicar fenômenos tão difíceis como a vida, a mente e a consciência. Atualmente, a emergência é também uma característica de sistemas inorgânicos. Já em 1868, T. H. Huxley afirmava que as propriedades peculiares da água, a sua "aquosidade", não podiam ser deduzidas do nosso entendimento das propriedades do hidrogênio e do oxigênio. Mas a pessoa que, mais do que ninguém, foi responsável pelo reconhecimento da importância da emergência foi Lloyd Morgan (1894). Não há

dúvida, disse ele, "que, nos vários graus de organização, as configurações materiais revelam fenômenos novos e inesperados, e que estes envolvem os traços mais evidentes do maquinismo de adaptação". Tal emergência é simplesmente universal, e, como disse Popper, "nós vivemos num universo de novidade emergente" (1974: 281). A emergência é uma noção descritiva que, particularmente nos sistemas mais complexos, parece resistir à análise. Dizer simplesmente, como foi dito, que a emergência é devida à complexidade não é evidentemente uma explicação. Talvez as duas características mais interessantes de conjuntos novos são (1) que eles, por sua vez, podem tomar-se partes de sistemas de nível mais elevado, e (2) que esses mesmos conjuntos podem afetar as propriedades dos componentes nos níveis inferiores. O último fenômeno é, por vezes, designado "causalidade para baixo" (Campbell, 1974: 182). O emergentismo é uma filosofia inteiramente materialística. Aqueles que o negam, como Rensch (1971; 1974), são forçados a adotar o panpsiquismo, ou teorias hilozóicas da matéria.

Duas afirmações falsas sobre o emergentismo devem ser rejeitadas. A primeira é que os emergentistas são vitalistas. Tal assertiva, por certo, era válida para alguns emergentistas do século XIX e começo do século XX, mas não é válida para os emergentistas modernos, que aceitam a redução constitutiva sem reservas, e são assim, por definição, não-vitalistas. A segunda é a declaração de que é próprio do emergentismo acreditar que os organismos só podem ser estudados como um todo, devendo ser rejeitada qualquer outra espécie de análise. Pode ser que houve alguns holistas que emitiram essa proposição, mas esse ponto de vista é certamente alheio a 99% de todos os emergentistas. Tudo o que afirmam é que a redução explicativa é incompleta, desde que emergem caracteres novos e antecipadamente não previsíveis, em níveis superiores de complexidade dos sistemas hierárquicos. Daí que sistemas complexos devem ser estudados a cada nível, pois cada nível é dotado de propriedades que não se revelam nos níveis inferiores.

Alguns autores recentes têm rejeitado o termo "emergência" como sendo contaminado de um indesejável saibo metafísico. Simpson (1964b) referiu-se a ele como um método "composicional", e Lorenz (1973), como uma fulguração. De qualquer maneira, tantos são os autores que hoje em dia adotaram o termo "emergência" – e, como o termo "seleção", ele foi "purificado" pelo frequente uso nesse sentido (eliminando-se as conotações vitalista e finalista) – que não vejo razões para não adotá-lo.

A estrutura hierárquica dos sistemas vivos

Os sistemas complexos, com muita frequência, são dotados de estrutura hierárquica (Simon, 1962), em que os elementos de um nível compõem-se em novas entidades no próximo nível superior, como células em tecidos, tecidos em órgãos, e órgãos em sistemas funcionais. A organização hierárquica também está presente no mundo inanimado, como, por exemplo, partículas elementares, átomos, moléculas, cristais, e assim por diante, mas é nos sistemas vivos que a estrutura hierárquica adquire especial significação. Pattee assegura (1973) que todos os problemas da biologia, particularmente aqueles que se relacionam com a emergência (veja a seguir), são, em última instância, problemas de organização hierárquica.

A despeito do interesse largamente difundido em relação às hierarquias, estamos ainda bastante inseguros no que concerne à classificação das hierarquias, e aos atributos especiais das diferentes espécies de hierarquias. Em biologia, aparentemente, tratamos de duas espécies de hierarquias. Uma

delas é representada pelas *hierarquias constitutivas,* como a série macromolécula, organelo celular, célula, tecido, órgão, e assim por diante. Em tal hierarquia, os membros de um nível inferior, digamos os tecidos, são combinados em novas unidades (órgãos), que possuem funções unitárias e propriedades emergentes. A formação de hierarquias constitutivas é uma das propriedades mais características dos organismos vivos. Em cada nível há diferentes problemas, diferentes questões a serem colocadas, e diferentes teorias e serem formuladas. Cada um desses níveis deu origem a um ramo em separado da biologia: moléculas à biologia molecular, as células à citologia, os tecidos à histologia, e assim por diante, até a biogeografia e ao estudo dos ecossistemas. Tradicionalmente, o reconhecimento desses níveis hierárquicos tem sido uma das formas da subdivisão da biologia em campos distintos. A que nível particular um pesquisador virá a se dedicar, isso depende dos seus interesses. Um biologista molecular, simplesmente, não está interessado nos problemas estudados pelo morfologista funcional, ou pelo zoogeógrafo, e vice-versa. Os problemas e as descobertas em outros níveis são, de modo geral, largamente irrelevantes para os profissionais de um nível hierárquico determinado. Para a plena compreensão dos fenômenos vitais, cada nível deve ser estudado, mas, como acentuado anteriormente, as descobertas realizadas nos níveis inferiores normalmente acrescentam muito pouco para a solução dos problemas colocados nos níveis superiores. Quando um bem conhecido prêmio Nobel, laureado em bioquímica, disse que "existe apenas uma biologia, e essa é a biologia molecular", ele simplesmente revelou a sua ignorância e a falta de compreensão da biologia.

Com tantos componentes integrando o funcionamento de um sistema biológico, é questão de estratégia e interesse para o cientista profissional decidir sobre o estudo de qual nível terá condições de trazer a maior contribuição para o pleno entendimento do sistema, nas presentes circunstâncias. Isso envolve a decisão de deixar certas caixas-pretas fechadas.

Um tipo de hierarquia completamente diferente pode ser designado uma *hierarquia agregacional. O* seu paradigma mais conhecido é a hierarquia lineana de categorias taxionômicas, desde a espécie, através do gênero e família, até o filo e o reino. É estritamente um arranjo de conveniência. As unidades do nível inferior – por exemplo, as espécies de um gênero, ou os gêneros de uma família – não compõem qualquer iteração para fazer emergir unidade de nível superior como um todo. Em vez disso, o taxionomista lista grupos de *taxas* em cada categoria superior. A validade dessa proposição não vem enfraquecida pelo fato de que os membros de uma categoria superior (natural) sejam descendentes de um ancestral comum. Tais hierarquias, produzidas pela designação de grupos sucessivos como categorias, são essencialmente desprovidas de plano classificatório. Desconheço em que medida poderia ainda haver outros tipos de hierarquias.

Holismo-organicismo

Os biologistas conscientes, desde os tempos de Aristóteles, nunca se deram por satisfeitos com uma aproximação puramente atomista-reducionista para os problemas da biologia. Muitos biologistas, simplesmente, colocaram toda a ênfase no todo, isto é, na integração dos sistemas. Outros puseram de lado explicações científicas, para invocar forças metafísicas, O vitalismo era a explicação favorita, até dentro do século XX. Quando Smuts (1926) introduziu o conveniente termo "holismo" para exprimir que o todo é maior do que a soma das suas partes, ele combinou isso com idéias vitalistas, que infelizmente corromperam desde o seu princípio o termo "holismo", de resto

adequado. Os termos "organísmico" e "organicismo" foram aparentemente introduzidos por Ritter (1919), e são ainda hoje amplamente usados, por exemplo por Beckner (1974: 163). Bertalanffy (1952) listou uns trinta autores que declararam a sua simpatia por uma aproximação holístico-organísmica. Todavia, essa lista é muito incompleta, não incluindo nem mesmo os nomes de Lloyd Morgan, Jan Smuts e J. S. Haldane. O conceito de *integron,* de François Jacob (1970), é um endosso particularmente bem fundamentado do pensamento organísmico.

Em contraste com as proposições holísticas mais antigas, que usualmente eram mais ou menos vitalistas, as mais recentes são estritamente materialistas. Elas acentuam que as unidades em níveis hierárquicos superiores são mais do que a soma das suas partes, e que por isso a dissecação das partes deixa sempre um resíduo não solucionado – em outras palavras, que a redução explicativa é malsucedida. Mais importante ainda, elas acentuam a autonomia dos problemas e teorias de cada nível, e finalmente a autonomia da biologia como um todo. A filosofia da ciência já não pode permitir-se ignorar o conceito organísmico da biologia, como se ela fosse vitalista, e por isso pertencendo à metafísica. Uma filosofia da ciência, restrita ao que pode ser observado nos objetos inanimados, é deploravelmente incompleta.

Há muitos cientistas que se concentram no estudo de objetos e processos isolados. Ocupam-se com eles, como se existissem num vácuo. Talvez o aspecto mais importante do holismo seja o fato de dar ênfase ao parentesco. Eu, pessoalmente, sempre senti que não foi dado o devido peso às relações. É esse o motivo por que chamei o conceito de espécie como sendo um conceito relacionai, e por que os meus trabalhos sobre a revolução genética (1954) e sobre a coesão do genótipo (1975) tratam de fenômenos relacionais. O meu ataque à genética do saco-de-feijão (1959b) procede da mesma fonte (veja o Capítulo 13).

Houve também outros que pensaram da mesma maneira. O pintor Georges Braque (1882-1963) declarou: "Eu não acredito em coisas, acredito somente em suas relações". Einstein, evidentemente, baseou toda a sua teoria da relatividade na consideração da relação. E eu mesmo, ao discutir os valores seletivos e cambiantes do gene, em ambientes genéticos diferentes, chamei esse conceito, um pouco brincando, de teoria da relatividade dos genes.

A estrutura conceitual da biologia

Ao fazer a comparação da biologia com as ciências físicas, tratei até agora da biologia como se ela fosse uma ciência homogênea. Isso não é correto. Atualmente, a biologia é diversificada e homogênea, em direções múltiplas e diferentes. Durante milhares de anos, os fenômenos biológicos foram encarados sob dois rótulos: medicina (fisiologia) e história natural. Isso se revelou, atualmente, como sendo uma divisão de notável bom discernimento, muito mais penetrante do que essas recentes etiquetas de conveniência, como zoologia, botânica, micologia, citologia, ou genética. A razão disso é que a biologia pode ser dividida entre o estudo das causas próximas, objeto das ciências fisiológicas (em sentido lato), e o estudo das causas últimas (evolutivas), objeto da história natural (Mayr, 1961).

O que são as causas próximas e as causas evolutivas pode ser mais claramente ilustrado por meio de um exemplo concreto. Por que um determinado indivíduo de ave canora, da Norte América temperada, principia sua migração para o sul, na noite de 25 de agosto? As causas próximas são que

o pássaro, pertencendo a uma espécie migratória, correspondendo à fotoperiodicidade, achou-se fisiologicamente preparado para migrar nessa data, uma vez que o número das horas do dia alcançou um certo limite, e desde que as condições do tempo (vento, temperatura, pressão barométrica) foram favoráveis à partida naquela noite. Já uma coruja e um pica-pau, habitando no mesmo território, expostos ao mesmo declínio da luz do dia e às mesmas condições do tempo, não partem para o sul; na realidade, essas outras espécies permanecem na mesma área durante todo o ano, por serem desprovidas da urgência migratória. Obviamente, então, deve haver um segundo conjunto de fatores causais, inteiramente diferentes, para explicar a diversidade entre espécies migratórias e espécies sedentárias. Consiste ele um genótipo adquirido por meio da seleção natural, ao longo de milhares e milhões de anos de evolução, determinando se uma população, ou espécie, é ou não é migratória. Um pássaro insetívoro, ou comedor de insetos, teria sido selecionado para emigrar, porque, caso contrário, morreria de fome durante o inverno. Outras espécies, que conseguem achar a sua comida durante o inverno, foram selecionadas para evitar a migração perigosa e, para elas, desnecessária.

Dando um outro exemplo, a causa próxima do dimorfismo sexual pode ser fatores hormonais, ou determinado desenvolvimento genético, enquanto a seleção natural ou uma vantagem seletiva de utilização diferenciada das condições de alimentação pode ser a causa última. Qualquer fenômeno biológico se explica por esses dois tipos diferentes de causalidade.

Há uma considerável incerteza em relação à origem da terminologia próximo-último. Herbert Spencer e Georges Romanes usaram esses termos num sentido bastante vago, mas John Baker, aparentemente, foi o primeiro autor a distinguir claramente entre causas últimas, responsáveis pela evolução de um determinado programa genético (seleção), e causas próximas, responsáveis, por assim dizer, pela liberação da informação genética armazenada, em resposta aos presentes estímulos ambientais:

> Dessa forma, a abundância de alimentação de insetos, para os filhotes (em determinados meses), pode ser a causa última, e o comprimento do dia, a causa próxima, de uma temporada de procriação (Baker, 1938: 162).

As duas biologias, decorrentes dos dois tipos de causalidade, são marcadamente auto-suficientes. As causas próximas dizem respeito às funções de um organismo e às suas partes, bem como ao seu desenvolvimento, desde a morfologia funcional até a bioquímica. Por outro lado, as causas evolutivas, históricas, ou causas últimas, procuram explicar por que um organismo é do jeito que é. Os organismos, em contraste com os objetos inanimados, têm dois grupos diferentes de causas, pois os organismos possuem um programa genético. As causas próximas tratam da decodificação do programa de um indivíduo determinado; as causas evolutivas tratam das mudanças dos programas genéticos ao longo do tempo, e das razões dessas mudanças.

O biologista funcional atém-se vitalmente à operação e interação dos elementos estruturais, desde as moléculas até os órgãos, e o indivíduo inteiro. A sua pergunta sempre reiterada é "por quê"? Como algo se opera, como funciona? O anatomista, que estuda uma articulação, partilha o seu método e aproximação com o biologista molecular, que estuda a função das moléculas do DNA na transferência de informações genéticas. O biologista funcional procura isolar a componente particular sob exame, e em qualquer estudo determinado, normalmente lida com um único indivíduo, um único órgão, uma única célula, uma única parte de uma célula. Ele se debruça sobre o controle e

eliminação de todas as variáveis, e repete as suas experiências, sob condições constantes ou variáveis, até que acredite haver esclarecido a função do elemento que está estudando. A principal técnica do biologista funcional é o experimento, e a sua aproximação é essencialmente a mesma do físico e do químico. Por certo que, isolando suficientemente o objeto estudado das complexidades do organismo, ele está em condições de realizar o ideal de um experimento puramente físico, ou químico. A despeito de certas limitações desse método, devemos concordar com o biologista funcional, no sentido de que tal aproximação simplificada é absolutamente necessária para atingir os seus objetivos particulares. O sucesso espetacular da pesquisa bioquímica e biofísica justifica essa aproximação direta, embora claramente simplista (Mayr, 1961). Há pouca discussão em tomo da metodologia e dos êxitos da biologia funcional, desde William Harvey até Claude Bernard e a biologia molecular.

Todo organismo, seja ele um indivíduo ou uma espécie, é o produto de uma longa história, história que remonta a mais de três mil milhões de anos. Como disse Max Delbrück (1949: 173),

> Um físico abalizado, familiarizando-se pela primeira vez com os problemas da biologia, fica intrigado pelo fato de não existirem "fenômenos absolutos" em biologia. Cada coisa está ligada ao tempo e ao espaço. O animal, a planta, ou o microorganismo com que venha a se ocupar não passam de um elo na cadeia evolutiva de formas cambiantes, não tendo nenhuma delas uma validade permanente.

Dificilmente existe uma estrutura, ou função, ou organismo, que possa ser plenamente compreendido, se não for confrontado com o estudo do seu fundo histórico. Encontrar as causas das características atuais dos organismos, e particularmente das suas adaptações, constitui a preocupação principal do biólogo evolucionista. Este fica impressionado pela enorme diversidade, bem como pelos caminhos, pelos quais isso pôde acontecer. Ele estuda as forças que determinam as mudanças na fauna e na flora (como parcialmente documentado pela paleontologia), e estuda os passos pelos quais evoluíram as adaptações miraculosas, tão características de cada aspecto do mundo orgânico.

Na biologia evolutiva, quase todos os fenômenos e processos são explicados por inferências, baseadas em estudos comparativos. Estes, por sua vez, tomaram-se possíveis mediante estudos descritivos muito cuidadosos. As vezes, perde-se de vista o quanto o subjacente trabalho descritivo é um componente essencial no método da biologia evolutiva. Os desbravamentos conceituais de Darwin, Weismann, Jordan, Rensch, Simpson e Whitman teriam sido simplesmente impossíveis sem o sólido fundamento da pesquisa descritiva, sobre o qual puderam erigir o seu edifício conceitual (Lorenz, 1973). A história, por necessidade, era estritamente descritiva nos seus começos, e assim foi também com a primitiva anatomia. Os esforços dos sistematizadores do século XVIII e do princípio do século XIX, no sentido da classificação da diversidade da natureza, elevaram-se mais e mais acima da simples descrição. Após 1859, a autonomia da biologia evolutiva, como disciplina biológica legítima, já não era mais posta em questão.

A biologia funcional, muitas vezes, tem sido designada como sendo quantitativa; em contrapartida, em muitos casos é perfeitamente legítimo referir-se à biologia evolutiva como sendo qualitativa. O termo "qualitativo" era uma designação pejorativa, durante o período antiaristotélico da revolução científica. A despeito dos esforços de Leibniz e de outros autores penetrantes, essa situação permaneceu até a revolução darwiniana. Sob o seu impacto libertador, ocorreu uma

mudança no clima intelectual, tornando possível o desenvolvimento da biologia evolutiva.

Tal revolução, porém, não foi de pronto bem-sucedida. Muitos cientistas físicos e biólogos funcionais fracassaram profundamente na compreensão da natureza especial da biologia evolutiva. Driesch, na sua autobiografia, escrita pelos anos 1930, comenta com uma considerável satisfação que a docência da biologia é hoje cometida "unicamente aos experimentalistas. Os problemas sistemáticos retrocederam inteiramente aos fundos do quintal". Ele ignorou totalmente a existência da biologia evolutiva. Essa atitude era largamente difundida entre os biologistas experimentais.

Haeckel (1887) foi talvez o primeiro biologista a objetar vigorosamente a noção de que toda a ciência devia ser como a ciência física, ou baseada na matemática. A biologia evolutiva, insistia ele, é uma ciência histórica. Particularmente os estudos da embriologia, da paleontologia e da filogenia são históricos, dizia. Em vez de "históricos", talvez hoje poderíamos dizer "regulados por programas genéticos historicamente adquiridos, e por suas mudanças no tempo histórico". Infelizmente, esse ponto de vista teve um progresso apenas lento. Quando Baldwin, em 1909, salientava o quanto a aceitação do darwinismo tinha mudado o pensamento dos biólogos, concluía que "o reinado da ciência física e da lei mecânica sobre a mentalidade científica e filosófica está superado hoje, no limiar do século XX". Ele estava enganado nesse otimismo; ainda existem muitos filósofos que escrevem como se Darwin nunca tivesse existido, e como se a biologia evolutiva não fizesse parte da ciência.

Narrativas históricas e biologia evolutiva

A filosofia da ciência, quando foi desenvolvida pela primeira vez, baseava-se solidamente na física, mais especificamente na mecânica, onde os processos e os eventos podem ser explicados como consequências de leis específicas, com previsão em simetria com a causalidade. Em contraste, os fenômenos científicos ligados a uma história não se enquadram bem nessa conceitualização. Como afirmou corretamente o físico Hermann Bondi (1977: 6),

> qualquer teoria sobre a origem do Sistema Solar, sobre a origem da vida na Terra, sobre a origem do universo, é de natureza excepcional (quando comparada com as teorias convencionais da física), onde se procura descrever o evento em certo sentido único.

A unicidade, efetivamente, é a característica predominante de qualquer evento da história evolutiva.

Por esse motivo, diversos filósofos da ciência arguíram que as explicações na biologia evolutiva não são proporcionadas por teorias, mas por "narrativas históricas". Segundo afirmou T. A. Goudge (1961: 65-79):

> As explicações narrativas entram na teoria evolucionista em pontos em que se discutem eventos singulares da maior importância para a história da vida (…) As explicações narrativas são armadas sem menção a qualquer lei geral (…) Sempre que a explicação narrativa de um evento evolutivo é invocada, esse evento não é a instância de um tipo (classe), mas sim uma ocorrência singular, algo que aconteceu apenas uma vez, e que não pode repetir-se (da mesma maneira) (…) As explicações históricas constituem uma parte

essencial da teoria evolucionista.

Morton White (1963) desenvolveu mais longamente essas idéias. A noção de temas centrais é crucial na estrutura lógica das narrativas históricas. Qualquer linha filética, qualquer fauna (na zoogeografia), ou qualquer *taxa* superior constituem assunto central, em termos da teoria da narrativa histórica, e têm continuidade ao longo do tempo. As ciências em que a narrativa histórica desempenha um papel importante incluem a cosmogonia, a geologia, a paleontologia (filogenia) e a biogeografia.

As narrativas históricas têm valor explicativo porque os eventos mais antigos de uma sequência histórica normalmente constituem uma contribuição causai para eventos posteriores. Por exemplo, a extinção dos dinossauros, ao final do Cretáceo, abriu o espaço para grande número de nichos ecológicos, e com isso proporcionou o cenário para o florescimento espetacular dos mamíferos, durante o Paleoceno e o Eoceno. Um dos objetivos da história narrativa, por isso, é descobrir as causas responsáveis pelos acontecimentos seguintes.

Os filósofos treinados nos axiomas da lógica essencialista parecem ter grande dificuldade de entender a natureza peculiar da unicidade e das sequências históricas de acontecimentos. Os seus esforços, no sentido de negar a importância das narrativas históricas, ou de axiomatizá-las em termos de leis gerais, não chegam a convencer.

O aspecto mais característico da biologia evolutiva são as questões que põe. Em vez de concentrar-se no o quê?, como faz a biologia das causas próximas, ela pergunta pelo por quê? Por que certos organismos são muito semelhantes a outros, enquanto outros são profundamente diferentes? Por que existem dois sexos na maioria das espécies de organismos? Por que há uma tão grande diversidade entre a vida animal e a da planta? Por que as faunas de algumas áreas são ricas em espécies, e outras são pobres?

Se um organismo possui certas características, elas devem ter derivado das de um ancestral, ou elas foram adquiridas, por gozarem de vantagens seletivas. A questão do "por quê", no sentido de "para quê", não tem sentido no mundo dos objetos inanimados. Pode-se perguntar "Por que o Sol é quente?", mas somente no sentido de "como isso acontece"? Em contraste, no mundo vivo, a questão "para quê?" tem um poderoso valor heurístico. A indagação sobre "por que existem válvulas nas veias" contribuiu para a descoberta de Harvey em relação à circulação do sangue. Com a pergunta "por que os núcleos nas células se submetem ao complexo processo de reorganização, durante a mitose, em vez de simplesmente dividirem-se ao meio?", Roux (1883) conseguiu dar a primeira interpretação correta da divisão da célula. Ele entendeu plenamente que "a questão relativa ao significado de um processo biológico pode ser indagada de duas maneiras. Primeiramente, em relação à sua função na estrutura do processo biológico em que acontece, mas, em segundo lugar, pode-se (…) também (indagar) pelas causas que respondem pela origem e pela evolução desse processo". Por esse motivo, o biólogo evolucionista, quando procura analisar as causalidades evolutivas, deve sempre colocar as questões do "porquê".

Todos os processos biológicos tem ao mesmo tempo uma causa próxima e uma causa evolutiva. Muita confusão se originou na história da biologia, pelo fato de os autores terem-se concentrado exclusivamente ou numa, ou noutra. Por exemplo, consideremos a pergunta, "qual é a razão do dimorfismo sexual?" T. H. Morgan (1932) castigava os evolucionistas por especularem sobre essa questão quando, dizia ele, a resposta é tão simples: os tecidos do macho e da fêmea, durante a

ontogenia, correspondem á diferentes influências hormonais. Nunca ele considerou a questão evolutiva concernente ao porquê da diferença entre os sistemas hormonais dos machos e das fêmeas. O papel do dimorfismo sexual no namoro, e em outros contextos comportamentais e ecológicos, não tinha para ele interesse algum.

Ou, tomando outro exemplo: qual é o sentido da fertilização? Muitos biologistas funcionais, ao considerar essa questão, ficaram impressionados pelo fato de que um óvulo não fertilizado permanece inativo, enquanto é imediato o desenvolvimento (indicado pela primeira divisão de divagem), depois que o espermatozóide penetrou o óvulo. A fertilização, por isso, como foi afirmado por alguns biologistas funcionais, tem por objetivo o início do desenvolvimento. O biólogo evolucionista, em contraste, salientou que, nas espécies partenogenéticas, não foi necessária a fertilização para dar início ao desenvolvimento, e assim ele concluiu que o verdadeiro objetivo da fertilização é efetuar a recombinação dos genes paternos e matemos, tal recombinação produzindo a variabilidade genética, requerida como matéria para a seleção natural (Weismann, 1886).

Por essas histórias de caso, fica evidente que nenhum problema biológico pode ser plenamente resolvido sem a elucidação tanto das causas próximas como das causas evolutivas. Além disso, o estudo das causas evolutivas é uma parte da biologia tão legítima quanto o é o estudo das usualmente causas próximas físico-químicas. A biologia da origem dos programas genéticos e de suas mudanças ao longo da história evolutiva é tão importante como a biologia da tradução (decodificação) dos programas genéticos, isto é, o estudo das causas próximas. A proposição de Julius von Sachs, Jacques Loeb, e outros mecanicistas ingênuos, no sentido de que a biologia consiste exclusivamente no estudo das causas próximas, é de todo errada.

Uma nova filosofia da biologia

Ficou claro, agora, que é necessária uma nova filosofia da biologia. Ela deverá incluir e combinar as idéias cibemético-funcional-organizacionais, da biologia funcional, e os conceitos população-história, programa-unicidade-adaptação, da biologia evolutiva. Embora óbvia nas suas grandes linhas, essa nova filosofia da biologia é, no presente momento, mais um manifesto de algo que deve ser completado do que a declaração de um sistema conceitual maduro. Ela é mais explícita no seu criticismo do positivismo lógico, do essencialismo, do fisicalismo e do reducionismo, mas ainda é hesitante e incoativa nas suas teses maiores. Os diversos autores que nos últimos anos escreveram sobre o assunto, como Simpson, Rensch, Mainx, que contribuíram para o volume de Ayala e Dobzhansky, e os autores de filosofias da biologia (Beckner, Campbell, Hull, Munson, e outros) ainda divergem profundamente entre si, não apenas na questão de ênfases, mas mesmo em alguns princípios básicos (por exemplo, aceitação ou rejeição do emergentismo). Mas, de qualquer maneira, existe um desenvolvimento muito encorajador. Todos os escritores mais sagazes que escreveram sobre o assunto rejeitam os pontos de vista extremos do passado: nenhum deles aceita o vitalismo, sob qualquer forma que for. Nenhum deles também endossa qualquer espécie de reducionismo, atomista ou explicativo. Bem balizadas as delimitações de uma nova filosofia da biologia, há toda a esperança de uma verdadeira síntese, num futuro não muito distante.

Os filósofos da ciência, quando tratam da biologia, dedicam bom tempo e atenção aos problemas da mente, da consciência e da vida. Eu penso que eles arranjaram para si mesmos algumas

dificuldades desnecessárias. No que tange à consciência, é impossível defini-la. Critérios vários indicam que mesmo os invertebrados inferiores têm uma consciência, possivelmente os próprios protozoários, nas suas reações de repulsão. Se se quiser descer mais ainda, até os procariotos (por exemplo, bactérias magnéticas), isso é questão de gosto. Em qualquer caso, o conceito de consciência não pode ser definido nem mesmo aproximadamente, razão pela qual se toma impossível uma discussão em detalhe.

No que diz respeito aos termos "vida" e "mente", eles apenas se referem a coisificações de atividades, e não possuem uma existência em separado como entidades. A "mente" não faz referência a um objeto, mas a uma atividade mental, e desde que ocorrem atividades mentais em grande parte dó reino animal (dependendo de como se define o "mental"), pode-se dizer que a mente acontece sempre que se encontram organismos que revelam possuir processos mentais. A vida, da mesma forma, é simplesmente a coisificação dos processos de vida. Os critérios para a vida podem ser estabelecidos e adotados, mas não existe algo como uma "vida" independente num organismo vivo. É muito grande o perigo de que a admissão de uma existência em separado de uma tal "vida" venha a estender-se a uma alma (Blandino, 1969). A exclusão de substantivos, que outra coisa não são que coisificações de processos, ajuda grandemente a análise dos fenômenos que são característicos da biologia.

A emergência gradual de uma filosofia da biologia, autônoma, foi um processo longo, trabalhoso e sofrido. As primeiras tentativas foram condenadas ao fracasso, em vista da falta de conhecimento dos fatos da biologia e a prevalência de conceitos inadequados ou errôneos. Isso é muito bem ilustrado pela filosofia da biologia de Kant. O que Kant não percebeu foi que o objeto próprio da biologia necessitava primeiro ser bem definido pelos próprios biologistas (pela ciência!) – por exemplo, que era tarefa dos sistematizadores explicar causalmente a hierarquia lineana (o que foi feito por Darwin, na sua teoria da descendência comum), ou que era tarefa do evolucionista explicar a origem da adaptação, sem invocar forças sobrenaturais (o que foi feito por Darwin e Wallace, por meio da sua teoria da seleção natural). Uma vez de posse dessas explicações, os filósofos poderiam retomar a empresa. Assim o fizeram, mas infelizmente – no seu conjunto – combatendo Darwin, e endossando teorias biológicas sem fundamento. Isso continuou até os tempos modernos, como o testemunham as publicações de autores como Marjorie Greene, Hans Jonas, entre outros.

Eu acredito que é legítimo afirmar que biologistas como Rensch, Waddington, Simpson, Bertalanffy, Medawar, Ayala, Mayr e Ghiselin deram uma contribuição muito maior para uma filosofia da biologia do que toda a velha geração de filósofos, incluindo Cassirer, Popper, Russell, Bloch, Bunge, Hempel e Nagel. Somente a geração de filósofos mais novos (Beckner, Hull, Munson, Wimsatt, Beatty, Brandon) tem finalmente condições de abandonar as obsoletas teorias biológicas do vitalismo, ortogênese, macrogênese, e o dualismo, ou as teorias positivistas-reducionistas dos filósofos mais antigos. [10] Basta ler o que diz o filósofo Cassirer, de resto tão brilhante, sobre a *Critique of Judgement,* de Kant, para nos darmos conta do quanto é difícil para um filósofo tradicional entender os problemas da biologia. Para sua excusa, é preciso afirmar que a culpa deve ser dividida com os biologistas, que falharam em apresentar uma análise clara dos problemas conceituais da área. Diante das árvores, foram incapazes de ver a floresta.

Quais princípios ou conceitos poderiam constituir uma boa base para fundamentar uma filosofia da biologia? Sem que eu pretenda de forma alguma ser exaustivo, acredito que da discussão anterior ficou bastante evidente

1. que uma compreensão plena dos organismos não pode ser assegurada apenas pelas teorias da física e da química;
2. que a natureza histórica dos organismos deve ser considerada plenamente, em particular a sua posse de um programa genético historicamente adquirido;
3. que os indivíduos, na maioria dos níveis hierárquicos, desde a célula, são únicos, e formam populações, cuja variação é uma das suas características maiores;
4. que existem duas biologias; a biologia funcional, que trata das indagações próximas, e a biologia evolutiva, que trata das indagações últimas;
5. que a história da biologia foi dominada pelo estabelecimento de conceitos, e pelo seu amadurecimento, modificação e – ocasionalmente – por sua rejeição;
6. que a complexidade padronizada dos sistemas vivos é organizada hierarquicamente, e que os níveis superiores da hierarquia são caracterizados pela emergência de novidades;
7. que a observação e a comparação são métodos da pesquisa biológica tão plenamente científicos e heurísticos quanto a experiência;
8. que a insistência na autonomia da biologia não significa endosso do vitalismo, da ortogênese, ou de alguma outra teoria que esteja em conflito com as leis da química ou da física.

Uma filosofia da biologia deve incluir a consideração de todos os conceitos maiores, especificamente biológicos, não apenas os da biologia molecular, fisiologia, e desenvolvimento, mas também aqueles da biologia evolutiva (como a seleção natural, incluindo aptidão, adaptação, progresso, descendência), da sistemática (espécie, categoria, classificação), e da biologia comportamental e ecologia (competição, aproveitamento de disponibilidade, ecossistema).

Permito-me acrescentar alguns "não pode". Por exemplo, uma filosofia da biologia não pode perder tempo algum na tentativa fútil de um reducionismo teórico. Não deve tomar uma das filosofias da física existentes como ponto de partida. (É deprimente constatar quão pouco certos volumes de prestígio nesse campo têm a ver com as atuais práticas da pesquisa científica, pelo menos na biologia.) Não deve concentrar a sua maior atenção nas leis, considerando o quanto é reduzido atualmente o papel desempenhado pelas leis em muitas teorias biológicas. Em outras palavras, o que é preciso é uma filosofia da biologia não comprometida, que permaneça igualmente distante do vitalismo e outras ideologias não-científicas, e do reducionismo fisicalista, que é incapaz de fazer justiça aos fenômenos e sistemas especificamente biológicos.

Biologia e pensamento humano

C. P. Snow, num ensaio bem conhecido (1959), afirmou que existe um fosso intransponível entre as culturas da ciência e as humanidades. Ele tem razão quanto ao hiato da comunicação entre os físicos e os humanistas, mas existe também hiato quase tão grande entre, digamos, os físicos e os naturalistas. Existe, também, uma falha bem pronunciada da comunicação entre os representantes da biologia funcional e os da biologia evolutiva. Além disso, a biologia funcional divide com as ciências físicas um interesse por leis, previsão, todos os aspectos de quantidade e quantificação, bem como os aspectos funcionais dos processos, enquanto na biologia evolutiva as questões como

qualidade, historicidade, informação e valor seletivo são de especial interesse, questões essas que entram também nas ciências sociais e do comportamento, mas não na física. Por isso, não é de forma alguma desarrazoado considerar a biologia evolutiva uma espécie de ponte entre as ciências físicas, de um lado, e as ciências sociais e humanidades, de outro.

Em uma comparação da história com as ciências, Carr (1961: 62) afirma que a história, supostamente, difere de todas as ciências em cinco aspectos principais: (1) a história trata exclusivamente do único, a ciência do geral; (2) a história não dá aulas; (3) a história é incapaz de predizer;

a história é necessariamente subjetiva; e (5) a história (diferentemente da ciência) envolve aspectos de religião e moralidade. Essas diferenças são válidas somente no confronto com as ciências físicas. Os enunciados 1, 3,4 e 5 são também largamente verdadeiros para a biologia evolutiva, e, como o próprio Carr admite, alguns deles (por exemplo, o enunciado 2) não são estritamente verdadeiros nem para a história. Em outras palavras, não existe uma cisão precisa entre a ciência e as não-ciências.

A natureza do impacto que a ciência teve sobre o homem e o seu pensamento é assunto controvertido. Que Copérnico, Darwin e Freud alteraram profundamente o pensamento humano é algo que dificilmente poderá ser questionado. O impacto das ciências físicas, nos últimos poucos cem anos, foi primeiramente por meio da tecnologia. Kuhn (1971) preconiza que um cientista, para exercer uma real influência no pensamento humano, deve ser lido pela população leiga. Independentemente do quanto se distinguiram certos físicos matemáticos (aí incluídos Einstein e Bohr), "nenhum deles, tanto quanto consigo discernir, teve mais do que um impacto ínfimo e indireto sobre o desenvolvimento do pensamento extracientífico". Tenha ou não tenha razão Kuhn, pode-se com certeza afirmar que alguns cientistas têm mais influência do que outros sobre o pensamento dos leigos inteligentes. Também depende muito da medida em que o tema de um cientista é de interesse imediato do público leigo. Daí que a biologia, a psicologia, a antropologia e ciências congêneres exercem naturalmente um impacto muito maior sobre o pensamento humano do que as ciências físicas.

Antes do impulso da ciência, eram os filósofos que, por assim dizer, detinham o encargo de conduzir a compreensão deste mundo. A partir do século XIX, a filosofia retraiu-se mais e mais ao estudo da lógica e da metodologia da ciência, abandonando em larga medida vastas áreas, como a metafísica, a ontologia, a epistemologia, que usualmente constituíam as preocupações maiores da filosofia. Grande parte dessa área, infelizmente, ficou uma virtual terra de ninguém, porque muitos cientistas estão inteiramente satisfeitos com o prosseguimento, das suas pesquisas específicas, de forma alguma preocupados com a maneira pela qual as conclusões gerais, decorrentes desses estudos, possam afetar assuntos de preocupação humana e da epistemologia geral. Os filósofos, por outro lado, acham difícil, para não dizer impossível, acompanhar os rápidos avanços da ciência e, como resultado disso, voltam-se para problemas triviais ou esotéricos. As oportunidades de aproximações conjuntas de filósofos e cientistas, por mais úteis que poderiam ser, muito raramente são aproveitadas.

Biologia e valores humanos

Foi por vezes afirmado que, ao contrário das interpretações religiosas, a ciência tem a grande

vantagem de ser impessoal, isenta, não emotiva, e, por isso, completamente objetiva. Isso bem pode ser verdade para a maioria das explicações das ciências físicas, mas de forma alguma é verdadeiro para muitas explicações das ciências biológicas. As descobertas e as teorias do biologista estão quase sempre em conflito com os valores tradicionais da nossa sociedade. Por exemplo, o professor de Darwin, Adam Sedgwick, rejeitava com todo vigor a teoria da seleção natural, porque ela implicava a refutação do argumento de um plano, e permitiria com isso uma explicação materialista do mundo, isto é, segundo ele entendia, uma eliminação de Deus na explicação da ordem e da adaptação no mundo. É certo que uma teoria biológica é muitas vezes plena de valores. Como exemplos, podemos mencionar a teoria darwiniana da descendência comum, que privou o homem do seu lugar único no universo. Mais recentemente, a questão sobre se, e em que medida, o Q. I. é geneticamente determinado, particularmente quando ligado ao problema da raça, e se, e em que medida, os argumentos da sociobiologia são ilustrações aptas. Em todos esses casos levantaram-se conflitos entre certas descobertas científicas, ou interpretações, e determinados sistemas tradicionais de valores. Por mais objetiva que seja a pesquisa científica, as suas descobertas, frequentemente, conduzem a conclusões carregadas de valor.

A crítica literária há muito tempo estava consciente do impacto que os escritos de alguns cientistas exerciam sobre novelistas e ensaístas, e por meio deles sobre o grande público. Os relatos sobre a felicidade e a inocência de primitivos aborígenes de países exóticos, trazidos para casa por exploradores do século XVIII, por mais errôneos que tenham sido, afetaram grandemente os escritores dos séculos XVIII e XIX, e ultimamente as ideologias políticas.

Foi uma tragédia, tanto para a biologia como para a humanidade, o fato de que a configuração atual predominante dos nossos ideais sociais e políticos desenvolveu-se, e foi adotada, quando o pensamento do homem ocidental era largamente dominado pelas idéias da revolução científica, isto é, pelo conjunto de idéias baseadas nos princípios das ciências físicas. Isso implicou um pensamento essencialista e, correlativamente, a crença da identidade essencial dos membros de uma classe. Mesmo que a revolução ideológica do século XVIII tenha sido, em larga medida, uma rebelião contra o feudalismo e os privilégios de classe, não se pode negar que os ideais da democracia derivaram, em parte, dos princípios estabelecidos pelo fisicalismo. Em consequência, a democracia pode ser interpretada como sustentação não apenas da igualdade perante a lei, mas também da identidade essencialista sob todos os aspectos. Isto vem traduzido pela expressão "todos os homens foram *criados* iguais", o que é algo muito diferente da afirmação "todos os homens têm direitos iguais, diante da lei". Todo aquele que acredita na unicidade genética de cada indivíduo acredita, por isso mesmo, na conclusão "nem sequer dois indivíduos foram *criados* iguais".

Quando se desenvolveu a biologia evolutiva, no século XIX, ela demonstrou a inaplicabilidade desses princípios físicos aos indivíduos biológicos únicos, às populações heterogêneas e aos sistemas evolutivos. Mas, apesar disso, a fusão ideológica do fisicalismo e do antifeudalismo, usualmente chamada democracia (não há nem dois povos que têm exatamente o mesmo conceito de democracia), prevaleceu no mundo ocidental, a ponto de a mais ligeira crítica que se faça (como nas presentes linhas) ser rejeitada, com intolerância completa. A ideologia democrática e o pensamento evolucionista compartilham de uma elevada consideração pelo indivíduo, mas diferem em muitos outros aspectos da nossa escala de valores. A recente controvérsia sobre a sociobiologia é uma triste ilustração da intolerância exercida por um segmento da nossa sociedade, quando as afirmações de um cientista entram em conflito com doutrinas políticas. Orwell (1972) descreveu isso muito bem:

> Em cada momento determinado, existe uma ortodoxia, um corpo de idéias que se admite seja aceito por todas as pessoas bem pensantes, sem contestação. Não é propriamente proibido constatar isso, ou aquilo, ou outra coisa, mas "não é permitido" falar assim … Todo aquele que ameaçar a ortodoxia predominante vê-se silenciado com uma eficácia surpreendente. A uma opinião genuinamente em desacordo com a moda, quase nunca se lhe dá um ouvido atento, tanto na imprensa popular como nos periódicos de alta especialização.

Eu receio que os próprios cientistas não estejam inocentes de tal intolerância.

Todos os reformadores sociais, desde Helvetius, Rousseau e Robert Owen, até certos marxistas (mas não o próprio Karl Marx), aceitaram a máxima de Locke, de que o homem ao nascer é uma *tabula rasa,* sobre a qual qualquer característica pode ser estampada. Assim, proporcionando o ambiente apropriado e a educação, pode-se fazer qualquer coisa de cada indivíduo, considerando que todos eles são potencialmente idênticos. Isso levou Robert Owen (1813) a afirmar que "mediante treinamento judicioso, as crianças de qualquer classe do mundo podem ser facilmente moldadas em homens de qualquer outra classe". Considerando que as classes eram definidas em termos socioeconômicos (pelo menos por implicação), a afirmação de Owen tinha considerável validade, mas, quando estendida aos indivíduos, e aplicada de uma forma um pouco mais extrema, como foi feito pelo behaviorista John B. Watson, em 1924, ela se toma muito discutível. Nada a admirar que os que admitiram pontos de vista tão otimistas tenham sido desencorajados pelas constatações daqueles que investigaram a genética das características humanas em gêmeos e em estudos de adoção.

A demonstração, feita pela sistemática, pela antropologia física, pela genética, e pela biologia comportamental, de que não existem sequer dois indivíduos, em qualquer espécie (inclusive a humana), que sejam idênticos, criou um profundo mal-estar entre aqueles que são adeptos sinceros do princípio da igualdade humana. Como salientaram Haldane e Dobzhansky, o dilema pode ser superado, dando-se uma definição de igualdade que seja constoante com as modernas descobertas biológicas. Todos os indivíduos são iguais perante a lei, e têm direito a iguais oportunidades. Todavia, considerando a sua desigualdade biológica, deve ser-lhes proporcionado um meio diversificado (por exemplo, oportunidades educacionais diferentes), de sorte a assegurar-lhes *iguais* oportunidades. Paradoxalmente, o identicismo, que ignora a ausência da identidade biológica, é o pior inimigo da democracia, quando ela chega a implementar os ideais de igual oportunidade.

A biologia tem uma tremenda responsabilidade. Dificilmente se pode negar que ela contribuiu para minar crenças tradicionais e sistemas de valores. Muitas das idéias mais otimistas do Iluminismo, inclusive a igualdade e a possibilidade de uma sociedade perfeita, faziam parte, em última instância (embora subconscientemente), da físico-teologia. Foi Deus quem fez este mundo quase perfeito. A crença em tal mundo foi destinada ao colapso, quando solapada a crença em Deus como autor de um plano. Daí a justificada angústia de Sedgwick. A perda da crença em Deus conduziu a um vácuo existencial e a uma pergunta sem resposta sobre o sentido da vida. Os mais importantes pensadores, desde o Iluminismo, sentiram com veemência que a biologia não podia ser meramente uma destruidora de valores tradicionais, mas também criadora de novos sistemas de valores. Virtualmente, todos os biologistas são religiosos, no sentido mais profundo da palavra, mesmo embora possa haver uma religião sem revelação, como foi chamada por Julian Huxley. O

desconhecido, e talvez o incognoscível, induz em nós um senso de humildade e temor, mas muitos daqueles que tentaram substituir a fé em Deus pela fé no homem deram com um caminho errado. Eles definiram o homem como o próprio, o ego pessoal, e promoveram uma ideologia de preocupação consigo mesmo, e de egotismo, que não apenas fracassa em trazer a felicidade, mas também é grandemente destrutiva a longo prazo.

Evidentemente, seria da mesma forma simplório e perigoso tratar o homem simplesmente como uma criatura biológica, isto é, como se ele fosse nada mais que um animal. O homem, devido aos seus recursos numerosos e únicos, tem a capacidade de desenvolver cultura, e de transmitir às gerações posteriores informações adquiridas, tanto quanto sistemas de valores e normas éticas. Por esse motivo, teríamos do homem um conceito muito unilateral e enganoso, se fôssemos basear a nossa avaliação inteiramente no estudo das criaturas infra-humanas. Não resta dúvida que o estudo dos animais nos proporcionou alguns dos conhecimentos mais significativos sobre a natureza do homem, mesmo quando esses estudos revelaram nada mais do que o quanto o homem é diferente, em algumas características, dos seus mais próximos parentes símios.

Se, ao em vez de definir o homem como o ego pessoal, ou como meramente uma criatura biológica, o definirmos como humanidade, tornam-se possíveis uma ética e uma ideologia inteiramente diferentes. Seria uma ideologia que é perfeitamente compatível com os valores sociais tradicionais, no sentido de desejar uma "humanidade melhor", e ainda que é compatível com qualquer uma das novas descobertas da biologia. Se escolhermos essa aproximação, não haverá conflito entre a ciência e os mais profundos valores humanos (Campbell, 1974:183-185,1971).

Tal abordagem, à primeira vista, parece estar em conflito com o princípio da aptidão inclusiva. Mas não é necessariamente assim, e isso por uma dupla razão. Em primeiro lugar, porque, no seio da massa social anônima da moderna humanidade, ela pode perfeitamente contribuir para que a aptidão pessoal imanente seja colocada a serviço da melhoria da sociedade como um todo. Em segundo lugar, porque o homem é uma espécie única, em que um grande acervo de "herança" cultural se acrescentou à herança biológica, e porque a natureza dessa herança cultural pode relacionar-se com a aptidão darwiniana. Uma interação, a esse nível, não foi suficientemente considerada por aqueles que se interessavam pelos efeitos do darwinismo sobre a evolução humana. É minha convicção pessoal que os aparentes conflitos entre a implícita aptidão, a herança cultural e uma ética sadia podem ser resolvidos.

3. O MEIO INTELECTUAL DA BIOLOGIA EM TRANSFORMAÇÃO

Escrever uma história das idéias requer que a ciência de um determinado período histórico seja dividida nos seus problemas maiores, e que o desenvolvimento de cada problema seja situado no tempo. Um tratamento tão estritamente tópico tem as suas vantagens, mas isola cada problema das suas conexões com outros problemas contemporâneos da ciência, bem como do inteiro meio cultural do período. No intuito de compensar essa grave deficiência, darei, no presente capítulo, uma breve história da biologia como um todo, numa tentativa de relacioná-la com o meio intelectual do seu tempo. O tratamento mais especializado dos problemas biológicos individuais, apresentado nos, capítulos posteriores, deverá ser lido em confronto com esta visão geral. Este capítulo introdutório estabelecerá também algumas conexões com áreas da biologia funcional (anatomia, fisiologia, embriologia, comportamento), que não têm cobertura em qualquer outra parte deste volume. [1]

Cada época tem o seu próprio "temperamento", ou estrutura conceitual, que, embora longe de ser uniforme, afeta bastante o pensamento e a ação. A cultura ateniense dos séculos V e IV a. C., os diversos absolutismos de grande parte da Idade Média, ou a revolução científica do século XVII, são exemplos de meios intelectuais notavelmente diferentes. De qualquer modo, seria errôneo pensar que cada era sempre é dominada por um modo de pensar, isto é, por um quadro explicativo ou uma ideologia, a serem eventualmente substituídos por um aparato conceitual novo e muitas vezes bem diferente. No século XVIII, por exemplo, o mundo conceitual de Lineu era, em todos os seus aspectos, totalmente diferente daquele do seu contemporâneo Buffon. Duas tradições de pesquisa muito diversas podem coexistir, com os seus respectivos adeptos trabalhando em completo isolamento intelectual. Por exemplo, o positivismo dos fisiciatos, na segunda metade do século XIX, permanecendo numa base essencialista, pôde coexistir com o darwinismo dos naturalistas, que se fundamentava no pensamento de população, ocupando-se de questões de adaptação, que eram completamente sem sentido para um físico positivista. [2]

Antiguidade

Todos os povos primitivos são marcadamente naturalistas; e isso não causa surpresa alguma, uma vez que a sua sobrevivência depende do conhecimento da natureza. Eles precisam conhecer os inimigos potenciais, bem como os meios de subsistência; eles estão interessados na vida e na morte, na doença e no nascimento, na "mente" e nas diferenças entre o homem e os outros seres vivos. É quase universal entre os homens primitivos do mundo a crença de que tudo na natureza é "vivo", que mesmo as rochas, as montanhas e o firmamento são habitados por espíritos, almas, ou deuses. Os poderes dos deuses fazem parte da natureza, e a própria natureza é ativa e criativa. Todas as religiões, antes do judaísmo, eram mais ou menos animistas, e a sua atitude em relação ao divino era completamente diferente da do monoteísmo dos judeus. A interpretação do mundo pelo homem primitivo era uma consequência direta das suas crenças animistas (Sarton, Thomdike).

Existem razões para acreditar que a ciência das civilizações primitivas tenha avançado

consideravelmente além desse estágio primitivo, mas, exceto em relação a algum saber medicinal, quase não temos informação sobre o conhecimento biológico dos sumérios, babilônios, egípcios e de outras civilizações anteriores à dos gregos. Não há evidência de que tenham sido feitas tentativas de organização de esquemas explicativos sobre quaisquer fatos que tenham sido acumulados.

As grandes obras épicas gregas de Homero e Hesíodo retratam vivamente o politeísmo dos gregos antigos, que estava em estrito contraste com o monoteísmo do judaísmo, do cristianismo e do islamismo. Parece que esse politeísmo permitiu o desenvolvimento da filosofia e da ciência primitiva. Para os gregos não existia um Deus poderoso e único, com um livro "revelado", tomando sacrílego o pensamento de causas naturais. Nem existia um sacerdócio poderoso, como na Babilônia, no Egito e em Israel, que proclamava o monopólio do pensamento sobre o natural e o sobrenatural. Por isso, nada impedia, na Grécia, que pensadores diferentes chegassem a diferentes conclusões.

No que concerne à biologia grega, podemos distinguir três grandes tradições. A primeira é uma tradição de história natural, baseada no conhecimento de plantas e animais locais, tradição essa que remonta aos nossos ancestrais pré-humanos. Esse conhecimento foi transmitido oralmente, de geração em geração, e podemos admitir como certo que o pouco que dele sabemos, por meio da *Historia animalium,* de Aristóteles, e dos escritos de Theofrasto sobre plantas, não representa nada mais do que um vislumbre de um acervo muito maior de conhecimentos. As informações sobre animais selvagens eram validamente suplementadas, em muitas culturas, pela experiência com animais domésticos. Comportamento individual, nascimento, crescimento, nutrição, doença, morte e muitos outros fenômenos de significado biológico são mais facilmente observados em animais domésticos do que em animais selvagens. Dado que muitas dessas manifestações da vida nos animais são as mesmas que no homem, elas encorajaram estudos comparativos. Oportunamente, isso proporcionou uma importante contribuição para o desenvolvimento da pesquisa na anatomia e na ciência médica.

A segunda tradição grega, a da filosofia, originou-se com os filósofos jônios – Thales, Anaximandro, Anaximenes, e seus seguidores-, que inauguraram uma aproximação radicalmente nova. [3] Eles relacionaram os fenômenos naturais a causas naturais e a origens naturais, não a espíritos, deuses, ou outros agentes sobrenaturais. Na sua busca de um conceito unificador, que pudesse explicar muitos fenômenos diferentes, eles postulavam frequentemente uma causa última, ou um elemento, a partir do qual tudo o mais se originava, como a água, o ar, a terra, ou uma matéria indefinida. Aparentemente, esses filósofos jônios tinham considerável conhecimento das realizações dos babilônios e de outras culturas do Oriente Próximo, e adotaram algumas das suas interpretações, principalmente as relativas à natureza inanimada. As especulações dos jônios sobre a origem dos seres vivos não tiveram uma influência duradoura. De significado um pouco maior foram as suas idéias sobre a fisiologia humana. A importância real da escola jônica é que ela representa os primórdios da ciência; isto é, eles procuraram causas naturais para fenômenos naturais.

O centro do pensamento filosófico transferiu-se mais tarde, nos séculos VI e V a. C., para as colônias gregas na Sicília e no sul da Itália, onde as figuras-chaves foram Pitágoras, Xenófanes, Parmênides e Empédocles. Pitágoras, com a sua ênfase nos números e quantidades, deu início a uma poderosa tradição, afetando não apenas as ciências físicas, mas também a biologia. Parece que Empédocles se dedicou a assuntos biológicos mais do que qualquer outro dos seus predecessores, mas pouco do seu pensamento foi preservado. Ele é mais conhecido pela sua postulação da existência de quatro elementos: fogo, ar, água e terra. Todo o mundo material, segundo ele, é composto por combinações variadas desses quatro elementos, ora conduzindo a maior

homogeneidade, ora a maior mistura. Uma crença nesses quatro elementos continuou por mais de dois mil anos. Uma preocupação com heterogeneidade *versus* homogeneidade aparece de novo nos escritos do zoologista do século XIX, K. E. von Baer, e nos do filósofo Herbert Spencer.

As décadas seguintes conheceram o estabelecimento de duas grandes tradições filosóficas, a de Heráclito, que afirmava a mudança ("tudo flui"), e a de Demócrito, o fundador do atomismo, que, em contraste, afirmava a permanência imutável dos átomos, componentes últimos de todas as coisas. Ao que parece, Demócrito escreveu bastante sobre assuntos de biologia, embora pouco se tenha salvado, e acredita-se que algumas idéias de Aristóteles procedem dele. Aparentemente, ele foi o primeiro a colocar um problema que dividiu os filósofos desde então: a organização dos fenômenos, particularmente no mundo vivo, resulta puramente do acaso, ou é ela uma necessidade, devida à estrutura dos componentes elementares, os átomos? Acaso ou necessidade, desde aquele tempo, foram o tema de controvérsias entre filósofos. [4] Isso proporcionou a Monod (1970) o título do seu livro bem conhecido. Foi Darwin que, mais de 2.200 anos depois, mostrou que acaso e necessidade não são as duas únicas opções, e que o processo de dois tempos da seleção natural afasta o dilema de Demócrito.

Esses antigos filósofos gregos reconheciam que fenômenos biológicos tão familiares – como locomoção, nutrição, percepção e reprodução – requerem uma explicação. O que causa estranheza ao estudioso moderno é o fato de que eles pensavam que podiam encontrar tal explicação meramente por um pensamento concentrado sobre o respectivo problema. Podemos admitir que, no tempo em que eles viveram, esta era talvez a única aproximação concebível para esses problemas. A situação aos poucos começou a mudar, particularmente quando a ciência experimental se emancipava da filosofia, durante a alta Idade Média e a Renascença.

A prolongada tradição de fornecer explicações científicas puramente filosofando teve um crescente efeito deletério sobre a pesquisa científica nos séculos XVIII e XIX, conduzindo à amarga queixa de Helmholtz sobre a arrogância dos filósofos, que rejeitavam as suas descobertas experimentais, porque estas conflitavam com as deduções deles. As objeções dos filósofos essencialistas movidas contra Darwin constituem outra ilustração dessa atitude. Na Grécia antiga, seja como for, a aproximação filosófica dedutiva ajudou a levantar questões que ninguém antes havia indagado; isso conduziu a uma formulação cada vez mais precisa dessas questões, e por isso mesmo assentou as bases para uma abordagem puramente científica, que ultimamente substituiu a filosofia.

A terceira grande tradição antiga, coexistindo com a história natural e com a tradição filosófica, foi a tradição biomédica da escola de Hipócrates (em tomo de 450-377 a. C.), a qual desenvolveu um vasto corpo de conhecimentos e teorias anatômico-fisiológicas. Esse corpo de doutrina, desenvolvido mais extensamente pelos alexandrinos (Herófilo e Erasístrato), e por Galeno e sua escola, constituiu a base para o ressurgimento da anatomia e da fisiologia durante a Renascença, particularmente nas escolas italianas. A pesquisa sobre a anatomia humana e a fisiologia era o maior interesse da biologia, desde o período pós-aristotélico até o século XVIII. Para a ciência como um todo, de qualquer maneira – certamente para o inteiro pensamento ocidental – os desenvolvimentos da filosofia eram de longe mais importantes do que as descobertas concretas na anatomia e na fisiologia.

Dois filósofos gregos, Platão e Aristóteles, tiveram maior influência nos subsequentes desdobramentos da ciência do que quaisquer outros. Platão (427-347 a. C.) tinha um especial interesse pela geometria, a qual afetou poderosamente o seu pensamento. A sua observação que um

triângulo, seja qual for a sua combinação de ângulos, é sempre um triângulo, essencialmente diferente de um quadrado, ou de qualquer outro polígono, tomou-se a base do seu essencialismo, [5] uma filosofia completamente inadequada para a biologia. Foram necessários mais de dois mil anos para a biologia, sob a influência de Darwin, livrar-se das garras paralisadoras do essencialismo. A influência de Platão foi igualmente infeliz em assuntos mais estritamente biológicos. Com as raízes do seu pensamento na geometria, não há surpresa que tenha feito pouco uso das observações da história natural. Tanto isso é verdade que, no *Timeu,* ele afirma expressamente que nenhum conhecimento verdadeiro pode ser adquirido pelas observações dos sentidos, mas apenas um deleite para os olhos. A sua ênfase na alma, bem como no arquiteto (demiurgo) do Cosmo, permitiu, por meio do neoplatonismo, uma conexão com o dogma cristão, que dominou o pensamento do homem ocidental até o século XVII. Sem questionar a importância de Platão para a história da filosofia, devo dizer que para a biologia ele foi um desastre. Os seus conceitos impróprios influenciaram negativamente a biologia durante séculos. O aparecimento do moderno pensamento biológico é, em parte, a emancipação do pensamento platônico.

Com Aristóteles, a história é diferente.

Aristóteles

Ninguém, antes de Darwin, deu maior contribuição para o entendimento do mundo vivo do que Aristóteles (384-322 a. C.). [6] O seu conhecimento de assuntos biológicos era vasto, e tinha diversas fontes. Na sua juventude ele foi educado por médicos asclepianos; mais tarde, ele consumiu três anos da sua vida na ilha de Lesbos, onde evidentemente dedicou muito tempo ao estudo dos organismos marinhos. Quase em qualquer aspecto da história da biologia, deve-se começar com Aristóteles. Ele foi o primeiro a distinguir diversas disciplinas da biologia e a dedicar-lhes tratamentos monográficos *(De partibus animalium*, *De generatione animalium,* e outros). Ele foi o primeiro a descobrir o grande valor heurístico da comparação, e é legitimamente celebrado como o fundador do método comparativo. Foi o primeiro a dar histórias de vida detalhadas de grande número de espécies animais. Ele consagrou um livro inteiro à biologia reprodutiva e às histórias de vida (Egerton, 1975). Interessou-se vivamente pelo fenômeno da diversidade orgânica, bem como pelo significado das diferenças entre animais e plantas. Embora não tenha proposto uma classificação formal, ele classificou os animais de acordo com certos critérios, e o seu ordenamento dos invertebrados era superior ao de Lineu, dois mil anos depois. Talvez a parte menos notável do seu corpo biológico tenha sido a sua fisiologia, em que adotou vastamente idéias tradicionais. Muito mais do que os seus predecessores, ele era um empírico. As suas especulações sempre se reportam às observações por ele feitas. Em certa ocasião *(De generatione animalium* 760b 28), ele afirma de modo muito claro que a informação que procede dos nossos sentidos tem primazia sobre aquilo que nos diz a razão. Sob esse aspecto, ele estava todo um mundo afastado dos assim chamados aristotélicos entre os escolásticos, que racionalizavam todos os problemas.

A característica predominante de Aristóteles é que ele procurava pelas causas. Ele não se satisfazia com as meras questões do "como", mas mostrou-se surpreendentemente moderno ao indagar também as questões do "porquê". Como cresce um organismo, do óvulo fertilizado até a forma adulta perfeita? Por que o mundo dos organismos vivos é tão rico em atividades direcionadas e em comportamento? Ele viu claramente que a matéria bruta não tem a capacidade de desenvolver a

forma complexa de um organismo. Algo mais devia estar presente, para o que ele usou a palavra *eidos,* um termo que ele definia de modo inteiramente diferente de Platão. O *eidos* de Aristóteles é um princípio teleonômico que desempenhava no seu pensamento precisamente o papel que exerce o programa genético na biologia moderna. Em contraste com Platão, que postulava uma força exterior para explicar a regularidade da natureza, e especialmente a sua tendência a alcançar complexidade é objetivos, Aristóteles pensava que as substâncias naturais agem de acordo com as suas próprias forças, e que todos os fenômenos da natureza são processos, ou manifestações de processos. E uma vez que todos os processos têm um fim, ele considerava o estudo dos fins um componente essencial do estudo da natureza. Consequentemente, para Aristóteles, todas as estruturas e atividades biológicas têm um significado biológico, ou, como diríamos hoje, um significado de adaptação. Um dos maiores objetivos de Aristóteles era elucidar tais significados. As questões aristotélicas do "porquê" desempenharam um importante papel heurístico na história da biologia. O "porquê" é a questão mais importante colocada pela biologia evolutiva, na totalidade das suas pesquisas.

Há quatro maneiras de conceber a origem e a natureza do mundo: (1) um mundo estático e de curta duração (o mundo criado judaico-cristão); (2) um mundo estático de duração ilimitada (a concepção aristotélica do mundo); (3) uma mudança cíclica na. situação do mundo, em que períodos de idades de ouro alternam-se com períodos de decadência e de renascimento; e, (4) um mundo gradualmente evolutivo (Lamarck, Darwin). A crença de Aristóteles num mundo essencialmente perfeito excluía qualquer crença numa evolução.

O pleno reconhecimento das idéias pioneiras de Aristóteles só aconteceu nas décadas recentes. A má reputação que ele detinha nos séculos anteriores deve-se a várias causas. Uma delas é que os tomistas o adotaram como o seu filósofo de autoridade, e quando a escolástica caiu em descrédito, Aristóteles automaticamente compartilhou do eclipse. Mais importante ainda é o fato de que, durante á revolução científica dos séculos XVI e XVII, a ênfase quase toda era dada às ciências físicas. Aristóteles, que desenvolveu uma notável filosofia da biologia, infelizmente acreditava ao mesmo tempo que podia tratar do macrocosmo e do microcosmo do mesmo modo, e aplicou o seu pensamento biológico à física e à cosmologia. Os resultados foram bastante infelizes, como Francis Bacon, Descartes e muitos outros autores dos séculos XVI, XVII e XVIII não se cansavam de acentuar. O desdém lançado sobre Aristóteles por esses autores é difícil de entender, considerando a excelência e a originalidade da maior parte da sua obra.

O renovado apreço da importância de Aristóteles, nos tempos modernos, cresceu a ponto de as ciências biológicas emanciparem-se das ciências físicas. Somente quando foi plenamente entendida a natureza dual dos organismos vivos é que se percebeu, nos nossos dias, que a matriz do desenvolvimento e da atividade – o programa genético – representa o princípio formativo, que Aristóteles havia postulado. Como resultado disso, estamos começando a ser mais tolerantes com Aristóteles. O mundo dos filósofos e dos físicos, por centenas de anos, permaneceu completamente surdo à afirmação de naturalistas como Aristóteles, de que algo mais do que as leis da física era necessário para produzir uma rã de um ovo de rã, e uma galinha de um ovo de galinha (Mayr, 1976). E nem isso requer qualquer *élart vital, nisus formativus, Entelechia,* ou espírito vivo. Tudo o que requer é o reconhecimento de que os sistemas biológicos complexos são o produto de programas genéticos, que têm uma história de mais de três mil milhões de anos. Nada produziu mais controvérsias inúteis, e fartas de adrenalina, do que o mito de que o macrocosmo e o microcosmo obedecem exatamente às mesmas leis. Há poucas indicações de que essa nova visão tenha chegado à

maioria dos filósofos, mas está começando a ser entendida pelos biólogos.

Depois de Aristóteles, houve a continuação das três tradições biológicas gregas. A história natural, particularmente a descrição e classificação das plantas, alcançou um ponto alto nos escritos de Theofrasto e de Dioscórides, enquanto Plínio (23-79 d. C.), cujos interesses eram, zoológicos, foi um compilador enciclopédico. A tradição biomédica alcançou o seu máximo desenvolvimento com Galeno (131-200 d. C.), cuja influência perdurou até o século XIX.

Na filosofia pós-aristotélica desenvolveu-se uma polaridade entre os epicuristas e os estóicos. Epicuro (342-271 a. C.), construindo sobre os fundamentos deixados por Demócrito, admitia que todas as coisas são formadas por átomos imutáveis, que se agitam e colidem ao acaso. Ele estabeleceu uma explicação materialística bem elaborada do mundo inanimado e vivo, onde todas as coisas acontecem por causas naturais. A vida era concebida por ele como o resultado dos movimentos da matéria inanimada. A sua explicação de como as manifestações da vida se originam mediante a combinação de configurações atômicas apropriadas era notavelmente moderna. O seu discípulo, Lucrécio (99-55 a. C), foi igualmente um materialista atômico irredutível. Ambos rejeitavam as idéias teleológicas de Aristóteles, sendo que Lucrécio apresentava um argumento bem fundamentado contra o conceito de um plano. Ele afirma muitos dos argumentos que foram de novo levantados nos séculos XVIII e XIX. Nesse ponto, Aristóteles tinha inteira razão na sua crítica a esses atomistas que, por meio da interação puramente acidental de água e de fogo, produziam leões e carvalhos. Galeno concordava com ele.

O argumento dos epicuristas era principalmente! dirigido contra os estóicos, que sustentavam idéias panteístas, e acreditavam num mundo planejado, criado para o benefício do homem. Segundo eles, o objeto da filosofia é compreender a ordem do mundo; mais tarde, a teologia natural retomava o pensamento dos estóicos. Estes rejeitavam o acaso como um fator no mundo; tudo é teleológico e determinístico. A sua atitude era estritamente antropocêntrica, sublinhando as diferenças entre o homem inteligente e os animais guiados pelo instinto (Pohlenz, 1948).

Nada de propriamente importante aconteceu na biologia depois de Lucrécio e Galeno, até a Renascença. Os árabes, tanto quanto pude averiguar, não trouxeram nenhuma contribuição de monta para a biologia. Isso é válido mesmo para os dois sábios árabes, Avicenna e Averróis (Ibn-Rosh, 1120-1198), que mostraram um particular interesse em assuntos biológicos. Contudo, foi por meio das traduções árabes que Aristóteles voltou a ser conhecido no mundo ocidental. Isso foi talvez a maior contribuição que os árabes deram para a história da biologia. Uma outra contribuição deles foi mais indireta. Os gregos eram grandes pensadores, mas experimentavam apenas em medida limitada (Regenbogen, 1931). Em contrapartida, os árabes eram grandes experimentadores, e pode-se mesmo chegar ao ponto de afirmar que eles lançaram os fundamentos sobre os quais mais tarde surgiu a ciência experimental. Os caminhos para esta última meta foram bastante tortuosos, sendo a alquimia o passo intermediário mais importante.

A imagem cristã do mundo

Quando o cristianismo conquistou o Ocidente, o conceito grego de um mundo eterno, essencialmente estático, foi substituído por um conceito inteiramente novo. A teologia cristã é dominada pelo conceito de criação. O mundo, segundo a Bíblia, é um mundo criado recentemente, e

todo o conhecimento sobre o mesmo está contido na palavra revelada. Esse dogma excluía a necessidade, e mesmo a possibilidade, de levantar qualquer questão sobre o "porquê", ou de acolher qualquer pensamento de evolução. O mundo, tendo sido criado por Deus, era, segundo exprimiu mais tarde Leibniz, "o melhor dos mundos possíveis". A atitude do homem em relação à natureza era orientada pelo mandamento de Deus, "crescei e multiplicai-vos, e enchei a Terra e dominai-a; tende o poder sobre os peixes do mar, e sobre os pássaros do céu, e sobre todas as coisas vivas que se movem sobre a Terra" (Gênese 1:28). A natureza era subserviente ao homem; nada havia no dogma hebreu e cristão daquela unidade com a natureza, sentida pelos animistas ou refletida em muitas crenças budistas. A recente reverência pelo meio ambiente era alheia às grandes religiões monoteístas do Oriente Próximo (White, 1967).

Nenhum outro desdobramento no cristianismo foi tão importante para a biologia como a visão do mundo conhecida como teologia natural. Nos escritos dos padres de igreja, a natureza às vezes é comparada a um livro, um análogo natural do livro revelado da religião cristã, a Bíblia. A equivalência dos dois livros sugere que o estudo do livro da natureza, criação de Deus, permitiria o desenvolvimento de uma teologia natural, suplementando a teologia revelada da Bíblia.

A teologia natural cristã não era um conceito novo. A harmonia do mundo, e a aparente perfeição das adaptações do mundo da vida, impressionou seguidamente os observadores, muito antes do aparecimento do cristianismo. Tão distante como o Velho-Reino Egípcio (Memphis), dois mil anos antes dos gregos e dos hebreus, foi postulada uma inteligência criativa, que teria planejado os fenômenos da natureza. Afirmações teleológicas mais definidas podem ser encontradas em Heródoto e Xenofonte. Platão via o mundo como a criação de um artesão divino, inteligente, bom, racional. A idéia de que a Terra era um ambiente planejado e adequado para a vida foi mais profundamente cultivada e enriquecida pelos estóicos. Galeno endossava vigorosamente o conceito de um plano, obra de um criador sábio e poderoso. Mas ninguém foi mais importante para o desenvolvimento da teologia natural do que Santo Tomás de Aquino. A visão de um mundo teleológico tomou-se predominante no pensamento ocidental, por meio dos seus escritos. Na sua *Summa Theologica, o* quinto argumento de prova da existência de Deus está baseado na ordem e na harmonia do mundo, o que supõe que deve existir um ser inteligente, que dirige todas as coisas naturais ao seu fim.

A despeito dos ensinamentos da teologia natural, a era escolástica não era favorável ao desenvolvimento das ciências naturais. Os escolásticos eram racionalistas; o seu esforço consistia em determinar a verdade por uma lógica, não pela observação ou pelo experimento. Daí as suas intermináveis disputas. O ensino e a busca da verdade, da forma como os exerciam, eram privilégio dos clérigos. O estudo das coisas naturais e, acima de tudo, qualquer aproximação empírica eram inteiramente desprezados. A filosofia predominante do escolasticismo era a tomista, que o Aquinate acreditava ser derivada principalmente de Aristóteles. Essa filosofia é conhecida sob o nome estranhamente equivocado de realismo. O seu aspecto mais característico, tal como aparece a um biologista moderno, é o seu total apoio no essencialismo. O nominalismo, a única outra escola poderosa da filosofia escolástica, acentuava que somente os indivíduos existiam, encaixados em classes por meio de nomes. O nominalismo não teve nenhuma influência na biologia, durante a Idade Média, e ainda não é absolutamente claro se, e em que medida, ele teria contribuído para o eventual surgimento do empirismo e do pensamento de população.

O conceito da Igreja Cristã de que a "palavra revelada" tinha uma autoridade esmagadora foi

curiosamente também estendido, nos tempos medievais, a outros escritos, particularmente à obra de Aristóteles, e mesmo aos escritos de sábios árabes, como Avicenna. Quando surgia uma questão como quantos dentes tem um cavalo, olhava-se em Aristóteles, em vez de olhar para a boca de um cavalo. O mundo voltado para si mesmo do cristianismo medieval dava pouca atenção à natureza. Isso começou a mudar um pouco nos séculos XII e XIII. Hildegard de Bingen (1098-1179) e Alberto Magno (1193-1280) escreveram sobre a história natural, mas o trabalho deles não se situa na mesma categoria da do esplêndido observador Frederico II (1194-1250), cuja soberba *Art of Falconry* (*Da arte da caça*)[‡‡‡] estava muitos séculos à frente do seu tempo, no seu interesse pela morfologia e biologia dos pássaros. A compreensão genuína de Frederico sobre o animal vivo, tão claramente baseada na experiência pessoal, assomou muito acima do nível de outros escritos contemporâneos sobre a história natural, ilustrados pelas compilações acríticas de um Cantimpré ou Beauvais (Stresemann, 1975). A influência de Frederico foi múltipla. Ele traduziu alguns escritos de Aristóteles para o latim, e foi um patrono da escola médica de Salemo (fundada em 1150), onde se dissecavam corpos humanos pela primeira vez, em mais de mil anos.

Começando por Salemo, foram fundadas universidades em várias partes da Europa, particularmente na Itália (Bolonha, Pádua), França (Paris, Montpellier), e Inglaterra (Oxford e Cambridge). Os seus fundamentos eram muitíssimo diferentes, originando-se algumas como escolas de medicina, ou escolas de direito, outras, como a Sorbonne (fundada pelos anos 1200), como escolas de teologia. Muitas delas cedo se tomaram centros de escolasticismo, e discutiu-se se a sua existência tem sido um efeito benéfico ou deletério para o ensino do Ocidente. Em algumas áreas (por exemplo, anatomia), elas eventualmente se tomaram centros de progressiva erudição. No que concerne à biologia como um todo, foi apenas no final do século XVIII, e princípio do XIX, que as universidades se tomaram centros de pesquisa biológica.

A lógica, a cosmologia e a física (Crombie, 1952) conheceram um notável renascimento na alta Idade Média, cujo elevado nível intelectual só foi devidamente apreciado na última geração. Em comparação, a biologia continuava dormente. Os únicos aspectos da natureza viva a merecerem atenção foram os problemas da medicina humana. É em vão que se procura por tentativas de abordagem dos problemas mais profundos da vida, tão fascinantes para os séculos posteriores e para o pensamento moderno. Tem-se a impressão de que essa falta de interesse era, de alguma forma, ligada à extrema piedade do período, que não permitia questões sobre a criação de Deus; mas então ficamos admirados por que esse tabu não se estendeu à física e à cosmologia. Teria sido porque o prestígio da matemática e sua neutralidade teleológica conduziam automaticamente à física e à cosmologia, enquanto não existia tal trampolim para a biologia? A teologia natural, eventualmente, fornecia uma tal abertura, mas que efetivamente não ocorreu até o século XVII. Teria sido a descoberta de países exóticos, em que se verificavam os mesmo corpos celestes, e eram válidas as mesmas leis físicas como na Europa, mas em que se encontravam faunas e floras inteiramente diferentes? Ou teria sido porque os fenômenos da vida requerem a indagação de questões muito mais sofisticadas do que as levantadas pelo estudo dos corpos cadentes? Quem sabe? Estamos ainda em falta de uma análise adequada da distância que separa o despertar das ciências mecânicas da revitalização pós-medieval da biologia.

A Renascença

Durante a Renascença, desenvolveu-se um interesse novo pela história natural e pela anatomia. Ambas, de certa forma, eram partes da medicina, e os pesquisadores mais ativos nessas áreas eram usualmente professores de medicina, ou médicos práticos.

O estudo de plantas medicinais era popular ao longo da alta Idade Média, como se reflete no número de herbários, particularmente depois que os trabalhos de Theofrasto e Dioscórides se tomaram de novo disponíveis. Mas foram os livros de plantas de Brunfels, Bock e Fuchs que preconizaram um novo movimento de "volta à natureza" pelo estudo das plantas (veja o Capítulo 4). A influência libertadora das viagens, eventualmente, também se fez sentir. Ela começou com as cruzadas, continuou com as viagens dos mercadores venezianos (como a visita de Marco Polo à China) e com as travessias dos navegadores portugueses, e culminou com a descoberta do Novo Mundo por Colombo (1492)! Uma das consequências decisivas dessas viagens foi o súbito reconhecimento da imensa diversidade da vida animal e vegetal, em todas as partes do globo. Tal constatação conduziu à publicação de diversas histórias naturais enciclopédicas, por Wotton, Gesner e Aldrovandi, e de obras mais especializadas, como de Belon sobre pássaros, e de Rondelet sobre organismos marinhos.

A anatomia era ensinada nas escolas médicas medievais, particularmente na Itália e na França, mas de uma forma literária peculiar. O professor de medicina recitava Galeno, enquanto um assistente ("cirurgião") dissecava as correspondentes partes do corpo. Isso era feito pobremente, enquanto a oratória e as disputas dos mestres, todos eles meramente interpretando Galeno, eram consideradas de longe mais importantes do que a dissecação. Foi André Yesalius (1514-1564) que, mais do que qualquer outro, mudou tudo isso. Ele mesmo participava ativamente nas dissecações, inventava novos instrumentos para dissecar, e finalmente publicou um trabalho anatômico com magníficas ilustrações: *De Humani Corporis Fabrica* (1543). Nele, corrige inúmeros erros de Galeno, mas ele próprio fez apenas um número limitado de descobertas, e retinha o arcabouço aristotélico das explicações fisiológicas. Não obstante, com Vesalius começou uma nova era para a anatomia, na qual o apego escolástico aos textos tradicionais foi substituído pelas observações pessoais. Os sucessores de Vesalius, entre eles Fallópio, Fabricius de Aquapendente, Eustacchi, Cesalpino e Severino, não apenas fizeram importantes descobertas na anatomia humana, mas diversos deles também forneceram importantes contribuições para a anatomia comparativa e para a embriologia. A relevância particular desse desenvolvimento é que ele proporcionou a base para o novo relance da fisiologia.

A ciência aplicada, isto é, a tecnologia e as artes da engenharia, preparou o caminho, durante a Renascença, para um modo inteiramente novo de encarar as coisas. A mecanização da imagem do mundo, que resultou desse movimento, alcançou uma primeira culminância no pensamento de Galileu Galilei (1564-1642), e na dos seus estudantes e associados. A natureza era para eles um sistema ligado a leis da matéria em movimento. O movimento era o cerne de todas as coisas, e tudo devia ter uma causa mecânica. A sua ênfase na quantificação pode ser expressa na sua advertência "de medir o que pode ser medido, e tomar mensurável o que não pode ser medido". Isso conduziu ao desenvolvimento e ao uso de instrumentos para determinar quantidades, ao cálculo das regularidades que conduziram ao estabelecimento de leis gerais, e à dependência da observação e do experimento, em vez do mundo da autoridade. Isto significou, em particular, a rejeição de certos aspectos do aristotelismo, que se tomou tão autoritário pela influência dos tomistas.

Os ataques de Aristóteles não vinham só de físicos, mas também da filosofia. Francis Bacon,

que era particularmente contundente no seu antiaristotelismo, tomou-se o profeta do método da indução, embora as suas próprias teorias biológicas fossem construções inteiramente dedutivas. O grande mérito de Bacon, de qualquer maneira, consistiu em questionar incessantemente a autoridade e na insistência em dizer que o nosso conhecimento é incompleto, em contraste com a crença medieval de que ele era completo.

As contribuições mais positivas da revolução científica, no que concerne à biologia, referem-se ao desenvolvimento de uma nova atitude em relação à pesquisa. Consistiu na completa rejeição do escolasticismo estéril, que se empenhava em encontrar a verdade puramente por meio da lógica. Maior ênfase foi dada ao experimento e à observação, isto é, à coleta de fatos. Isso favoreceu a explicação das regularidades nos fenômenos do mundo, por leis naturais, cuja descoberta se tomou a tarefa do cientista. O número atual de contribuições concretas para a biologia, feitas mediante de uma aproximação mecanicista, é muito pequeno. Nele se incluem as mensurações do volume do sangue, de Harvey, as quais constituíram um elo importante na corrente do seu argumento em favor da circulação sanguínea; também os estudos de alguns anatomistas, particularmente Giovanni Alfonso Borelli (1608-1679), sobre a locomoção. Por certo, nenhum outro ramo da fisiologia se presta melhor a uma análise mecanicista do que o movimento das extremidades, articulações e músculos.

A publicação dos *Principia* de Newton, em 1687, que propunha uma mecanização de todo o mundo inanimado em base matemática, reforçou grandemente uma abordagem mecanicista da fisiologia. Mais do que nunca, tomou-se agora moda explicar tudo em termos físicos de forças e movimento, por mais imprópria que fosse tal explicação para a maioria dos fenômenos biológicos. Por exemplo, a explicação do sangue quente nos mamíferos e nos pássaros, como sendo devida à fricção do sangue nos vasos sanguíneos, foi aceita por mais ou menos 150 anos, embora pudesse ter sido refutada por uns poucos em simples experimentos, ou pela observação da circulação sanguínea de anfíbios de sangue frio e de peixes do mesmo tamanho, como ratos e pássaros. Explicações fisicistas fáceis foram um grande empecilho para a pesquisa biológica durante os séculos XVII e XVIII, e às vezes até mais tarde.

Como Radl (1913: VIII) salientou há muito tempo, o trunfo das ciências físicas, durante a revolução científica, foi, de muitas maneiras, um fracasso para a biologia, e para todos aqueles modos de pensar especificamente biológicos, que só nos séculos XIX e XX reconquistaram o reconhecimento: a teleonomia (acusada de ser a busca de causas finais), idéia de sistemas, o estudo de propriedades qualitativas e emergentes e dos desenvolvimentos históricos. Tudo isso era negligenciado, quando não positivamente combatido e ridicularizado. A resposta dos cientistas da vida aos ataques dos físicos era ou uma tentativa fútil de exprimir os processos biológicos nos termos totalmente inadequados dos fisicistas ("movimentos e forças"), ou uma fuga igualmente fútil ao vitalismo, ou a explicações sobrenaturais. É embaraçoso constatar que só recentemente os biologistas tiveram a força intelectual para desenvolver um paradigma explicativo que leva plenamente em consideração as propriedades únicas do mundo vivo, e que ao mesmo tempo é plenamente consistente com as leis da química e da física (veja o Capítulo 1).

Descartes

Talvez ninguém mais do que o filósofo René Descartes (1596-1650) contribuiu tanto para a difusão da imagem mecanicista do mundo. Como em Platão, o seu pensamento era grandemente

influenciado pela matemática, tendo sido a descoberta da geometria analítica provavelmente a sua mais brilhante contribuição. Os seus ataques à cosmologia aristotélica eram legítimos e construtivos, muito embora as suas próprias proposições acabassem por não prevalecer tampouco. Seja como for, a sua idéia de redução dos organismos a uma classe de autômatos teve a infeliz consequência de ofender qualquer biologista que fosse provido da mais ligeira compreensão dos organismos. O mecanicismo crasso de Descartes, por esse motivo, encontrou violenta oposição. Esta se exprimia, em geral, num vitalismo teleológico igualmente absurdo. Presumivelmente, não é coincidência que a França, o país do mais extremo mecanicismo, de Descartes a La Mettrie e Holbach, talvez tenha sido também o mais ativo centro do vitalismo. As afirmações de Descartes de que os organismos não passam de meros autômatos, que a espécie humana difere deles pelo fato de ter uma alma, que toda a ciência deve estar baseada na matemática, e muitos outros dos seus enunciados dogmáticos sumários, ao se comprovarem completamente errôneos, constituíram-se em pedra de moinho no pescoço da biologia, cujos efeitos (na controvérsia mecanicismo-vitalismo) perduraram até o final do século XIX. Um dos componentes mais fracos do pensamento de Descartes dizia respeito às origens. Ele cogitava que os organismos eram formados pelo encontro fortuito das partículas. Em última instância, isso significava explicar a natureza como o resultado cego do acidente. Essa tese, todavia, era claramente contraditada pela ordem da natureza, e pelas notáveis adaptações de todas as criaturas, como demonstrado pelos naturalistas.

O que mais espanta em Descartes é que, apesar dos seus próprios protestos, grande parte do seu aparato racional é tomista. O seu modo de pensar é bem ilustrado pelas suas conclusões a respeito da sua própria existência:

> Concluí que eu era uma substância cuja inteira essência, ou natureza, consiste no pensamento, e cuja existência não depende nem da sua localização no espaço, nem de alguma coisa material. Dessa forma, o eu, ou melhor, a alma, pela qual eu sou o que sou, é inteiramente distinta do corpo, inclusive é mais fácil de conhecer do que o corpo, e não deixará de ser o que ela é, mesmo que não existisse o corpo *(Discourse on Method,* p. 4).

A maioria das suas conclusões fisiológicas foi alcançada mais pela dedução do que pela observação e o experimento. Como Platão antes dele, Descartes acabou demonstrando, pelo fracasso do seu método, que não se podem resolver problemas por meio de raciocínio matemático. Muito ainda resta a fazer no exame da influência de Descartes no subsequente desenvolvimento da biologia, particularmente na França. Isso envolve a questão do quanto o cartesianismo foi responsável pela aceitação fria do pensamento evolucionista (de Lamarck, por exemplo), na França, nos séculos posteriores. O que é particularmente notável, *post factum, é* a ingenuidade com que explicações puramente físicas, da forma mais simplista, eram aceitas por Descartes e alguns dos seus seguidores. Buffon, por exemplo, concluiu que "uma única força", a saber, a atração gravitacional, "é a causa de todos os fenômenos da matéria bruta, e essa força, combinada com a do calor, produz as moléculas vivas, de que dependem todos os efeitos dos corpos organizados" (*Oeuvr: Phil.* 41).

Talvez a biologia teve que passar por uma fase em que o fisicismo estéril de Descartes foi aceito. A demonstração perfeitamente correta de Aristóteles, de que a forma biológica não podia ser entendida em termos de pura matéria inanimada, foi infelizmente vulgarizada pelos escolásticos, que substituíram a psique de Aristóteles pela alma do dogma cristão. Efetivamente, a fisiologia

artistotélico-galena tomou-se cientificamente inaceitável, quando interpretada em termos da alma cristã. Nessas circunstâncias, Descartes tinha duas opções. Podia ou tomar à "forma" aristotélica, e redefini-la, como faz o moderno biologista, no seu programa genético, ou podia rejeitar completamente a alma cristã, em relação aos animais, sem substituí-la por algo diferente, reduzindo o organismo a um pedaço de matéria inanimada, como todas as outras coisas inanimadas. Esta última foi a opção que ele adotou, uma opção obviamente inaceitável para qualquer biologista que sabia que um organismo é mais do que apenas matéria inanimada. Não sendo muito biologista, Descartes não pensava assim. Somente ao contemplar o homem é que ele se deu conta de que a sua tese não podia estar certa. Então ele adotou o dualismo entre corpo e alma, um dualismo (não novo com Descartes) que nos tem contaminado desde então.

A predominância da concepção do mundo mecânico não era completa. Com efeito, eram tão extremos os conceitos dos mecanicistas galiléicos e cartesianos, que suscitaram diversos contramovimentos, quase ao mesmo tempo. Dois deles são de particular interesse na história da biologia: o surgimento de uma tradição qualitativo-química, e o estudo da diversidade. Ambos os movimentos radicavam-se, em parte, na revolução científica.

Um novo movimento na fisiologia do século XVI concentrava-se na qualidade e nos componentes químicos, em vez de no movimento e nas forças. Tal aproximação não era de forma alguma antifisicalista, em princípio, porque, nas suas explicações dos processos vivos, utilizava conceitos, leis e mecanismos que primeiramente foram desenvolvidos para explicar processos do mundo inanimado. Refiro-me a Paracelso (1493-1541) e aos seus seguidores, aos alquimistas, e à escola usualmente chamada dos iatroquímicos. Por mais estéril que tenha sido esse movimento no começo, por mais errado que fosse nas suas particularidades, teve, todavia, a longo prazo, um impacto muito mais duradouro na explicação dos processos biológicos do que outros estritamente mecanicistas. Paracelso, em parte gênio e em parte charlatão, que acreditava em forças mágicas e ocultas, rejeitava a importância dos quatro elementos tradicionais dos gregos, substituindo-os por elementos químicos atuais, particularmente o enxofre, o mercúrio e o sal. O seu conceito dos processos da vida, como sendo processos químicos, deu origem a uma tradição inteiramente nova que, por intermédio de J. H. van Helmont (1577-1644), representou o início de uma nova fase na história da fisiologia. Nos escritos de van Helmont encontramos uma peculiar mistura de superstição, de vitalismo, e de observações extraordinariamente penetrantes. Ele cunhou o termo "gás", e realizou pesquisas significativas sobre CO2. Reconheceu a acidez do estômago e a alcalinidade do intestino delgado, iniciando com isso um campo completamente novo de pesquisa em biologia nutricional. A quimização da fisiologia continuou com os seus seguidores, como Stahl.

A descoberta da diversidade

Um dos objetivos das tentativas de fornecer uma explicação mecanicista para todos os fenômenos foi o de garantir a unidade da ciência. A ambição dos cientistas físicos era de reduzir os fenômenos do universo a um número mínimo de leis. Devido, porém, à descoberta de uma quase ilimitada diversidade de animais e de plantas, desenvolveu-se, por assim dizer, uma tendência diametralmente oposta no estudo dos organismos vivos. Os herbalistas e os enciclopedistas ressuscitaram a tradição de Theofrasto e Aristóteles, ao descobrirem e descreverem com riqueza de

detalhes espécies diversas de organismos. Mais e mais os naturalistas começaram a dedicar-se ao estudo da diversidade da natureza, e descobriram que o mundo da criação é muito mais rico do que qualquer um podia imaginar. E a glória de Deus podia ser estudada em cada uma das criaturas, desde as ínfimas até os rinocerontes e elefantes, admirados por Dürer ou Gesner.

Coincidentemente, a revolução científica ofereceu uma contribuição maior para 0 interesse na diversidade. O desenvolvimento de toda sorte de instrumentos novos foi um dos produtos do espírito de mecanização, sendo o microscópio o mais importante deles para o biologista. A microscopia abriu um mundo novo para o biologista. Mesmo que os primeiros microscópios permitissem apenas uma ampliação decuplicada, isso foi o suficiente para revelar a existência de um microcosmo vivo inteiramente inesperado, em particular de organismos aquáticos, invisíveis a olho nu.

Os dois primeiros e mais proeminentes praticantes da microscopia foram Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) e Marcello Malpighi (16281694). Eles forneceram descrições dos tecidos de animais e de plantas (o nascimento da histologia), e descobriram o plâncton de água doce, as células sanguíneas, e mesmo os espermatozóides. O trabalho desses primeiros microscopistas caracterizou-se pelo prazer da descoberta. Sem um objetivo preciso, eles examinavam quase todos os objetos amplificáveis, e descreviam o que viram. Encontra-se bem pouca teoria biológica nos seus escritos. Incidentalmente, as primeiras aplicações do microscópio eletrônico, trezentos anos mais tarde, caracterizaram-se por igual atitude.

Foi também nesse período que os insetos foram descobertos, como sendo um objeto próprio de estudo científico. Francesco Redi, em 1668, mostrou que os insetos não são o resultado de geração espontânea, mas que se desenvolvem de ovos postos por fêmeas fertilizadas. Jan Swammerdam (1637-1680) produziu um soberbo trabalho anatômico sobre as abelhas melíferas e outros insetos. Pierre Lyonnet, Ferchault de Réaumur, de Serrès, Leonhard Frisch, e Roesel von Rosenhof foram outros naturalistas dos séculos XVII e XVIII que deram importantes contribuições para o conhecimento dos insetos. A maioria deles era motivada pela pura satisfação de descrever o que descobriam, mesmo que nada mais fosse do que 4.041 músculos de uma lagarta (Lyonnet, 1762; veja Capítulo 4).

O entusiasmo pela extraordinária diversidade do mundo vivo foi ainda mais excitado pelo sucesso de viagens, e de exploradores individuais, que traziam de volta plantas e animais exóticos de todos os continentes. O capitão Cook levou consigo os Forsters, pai e filho, como naturalistas, em uma das suas viagens. O Forster mais novo inspirou Alexander von Humboldt, que por vez sua inspirou o jovem Charles Darwin. A era das viagens transoceânicas e das explorações resultou numa verdadeira obsessão pelos organismos exóticos, e conduziu à montagem de vastas coleções, como ilustrado pelas dos patrocinadores de Lineu, na Holanda, de Banks e seus concorrentes, em Londres, e do Jardim du Roi, em Paris, que era dirigido por Buffon.

O crescimento exponencial das coleções produziu a mais importante necessidade do período: a classificação. Tendo começado com Cesalpino (1583), Toumefort e John Ray (cujo trabalho é analisado no Capítulo 4), a era da classificação alcançou o seu apogeu com Carl Lineu (17071778). A sua importância foi exaltada durante toda a sua vida, além de qualquer outro naturalista desde Aristóteles. Todavia, cem anos mais tarde, Lineu foi denegrido como representando um processo pedante ao período escolástico. Vêmo-lo hoje como um filho do seu tempo, emitinente em alguns aspectos, cego em outros. Na qualidade de naturalista tópico, como antes dele John Ray, ele observou a nítida descontinuidade entre as espécies, e admitia a impossibilidade de uma espécie

mudar para outra. A sua insistência na constância e na estrita delimitação das espécies, pelo menos nos seus primitivos escritos, foi o ponto de partida para o desenvolvimento subsequente de uma teoria evolucionista. Foi só em anos recentes que foi de novo lembrada a contribuição de Lineu para a fitogeografia e ecologia. A maioria dos seus seguidores infelizmente não tinha o mesmo faro de Lineu, e encontraram ampla satisfação em descrever novas espécies.

Mas nem todos os naturalistas do período sucumbiram à idiotice da descrição das espécies. J. G. Kölreuter (1733-1806), por exemplo, embora partindo de um interesse bastante tradicional na natureza das espécies, forneceu contribuições pioneiras para a genética, a fertilização, e para a, biologia das flores nas plantas. Esses estudos foram ampliados por C. K. Sprengel (1750-1816), por meio de copiosos experimentos na fertilização das plantas. O trabalho desses dois pesquisadores, embora virtualmente ignorado durante a sua vida, constituiu parte dos fundamentos sobre os quais Darwin mais tarde baseou a sua pesquisa experimental sobre a fertilização (e a fertilidade) nas plantas.

Uma tradição em história natural, muito diferente da de Lineu, foi iniciada por Buffon, cuja *Histoire naturelle* (1749 ss.) era lida por praticamente todo europeu educado. Com a sua ênfase nos animais vivos e sua história de vida, essa obra exerceu um tremendo impacto nos estudos de história natural, impacto esse que não chegou a ser plenamente usufruído a não ser na idade moderna da etologia e ecologia. O estudo da história natural, no século XVIII e começo do século XIX, estava quase completamente em mãos de amadores, particularmente pessoas do campo, como Zorn, White (vigário de Selborne) e C. L. Brehm. Buffon, por mais brilhante que tenha sido como popularizador, talvez exerceu a sua maior influência pelas suas idéias estimulantes, e muitas vezes novas e

ousadas. Ele teve uma enorme influência liberal no pensamento contemporâneo, em áreas tão diferentes como a cosmologia, o desenvolvimento embrional, as espécies, o sistema natural, e a história da Terra. Ele por certo nunca avançou na teoria da evolução, mas indubitavelmente preparou o terreno para Lamarck (veja Capítulo 7). Concordo plenamente com a avaliação de Nordenskiöld sobre Buffon (1928: 229):

> Na esfera puramente teórica, ele foi o biologista número um do século XVIII, o único que possuía o maior acervo de idéias, de real benefício para as épocas posteriores, e exercendo uma influência que se estendeu amplamente no futuro.

A diversidade, evidentemente, é um fenômeno que parece não se adequar de forma alguma ao paradigma newtoniano de leis físicas. Contudo, desde que as leis eram a evidência da existência de um criador, que as produz, a descoberta das leis reguladoras da diversidade tomou-se um desafio para os estudiosos da diversidade, de Kielmayer aos quinarianos e a Louis Agassiz. Tais esforços, muito contrariamente à intenção dos seus autores, proporcionaram muitas evidências para a evolução.

Lineu, em todos os sentidos, é o fundador da ciência da sistemática, e Buffon fez do estudo da história natural o passatempo de cada um. A fisiologia alcançou novas culminâncias com Haller, e a embriologia com Bonnet e Wolff. Em consequência, a biologia, tão vastamente eclipsada pelas ciências físicas no século XVII, começou a entrar na posse de si mesma em meados do século XVIII.

O interesse dominante do século era, claramente, a descrição, a comparação e a classificação dos organismos. A anatomia, que tinha sido antes de tudo um método de pesquisa fisiológica, desde

os seus mais remotos começos, toma-se agora mais e mais comparativa. Ela se desenvolveu num método novo do estudo da diversidade. O método comparativo, um dos dois grandes métodos da ciência (sendo o outro a experimentação), teve o seu real início na segunda metade do século XVIII. Por certo que estudos comparativos tinham sido realizados, desde o século XVI, por Belon, Fabrizio, e Severino, mas eles se tomaram um método de pesquisa sistemática somente em mãos de Camper, Hunter, Palias, Daubenton, e particularmente Vicq-d'Azyr. A nova tradição, assim instaurada, alcançou um primeiro pico na obra de Cuvier, que, numa série de estudos metódicos, com particular ênfase nos invertebrados, demonstrou a ausência de quaisquer intermediários entre os maiores filos de animais, refutando assim completamente a existência de uma *scala naturae.* Estudos anatômicos comparativos posteriores a 1859 forneceram, todavia, com toda certeza, algumas das evidências mais convincentes em favor da teoria darwiniana da descendência comum.

A teologia natural

É difícil para um homem moderno avaliar a unidade da ciência e da religião cristã, que reinava no tempo da Renascença, e largamente no século XVIII. A razão por que não havia conflito entre ciência e teologia era que ambas tinham sido sintetizadas como teologia natural (teologia física), a ciência do dia. O teólogo natural estudava as obras do Criador, a bem da teologia. A natureza era para ele prova convincente da existência de um ser supremo, pois como se poderia explicar de outra maneira a harmonia e a finalidade da criação? Isso justificava o estudo da natureza, uma atividade sobre a qual muitos dos devotos tinham apenas reduzida autoconsciência, particularmente no século XVII. O espírito da teologia natural ainda dominava tardiamente autores como Leibniz, Lineu e Herder, como também a ciência britânica até a metade do século XIX. A total dominação de todas as atividades e pensamento científicos, pelos conceitos da teologia natural, foi de longa dato compreendida pelos historiadores da ciência, e temos sobre isso grande número de abordagens penetrantes.

A mecanização da imagem do mundo causou um sério dilema para o devoto. Se ele acompanhava as afirmações do cientista físico, devia admitir que o mundo foi criado de uma só vez, e que no mesmo momento foram baixadas as leis naturais ("causas secundárias"), as quais requeriam apenas uma porção mínima de intervenção divina nos períodos seguintes. A tarefa do "filósofo natural" consistia em estudar as causas próximas, pelas quais essas leis divinas se manifestavam. Tal interpretação adequava-se razoavelmente bem aos fenômenos do mundo físico, mas era completamente contraditada pelos fenômenos do mundo vivo. Aqui se observa uma diversidade de ações e interações individuais de tal ordem, que se toma inconcebível explicar isso por um número limitado de leis básicas. Tudo no mundo vivo parecia ser tão imprevisível, tão especial, e tão único, que o naturalista observador se viu obrigado a invocar o Criador, o seu pensamento, e sua atividade, em cada detalhe da vida de cada indivíduo de cada espécie de organismo. Em todos os casos, isso se afigurava como algo impensável, porque, como disse um dos comentadores, um administrador supervisiona os seus empregados, mas não realiza pessoalmente todas as tarefas de um trabalhador. Assim, nenhuma das alternativas parecia aceitável. Os próximos duzentos anos foram preenchidos com tentativas para escapar desse dilema, mas não havia como lhe fugir, dentro da concepção do dogma criacionista. Consequentemente, as duas escolas de pensamento continuaram: os cientistas físicos viam em Deus o poder que, no momento da criação, instituiu as leis que governam os

processos deste mundo. Em contraste, os naturalistas devotos, que estudavam a natureza viva, concluíam que as leis básicas de Galileu e Newton eram desprovidas de sentido, quando relacionadas à diversidade e à adaptação do mundo vivo. Mais do que isso, eles viam a mão de Deus mesmo nos mais insignificantes aspectos da adaptação e diversidade. O *The Wisdom of God Manifested in the Works of the Creation* (1691), de John Ray, não é apenas um poderoso argumento sobre o plano, mas também uma história muito profunda, dir-se-ia mesmo, uma das obras mais antigas de ecologia. A excelência das observações em que se baseavam os escritos dos teólogos naturalistas proporcionava-lhes uma vasta circulação, e contribuiu grandemente para a difusão do estudo da história natural. A teologia natural era um desdobramento necessário, porque o plano era realmente a única explicação possível para a adaptação num mundo "criado" estático. Toda nova descoberta naqueles primeiros tempos da história natural era grão para o moinho da teologia natural. A vida supostamente idílica dos habitantes dos trópicos, em particular, era encarada como uma evidência do plano previdente do Criador. A descoberta de infusórios e de zoófitos parecia confirmar a Grande Corrente do Ser, conduzindo até o homem. Mas a hora de triunfo da teologia natural foi curta. Ela foi questionada implicitamente em muitos escritos de Buffon, e criticada assaz explicitamente nos *Dialogues* (1779), de Hume, em relação à religião natural, e bem assim na *Critique of Judgment* (1790), de Kant.

A biologia evolutiva beneficiou-se grandemente da teologia natural. Isto soa mais como uma afirmação paradoxal, tendo em conta que a evolução, dificilmente, recebeu qualquer atenção antes de 1859, e isso ainda é verdadeiro, embora num sentido indireto. O que a teologia natural realizou foi levantar questões concernentes à sabedoria do Criador e ao modo engenhoso com que adaptou todos os organismos uns aos outros e ao seu ambiente. Isso conduziu aos estudos seminais de Reimarus e Kirby, sobre os instintos animais, e à descoberta de C. K. Sprengel, sobre a adaptação das flores para a polinização pelos insetos e as correspondentes adaptações dos polinizadores. De Ray e Derham a Paley, aos autores do *Bridgewater Treatises,* e a numerosos contemporâneos seus, todos os teólogos naturais descreviam aquilo que hoje chamaríamos de adaptações. Quando "a mão do Criador" foi substituída, no esquema explicativo, pela "seleção natural", isso permitiu incorporar na biologia evolutiva, quase inalterada, a maior parte da literatura da teologia natural sobre os organismos vivos. Ninguém pode pôr em dúvida que a teologia natural estabeleceu um fundamento notavelmente rico e sólido para a biologia evolutiva, e que somente já bem dentro do período darwiniano é que se retomaram os estudos sobre a adaptação, tão avidamente quanto o foram na teologia natural.

A teologia natural representa uma visão do mundo intensamente otimista. Todavia, na segunda metade do século XVIII, muita coisa aconteceu para destruir esse otimismo ilimitado, começando pelo terremoto de Lisboa, os horrores da Revolução Francesa, e a consciência da intensidade da luta pela existência. A tirania da teologia natural no pensamento ocidental terminou na França e na Alemanha antes do fim do século XVIII. Curiosamente, ela conheceu um reflorescimento na Inglaterra, na primeira metade do século XIX. A *Natural Theology* (1803), de Paley, e as *Bridgewater Treatises* (1832-1840) uma vez mais acentuaram de modo muito enfático o "argumento do plano". Os mais importantes paleontologistas e biologistas ingleses da época eram teólogos naturais, inclusive Charles Lyell e outros amigos de Darwin. Esse fato esclarece em grande medida a estrutura intelectual da *Origin of Species* (veja o Capítulo 9).

Vida e geração

À exceção da história natural, o estudo dos organismos vivos, desde a Renascença até o século XIX, estava largamente em mãos da profissão médica. Mesmo os grandes botânicos (exceção feita a Ray) foram educados como doutores em medicina. O seu principal interesse era, obviamente, o funcionamento do corpo sadio ou doente, e, em segundo lugar, o problema da "geração", isto é, a origem de novos organismos. No começo do século XVIII, encontrar um compromisso entre os extremos do mecanicismo cada vez mais radical e do oposto vitalismo tomou-se a tarefa da fisiologia. Foi Albrecht von Haller (1707-1777) que conferiu à fisiologia uma nova direção. Ele voltou à tradição empírica de Harvey e dos vivisseccionistas, e tentou determinar a função de vários órgãos, por meio de inumeráveis experimentos animais. Mesmo não tendo encontrado evidência alguma sobre uma "alma", que dirige as atividades fisiológicas, as suas experiências convenceram-no de que as estruturas do corpo vivo têm certas propriedades (como a irritabilidade) que não se encontram na natureza inanimada.

A despeito das equilibradas conclusões de Haller, o pêndulo continuou a balançar de cá para lá, até a primeira quadra de século XX. Vitalismo e mecanicismo continuavam a combater-se mutuamente. O vitalismo, por exemplo, era defendido pela escola de Montpellier (Bordeu, Barthez), pelos *Naturphilosophen* alemães, por Bichat e Claude Bemard, e também por Driesch, enquanto um mecanicismo irredutível era pregado por Ludwig, du Bois-Reymond, Julius Sachs, e Jacques Loeb. Talvez seja legítimo dizer que essa controvérsia só foi totalmente eliminada quando se reconheceu que todas as manifestações do desenvolvimento e da vida são controladas por programas genéticos.

Retrocedendo aos séculos XVII e XVIII, a segunda grande controvérsia dizia respeito à natureza do desenvolvimento. A pergunta a ser respondida era como pode o ovo "amorfo" de uma rã desenvolver-se numa rã adulta, e um ovo de peixe num peixe? Os defensores do *pré-formismo* pensavam que havia algo de pré-formado no ovo, sendo responsável por converter o ovo de uma perereca numa perereca, e o de uma truta numa truta. Desafortunadamente, os representantes extremos da escola pré-formista postulavam a preexistência, isto é, que um adulto miniaturizado (*homunculus*) estava de alguma maneira encapsulado no ovo (ou no espermatozóide), uma idéia cujo absurdo foi facilmente demonstrado. Os seus opositores, que sustentavam a tese de *epigênese,* isto é, a diferenciação gradual de um ovo inteiramente amorfo para os órgãos do adulto, dificilmente eram mais convincentes, uma vez que eram totalmente incapazes de dar contas da especificidade da espécie desse processo, devendo por isso invocar forças vitais. Eram os mentores do vitalismo. Como tantas vezes na história da biologia, nenhuma das teorias opostas prevaleceu no final, quando muito apenas a sua fusão eclética. Os epigenistas estavam corretos quando afirmavam que o ovo, no seu início, é essencialmente indiferenciado; e os pré-formistas igualmente corretos em que o seu desenvolvimento é controlado por algo pré-formado, reconhecido agora como o programa genético. Entre os participantes dessa controvérsia, além de Haller, podem-se mencionar também Bonnet, Spallanzani, e C. F. Wolff (Roe, 1981).

A biologia no Iluminismo

Como indicado pelo termo "Iluminismo", o século XVIII, de Buffon, Voltaire e Rousseau, a

Diderot, Condillac, Helvetius e Condorcet, foi um período intelectualmente liberal. A forma predominante de religião era o deísmo. Embora admitindo a existência de Deus, o deísta iluminado não encontrava evidências de que Deus tenha criado o mundo para o bem do homem. O Deus. deles era a inteligência suprema, o criador do mundo e da sua ordem universal, o promulgador de leis gerais e imutáveis. Era um Deus distante do homem, com o qual pouco se relaciona. Não era um passo muito grande do deísmo, por meio do agnosticismo, para o franco ateísmo. Muitos pensadores deram esse passo.

O Iluminismo era um tempo em que qualquer dogma previamente aceito, fosse ele teológico, filosófico ou científico, era criticamente posto em discussão. Mas, de qualquer maneira, as perseguições contra os filósofos, movidas pelo governo da França ("o rei"), deverão advertir-nos de que muitos dos ensinamentos dos filósofos foram considerados tão políticos quanto o eram filosóficos.

O igualitarismo de Condorcet, por exemplo, era uma rebelião contra os privilégios de classe (feudalismo), ignorando completamente quaisquer aspectos biológicos possíveis. Ele reconhecia apenas três tipos de desigualdade, relativos à riqueza, ao *status* social e à educação, não aceitando, porém, qualquer diferença nos dotes nativos. A igualdade total podia ser estabelecida, assim pensava, desde que a riqueza, o *status* e a educação fossem equiparados. Um conceito como seleção natural, ou mesmo evolução, não faria qualquer sentido para alguém votado a um igualitarismo tão irredutível.

É bom lembrar, todavia, que o Iluminismo não foi um movimento homogêneo. Representou quase tantas concepções diversas quanto eram diferentes os seus filósofos.

Paris de Buffon a Cuvier

A história da biologia é rica em episódios do surgimento meteórico de alguns centros de pesquisa. As universidades do Norte da Itália, nos séculos XVI e XVII, são um exemplo; as universidades alemãs, na segunda metade do século XIX, são outro exemplo; Paris, de Buffon (1749) a Cuvier (1832), um terceiro. As contribuições específicas das figuras principais, na galáxia das estrelas parisienses, serão discutidas nos capítulos respectivos, mas neste momento é importante destacar um nome, o de Lamarck (1744-1829), porque a sua proposição do evolucionismo (articulado pela primeira vez no *Discours* de 1800) foi uma ruptura profunda e radical com a tradição.

Muitas vezes se tem dito que só os jovens têm inspirações novas e revolucionárias; mas Lamarck tinha mais de cinquenta anos quando desenvolveu as suas idéias heterodoxas. Os seus estudos geológicos convenceram-no de que a Terra era muito antiga, e que as condições sobre ela variavam constantemente. Entendendo plenamente que os organismos são adaptados ao seu ambiente, foi forçado à conclusão de que eles devem alterar-se, para manterem a sua adaptação ao mundo em contínua mudança, A sua comparação de moluscos fósseis, ao longo dos estratos do Terciário até o presente, confirmou essa conclusão. Isso conduziu Lamarck a propor uma teoria de transformação (1809), que postulava uma tendência intrínseca dos organismos a buscarem a perfeição, bem como uma habilidade para ajustarem-se às demandas do meio. Virtualmente, todos os seus esforços de explicação foram malsucedidos, em grande parte porque ele dependia de crenças convencionais, tais como a herança de caracteres adquiridos. Mesmo que Lamarck tenha sido asperamente combatido

por Cuvier, nem por isso deixou de impressionar muitos dos seus leitores, inclusive Chambers, o autor de *Vestiges* (1844). Não obstante os protestos da oposição, ele preparou evidentemente o terreno para Darwin. Independentemente da sua teoria evolucionista, Lamarck permaneceria um nome honrado na história da ciência, a ele se devendo contribuições múltiplas para a botânica, para os conhecimentos da biologia, e para a classificação dos invertebrados.

Credita-se, por vezes, a Lamarck o fato de haver inaugurado uma nova era da biologia, pela sua teoria da evolução (1800; 1809), e por haver cunhado o termo "biologia", em 1802 (proposto independentemente também por Burdach, em 1800, e por Treviranus, em 1802). Uma visão ampla das ciências biológicas não confirma tal assertiva. A teoria evolucionista de Lamarck teve um impacto muito pequeno, e a cunhagem do *termo* "biologia" não criou uma *ciência* da biologia. No início dos anos 1800 ainda não havia realmente uma biologia, sem prejuízo do grandioso esquema de Lamarck (Grassé, 1940) e do trabalho de alguns dos *Naturphilosophen,* na Alemanha. Esses eram apenas prospectos de uma biologia a-ser-criada. O que existia era história natural e fisiologia médica. A unificação da biologia devia esperar pelo estabelecimento da biologia evolutiva, e pelo desenvolvimento de disciplinas, tais como a citologia.

O grande adversário de Lamarck foi Cuvier (1769-1832), cujas contribuições para a ciência são quase extensas demais para serem listadas. Ele estabeleceu claramente a ciência da paleontologia, e a sua análise das faunas de vertebrados da bacia parisiense foi uma contribuição tão importante para a estratigrafia como o era-a obra de William Smith, na Inglaterra. Já mencionei os importantes estudos de Cuvier na anatomia comparativa, e a sua destruição da *scala naturae*. Quando E. Geoffroy Saint-Hilaire tentou mais uma vez ressuscitar o conceito de unidade de plano em todo o mundo animal, Cuvier refutou tais afirmações de modo devastador. A assim chamada disputa de Academia (1831) com Geoffroy Saint-Hilaire não foi um debate sobre a evolução, como às vezes afirmado, mas sim sobre a questão se os planos estruturais dos animais podem ou não ser reduzidos a um arquétipo único.

Cuvier exerceu um enorme impacto sobre a sua época, impacto que foi ao mesmo tempo bom e ruim. Ele inspirou a pesquisa na anatomia comparativa, talvez mais na Alemanha do que na França, bem como na paleontologia; mas ele também imprimiu as suas concepções mentais conservadoras em muitas gerações de biologistas franceses. Como resultado, a evolução, a despeito da prioridade de Lamarck, necessitou de um tempo mais longo para ser aceita na França do que em qualquer outro país europeu cientificamente ativo. Cuvier desempenhou um papel notavelmente paradoxal na história da evolução. Ele fez oposição a ela, na pessoa do seu principal representante, Lamarck, com todo o poder do seu conhecimento e da sua lógica, e, no entanto, as suas próprias pesquisas na anatomia comparativa, na sistemática e na paleontologia proporcionaram algumas das melhores evidências para aqueles que mais tarde abraçaram o evolucionismo.

O surgimento da ciência, do século XVII ao século XIX

Muita coisa aconteceu nesses três séculos, mas no mais das vezes é impossível dizer o que é causa e o que é efeito. O trânsito de um país a outro de mestres que falavam latim, tão característico da Alta Idade Média e da Renascença, declinou drasticamente, e com ele a popularidade da língua latina. Como resultado, instaurou-sé o nacionalismo na ciência, ajudado e estimulado pelo uso das

línguas nacionais na literatura erudita.

Cada vez menos se fazia referência a obras publicadas na literatura estrangeira. Esse paroquialismo alcançou o seu auge no século XIX, resultando em que cada país tivesse o seu próprio meio intelectual e espiritual.

Talvez não tenha existido nenhuma época, na história ocidental, em que os modismos nacionais foram tão diferentes, como no período entre 1790 e 1860. Na Inglaterra dominava o empirismo. Ele se apoiava numa tradição (nominalista), que remontava a Guilherme de Ockham; foi primeiramente desenvolvido por John Locke, e depois adotado pelos químicos oitocentistas Hales, Black, Cavendish e Priestley. Na França, houve primeiro a ferocidade da revolução, e depois uma extraordinária reação, após a restauração da monarquia. Mesmo que nem a teologia natural, nem a Igreja, tenha tido qualquer influência, havia um espírito de grande conservantismo, por intermédio de Cuvier. A moda era inteiramente diferente na Alemanha. Aqui, uma nação estava encontrando-se consigo mesma, após os esforços e as extremas privações dos séculos XVII e XVIII, e o novo espírito se exprimia por um grande entusiasmo, primeiro pela antiguidade clássica, depois por vários movimentos românticos, culminando na *Naturphilosophie* (tal como desenvolvida por Shelling, Oken, Carus). Como na França, a teologia física não desempenhou nenhum papel, após os anos 1780. A Inglaterra representava um completo contraste. Ali, a teologia natural era inteiramente dominante. A ciência, particularmente a ciência biológica, era simplesmente negligenciada, entregue quase na totalidade às mãos de amadores, quando não de diletantes. Esse era o pano de fundo contra o qual se deve defrontar o surgimento do darwinismo.

O profissionalismo em ciência desenvolveu-se na França, depois da revolução de 1789, e mais ou menos ao mesmo tempo na Alemanha (não conheço uma análise exaustiva; veja Mendelsohn, 1964), mas na Inglaterra ele foi adiado até meados do século XIX. O conceito de ciência, que hoje geralmente se aceita, bem como o seu exercício desenvolveram-se largamente nas universidades alemãs. Foi lá que se implantaram os primeiros laboratórios de ensino, pelos anos 1830 (os de Purkinje, Liebig, Leuckart). As universidades alemãs do século XIX dedicavam-se ao ensino e à pesquisa num grau mais elevado do que as de qualquer outro país. Ninguém via um conflito entre a ciência pura e o conhecimento útil. Havia uma notável afinidade, na Alemanha, entre o sistema universitário e o sistema de aprendizado dos ofícios. Isso impulsionou fortemente a excelência e a efetividade.

Quando a ciência começou a prosperar nos Estados Unidos, e com a implantação de escolas de graduação nas universidades, era o sistema da universidade alemã o mais largamente adotado. E, mais uma vez, um intercâmbio maciço de professores entre os países começou a desenvolver-se, nas últimas décadas do século XIX, movimento esse em que a estação biológica marinha de Nápoles desempenhou um importante papel. Uma vez mais, a ciência tomou-se verdadeiramente internacional, um fato que influenciou fortemente o desenvolvimento da biologia experimental nos Estados Unidos (Allen, 1960).

Ainda uma palavra sobre a situação geográfica. Quase todas as contribuições maiores para o avanço da biologia, do século XV ao final do século XIX, foram realizadas apenas por seis ou sete países. O centro foi primeiro a Itália, mas depois ele se transferiu para a Suíça, França e Holanda, mais tarde para a Suécia, e finalmente para a Alemanha e Inglaterra. Havia sempre um livre intercâmbio de professores, e o fato que ora um ora outro país detinha a hegemonia deveu-se principalmente a razões de ordem econômica ou social. Por exemplo, uma das razões da primazia da

Alemanha, na biologia, no século XIX, foi o fato de haverem-se estabelecido as primeiras cátedras de zoologia, botânica e fisiologia nas universidades alemãs. Ao tempo em que Richard Owen era, pode-se dizer, o único biologista profissional na Inglaterra (todo o ensino era ministrado ou por clérigos, ou por médicos), a zoologia e a botânica já haviam sido profissionalizadas na Alemanha.

A natureza da publicação científica

Até longo tempo no século XIX, a ciência progredia a passos bastante vagarosos. Em muitas disciplinas e subdisciplinas, havia apenas um único especialista em cada época. Tão poucas eram as pessoas que se ocupavam dos diferentes ramos da biologia, que Darwin pensava poder conceder-se o prazo de vinte anos para publicar a sua teoria da seleção natural. Ficou fulminado quando um outro (A. R. Wallace) teve a mesma idéia. Quando começou a profissionalização da biologia, com a implantação de cátedras para os seus diversos ramos, em muitas universidades, e quando cada mestre começou a formar numerosos especialistas jovens, ocorreu uma aceleração exponencial no índice da produção científica.

O crescimento numérico dos especialistas trouxe uma importante mudança na natureza das publicações biológicas. O fato, como salientou Julius Sachs na sua história de botânica, teve lugar na primeira metade do século XIX. As grandes obras que caracterizaram o século XVIII, como a *Histoire Naturelle,* de Buffon, ou o *Systema Naturae,* de Lineu, começaram a ser suplementadas não apenas por monografias mais breves, mas – de modo mais significativo – por breves escritos periódicos. Isso causou a necessidade de muitas novas revistas. Até 1830, havia apenas as publicações da Royal Society, da academia francesa e de outras, bem como publicações gerais como a s *Göttinger Wissenschaftliche Nachrichten.* Agora, sociedades especiais, como a Sociedade Zoológica, a Sociedade Lineana, e a Sociedade Geológica de Londres, começaram a publicar. Periódicos independentes, tais como os *Atinais and Magazine*, *American Journal of Science, Zeitschrift für Wissenschaftliche Zoologie,* e *Jahrbücherfür Wissenschaftliche Botanik,* vieram a público. Não temos ainda uma história das revistas biológicas, mas é fora de dúvida que elas tiveram um grande impacto sobre o desenvolvimento da biologia.

Quando a biologia se tomou mais e mais especializada, nos tempos modernos, *Chromosoma, Evolution, Ecology* e o *Zeitschrift für Tierpsychologie* (mais uma vez, apenas uns exemplos ao acaso) tomaram-se os pontos de articulação de subdisciplinas recentemente em desenvolvimento. Chegamos hoje ao ponto em que se publicam mais escritos (e páginas), no curso de umas poucas décadas, do que em toda a história precedente da biologia. Isso alarga e aprofunda imensamente a biologia, mas se tentarmos listar os dez problemas mais básicos da biologia, provavelmente descobriríamos que a maioria desses problemas já foi formulada pelo menos cinquenta ou cem anos antes. Mesmo que o historiador não possa seguir cada problema e cada controvérsia nos anos 1980, ele pode com certeza lançar um fundamento que venha a facilitar a compreensão das atividades atuais.

Desdobramentos divisores no século XIX

O desenvolvimento da abordagem comparativa, em tomo da passagem do século XIX, forneceu

pela primeira vez uma excelente oportunidade para a unificação da biologia, isto é, a formação de uma ponte entre os naturalistas e os anatomista-fisiologistas. A ênfase de Cuvier na função robusteceu este elo. Mas apenas poucos biologistas tiraram vantagem dessa oportunidade, e ninguém mais do que Johannes Müller (1801-1858) que, pelos anos 1830, realizou a passagem da pura fisiologia para a embriologia comparativa e a morfologia dos invertebrados. Todavia, os próprios alunos de Müller se encarregaram de agravar a cisão dentro da biologia, por sua promoção agressiva de uma abordagem físico-reducionista do estudo da vida, totalmente inadequada para o estudo dos fenômenos que interessavam aos naturalistas. A partir dos anos 1840, mais do que nunca, estabeleceu-se uma falta de comunicação entre os naturalistas e os fisiologistas, ou, como foi possível caracterizar bem após 1859, entre os estudiosos das causas evolutivas (últimas) e os das causas fisiológicas (próximas). De alguma forma, essa polaridade nada mais era do que a continuação do antigo contraste entre os herbalista-naturalistas e os físico-fisiologistas do século XVI, sendo porém que agora os conflitos e a diversidade de interesses eram definidos com muito maior precisão, particularmente depois de 1859. Duas biologias bem definidas – a evolutiva e a funcional – coexistiam lado a lado. Competiam entre si em talento e recursos. Engajavam-se em uma controvérsia após outra, engendradas pela dificuldade de compreensão dos pontos de vistas opostos.

Alguns historiadores da ciência gostam de distinguir períodos diferentes, cada um com um único paradigma dominante (Kuhn), epistemologia (Foucault), ou tradição de pesquisa. Tal interpretação não se adapta bem à situação da biologia. Sempre, desde o final do século XVII, descobrimos mais e mais frequentemente que, mesmo no interior de determinada disciplina biológica, ou especialização, podem existir lado a lado dois paradigmas aparentemente incompatíveis, como preformação e epigênese, mecanismo e vitalismo, iatrofísica e iatroquímica, deísmo e teologia natural, ou catastrofismo e uniformitarismo, para mencionarmos apenas algumas das numerosas polaridades. Isso cria formidáveis dificuldades de interpretação. Como se poderia explicar que, com base em todo o contexto intelectual, cultural e espiritual, isto é, o *zeitgeist*[§§] do período, duas interpretações diametralmente opostas se tenham originado e foram defendidas?

Dois problemas adicionais apresentam-se ao historiador. As várias controvérsias, das quais acabo de dar um exemplo, não coincidem entre si, e o término das mesmas (fosse como fosse) ocorre em períodos separados. Pior do que isso, como já tive oportunidade de escrever, a sequência dos eventos nos diversos países é muitas vezes bastante diferente: a *Naturphilosophie foi* grandemente *confinada* à Alemanha (exceções, E. Geoffroy Saint-Hilaire, quinarianismo, Richard Owe*n);* a *teologia* natural dominou a ciência britânica, na primeira metade do século XIX, mas havia saído de cena, no século XVIII, na França e na Alemanha. O ideal de Foucault, de representar o progresso da ciência (e o seu meio) como uma série de epistemologias que se sucederam, claramente não se encontra no mundo real.

Em vez disso, o que encontramos são dois grupos de fenômenos. Em primeiro lugar, uma mudança gradual da estrutura, institucionalização e aspectos normativos daquilo que hoje chamamos de ciência; em segundo lugar, alguns períodos bem definidos, em ramos individuais da ciência. Por isso, o melhor que posso fazer é apresentar um quadro infelizmente descosido de tacanhos esboços de avanço nas várias disciplinas biológicas. Estudos ulteriores, sem dúvida, conseguirão estabelecer se, e em que medida, existiram conexões entre os eventos dos vários ramos da biologia, e também quais são as conexões (se houver) entre os avanços científicos e o meio intelectual e social geral. O estabelecimento de tais conexões é infelizmente muito frágil, na minha maneira de pensar. Os dois

ramos da biologia que estavam melhor definidos na metade do século XIX eram a biologia fisiológica e a biologia evolutiva. Proponho-me tratar delas em primeiro lugar, antes de abordar outros desdobramentos.

A fisiologia chega à maioridade

Em nenhuma outra área da biologia o pêndulo entre pontos de vistas opostos oscilou de modo tão frequente e violento como na fisiologia. Interpretações mecanicistas extremas, considerando os organismos como nada mais do que máquinas, a serem explicados em termos de movimentos e forças, e um extremo vitalismo, que considerava os organismos como sendo completamente controlados por uma alma sensitiva, quando não pensante, faziam-se oposição, desde os tempos de Descartes e Galileu, virtualmente até o fim do século XIX.

O movimento fisicalista foi grandemente fortalecido pelas publicações fisiológicas populares de três cientistas da natureza, Karl Vogt, Jacob Moleschott e Ludwig Büchner, geralmente mencionados como os materialistas científicos alemães (Gregory, 1977). A despeito da sua designação, eles eram idealistas sinceros, mas igualmente sinceros ateístas. Por sua oposição intransigente ao vitalismo, ao supernaturalismo, e a qualquer outro tipo de explicação não-materialista, eles se serviam de cães-de-guarda, modo de dizer, da fisiologia, atacando implacavelmente qualquer interpretação que não fosse físico-química.

Havia duas razões para o aparecimento de um fisicalismo reducionista quase rampante, na fisiologia de meados do século XIX. Uma era que o poder sempre largamente difundido do vitalismo reclamava uma justificada oposição. A outra razão consistia no enorme prestígio corrente das ciências físicas, que os fisiologistas conseguiram estender a si mesmos, pela adoção de um fisicalismo incondicional e de explicações "mecânicas". Helmholtz foi um dos líderes desse esforço, e propôs, em 1869, o seguinte mote, no simpósio dos naturalistas alemães em Innsbrück: "*Endziel der Naturwissenschaften ist, die allen anderen Veründerungen zugrundeliegenden Bewegungen und deren Triebkrãfte zufinden, also sie in Mechanik aufzulõsen"* ("O objetivo último das ciências naturais é reduzir todos os processos da natureza aos movimentos a eles subjacentes, e encontrar as suas forças condutoras, isto é, reduzi-los à mecânica").

Sem dúvida, uma tal redução é muitas vezes possível naquelas áreas da biologia que tratam das causas próximas; e tentativas de uma análise desse gênero são normalmente heurísticas, mesmo quando malsucedidas. O alto prestígio dessa redução, de qualquer maneira, resultou na sua aplicação a muitos problemas biológicos, e particularmente à biologia evolutiva, onde, todavia, essa abordagem é inteiramente inadequada. Helmholtz, por exemplo, transitava livremente entre a física e as ciências biológicas, movimentação essa que era facilitada pelo fato de que todos os processos fisiológicos são, por certo, em última instância, processos químicos ou físicos. Mas esse conceito desenvolto foi facilmente aplicado também a ramos da biologia em que ele é impróprio. Haeckel (1866), no prefácio da sua *Generelle Morphologie,* impõe-se a tarefa de promover a ciência dos organismos "durch mechanisch-kausale Bergründung" – "no nível das ciências inorgânicas". Nägeli intitula o seu grande tratado da evolução de *Mechanisch-Physiologische Theorie der Abstammungslehre (1884)* e, quase ao mesmo tempo, Roux refunde a embriologia numa *Entwicklungsmechanik.*[{***}]

Esses esforços continham duas grandes fragilidades. Primeiro, "mecanicista", ou "mecânico",

raramente tinha uma definição clara, algumas vezes significando mecânico em sentido bem literal, como nos estudos da morfologia funcional; outras vezes, porém, no sentido de simples oposto do sobrenatural. A segunda fragilidade é que os profetas do mecanicismo nunca fizeram qualquer distinção entre causas próximas e causas últimas, falhando na percepção de que a abordagem mecanicista, embora indispensável no estudo das causas próximas, é normalmente sem sentido na análise das causas evolutivas.

A metodologia da fisiologia sofreu mudanças drásticas no século XIX, incluindo uma aplicação muito mais refinada dos métodos físicos, particularmente por Helmholtz e Ludwig, e mais do que isso, uma crescente aplicação dos métodos químicos. Todo processo corporal, bem como a função de cada órgão e de cada glândula eram estudados separadamente por um grande exército de fisiologistas médicos, zoologistas e químicos. A fisiologia humana, de modo geral, era conduzida em laboratórios separados da fisiologia animal ou das plantas, embora os fisiologistas humanos tenham recorrido amplamente à experimentação animal (inclusive à vivissecção). A publicação, em 1859, da *Origin of Species* quase não causou nenhum arrepio, tendo em vista que as explicações na fisiologia eram explicações das causas próximas.

Darwinismo

O evolucionismo não pereceu com a morte de Lamarck, em 1829. Ao contrário, permaneceu um pensamento popular na Alemanha, junto aos *Naturphilosophen* e alguns outros zoologistas e botânicos, como Schaaffhausen e Unger. Na Inglaterra, foi revivido por Chambers, nos seus *Vestiges* (1844), uma argumentação a favor do evolucionismo, que era altamente popular, a despeito da crítica violenta dos profissionais. Todavia, a teologia natural e o argumento do plano continuavam a ser predominantes, sustentados virtualmente por todos os principais cientistas da época, inclusive Charles Lyell. Esse era o pano de fundo contra o qual Darwin, em 1859, propôs a sua nova teoria.

A evolução consiste nas mudanças de adaptação e na diversidade. Lamarck, na sua teoria, tinha virtualmente ignorado a diversidade, admitindo que os novos tipos de organismos se originavam continuamente por geração espontânea. Em consequência da leitura dos Principies, de Lyell, e dos seus estudos sobre a fauna das ilhas Galápagos e da América do Sul, a atenção de Darwin concentrou-se na origem da diversidade, isto é, na origem das novas espécies. Sua teoria evolucionista era a da "descendência comum", fazendo derivar todos os organismos, em última instância, de uns poucos ancestrais primitivos, ou possivelmente de uma única primeira vida. Por isso, o homem fazia, inexoravelmente, parte da torrente evolutiva global, e foi destituído da excelsa posição que lhe foi conferida pelos estóicos, pelo dogma cristão e pela filosofia de Descartes. Essa teoria da descendência comum pode ser designada como a primeira revolução darwiniana.

Darwin era igualmente revolucionário na sua teoria das causas da evolução. Antes de mais nada, ele rejeitou as teorias dos saltos dos essencialistas, e insistiu na evolução completamente gradual. Da mesma forma, ele rejeitou a noção da evolução lamarckiana, no sentido de uma orientação intrínseca automática para a perfeição, propondo em vez disso uma causalidade estrita e separada para cada mudança evolutiva. Para Darwin, essa causalidade era um fenômeno que tinha dois passos, onde o primeiro era a produção contínua de um suprimento inexaurível de variação genética. Sobre este ponto, Darwin não se embaraçava em reconhecer que ele não entendia absolutamente como essa variação se produzia. Referia-se a ela como sendo uma "caixa-preta". O

outro passo era a sobrevivência diversificada, e a reprodução ("seleção") entre a superabundância dos indivíduos produzidos em cada geração. Esta seleção natural não era um "fenômeno do acaso", como Darwin tantas vezes foi acusado de haver admitido, mas causada estritamente (embora em sentido probabilístico) pela interação entre dotação genética e circunstâncias ambientais. Essa teoria da causalidade evolutiva foi a segunda revolução de Darwin. Ele explicava o plano (a harmonia do mundo vivo) de uma maneira estritamente materialista, e, assim, de acordo com os seus adversários, ele "destronou a Deus".

A primeira revolução darwiniana, ou seja, a teoria da descendência comum, cedo foi adotada por quase todos os biologistas de *metier* (embora alguns dos seus opositores originais, como Sedgwick e Agassiz, tenham resistido até a morte). Quanto à segunda revolução darwiniana, a aceitação, por parte dos biologistas, da seleção natural como o único fator diretivo na evolução não foi completa, até o período da "síntese evolucionista", entre 1936-1947.

A teoria darwiniana da descendência comum foi uma das teorias mais heurísticas que jamais foi proposta. Ela colocou em ação todo um exército de zoologistas, anatomistas e embriologistas em busca da determinação do parentesco e das prováveis características dos ancestrais comuns inferidos. Isso era uma tarefa quase infinita, inconclusa mesmo nos nossos dias, uma vez que ainda existe grande incerteza acerca dos parentes próximos e do possível ancestral comum de muitos dos maiores grupos de plantas e de animais. Curiosamente, a anatomia comparativa limitou-se quase inteiramente à aplicação da teoria darwiniana da descendência comum e constituiu, isso não pode ser negado, uma continuação inconsciente da tradição da morfologia idealista. Dificilmente alguém levantava questões diretamente relacionadas com as causas das mudanças estruturais na filogenia. Foi só pelos anos 1950 que a morfologia comparativa se tomou conscientemente uma morfologia evolucionista, pelo estabelecimento de contato com a ecologia e com a biologia comportamental e indagando de modo consistente questões sobre o porquê.

A teoria de Haeckel sobre a recapitulação, isto é, que um organismo, durante a sua ontogênese, passa por todos os estágios morfológicos dos seus ancestrais, acabou tornando-se um enorme estímulo para a embriologia comparativa. A descoberta de Kovalevsky, de que os ascídios são parentes próximos dos vertebrados, ambos pertencendo ao filo dos Cordados, foi um resultado típico dessa forma de pesquisa.

A embriologia comparativa dedicava-se quase exclusivamente às questões da biologia evolutiva, e por isso era totalmente insatisfatória para os representantes da biologia funcional. Goette, His e Roux eventualmente rebelavam-se contra essa unilateralidade, e procuraram estabelecer uma embriologia dedicada ao estudo das causas próximas, uma embriologia puramente mecanicista, ao contrário de uma exclusivamente de especulação e de história. Essa nova embriologia, designada caracteristicamente por Roux como *Entwicklungsmechanik*[{†††}], dominou a embriologia dos anos 1880 a 1930. De qualquer maneira, ela bem cedo enfrentou dificuldades, quando foi descoberto que dois embriões perfeitos podiam desenvolver-se a partir de um óvulo separado em dois, após a primeira divisão de divagem. Que máquina, quando cortada ao meio, podia funcionar normalmente? Esse inesperado potencial de auto-regulação induziu Driesch, que havia realizado este experimento, a adotar uma forma bastante extrema de vitalismo, e postular uma *entelechia* não-mecânica. Mesmo aqueles embriologistas que não acompanhavam Driesch tendiam a adotar interpretações tingidas de vitalismo, como o "organizador" de Spemann. Curiosamente, embora não antievolucionistas, os embriologistas eram virtualmente, de modo unânime, contrários ao

darwianismo. Então, assim o era grande parte dos biologistas da época.

Uma reorientação menor na biologia européia ocorreu pelos anos 1870. Isto quando os estudiosos dos sucessores de J. Müller tomaram a dianteira, quando o impacto da *Origin* de Darwin adquiriu importância, quando a microscopia chegou à idade adulta, quando a gradual profissionalização da ciência britânica começou a tomar-se conhecida (Thistleton-Dyer, Michael Foster), e quando a França iniciou a emancipar-se da influência de Cuvier. Mas o progresso, de qualquer maneira, era muito desigual nas diferentes áreas da biologia. Em consequência do rápido avanço tecnológico na microscopia, e no delineamento e fixação de métodos, nenhuma área conheceu maior sucesso, nos anos 1870, 1880 e 1890, do que o estudo das células e dos seus núcleos. Nesse período, o processo da fertilização foi finalmente entendido. Weismann, Hertwig, Strasburger e Kölliker concluíram, em 1884, que o núcleo continha o material genético. A teoria darwiniana da pangênese havia sido proposta antes que essa informação sobre as células estivesse à mão. As pesquisas subsequentes sobre as células conduziram ao estabelecimento de teorias genéticas bem elaboradas, culminando nas análises e sínteses detalhadas de Weismann (1892). À exceção de Nägeli (1884) e de O. Hertwig, todos esses autores postulavam a herança particularizada, e, com exceção de Vries (1889), todos eles se concentravam no aspecto evolutivo da herança. Com a vantagem de uma retrospectiva moderna, podemos perceber que eles admitiram dois pontos importantes, que se comprovaram incorretos. Em primeiro lugar, eles aceitavam – para explicar a diferenciação e a herança quantitativa – que os determinantes de um caráter podiam ser representados num núcleo por múltiplas partículas idênticas, que podiam ser desigualmente distribuídas durante a divisão da célula; e, em segundo lugar, eles pensavam que esses determinantes se convertiam diretamente nas estruturas do organismo em desenvolvimento. A primeira dessas idéias foi refutada por Mendel, a segunda por Avery e pela biologia molecular.

No ano 1900, de Vries e Correns redescobriram as regras de Mendel, demonstrando que cada genitor contribui para cada caráter distintivo apenas com uma unidade genética, chamada mais tarde um gene (veja os Capítulos 16 e 17). No espaço de duas décadas, a maioria dos princípios da genética de transmissão tinha sido elaborada por todo um exército de geneticistas, sob a liderança de Bateson, Punnett, Cuénot, Correns, Johannsen, Castle, East, Baur e T. H. Morgan. Toda a evidência que eles acumularam indicava que o material genético é imutável, ou seja, a hereditariedade é "fixa". As mudanças no material genético são descontínuas, e foram designadas como "mutações". Infelizmente, de Vries e Bateson usaram a descoberta da hereditariedade mendeliana como a base para uma nova teoria dos saltos na evolução, rejeitando o conceito darwiniano da evolução gradual, e mais ou menos ignorando a sua teoria da seleção natural.

Tal interpretação da evolução era completamente inaceitável para os naturalistas, cuja compreensão da natureza das espécies e da variação geográfica tinha feito imensos progressos durante os cinquenta anos anteriores. Mais importante ainda, eles começaram a entender a natureza das populações e desenvolveram o "pensamento de população", segundo o qual cada indivíduo é único nas suas características. A sua evidência confirmou inteiramente a conclusão de Darwin, no sentido de que a evolução é gradual (exceto nos casos de poliplóides) e que a especiação é normalmente uma especiação geográfica. A literatura dos taxionomistas, culminando finalmente na "nova sistemática", era, infelizmente, tão ignorada pelos biologistas experimentais, como o era grande parte da literatura genética, de após 1910, pelos naturalistas. O resultado foi um deplorável hiato da comunicação entre esses dois campos de biologistas.

As dificuldades e os desentendimentos foram finalmente superados durante o período entre 1936-1947, resultando numa teoria evolucionista unificada, muitas vezes designada como "síntese evolucionista" (Mayr e Provine, 1980). Dobzhansky, Rensch, Mayr, Huxley, Simpson e Stebbins, entre outros, mostraram que os mais importantes fenômenos evolutivos, como a especiação, as tendências à evolução, a origem das novidades evolutivas, e toda a hierarquia sistemática, podiam ser explicados em termos da teoria genética, tal como consolidados nos anos 1920 a 1930. Exceto em relação a mudanças de ênfases e a uma análise muito mais precisa de todos os variados mecanismos, a teoria sintética da evolução é o paradigma de hoje.

A biologia no século XX

No mesmo período em que se aperfeiçoava a teoria evolucionista, emergiram campos inteiramente novos da biologia. De particular importância foram os campos da etologia (estudo comparativo do comportamento animal), da ecologia e da biologia molecular.

Etologia e ecologia

Após a obra pioneira (mas amplamente ignorada) de Darwin (1872), de Whitmann (1898) e de O. Heinroth (1910), o campo da etologia deve o seu real desenvolvimento a Konrad Lorenz (1927ss), e posteriormente a Niko Tinbergen. Enquanto as escolas precedentes da psicologia animal dedicavam a sua maior atenção ao estudo das causas próximas do comportamento, trabalhando geralmente com uma única espécie, e concentrando-se na compreensão dos processos, os etologistas voltaram o seu foco sobre a interação entre o programa genético e a experiência subsequente. Eles tiveram grande sucesso no estudo de comportamentos específicos das espécies, particularmente o comportamento do cio, que em grande medida é controlado por programas fechados. As discussões entre Lorenz e von Holst, de um lado, e autores como Schneirla e Lehrman, de outro, relativas à importância da contribuição genética para o comportamento, eram, de certa maneira, uma réplica da argumentação semelhante que se estirava ao longo dos séculos XVIII (Reimarus *versus* Condillac) e XIX (Altum *versus* A. Brehm). As controvérsias dos anos 1940 a 1950, nesse campo, são hoje assunto do passado. Há poucas diferenças de princípio entre os estudiosos do comportamento animal, e aquelas que ainda permanecem reduzem-se em grande medida a questões de ênfase.

O estudo do comportamento expande-se hoje em dia, principalmente, em duas direções diferentes. De um lado, ele se funde com a neurofisiologia e a fisiologia sensorial, e, de outro lado, aproxima-se da ecologia: o comportamento específico das espécies é estudado do ponto de vista do seu significado seletivo, no interior do nicho da respectiva espécie; Em última análise, grande parte do comportamento consiste na troca de sinais, o mais frequentemente entre indivíduos co-específicos. A ciência dos sinais e mensagens (semiótica), bem como o papel desempenhado pela comunicação, na estrutura social das espécies, constituem hoje áreas particularmente ativas da pesquisa.

Usualmente, atribui-se também ao século XX o fato de ter dado origem à *ecologia.* É bem verdade que nunca dantes se deu tanta importância ao estudo do meio ambiente como a partir dos anos 1960; contudo, o pensamento ecológico remonta aos antigos (Glacken, 1970). Ele é proeminente nos escritos de Buffon e Lineu, e desencadeou importante papel nos relatos dos grandes exploradores

dos séculos XVIII e XIX (os Forster e Humboldt, por exemplo). Para esses viajantes, o objetivo último já não era colecionar e descrever espécies, mas sim compreender a interação dos organismos e do seu meio ambiente. Alexander von Humboldt tomou-se o pai da geografia ecológica das plantas, mas os seus interesses voltaram-se mais tarde quase inteiramente para a geofísica. Muitas das discussões e considerações de Darwin seriam perfeitamente apropriadas para um livro-texto sobre ecologia. O termo "ecologia" foi proposto em 1866 por Haeckel, como a ciência que tratava "da casa da natureza". Semper (1880) produziu um primeiro texto geral sobre o assunto. Nos anos seguintes houve escasso contato entre os vários grupos que estudavam "as condições da vida", ou "associações" dos diversos tipos de organismos. Möbius (1877) publicou o seu estudo clássico sobre um banco de ostras; Hensen e outros concentraram-se na ecologia marinha; Warming na ecologia das plantas; e outros ainda fundaram a limnologia, a ciência (principalmente ecológica) das águas doces.

A ecologia permaneceu por muito tempo bastante estática e descritiva: milhares de escritos, tratando literalmente do número de espécies e de indivíduos, dentro de determinada área bem delimitada. Autores diversos competiam entre si na proporção de nomenclaturas imaginosas para todo e qualquer termo a ser usado na área; até mesmo a pá com que se arrancavam as plantas era denominada "geótomo".

Uma revitalização desse campo foi devida a três desdobramentos diversos. Um deles consistiu nos cálculos de Lotka-Volterra, ocupando-se com as mudanças cíclicas de populações, devidas às relações predador-presa, e, mais amplamente, com vários outros aspectos do crescimento, declínio e retomada cíclica das populações. O segundo desdobramento foi uma ênfase maior na competitividade. Ela conduziu ao estabelecimento do princípio da exclusão competitiva e do seu teste experimental, por Gause. A seu tempo, o estudo do parentesco competitivo das espécies tomou-se uma das maiores subdivisões da ecologia, sob a liderança de David Lack e Robert MacArthur. O assunto situa-se nos limites da área entre a ecologia e a biologia e a biologia evolutiva, dado que esses parentescos competitivos não apenas determinam a presença, ou a ausência, das espécies, a sua ocorrência relativa, e a total diversidade das espécies, mas também as mudanças de adaptação dessas espécies, no curso da evolução. Um terceiro desdobramento, que conduziu à pujança da ecologia, deveu-se à atenção aos problemas de alteração de energia, particularmente em águas doces e no oceano. Até que ponto os modelos baseados em computador estão contribuindo para o entendimento das interações nos ecossistemas é ainda assunto controvertido.

Considerando que muitos fatores ecológicos são, em última instância, características comportamentais, tais como o resguardo contra predadores, estratégias de alimentação, escolha do nicho, reconhecimento do nicho, as avaliações todas dos aspectos do ambiente, e muitos outros, pode-se eventualmente chegar ao ponto de dizer que, pelo menos em relação aos animais, o maior volume da pesquisa ecológica ocupa-se hoje em dia justamente de problemas comportamentais. E, além disso, todo o trabalho ecológico com plantas e com animais trata, em última instância, de seleção natural.

A emergência da biologia molecular

Quando a análise dos processos biológicos e evolutivos se tomou mais detalhada e mais sofisticada, ficou evidente que, em última instância, muitos desses processos podiam ser reduzidos à

ação de moléculas biológicas. O estudo dessas moléculas era, de início, domínio estrito da química e da bioquímica. As raízes antigas da bioquímica remontam ao século XIX, mas, originariamente, não existia delimitação clara em relação à química orgânica, sendo a pesquisa bioquímica em geral conduzida por institutos de química. Certo é também que a bioquímica mais antiga tinha pouco a ver com a biologia, limitando-se à sua condição de química dos compostos extraídos de organismos, ou, na melhor das hipóteses, de compostos importantes nos processos biológicos. Hoje em dia, boa parte da bioquímica ainda apresenta essa configuração. Um segundo caminho que conduziu à biologia molecular teve a sua origem na fisiologia (Florkin, 1972ss; Fruton, 1972; Leicester, 1974).

Alguns resultados da bioquímica são de particular significação para o biologista. Um deles é a elucidação, passo a passo, de certos processos metabólicos, por exemplo o ciclo do ácido cítrico, bem como a eventual demonstração de que cada um dos passos é normalmente controlado por um gene específico. Tal trabalho já não é simplesmente bioquímica, e tomou-se usual e perfeitamente legítimo referir-se a ele como sendo biologia molecular. Com certeza, aqui se trata de biologia das moléculas, de suas modificações, interações, e mesmo de sua história evolutiva.

Outro desdobramento importante foi a percepção de que os conceitos da química coloidal eram irreais, e que muitas substâncias biologicamente importantes eram constituídas de polímeros de alto peso molecular. Esse desenvolvimento, particularmente ligado ao nome de Staudinger, nos anos 1920, facilitou grandemente a eventual compreensão do colágeno, proteína muscular, e, mais importante ainda, do DNA e RNA[{‡‡‡}]. Moléculas orgânicas polimerizadas possuem algumas das propriedades dos cristais, e descobriu-se que a sua complexa estrutura tridimensional podia ser aclarada mediante a cristalografia dos raios-X (como demonstrado por Bragg, Perutz, Wilkins e outros). Com esses estudos, ficou claro que a estrutura tridimensional das macromoléculas, isto é, a sua morfologia, constitui a base do seu funcionamento. Embora a maioria das macromoléculas biológicas sejam, finalmente, agregados do mesmo número limitado de átomos, principalmente carbono, hidrogênio, oxigênio, enxofre, fósforo e nitrogênio, todas elas têm propriedades extraordinariamente específicas, e muitas vezes inteiramente únicas. O estudo da configuração tridimensional dessas macromoléculas tem acrescido muito o nosso conhecimento dessas propriedades.

Os biólogos moleculares elaboraram a estrutura de literalmente milhares de compostos biólogos, e elucidaram os meandros em que estão envolvidos, mas poucas das suas pesquisas causaram tanta excitação como as que esclareciam a natureza química do material genético. Já em 1869, Miescher descobriu que uma elevada proporção da substância molecular consistia em ácidos nucléicos. Durante algum tempo (1880-1890), postulou-se que a nucleína (ácido nucléico) era o material genético; mas essa hipótese, eventualmente, perdeu popularidade (Capítulo 19). Somente quando Avery e seus colegas demonstraram, em 1944, que a substância transformadora dos pneumococos era o DNA, é que ocorreu um redirecionamento. Embora muitos biologistas estivessem plena e definitivamente conscientes da importância da descoberta de Avery, eles não dispunham de conhecimentos técnicos para um estudo detalhado dessa fascinante molécula. O problema apresentava-se de modo absolutamente claro. Como podia essa molécula, aparentemente simples (considerada simples, à época, quando comparada à maioria das proteínas), encerrar toda a informação do núcleo de um óvulo fertilizado, para controlar o desenvolvimento específico da espécie do organismo resultante? Impunha-se o exato conhecimento da estrutura do DNA, antes de se poder iniciar a especulação sobre o modo como ela podia desempenhar a sua função única.

Instaurou-se uma acirrada competição entre vários laboratórios para alcançar esse objetivo, competição essa da qual Watson e Crick, do Laboratório Cavendish, em Cambridge, Grã-Bretanha, saíram vitoriosos, em 1953. Se eles não tivessem tido sucesso, algum outro cientista o teria, no espaço de alguns meses.

Todo mundo ouviu falar da história da dupla-hélice, mas nem todos entendem plenamente o significado dessa descoberta. Ficou comprovado que o DNA não participa diretamente do desenvolvimento, ou das funções fisiológicas do corpo, mas apenas fornece um conjunto de informações (um programa genético), que é transmitido às proteínas apropriadas. O DNA é uma matriz, idêntica em cada célula do corpo, e que, por meio da fertilização, é passada adiante, de geração em geração. O componente crucial das moléculas de DNA são quatro pares de base (sempre uma purina e um pirimidina). Uma sequência de três pares de bases (um tripleto*) que funciona como uma letra de um código, e controla a transmissão para um aminoácido específico. A sequência de tais tripletos determina o peptídio particular a ser formado. A descoberta de que são tripletos de DNA que se transmitem aos aminoácidos deve-se a M. Nirenberg, em 1961. A sequência das bases no tripleto é o código.

A descoberta da dupla-hélice do DNA, e do seu código, foi um estouro de primeira ordem. Esclareceu uma vez por todas algumas das áreas mais confusas da biologia, e conduziu à formação de questões bem precisas, algumas das quais se situam hoje nas fronteiras da biologia. Ela esclareceu por que os organismos são fundamentalmente diferentes de qualquer tipo de matéria não-viva. Nada há no mundo inanimado que tenha um programa genético armazenando informações com uma história de três bilhões de anos! Ao mesmo tempo, essa explicação, puramente material, elucida muitos dos fenômenos que os vitalistas proclamaram não poderem ser explicados pela química ou pela física. Por certo que se trata ainda de uma explicação fisicalista, mas infinitamente mais sofisticada do que as explicações mecanicistas grosseiras dos séculos passados.

Simultaneamente, com os desdobramentos puramente químicos da biologia molecular, outros ocorreram, de natureza diferente. A descoberta do microscópio eletrônico, nos anos 1930, por exemplo, permitiu uma compreensão inteiramente nova da estrutura da célula. Aquilo que os pesquisadores do século XIX chamavam de protoplasma, e que era considerado por eles como a substância básica da vida, acabou por revelar-se um sistema altamente complexo, de organelos intracelulares, com função variada. Muitos deles são sistemas de membranas, que servem de *habitat* de macromoléculas específicas. A biologia molecular está avançando ainda em muitas outras fronteiras, que não poderiam ser mencionadas aqui, diversas delas sendo de considerável importância médica.

Os principais períodos da história da biologia

É tradicional na historiografia distinguirem-se períodos. A história do mundo ocidental, por exemplo, foi dividida em três períodos: o antigo, o medieval e o moderno. A passagem do medieval ao moderno é geralmente situada em tomo de 1500, ou, para sermos mais precisos, entre 1447 e 1517. Dentro desse período, assim se disse, ocorreram todos aqueles eventos decisivos – ou se iniciaram movimentos – que deram ao novo Ocidente o seu tom característico: a descoberta da imprensa, com tipos móveis (1447), a Renascença (supondo-se que tenha começado com a queda de

Constantinopla, em 1453), a descoberta do Novo Mundo (1492), e a Reforma (1517). Estes eventos significaram mudanças muito drásticas, embora se possa questionar a legitimidade de postular uma divisão nítida entre o medieval e o moderno. Além de tudo, houve muitas inovações notáveis nos duzentos anos anteriores a 1447.

Os historiadores da ciência, da mesma maneira, tentaram distinguir períodos bem definidos na sua área. Grande relevo foi dado ao fato que as importantes obras de Copérnico e de Versalius tenham sido publicadas em 1543. Mais importante ainda, os eventos do período de Galileu (1564-1642) a Newton (1642-1727) foram designados como a "Revolução Científica" (Hall, 1954). Por mais significativos que tenham sido os avanços ocorridos nas ciências físicas, durante esse período, como também na filosofia (com Bacon e Descartes), nenhuma alteração de monta aconteceu ao mesmo tempo na biologia. E, para um crítico, o *Fabrica,* de Versalius, exceto pela superioridade artística das suas ilustrações, dificilmente poderia ser considerado um compêndio revolucionário. De forma alguma pode ser comparado, em importância, com o *De Revolutionibus,* de Copérnico (veja também Radl, 1913: 99-107).

O século XVI foi um período difícil e muitas vezes contraditório, um período de rápidas mudanças na maneira de pensar. Ele conheceu o auge do humanismo (exemplificado na obra de Erasmo de Rotterdam), a Reforma de Lutero (1517), mas também um vigoroso início da Contra-Reforma (com a fundação da ordem dos Jesuítas), e o começo da revolução científica. A redescoberta do Aristóteles real (tão diferente daquele dos escolásticos) teve um evidente impacto na obra de Cesalpino e de Harvey, na biologia. Embora de forma alguma comparável ao florescimento das ciências mecânicas, tanto a fisiologia como a história natural mostraram sinais bem definidos de um crescimento de atividades, pelo fim do século XVI e começo do século XVII.

Ao que tudo indica, existe pouca congruência entre o que aconteceu nas ciências físicas e nas ciências biológicas. Nem é possível delimitar períodos ideológicos bem definidos na biologia, como corretamente salientou John Greene (1967), num comentário bem fundamentado do *Les mots et les choses,* de Foucault. O *Logic of Life* (1970), de Jacob, foi escrito na linha de tradição de Foucault, embora nem ele mesmo aceite os períodos foucaultianos. Holmes (1977), por sua vez, colocou em dúvida se os períodos indicados por Jacob seriam melhores.

Nenhum desses autores levantou a questão da razão por que as divisões da história da biologia conduzem a resultados tão diferentes, quando feitas por autores diferentes. Seria talvez porque tais períodos são puramente imaginários, e por isso poderiam ser estabelecidos somente por divisões arbitrárias, a serem feitas de diversas formas, por autores diferentes? É muito improvável que esta sugestão seja correta. Muitos dos períodos identificados por certos autores são perfeitamente reais. A mim parece que a resposta é outra. Vale dizer que esses períodos não são universais. Eles diferem, em certa medida, segundo a diversidade dos países, e diferem decididamente nas diferentes ciências e nas diferentes partes da biologia, em particular entre a biologia funcional e a biologia evolutiva. As correlações entre as mudanças nesses dois ramos da biologia não são de forma alguma próximas.

As ciências biológicas ressentem-se da falta de unidade que caracteriza as ciências físicas, e, como tenho mencionado, cada uma das várias disciplinas teve a sua própria cronologia de nascimento e florescimento. Até o século XVII, ou aproximadamente, a ciência biológica, como hoje a chamaríamos, consistia em dois campos, correlacionados apenas de uma maneira muito tênue: a história natural e a medicina. Então, ao longo dos séculos XVII e XVIII, a história natural compartimentou-se de modo bem definido em zoologia e botânica, embora muitos dos seus

praticantes passassem livremente de uma a outra, até o tempo de Lineu e Lamarck. Na medicina, ao mesmo tempo, a anatomia, a fisiologia, a cirurgia e a medicina clínica começaram a separa-se mais e mais. Domínios que se tornaram dominantes no século XX, como a genética, a bioquímica, a ecologia e a biologia evolutiva, simplesmente não existiam antes de 1800. O surgimento – e ocasionais retrocessos – de cada um desses campos é uma história fascinante, que constituirá um dos temas maiores dos capítulos seguintes do presente volume.

Um taxionomista, um geneticista ou um fisiologista poderão reconhecer períodos diferentes, e assim faria um alemão, um francês ou um inglês. E lamentável que a história não seja mais coerente, mas é assim que ela é. Infelizmente, isso toma muito difícil a tarefa do historiador, por ter que se defrontar com o estudo simultâneo de cinco ou seis diferentes "tradições de pesquisa" contemporâneas (como diz Larry Laudan).

Por mais provocativo que seja o problema dos períodos intelectuais, o reconhecimento dos mesmos é suficientemente novo, de sorte que nenhuma análise, por melhor que seja, é suficientemente válida para toda a biologia e para todo o mundo.

Cada uma das numerosas disciplinas biológicas como a embriologia, a citologia, a fisiologia, ou a neurologia, teve períodos de estagnação e períodos de avanços muito acelerados. Levanta-se por vezes a questão se houve algum período em que as ciências biológicas tenham experimentado uma reorientação tão drástica como ocorreu com as ciências físicas, durante a revolução científica. A resposta deve ser não. Por certo, houve-determinados anos durante os quais aconteceu um novo relance em um e outro ramo da biologia: 1828 para a embriologia, 1839 para a citologia, 1859 para a biologia evolutiva, e 1900 para a genética. Mas, de qualquer maneira, cada ramo da biologia teve o seu próprio ciclo, e não houve nenhuma revolução geral de base ampla. Mesmo a publicação da *Origin of Species,* em 1859, ocorreu virtualmente sem impacto nos ramos experimentais da biologia. A substituição do pensamento essencialista pelo pensamento de população, tão fundamental na biologia evolutiva, quase não afetou a biologia funcional, a não ser quase cem anos mais tarde. A elucidação do DNA (1953) teve um impacto poderoso na biologia celular e molecular, mas foi irrelevante para a biologia dos organismos.

O equivalente mais próximo de uma revolução nas ciências biológicas poderia ser localizado mais ou menos entre 1830 e 1860, um dos períodos mais excitantes da história da biologia (veja Jacob, 1973: 178). Foi então que a embriologia recebeu um forte impulso, por meio da obra de K. E. von Baer; quando a citologia teve o seu início, com a descoberta do núcleo por Brown, e com a obra de Schwann, Schleiden e Wirchow; quando a nova fisiologia tomou corpo, por obra de Helmoltz, du Bois-Reymond, Ludwig, Bemard; quando foram lançados os fundamentos para a química orgânica, por intermédio de Wöhler, Liebig, e outros; quando a zoologia dos invertebrados foi assentada em nova base, por Johannes Müller, Leuckart, Siebold, e Sars; finalmente, e acima de tudo, quando a nova teoria da evolução foi concebida por Darwin e Wallace. Essas atividades variadas, de forma alguma, fizeram parte de um só movimento unificado; na realidade, foram amplamente independentes. Grande parte dessas atividades foi devida ao crescimento da profissionalização da ciência, ao aperfeiçoamento do microscópio, e ao rápido desenvolvimento da química. Mas em grande medida também foi o resultado direto do aparecimento inexplicável de um gênio particular.

A biologia e a filosofia

Entre os gregos não havia separação entre ciência e filosofia. A filosofia era a ciência do dia, como particularmente válido para os filósofos jônios, a partir de Thales. Alguns engenheiros matemáticos, como Arquimedes, e alguns fisiologistas físicos, como Hipócrates, e mais tarde Galeno, chegaram bem perto de serem cientistas genuínos, mas os proeminentes filósofos do período, como Aristóteles, eram tanto cientistas quanto o eram filósofos.

As duas disciplinas começaram a separar-se após o final do escolasticismo. Anatomistas como Versalius, físicos-astrônomos como Galileu, botânicos-anatomistas como Cesalpino e fisiologistas como Harvey eram antes de tudo cientistas, embora alguns deles tenham tido um bem forte compromisso filosófico aristotélico, ou antiaristotélico. Os filósofos, por seu lado, tomaram-se cada vez mais "puros" filósofos. Descartes foi um dos poucos que era, ao mesmo tempo, um cientista e um filósofo, enquanto Berkeley, Hobbes, Locke e Hume já são puros filósofos. Kant talvez foi o último filósofo a oferecer notáveis contribuições teóricas para a ciência (a saber, para a antropologia e para a cosmologia), contribuições essas que vêm citadas em historiografias estritamente científicas. Depois dele, foram os cientistas e os matemáticos que contribuíram para a filosofia (Herschel, Darwin, Helmholtz, Mach, Russel, Einstein, Heisenberg, K. Lorenz), ao invés do contrário.

A filosofia floresceu durante os séculos XVIII e XIX. O predomínio de Aristóteles foi quebrado por Descartes, e o predomínio de Descartes foi quebrado por Locke, Hume e Kant. Por estranho que possa parecer, independentemente da diversidade dos seus demais pontos de vista, todos os filósofos desse período formulavam a maioria das suas questões no quadro conceitual do essencialismo. O século XIX testemunhou várias iniciativas novas, entre as quais o positivismo de Comte – uma filosofia da ciência – foi das mais importantes. Um materialismo fortemente reducionista, representado na Alemanha por Vogt, Büchner e Moleschott (Gregory, 1977), teve igualmente a sua influência, mesmo que não fosse por outra razão do que pelos seus exageros, que levaram ao renascimento de movimentos holistas, emergentistas, ou mesmo vitalistas. Todavia, pelas suas negações de qualquer dualismo e supernaturalismo, consistentes e jamais desmentidas, ele teve um efeito duradouro.

No seio da biologia, esses movimentos filosóficos tiveram o seu maior impacto na fisiologia e na psicobiologia, isto é, em disciplinas da biologia que tratam das causas próximas. O que ainda não foi analisado adequadamente é a exata natureza da relação entre essas filosofias e a pesquisa fisiológica. Não obstante algumas afirmações em contrário, parece que a filosofia desempenhou apenas um papel menor, senão negligenciável, no processo das descobertas; os dogmas e princípios filosóficos, porém, foram muito importantes para a formulação das hipóteses explicativas.

Entre os filósofos, Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1717), em contraste com os filósofos fisicalistas do seu tempo, teve uma real importância para a compreensão da natureza como um todo. Ele mostrou como é insatisfatória a explicação do funcionamento do mundo vivo, estritamente com o auxílio das causas secundárias, físicas. Embora as suas próprias respostas (um harmonia preestabelecida e uma lei da razão suficiente) não fossem as soluções desejadas, ele colocou problemas que intrigaram profundamente as gerações seguintes de filósofos, inclusive Kant. A despeito do seu brilhantismo matemático, Leibniz viu claramente que na natureza existe algo mais do que a mera quantidade, e tomou-se um dos primeiros a considerar a importância da qualidade. Numa época dominada pelo conceito da descontinuidade do essencialismo, ele afirmava a continuidade. O seu interesse na *scala naturae,* embora a concebesse como estática, ajudou a preparar o terreno para o pensamento evolucionista. Influenciou profundamente o pensamento de Buffon, Maupertius,

Diderot, e outros filósofos do Iluminismo, e, por intermédio deles, Lamarck. Ele foi talvez a mais importante influência contrária ao pensamento essencialista, mecanicista, da tradição Galileu-Newton.

Os fundamentos filosóficos da biologia evolutiva são muito menos claros do que os da biologia funcional. O conceito de uma direcionalidade da vida ("superior e inferior") remonta a Aristóteles e à *scala naturae* (Lovejoy, 1936), mas, aparentemente, o pensamento de população teve apenas raízes muito tênues na filosofia (o nominalismo tardio). A percepção crucial da importância da história (em contraste com a intemporalidade das leis físicas) recebeu um considerável impulso da filosofia (Vico, Leibniz, Herder). A aceitação da importância da história quase sempre conduziu, inevitavelmente, ao reconhecimento do processo de desenvolvimento. O desenvolvimento era importante para Schelling (e os *Natur-philosophen*[§§§§]), Hegel, Comte, Marx e Spencer. A importância desses pensamentos é bem destacada pela definição do historicismo de Mandelbaum (1971: 42):

> O historicismo é a crença de que uma compreensão adequada da natureza de qualquer fenômeno e uma adequada percepção do seu valor só podem ser alcançadas mediante a consideração em termos do lugar que ocuparam, e do papel que desempenharam, dentro do processo de desenvolvimento.

Isso poderia ser uma tentativa de sugerir que a teoria da evolução se originou desse tipo de pensamento, mas existe pouca evidência de que esse tenha sido o caso, exceto para o evolucionismo de Spencer, o qual todavia-não foi seminal para o pensamento de Darwin, Wallace, Huxley, ou Haeckel. Na realidade, e de maneira bastante inesperada, parece que o historicismo jamais teve uma relação próxima com a biologia evolutiva, exceto talvez na antropologia. Seja como for, o historicismo e o positivismo lógico foram dois desenvolvimentos completamente incompatíveis. Somente em tempos relativamente recentes é que o conceito de "narrativas históricas" tem sido aceito por alguns filósofos da ciência. E, no entanto, poderia ter sido considerado evidente, logo após 1859, que o conceito de lei é muito menos aproveitável na biologia evolutiva (e pela mesma razão, em qualquer ciência que trate de processos dominados pelo tempo, como a cosmologia, a meteorologia, a paleontologia, a paleoclimatologia, ou a oceanografia) do que o conceito de narrativas históricas.

Os adversários do cartesianismo levantavam questões que nunca ocorreram aos mecanicistas. Essas questões tornaram embaraçosamente evidente o quanto eram incompletas as explicações dos mecanicistas. Não apenas faziam perguntas sobre tempo e história, mas também formulavam questões do porquê, de modo cada vez mais frequente, vale dizer, buscavam-se as "causas últimas". Foi na Alemanha que, pelo final do século XVIII e começos do século XIX, brotou a mais determinada resistência contra a abordagem mecanicista dos seguidores de Newton, que se davam satisfeitos com simples questões relativas às causas próximas. Mesmo autores de fora da biologia, como Herder, exerceram um poderoso influxo nessa divergência. Infelizmente, nenhum novo paradigma construtivo emergiu desses esforços (em que Goethe e Kant também estiveram envolvidos); em vez disso, esse movimento caiu nas mãos de um Oken, Schelling, e Carus, autores cujas fantasias os especialistas só podiam achar ridículas, e cujas construções idiotas o leitor moderno só pode ler com embaraço. Ainda assim, os interesses básicos deles tinham muita semelhança com os de Darwin. Revoltados

com os excessos dos *Naturphilosophen*[(****)], os naturalistas antimecanicistas refugiaram-se em descrições não-problemáticas, um campo cujo escopo era ilimitado, mas também, como as melhores mentes bem depressa perceberam, intelectualmente infrutífero.

Ainda é assunto de controvérsia se a filosofia deu alguma contribuição para a ciência, depois de 1800. Não há surpresa no fato de que os filósofos geralmente tendem a responder a essa questão de modo afirmativo, e que os cientistas, frequentemente, de modo negativo. De qualquer maneira, há poucas dúvidas de que a formulação do programa de pesquisa de Darwin tenha sido influenciada pela filosofia (Ruse, 197; Hodge, 1982). Nas gerações recentes, a filosofia retraiu-se de modo bastante claro à metaciência, isto é, à análise da metodologia científica, à semântica, à linguística, à semiótica, e a outros assuntos na periferia da ciência[(†††††)].

A biologia hoje

Se quiséssemos caracterizar a moderna biologia em poucas palavras, o que se poderia dizer? Talvez o aspecto mais expressivo da biologia atual seja a sua unificação. Virtualmente, todas as grandes controvérsias dos séculos passados foram resolvidas. O vitalismo, em todas as suas formas, foi totalmente refutado, e não teve nenhum defensor sério há diversas gerações. As numerosas teorias evolucionistas concorrentes foram abandonadas uma a uma, e substituídas por uma teoria sintética, que rejeita o essencialismo, uma herança dos caracteres adquiridos, os pendores ortogenéticos, e o saltacionismo.

Mais e mais os biólogos assumiram que a biologia funcional e a biologia evolutiva não apresentam uma situação de "ou-ou", mas que problema biológico algum pode ser resolvido sem que sejam determinadas ao mesmo tempo as causas próximas *e* as causas últimas (=evolutivas). Em consequência disso, hoje muitos biologistas moleculares estudam problemas evolutivos, e muitos biologistas evolutivos tratam de problemas moleculares. Há muito mais entendimento mútuo do que ainda prevalecia há vinte e cinco anos.

Os últimos vinte e cinco anos conheceram também a emancipação definitiva da biologia das ciências físicas. Hoje é amplamente admitido não só que a complexidade dos sistemas biológicos é de uma diferente ordem de magnitude, mas também que a existência de programas historicamente desenvolvidos é algo desconhecido no mundo inanimado. Processos teleonômicos e sistemas adaptados, tomados possíveis por esses programas, são desconhecidos nos sistemas físicos.

Os processos de emergência – origem de novas qualidades ou propriedades, previamente insuspeitadas, nos níveis superiores de integração, em sistemas hierarquicamente complexos – são muito mais importantes nos sistemas vivos do que nos sistemas inanimados. Também isso contribui para a diferenciação entre as ciências físicas e biológicas, e para as diferenças nas estratégias de modelos explicativos nesses campos.

A pergunta sobre quais seriam os maiores problemas correntes da biologia não pode ser respondida, porque eu não conheço uma única disciplina biológica que não tenha grandes problemas não resolvidos, valendo isso inclusive para domínios clássicos, como a sistemática, a biogeografia e a anatomia comparada. Até agora, os problemas mais vivos, e ainda bastante intratáveis, são aqueles que envolvem sistemas complexos. O mais simples deles, hoje no centro dos interesses da biologia molecular, consiste na estrutura e na função do cromossomo eucarioto. Para entender isso, é preciso

também saber qual é a função específica e a interação dos vários tipos de DNA (código das proteínas solúveis ou não – solúveis, DNA inativos, medianamente repetitivos, altamente repetitivos, e assim por diante). Embora, quimicamente, todos esses DNA sejam, em princípio, iguais, alguns deles produzem substâncias construtivas, outros têm uma função reguladora, outros ainda, segundo acreditam alguns biologistas moleculares, não têm função alguma (são "parasitos"). Isso pode ser verdade, mas não é muito convincente para um darwiniano convicto como eu. Em todo caso, não tenho nenhuma dúvida de que todo o complexo sistema DNA será compreendido dentro de uns poucos anos.

Sou menos otimista quanto aos níveis de progresso do nosso entendimento dos sistemas fisiológicos mais complexos, como os que controlam a diferenciação e o funcionamento do sistema nervoso central. Não é possível resolver esses problemas sem dissecar os sistemas nos seus componentes, considerando ainda que a destruição dos sistemas durante a análise toma muito difícil a compreensão da natureza de todas as interações e dos mecanismos de controle, no interior dos sistemas. Serão necessários ainda muito tempo e paciência, antes que possamos entender plenamente os sistemas biológicos complexos. E isso somente poderá ocorrer por meio da combinação das abordagens reducionista e emergentista.

A biologia tomou-se hoje em dia tão vasta e diversificada que já não pode ser dominada inteiramente por uma feição particular, como a descrição das espécies na era de Lineu, a construção de filogenias no período pós-darwiniano, ou a *Entwicklungsmechanik*[{†††††}] dos anos 1920. E bem certo que a biologia molecular é particularmente ativa nos dias presentes, mas a neurobiologia também é vigorosa e florescente, da mesma forma que a ecologia e a biologia comportamental. E mesmo os ramos menos ativos da biologia têm os seus próprios periódicos (incluindo os muitos novos), organizam simpósios e levantam novas questões o tempo todo. O mais importante é que, a despeito da aparente fragmentação, existe hoje um espírito de unidade maior do que existia em diversas centenas de anos.

PARTE 1

A DIVERSIDADE DA VIDA

Dificilmente qualquer aspecto da vida é mais característico do que a sua quase ilimitada diversidade. Não existem dois indivíduos, nas populações sexualmente reproduzíveis, que sejam iguais, nem duas populações da mesma espécie, nem duas espécies, nem dois *taxa* superiores, nem quaisquer associações, e assim *ad infinitum*. Para qualquer lado que olharmos, encontrarmos a singularidade, e a singularidade acarreta a diversidade.

A diversidade no mundo vivo existe em cada nível hierárquico. Há pelo menos dez mil tipos diferentes de macromoléculas num organismo superior (alguns estimam ser esse número ainda muito maior). Levando em consideração os diferentes estados de compressão e descompressão de todos os genes de um núcleo, há milhões, senão bilhões de células diferentes num organismo superior. Existem milhares de órgãos diferentes, glândulas, músculos, neurocentros, tecidos, e assim por diante. Cada par de indivíduos de espécies sexualmente reproduzíveis é diferente, não apenas por ser geneticamente único, mas também porque pode diferir pela idade e pelo sexo, e por ter acumulado diferentes tipos de informação nos seus programas de memória aberta e nos seus sistemas de imunização. Essa diversidade é a base dos ecossistemas e a causa da competição e da simbiose; também, ela torna possível a seleção natural. Todo organismo, para sua sobrevivência, depende de um conhecimento de diversidade do seu ambiente, ou, pelo menos, da habilidade de competir com ele. Com certeza, dificilmente existe um processo biológico, ou um fenômeno, em que a diversidade não esteja implicada.

O que é particularmente significativo é que podem ser formuladas questões muito semelhantes sobre a diversidade em cada nível hierárquico, tais como o alcance e a variação da diversidade, o valor do seu sentido, a sua origem, o seu papel funcional, e a sua significação seletiva. Como característica em tantos aspectos das ciências biológicas, a resposta para a maioria dessas questões é mais de natureza qualitativa do que quantitativa. Qualquer que seja o nível da diversidade que estejamos considerando, o primeiro passo do seu estudo é obviamente fazer-lhe o inventário, isto é, a descoberta e a descrição dos diferentes "tipos" de que consiste uma classe particular, sejam eles tecidos e órgãos diferentes na anatomia, diferentes células normais e anormais, e organelos celulares, na citologia, diferentes espécies de associações e de biota na ecologia e na biogeografia, ou diferentes categorias de espécies e de *taxa* superiores na taxionomia. O fundamento proporcionado pela descrição e pelo inventário forma a base sobre a qual se apóiam, nas ciências relevantes, todos os progressos posteriores. Nos capítulos seguintes, pretendo concentrar-me num componente particular da diversidade da vida, a diversidade de tipos, ou de organismos. [1]

A descoberta da extensão da diversidade

A diversidade ocupou a mente humana desde que existiram homens. Por mais ignorante que uma tribo nativa possa ser em relação a outros aspectos biológicos, invariavelmente ela possui um vocabulário considerável de nomes para as diversas espécies de animais e de plantas que se encontram no lugar. As primeiras criaturas a receberem nome são, evidentemente, as da relação imediata com o homem, sejam elas animais predadores (ursos, lobos), recursos de alimento (lebres, veados, peixes, mariscos, vegetais, frutas, e assim por diante, meios de vestimenta (couros, peles, plumas), ou possuidoras de qualidades mágicas. Tais são até hoje os "tipos" predominantes no folclore.

Que essa preocupação com a diversidade da natureza seja universal é fato que se tomou

evidente desde quando os naturalistas europeus retornavam das suas expedições e das suas viagens de coleta. Invariavelmente, reportavam um espantoso conhecimento de pássaros, plantas, peixes, ou da vida das águas marinhas rasas, que encontravam em cada tribo ou em populações nativas que tinham visitado. Aqueles conhecimentos são transmitidos oralmente, de geração em geração. Cada tribo, e nisso não há surpresa, se concentra na história natural do especial interesse da sua vida cotidiana. Uma tribo do litoral pode conhecer tudo sobre mariscos na zona circundante, mas dificilmente saberá algo sobre a vida dos pássaros nas florestas adjacentes. Dado que o número de espécies de aves em uma circunscrição é usualmente bastante limitado, uma tribo pode ter um nome em separado para dada espécie (Diamond, 1966). No caso de floras locais ricas, a ênfase pode estar em nomes genéricos, uma tradição que foi continuada pelo botânico Lineu. Existe, em geral, um vocabulário rico para plantas cultivadas e para animais domésticos, mas os membros de tribos com uma tradição de caça podem ter também um soberbo conhecimento de animais selvagens e de plantas nativas. E uma grande pena que esse conhecimento tenha sido negligenciado pelos antropólogos, durante tão longo tempo. Tendo em vista que essas tradições se perdem rapidamente, sob o impacto da civilização, em muitos casos já é demasiadamente tarde para se estudar a taxionomia folclórica. Por felicidade, alguns estudos excelentes têm sido publicados nos anos recentes. [2] Particularmente interessante é que, com muita frequência, eram reconhecidas não só a variedade das espécies, mas também *taxa* superiores.

Os primitivos naturalistas conheciam apenas a fauna e a flora limitadas dos seus próprios países. O próprio Aristóteles menciona somente cerca de 550 espécies de animais, e os herbários do começo da Renascença continham entre 250 e 600 tipos de plantas. Mas, de qualquer maneira, o fato de que nem todas as partes do mundo tinham as mesmas biotas já era conhecido dos antigos, pelos relatos dos viajantes, como registrado por Heródoto, Plínio e outros autores. Eles mencionavam elefantes, girafas, tigres e muitos outros animais que não se encontravam no Mediterrâneo, ou pelo menos nas costas européias.

A existência de criaturas tão estranhas excitou grandemente a imaginação européia, pela fascinação universal do homem civilizado em relação ao desconhecido, fosse esse desconhecido países exóticos, povos estranhos ou plantas e animais bizarros. Descobrir e descrever todas as criaturas maravilhosas desse nosso mundo admirável era a grande paixão dos viajantes e compiladores, de Plínio a Gesner e aos discípulos de Lineu. Os antigos, evidentemente, não tinham a mais leve suspeita do alcance da localização geográfica das faunas e das floras, como nós as conhecemos hoje. Isto só aconteceu a partir do momento em que os viajantes penetraram profundamente na Ásia, como Marco Polo (1254-1323), ou na África. Quando os portugueses começaram as suas navegações, no século XV, e Colombo descobriu o Novo Mundo (1492), toda uma nova dimensão se acrescentou à imagem da diversidade biótica do mundo. As viagens de Cook, que abriram a exploração da Austrália e das ilhas do Pacífico, constituíram a última pedra a erigir esse edifício. Todavia, isso foi apenas o começo, porque os primeiros viajantes e colecionadores só obtiveram pequenas amostras das distantes faunas e floras. Mesmo na Europa, vinham sendo descritas novas espécies de mamíferos e de borboletas, até pelos anos 1940 e 1950. E, se pensarmos nos grupos menos conspícuos e nas áreas menos acessíveis, o tesouro escondido das espécies não descritas parece ser inexaurível. Nos trópicos, mesmo nos dias de hoje, não conhecemos mais do que uma quinta ou décima parte das espécies existentes.

O aumento dos conhecimentos foi acompanhado de uma notável mudança de atitude. Os

primeiros viajantes estavam interessados no espetacular. Eles amavam, sobretudo, chegar em casa com histórias de monstros e de criaturas fabulosas de todo o tipo. Bem depressa isso cedeu lugar a um genuíno interesse pelo puramente exótico. Colecionadores privados na Inglaterra, França, Holanda e Alemanha instauraram gabinetes de história natural, com uma mentalidade não melhor do que a dos colecionadores de selos ou de moedas. Em todo caso, naturalistas verdadeiros como Lineu e Artedi beneficiaram-se do entusiasmo desses patronos colecionadores. Marcgrave, no Brasil, e Rumphius, na índias Orientais, deram importantes contribuições para a história natural de áreas anteriormente quase desconhecidas (veja Stresemann, 1975).

O século XVIII marcou o início de era das grandes viagens. Bougainville e outras expedições francesas, bem como Cook e outros britânicos, trouxeram para casa tesouros admiráveis. Essa atividade foi acelerada no século XIX, com a parceria da Rússia (Kotzebue) e dos Estados Unidos. Os viajantes iam aos confins do mundo, colecionando espécimes de história natural de todas as descrições, enchendo os museus privados a ponto de estourar, e forçando a construção de grandes museus e herbários nacionais e estatais. [3] Nunca havia espécimes em excesso, porque cada coleção produzia mais novidades. Num grupo bem conhecido como o dos pássaros, uma única expedição (Whitney South Sea Expedition), visitando quase todas as ilhas dos mares do Sul, descobriu mais do que trinta novas espécies, nos anos recentes de 1920 a 1930.

É bem conhecido o trabalho de Humboldt e Bonpland, na América do Sul, de Darwin, no *Beagle* (1831-1836), de A. R. Wallace, nas índias Orientais (1854-1862), e de Bates e Spruce, na Amazônia, mas em geral se esquece o fato que houve literalmente milhares de outros colecionadores. Lineu enviou os seus alunos com o objetivo de trazerem de volta plantas exóticas, mas alguns dos melhores sucumbiram às doenças tropicais: Bartsch (1738), Ternström (1746), Hasselquist (1752), Loefling (1756), e Forskal (1763). A tragédia foi ainda maior nas índias Orientais, onde sucumbiu a fina flor da zoologia européia, por doença tropical ou assassinato, durante um período de trinta anos: Kuhl (1821), van Hasselt (1823), Boie (1827), Macklot (1832), van Oort (1834), Homer (1838), Forsten (1843), e Schwaner (1851). Nesse grupo se incluíam os naturalistas mais entusiastas e bem dotados do período, cujo sonho era contribuir para o conhecimento da vida animal nos trópicos. Kuhl e Boie eram os mais brilhantes jovens naturalistas da Alemanha (Stresemann, 1975). A lacuna aberta pela sua morte contribuiu para o subsequente declínio da qualidade da história natural na Alemanha, pois havia sempre um número apenas limitado de cabeças de primeira ordem, em um período determinado.

Regiões inexploradas ou parcamente conhecidas foram apenas uma das muitas fronteiras deixadas para trás pelos estudiosos da diversidade. Outras formas de vida e de ambientes exóticos mereceram também a atenção. Os parasitos, por exemplo, tomaram-se objeto apropriado para estudos sérios. Os parasitos do intestino humano já foram mencionados no papiro de Ebers (1500 a. C.), e foram discutidos pelos antigos médicos gregos. A constatação do fato da sua ubiquidade nos homens e nos animais levou à crença de que eles se originavam por geração espontânea. Só no século XIX foi descoberto que muitos, senão a maioria, dos parasitos restringem-se a um único hóspede, e que as espécies hospedeiras podem ser infestadas simultaneamente por diversos tipos diferentes de parasitos: solitária (cestóide), trematódeos, nematóides, parasitos do sangue, parasitos da células. Começando com o trabalho de zoologistas, como Rudolphi, von Siebold, Küchenmeister, e Leuckart, um exército cada vez maior de parasitólogos especializava-se nessa marca da diversidade. [4] Em vista do complexo ciclo vital da maioria dos parasitos, o seu estudo requer uma particular

perseverança e engenho. Considerando que os parasitos se situam entre as causas mais sérias das doenças humanas (malária, mal-do-sono, esquistossomose raquitismo, e assim por diante), o seu estudo mereceu justamente uma atenção especial. As plantas, da mesma forma, são vastamente afetadas por parasitos – insetos da galha, traças, e uma ampla formação de fungos e de vírus. Provavelmente não há exagero em afirmar que existem mais espécies de parasitos vegetais do que plantas superiores. A sua descoberta gradual conduziu a uma enorme expansão do reino da diversidade orgânica.

Outra fronteira da diversidade foi encontrada na água doce e nos oceanos. Aristóteles, na sua permanência em Lesbos, ficou fascinado com a vida marinha. Contudo, Lineu, no tardio ano de 1758, mencionava ridiculamente poucos organismos marinhos, no seu *Systema Naíurae,* exceto no tocante a peixes, moluscos e corais. Isso mudou rapidamente, devido aos interesses de Palias, St. Müller, e uma série de pesquisadores escandinavos. As descobertas sucediam-se com rapidez. Mas também aqui o fim da busca não está à vista. Sars foi o primeiro a abrir as portas da fauna do mar profundo, o que recebeu a especial atenção da British Challenger Expedition (1872-1876). Os escandinavos, holandeses, franceses e alemães prosseguiram com expedições oceanográficas, e os especialistas ainda estão ocupados na descrição das suas descobertas. A vida marinha proporcionou também outra fronteira: parasitos marinhos. Os organismos marinhos são atacados por parasitos nos mesmos *taxa* superiores como os organismos terrestres (cestóides e trematódeos), mas outros parasitos são restritivos dos oceanos (mesozoários, copépodes parasitários, Rhizocephala), onde conheceram opulenta irradiação.

O microscópio descortinou ainda outra fronteira da diversidade: o mundo dos organismos que não podiam ser vistos a olho nu, ou pelo menos não muito bem (Nordenskiöld, 1928). O uso de lentes simples para ampliar objetos pequenos pode ser remontado aos antigos. Uma combinação de lentes – isto é, o microscópio – foi aparentemente construída pela primeira vez por alguns fabricantes de lentes holandeses, nos começos do século XVII. Um estudo da estrutura da abelha (baseado numa ampliação por cinco vezes), realizado pelo italiano Francesco Stelluti, publicado em Roma em 1625, foi o primeiro trabalho de microscopia biológica. Todos os trabalhos de microscópio nos duzentos anos seguintes foram feitos com instrumentos extremamente simples. Muitos deles eram consagrados ao estudo dos tecidos das plantas (Hooke, Grew, Malpighi) ou da estrutura fina de animais, particularmente insetos (Malpighi, Swammerdam). Swammerdam descobriu a *Daphnia,* em 1669, mas nem a descreveu em detalhes, nem prosseguiu no estudo de outros organismos de plâncton (Schierbeck, 1967; Nordenskiöld, 1928).

Por mais importante que tenha sido o papel desses pesquisadores para a história da citologia e da morfologia dos animais e das plantas, é van Leeuwenhoek que detém o crédito principal de haver empregado o microscópio para expandir as fronteiras da diversidade (Dobell, 1960). Com um instrumento simplesmente espantoso, um microscópio de uma lente só, ele foi capaz de realizar aumentos, assim se diz, de até 270 vezes. Foi ele quem descobriu, em 1674, 1675 e 1676, e nos anos posteriores, a riquíssima vida dos protistas (protozoários e algas de uma célula) e de outros organismos de plâncton (rotíferos, pequenos crustáceos, e assim por diante) na água, lançando assim os fundamentos para diversos ramos seguintes e dos mais florescentes da biologia. Evidentemente, ele também descobriu e descreveu as bactérias. A sua descoberta dos infusórios (animais e plantas unicelulares) teve um enorme impacto no pensamento da sua época e no problema da geração espontânea. Mas ainda mais importante, van Leeuwenhoek foi o primeiro a tomar os biologistas

cientes do vasto reino da vida microscópica, o que levantou problemas inteiramente novos para os estudiosos da classificação.

Foi só em 1838 que Ehrenberg deu o primeiro tratamento abrangente dos protozoários, mas, sendo isso anterior à teoria da célula, ele os considerou como *vollkommene Organismen* (organismos completos), dotados dos mesmos órgãos como os organismos superiores (nervos, músculos, intestinos, gônadas, e assim por diante). C. T. Siebold estabeleceu o filo Protozoário, em 1848, e demonstrou a sua natureza unicelular. [5] Rápidos progressos também foram feitos, na primeira metade do século XIX, no conhecimento de todo tipo de animais de plâncton e algas. Cada melhoramento do microscópio acresceu o nosso conhecimento, tendo inclusive a descoberta do microscópio eletrônico, em 1930, permitido o estudo da morfologia dos vírus.

O foco da minha história até aqui tem sido a abertura do mundo da diversidade animal. Isso coincidiu com atividade semelhante na exploração das plantas. Aqui também se pode falar de uma série de fronteiras. Mesmo antes que as plantas floríferas (angiospermas) tenham sido razoavelmente descritas, certos botânicos tinham começado a especializar-se nos criptógamos (samambaias, musgos, líquens, algas) e no rico mundo dos fungos (Mägdefrau, 1973).

Fósseis

Mas isso ainda não é o fim! A diversidade do mundo vivo é mais do que igualada pela vida das eras passadas, representada pelo estágio fóssil. As mais altas estimativas do número de animais e plantas vivos chegam a cerca de dez milhões de espécies. Considerando que a vida sobre a Terra começou em tomo de 3,5 bilhões de anos atrás, também que existiu uma biota muito rica por pelo menos quinhentos milhões de anos, e descontando-se uma razoável queda na composição das espécies da biota, uma estimativa de um bilhão de espécies extintas é provavelmente bastante por baixo. Na paleontologia, o tempo das grandes descobertas, como a *Archaeopteryx,* um elo entre répteis e pássaros, e o *Ichtyostega,* um elo entre peixes e anfíbios, está provavelmente chegando ao fim; mas, ainda hoje em dia, um ocasional novo Filo de invertebrados fósseis está sendo descrito, e parece que não há um término para as novas ordens, famílias e gêneros.

A descoberta de faunas e floras fósseis tem uma longa história, que remonta aos antigos (veja também a Parte II). [6] Moluscos marinhos fósseis foram mencionados por Heródoto, Strabo, Plutarco, e particularmente por Xenófanes, e eram considerados como sendo o resultado de regressões marinhas. Mamíferos, répteis e anfíbios fósseis, de qualquer maneira, começaram a chamar a atenção apenas no século XVII, com um número sempre crescente de descobertas sendo feitas ao longo dos séculos XVIII e XIX. Quem não está familiarizado com a descoberta de mastodontes, dinossauros, ictiossauros, pterodáctilos, moas, e outros vertebrados fósseis, muitas vezes gigantes?

Uma expansão paralela do nosso conhecimento foi experimentada pela paleobotânica (Mägdefrau, 1973: 231-251). Os problemas nesse campo são grandes, devido à dificuldade de comparar caules, folhas, flores, pólens, e frutos (sementes); contudo, o número de fósseis conhecidos cresceu sem parar, e com ele o nosso entendimento da sua distribuição no espaço e no tempo. O estudo do pólen fóssil trouxe uma contribuição particularmente importante. Mas existem ainda muitos grandes enigmas, inclusive o da origem dos angiospermas (Doyle, 1978).

Até 1950, os mais velhos fósseis conhecidos (Pré-cambriano recente) tinham a idade aproximada de 625 milhões de anos. Barghoom, Cloud e Schopf, a partir de então, fizeram recuar

essa fronteira na ordem de cinco vezes, com a sua descoberta de procariotos fósseis nas rochas, os quais têm mais ou menos 3,5 milhões de anos de idade (Schopf, 1978).

Os procariotos, vivos ou fósseis, constituem agora a fronteira mais desafiadora da sistemática descritiva. Um estudo cuidadoso da bioquímica e da fisiologia sobre as bactérias revelou que elas são muito mais diversificadas do que antes se imaginava. Woese e seus colaboradores propuséram, com efeito, o reconhecimento de um reino separado (*Archaebacteria)* para as metanobactérias e afins, e ainda outro para aqueles procariotos que se supõem terem dado origem aos organelos simbióticos das células eucariotos (mitocôndrios, plastídios, e assim por diante). O estudo do RNA ribossomal e de outras moléculas finalmente trouxe uma luz considerável na classificação, antes bastante controvertida, das bactérias (Fox e outros, 1980). Muito espantoso é o fato de que sempre há algo de novo, muitas vezes intermitentemente novo, sendo descoberto na taxionomia, o ramo mais antigo da biologia, como por exemplo a redescoberta do *Trichoplax,* aparentemente o mais primitivo dos metazoários (Grell, 1972).

Sistemática, a ciência da diversidade

Quando se encara a história da exploração da diversidade orgânica, não se pode evitar o espanto em face da diversidade avassaladora da natureza, no espaço (todos os continentes), no tempo (de 3,5 bilhões de anos atrás até o presente), no tamanho (dos vírus às baleias), no *habitat* (ar, terra, água doce, oceanos), e no estilo de vida (por si mesmo, ou parasito). Não há surpresa no fato de que o homem jamais ignorou a incrível riqueza da vida orgânica que o cerca; na realidade, ele teve diversas razões para estudá-la. Antes de tudo, a sua curiosidade sempre presente, acerca do mundo circunstante, e o seu desejo de conhecê-lo e compreendê-lo. Havia também a necessidade puramente prática de saber que animais e plantas podiam ser-lhe úteis, em particular como alimento e, no caso das plantas, também como medicina. Quando perguntaram a Lineu para que servia o estudo da diversidade, ele, como criacionista pio, respondeu da seguinte maneira, na sua dissertação *Cui bono*?: Todas as coisas criadas devem servir a um objetivo. Algumas plantas são para a medicina, alguns organismos são destinados à alimentação humana, e assim por diante. O criador sapientíssimo não criou nada em vão, mas criou todas as coisas para um fim específico, ou para o benefício de alguém ou de alguma coisa. A nossa tarefa consiste em descobrir essas utilidades predeterminadas, e tal é o objetivo da história natural.

A paixão de alguns autores setecentistas e oitocentistas pelo estudo da natureza tinha, em todo caso, também outra razão. Já os gregos exaltaram a harmonia da natureza: o mundo todo forma um *Kosmos,* palavra que para eles implicava o conceito de ordem e beleza. Fosse a natureza considerada como o produto perfeito do criador, ou fosse ela, como a interpretaram Sêneca e os panteístas, uma e mesma coisa com Deus, muitos cientistas devotos, como John Ray, Isaac Newton, e Carl Lineu, estavam convencidos da existência de uma ordem e harmonia na natureza, profundas e escondidas, a eles cabendo a tarefa de decifrá-las e explicá-las.

As leis da física proclamam a universalidade e a uniformidade. Se puramente o acaso e a ação cega das leis físicas agissem no universo, assim argumentavam os cientistas naturais do século XVII e princípio do XVIII, poder-se-ia encontrar um mundo de coisas ou homogêneo, ou totalmente caótico. Consequentemente, só a existência de um criador pode dar contas da bem integrada diversidade dos seres vivos, com que hoje nos defrontamos. Como o formulou Newton:

> Nós o conhecemos somente por meio dos seus sábios e excelentes desígnios sobre as coisas, e suas causas finais; admiramo-lo por suas perfeições; mas o reverenciamos e adoramos por sua autoridade, pois o adoramos como seus servos; e um Deus sem autoridade, providência e causas finais não seria mais que Fado e Natureza. A necessidade metafísica cega, que certamente é a mesma, sempre e por toda parte, não poderia produzir nenhuma variedade das coisas. Toda a diversidade das coisas naturais que encontramos, adequadas a diferentes tempos e espaços, só podia ter surgido das idéias e da vontade de um Ser necessariamente existente.

O estudo da perfeita harmonia da natureza, e da sua diversidade, era por isso o melhor caminho para conhecer a Deus. E isso se tomou parte essencial da grande voga da teologia natural, nos séculos XVIII e começos do XIX. Não apenas a adaptação, como evidência do plano, constituía o objeto da teologia natural, mas também a própria diversidade. Ninguém sentiu isso mais intensamente do que Louis Agassiz, que considerou o sistema natural (tal como descrito no seu *Essay on Classification*) como a mais decisiva prova da existência de Deus. [7]

A quase inconcebível riqueza dos tipos de organismos, todavia, apresentou um sério desafio para a mente humana. O mundo ocidental preocupava-se com a procura das leis, desde a revolução científica na mecânica e na física. Contudo, nenhum outro aspecto da natureza era tão rebelde à descoberta de leis como a diversidade orgânica. A única maneira de poder detectar tais leis, assim se imaginava, era ordenar a diversidade, mediante a sua classificação. Isso explica por que os naturalistas dos séculos XVII, XVIII e XIX eram tão obsessivos pela classificação. Isso lhes permitia colocar a desconcertante diversidade pelo menos numa espécie de ordem. Por coincidência, a classificação, eventualmente, conduziu de fato a uma procurada lei: descendência (por modificação) de um ancestral comum. Tão importante se afigurava esse proceder de ordenação aos zoologistas e botânicos do século XVIII, que a classificação era tratada quase como sinônimo de ciência.

Como todos os outros ramos da ciência, a taxionomia contou com praticantes talentosos, como também com outros bastante obtusos. Alguns especialistas nada mais fizeram durante a sua vida do que descrever novas espécies. Isso parecia aceitável na época de Lineu, quando a taxionomia gozava de grande prestígio. No período, a predominância da sistemática resultou na negligência de todas as outras pesquisas biológicas contemporâneas, como por exemplo as de Kölreuter. Mas, finalmente, e com muita propriedade, foi levantada a questão: pode uma tal atividade puramente descritiva ser qualificada como ciência, considerando-se que ela não envolve a procura de leis, nem qualquer esforço para chegar a generalizações? Os sucessos esplêndidos de von Baer, Magendie, Claude Bemard, Schleiden, von Helmholtz e Virchow (de 1830 a 1850), em outros ramos da biologia, resultaram num rápido declínio do prestígio da sistemática. Ela, todavia, tomou novo alento, depois de 1859, quando a teoria darwiniana da origem dos *taxa* por descendência comum forneceu a primeira explicação não-sobrenatural para a existência dos *taxa* superiores. Contudo, esse novo impulso intelectual se exauriu bem depressa, e o avanços excitantes da biologia funcional, nas três últimas décadas do século XIX, conduziram a um novo declínio da sistemática. Os fisiologistas e os embriologistas experimentais consideravam-na como uma atividade puramente descritiva, simplesmente indigna da atenção de um "verdadeiro cientista". Os cientistas físicos, tanto quanto os biologistas experimentais, eram concordes em considerar a história natural como uma forma de

filatelia. Um grande zoologista, ao visitar a universidade de Cambridge, na última quadra do século XIX, observou: "A história natural é desencorajada o mais possível, e encarada como uma futilidade inócua pelos mil e um matemáticos da venerável universidade". Um bem conhecido historiógrafo das ciências físicas afirmou ainda no recente ano de 1960: "A taxionomia é muito pouco atrativa para o historiador das idéias científicas".

O que esses críticos deixaram de perceber foi o quanto o estudo da diversidade consolidou a base para a pesquisa nas áreas mais importantes da biologia (Mayr, 1974b). Deixaram de perceber o que ela significou nas mãos de Aristóteles, Cuvier, Weismann, ou Lorenz. A história natural é um dos ramos mais férteis e originais da biologia. Por acaso não é verdadeiro que a *Origin of Species,* de Darwin, baseou-se essencialmente nas pesquisas da história natural, e que as ciências da etologia e da ecologia desenvolveram-se a partir dela? A biologia seria uma ciência excessivamente tacanha se fosse restrita às pesquisas experimentais de laboratório, sem a contribuição continuada e revigorante da história natural.

Infelizmente, ninguém escreveu ainda uma história da influência que a história natural exerceu sobre o desenvolvimento da biologia, embora o *The Naturalist in Britain* (1976), de D. E. Allen, represente uma excelente obra para a Inglaterra do século XIX. O *Ornithology* (1975), de Stresemann, cobre o mesmo assunto em relação aos pássaros. Em cada grupo de naturalistas houve mentes perspicazes e inquiridoras, que formularam indagações mais profundas. Eles contribuíram com os mais valiosos escritos de teologia natural (Ray, Zom, Kirby, por exemplo), fundaram periódicos e sociedades de história natural, e delinearam os problemas básicos que eventualmente se tomaram a matéria de estudo da biologia evolutiva, da biogeografia, da ecologia e do comportamento. Digno de nota é que os grandes pioneiros dessas áreas eram amadores dedicados e entusiastas. A história natural foi o último ramo da biologia a ser profissionalizado. Somente nos nossos dias se está reconhecendo o quanto foi importante para a biologia a contribuição conceitual da história natural.

Não faltam as assim chamadas histórias da taxionomia, mas, quase sem exceção, limitam-se a ser histórias de classificações. Elas registram os melhoramentos graduais (também os ocasionais retrocessos) na classificação concreta de grupos de animais ou de plantas, propostos por autores desde Aristóteles, Theofrasto e Discórides, até Adanson, Lineu, Palias, Cuvier, Lamarck, de Jussieu, Lindley, Hooker, Engler, Ehrenberg, Leuckart, Haeckel, Huxley, e muitos outros. Esses historiadores mostram que os incessantes esforços para reagrupar gêneros, famílias e ordens conseguiram estabelecer agrupamentos mais homogêneos, agrupamentos esses que refletem a descendência comum, e ao mesmo tempo o grau de divergência evolutiva. É uma história fascinante de tentativas e erros. [8]

Todavia, o enfoque sobre a classificação, nesse gênero de literatura, é também falho, na medida em que entra em conflito com a história da mudança das idéias e conceitos na área. O aspecto mais importante da história da sistemática é que a mesma, assim como a história da biologia evolutiva, é uma história muito mais de conceitos do que de fatos, e que certos conceitos e interpretações concorrentes, quando não totalmente antagônicos, continuaram a coexistir, do princípio do século XVIII até os presentes dias, por um período de uns 250 anos. A heterogeneidade de conceituação na taxionomia é em grande parte devida ao fato de que prevalece uma tradição diferente na taxionomia de cada grupo de organismos. Isso é válido não só para as bactérias, plantas e animais, mas também para grupos diferentes de plantas, insetos, ou vertebrados. A introdução de conceitos novos, tais

como classificações de caráter múltiplo, espécies politípicas, espécies irmãs (vs. raças biológicas), ou espécies biológicas, na taxionomia de diferentes *taxa* superiores aconteceu em tempos muito diferentes.

A primeira impressão que se tem é que a história da sistemática foi uma briga sem fim com os mesmos velhos problemas: o que é uma espécie? O que é parentesco? Como delimitar do melhor modo os *taxa* superiores? Como agregar espécies em *taxa* superiores? Quais os caracteres mais confiáveis? Quais princípios devem ser aplicados ao estabelecer *taxa* nas categorias superiores? Qual a função de uma classificação? E assim por diante.

Evidentemente, a história da sistemática não corresponde de forma alguma ao conceito do progresso da ciência, tal como descrito por Thomas Kuhn, na sua história das revoluções científicas. Nem a própria revolução darwiniana, em 1859, produziu uma mudança na sistemática tão decisiva quanto se poderia esperar. As razões desse estado de coisas serão esclarecidas na apresentação a seguir. Ela mostrará também que não havia de forma alguma uma consolidação conceitual plena, nos últimos trezentos anos. Os conceitos foram alterados e melhor esclarecidos, como perfeitamente demonstrado pelas mudanças no uso e no sentido de alguns termos frequentemente empregados, em períodos diferentes e nos escritos de autores diferentes. [9]

Como poderia uma verdadeira teoria unificada da sistemática desenvolver-se efetivamente, enquanto perdurasse o fato. de que o termo "afinidade" era usado tanto para a mera semelhança como para o parentesco genético, enquanto o termo "variedade" era empregado para populações geograficamente circunscritas e para variantes intrapopulacionais (indivíduos), enquanto o termo "espécie" era utilizado para indivíduos morfologicamente diferentes e para populações reprodutivamente isoladas, e o termo "classificação" servindo para identificar tanto esquemas quanto verdadeiras classificações? O termo "sistema natural" significava coisas muito diferentes, em diferentes períodos; e certos termos, como "categoria", eram muitas vezes usados, pelo mesmo autor, para conceitos muito diversos. A maioria dos autores que empregava o mesmo termo (por exemplo, "categoria" ou "variedade"), em sentidos bem diferentes, estava perfeitamente inadvertida da ambiguidade do seu próprio uso. Provavelmente, é legítimo afirmar que, nos últimos vinte anos, se fez mais progresso no aclaramento dos conceitos da taxionomia, do que durante os duzentos anos anteriores.

A estrutura da sistemática

A unicidade é a primeira impressão, avassaladora, que se tem quando se olha para o elefante, a girafa, o pinguim imperador, a borboleta-de-rabo-de-andorinha, a árvore do carvalho e o cogumelo. Se essa diversidade fosse realmente caótica, não se prestaria a objeto de estudo. Mas existem regularidades, e mais do que isso, como Darwin e muitos outros mostraram, tais regularidades podem ser explicadas. Além de um elemento de casualidade, existem causas determinantes na produção da diversidade. Por esse motivo, é legítimo reconhecer uma ciência chamada sistemática, tendo a diversidade como objeto de estudo. Como Simpson (1961) a definiu, "a sistemática é o estudo científico dos tipos e da diversidade dos organismos, e de todo e qualquer parentesco entre eles". E Simpson acrescenta ainda que a sistemática

> é ao mesmo tempo a parte mais elementar e a mais abrangente [da biologia]; a mais elementar,

> porque [os organismos] não podem ser discutidos ou tratados de modo científico, enquanto não se tenha estabelecido alguma taxionomia; e a mais abrangente, porque [a sistemática], nos seus vários ramos, congrega, utiliza, resume e implementa tudo o que se conhece sobre [os organismos], tanto no seu aspecto morfológico, fisiológico, psicológico, como ecológico.

Pelo fato de a sistemática cobrir um campo tão enorme, foram desenvolvidos esforços para subdividi-la. Por exemplo, tem-se afirmado que a classificação de um táxon passa por vários estágios de maturação.

> Tais [estágios] foram, por vezes, chamados informalmente de taxionomia alfa, beta e gama. A taxionomia alfa diz respeito ao nível em que as espécies são caracterizadas e denominadas; a taxionomia beta, ao arranjo dessas espécies num sistema natural de categorias, inferiores e superiores; e a taxionomia gama (…), aos estudos evolutivos,

baseados na pesquisa taxionômica (Mayr, Linsley e Usinger, 1953; 19). Atualmente, o trabalho no nível alfa e beta é conduzido de modo simultâneo – não são estágios – , e a taxionomia gama não é estritamente uma taxionomia. A história desse campo será melhor compreendida, se forem reconhecidos dois subcampos da taxionomia: (1) *microtaxionomia,* que trata de métodos e de princípios, pelos quais se reconhecem e se delimitam os tipos ("espécies") dos organismos; e (2) *macrotaxionomia,* que trata dos métodos e dos princípios, pelos quais os tipos de organismos são classificados, isto é, arranjados na forma de classificações. A *taxionomia* como um todo, então, é definida (de modo um pouco mais restrito do que a sistemática) como "a teoria e a prática da delimitação dos tipos de organismos e da sua classificação" (Simpson, 1961; Mayr, 1969).

4. MACROTAXIONOMIA, A CIÊNCIA DA CLASSIFICAÇÃO

As classificações são necessárias sempre que estejamos tratando da diversidade. Por isso, temos classificações de língua, de bens em qualquer fábrica ou sistema de vendas, de livros numa biblioteca, ou de animais e plantas na natureza. Em todos esses casos, o processo de classificação consiste no agrupamento de objetos individuais em categorias e classes. Não há discussão sobre esse procedimento básico, mas o que foi controvertido durante séculos é como isso poderia ser feito da melhor maneira, quais critérios de classificação deviam ser usados, e qual seria o objetivo último da classificação. É tarefa da história da macrotaxionomia recontar e discutir as respostas diversas e muitas vezes cambiantes a essas perguntas.

Antes de abordar o assunto historicamente, é necessário tratar criticamente de diversos conceitos que muitas vezes, e diríamos consistentemente, foram bastante confusos na história da taxionomia.

Identificação versus *classificação*

Esquemas de identificação *não* são classificações. O procedimento da identificação baseia-se em raciocínio dedutivo. O seu objetivo consiste em colocar um indivíduo investigado em uma das classes de uma classificação já existente. Se tivermos sucesso, está "identificado" o espécime. A identificação trata apenas de uns poucos caracteres, que consignam o espécime a uma ou a outra linha [ramo] de uma chave de identificação (Mayr, 1969: 4, 66, 112-115). Em contraste, a classificação, como agora concebida, reúne populações e *taxa* em grupos, e estes, por sua vez, em grupos sempre maiores, fazendo este processo uso de grande número de caracteres.

A compreensão da diferença entre esquemas de classificação e identificação é crucial para a avaliação das assim chamadas "classificações de objetivo especial", como as "classificações" de plantas medicinais, com base em propriedades curativas específicas. Tais "classificações" hoje em dia não passam de esquemas de identificação, ou pelo menos assim se afiguram aos olhos do taxionomista moderno. Quando o médico grego Dioscórides ordenou as plantas segundo as suas propriedades curativas, ele desejava salvaguardar o uso das espécies certas por sua específica finalidade curativa. Tendo em conta que a maioria dos medicamentos era derivada de plantas, até quase os tempos modernos, as farmacopéias serviram ao mesmo tempo como manuais de identificação de plantas.

Algumas classificações de objetivo especial, de qualquer maneira, não são propriamente chaves de identificação, mas servem atualmente ao objetivo sugerido pelo seu nome. Isso é válido, por exemplo, quando se classificam plantas, na literatura ecológica, de acordo com a forma de crescimento ou *habitat*. A utilidade de tais classificações é muito limitada. Todavia, anteriormente ao século XVI, todas as tentativas de "classificação" eram virtualmente desse tipo utilitarista. Na consideração sobre classificações é muito importante, por isso, ter uma clara compreensão dos vários possíveis objetivos de uma classificação.

As funções das classificações

Tanto os filósofos como os taxionomistas se deram conta, quase desde o princípio, que as classificações servem a um duplo objetivo, um prático, e outro geral (vale dizer, científico ou metafísico). Mas houve um considerável desacordo em relação à natureza desses dois objetivos. O objetivo prático, que foi sustentado particularmente pelos autores antigos, era o de servir como uma chave de identificação. Em tempos mais recentes, o objetivo prático mais frequentemente proclamado é que uma classificação deveria servir como um índex para um armazenamento de informações e um sistema de recuperação. Para alcançar esse objetivo da melhor maneira, uma classificação deverá consistir em classes que possuam o maior número de atributos em comum. Uma tal classificação é automaticamente a chave da informação que nela se acumula. A facilidade de recuperação de informações é geralmente o objetivo principal, ou exclusivo, da classificação de itens, como livros numa biblioteca, e muitos outros objetos inanimados, segundo critérios mais ou menos arbitrários. Em contrapartida, a classificação de itens relacionados com a causalidade (como a classificação de doenças), ou com a origem (como na classificação biológica), está sujeita a embaraços consideráveis, mas guarda a valiosa capacidade de servir de base a generalizações bem abrangentes.

No tocante ao sentido geral da classificação biológica, houve muitas mudanças ao longo do tempo. Para Aristóteles, ela refletia a harmonia da natureza, em particular, na medida em que ela era expressa na *scala naturae*. Para os teólogos naturais, como claramente expresso por Louis Agassiz (1857), a classificação demonstrava o plano de criação do arquiteto deste mundo. O sistema natural é a expressão desse plano. Após a proposição da teoria da descendência comum, por Darwin, a interpretação metafísica da classificação foi substituída por uma interpretação científica. A partir do momento em que as observações em todos os ramos comparativos da biologia foram organizadas com o auxílio do "sistema natural" (hoje definido em termos evolutivos), a função principal da classificação tomou-se a delimitação dos *taxa* e a construção de uma hierarquia de *taxas* superiores, que permitisse o maior número possível de generalizações válidas. Isto se baseava na admissão de que os membros de um táxon, compartilhando de uma herança comum, na qualidade de descendentes de um ancestral comum, devem ter mais caracteres comuns entre si, do que com espécies não relacionadas da mesma forma. Por isso, as classificações evolutivas têm um considerável valor heurístico em todos os estudos comparativos. Elas são abertas ao teste, ou com caracteres adicionais, ou por comparação com outros *taxa* (Warburton, 1967). A existência desses dois tipos (prático e genérico) de objetivos de uma classificação biológica levou a controvérsias. Por exemplo, foi questionado se o objeto da recuperação de informações é compatível com o da generalização. Qual a natureza das genralizações globais. Podem elas ser consideradas uma teoria?

Essa breve constatação dos problemas conexos com os vários papéis da classificação poderá aguçar a atenção do leitor, ao acompanhar as históricas mudanças de atitude em relação a esses problemas.

Aristóteles

A história da taxionomia começa com Aristóteles (384-322 a. C.). Embora muitos

conhecimentos, ao que parece, sobre animais e plantas já existissem antes dele, os poucos escritos antigos que chegaram até nós não falam de classificações. No que se refere a informações factuais, Aristóteles evidentemente incorporou na sua obra algumas coisas que conseguiu obter dos seus predecessores, principalmente, ao que se presume, da escola de Hipócrates. Todavia, o detalhe cuidadoso com que ele descreve vários animais marinhos indica que muitas das suas informações são originais, ou pelo menos que foram obtidas pessoalmente por ele junto a pescadores e fontes "folclóricas" similares. Acredita-se que ele se dedicou largamente aos estudos de história natural, durante os seus anos em Lesbos. A sua obra principal de zoologia descritiva é a *Historia animalium,* mas há também numerosas passagens de relevância sistemática no *De partibus,* no *De generatione,* e em outros escritos.

Aristóteles é tradicionalmente celebrado como o pai da ciência da classificação, embora desde a Renascença até hoje tenham reinado grande incerteza e muito desacordo sobre quais eram, na realidade, os seus princípios de classificação. [1] Em parte, parece que isso se deve ao fato de que Aristóteles, nos seus primeiros escritos (nos quais desenvolveu os seus princípios da lógica), antecipou métodos diferentes daqueles dos seus escritos biológicos posteriores; em parte, devido à sua convicção de que o método de definição por divisão lógica não era capaz de fornecer uma razoável descrição compreensiva, e uma caracterização, de grupos de animais.

O método lógico de Aristóteles pode ser melhor explicado comparando-o a uma bem conhecida brincadeira de sala. Pergunta-se a alguém para adivinhar um objeto que os outros companheiros de festa escolheram durante a sua ausência. "É vivo?", poderia ser a sua primeira pergunta. Isso divide todos os objetos concebíveis em duas classes: seres orgânicos e objetos inanimados. Se a resposta for sim, ele poderá perguntar: "Pertence ele ao reino animal?", dividindo com isso a classe dos seres vivos em duas – animais e não-animais. A continuação desse procedimento, de sempre dividir a classe remanescente de objetos em duas partes (divisão dicotômica), conduzirá cedo ou tarde à escolha correta.

Expressa em termos da lógica aristotélica, a maior classe observada, a *summum genus* (por exemplo, as plantas), divide-se, por um processo dedutivo, em duas (ou mais) subclasses subordinadas, que não chamadas "espécies". Cada "espécie", por sua vez, no próximo nível inferior da divisão, se torna um "gênero", que de novo se divide em "espécies". Tal processo se repete até que o mais baixo grupo de espécie não pode mais ser dividido. A "espécie" de necessidade lógica, evidentemente, nada tem a ver com a espécie biológica, embora os produtos do último passo da divisão de uma classe de organismos possam, de fato, ser uma espécie biológica. A classificação por divisão lógica é uma classificação *descendente.* Ela é aplicável tanto a objetos inanimados (mobília pode ser dividida em cadeiras, mesas, camas, assim por diante), como a organismos.

O que mais tarde confundiu os escritores é que Aristóteles, ao descrever o seu método de lógica, usou, de fato, como exemplos, critérios diferentes de aplicação aos animais, tais como, "com pêlos, ou sem", "com sangue, ou sem sangue", "quadrúpedes, ou não". De qualquer maneira, a divisão lógica *não* foi o método pelo qual Aristóteles classificou os animais, o que se evidencia pelo fato de que o sistema aristotélico dos animais não constitui uma hierarquia elaborada, [2] acrescentando-se a isso ainda o fato de que ele especificamente ridiculariza a divisão dicotômica, como princípio de classificação *{De partibus animalium,* 642b5-644all), e estende-se longamente em demonstrar que isso não leva a resultado algum. Contudo, a despeito da sua rejeição pelo próprio Aristóteles, a divisão lógica na classificação da biologia foi o método preferido, desde a Renascença

(Cesalpino) até Lineu (veja a seguir). Contrariamente ao que se afirma em muitos passos da literatura histórica, não é legítimo designar tal método de classificação como sendo aristotélico.

Qual era então o procedimento de Aristóteles, na classificação da diversidade dos animais? Ele procedeu de uma maneira muito moderna: formou grupos, a partir da observação:

> O caminho certo consiste no esforço de encarar os animais de acordo com os seus grupos, seguindo o paradigma da estrutura humana, que se caracteriza por diferenças múltiplas, e não por meio da dicotomia (643b9-14). É pela semelhança da configuração das suas partes, ou de todo o seu corpo, que os grupos se distinguem uns dos outros (644b 7-9).

Somente após ter estabelecido os grupos é que Aristóteles selecionou alguns caracteres diferenciadores convenientes. A essa aproximação "fenética" do senso comum, Aristóteles sobrepôs um sistema de avaliação dos atributos, servindo para caracterizar esses grupos e ordená-los numa espécie de sequência. Tal ordenamento é o aspecto da taxionomia aristotélica que mais dificilmente é entendido pelos modernos. Aristóteles era profundamente marcado pela importância dos quatro elementos – fogo, água, terra e ar-, e, por isso, os atributos de calor *versus* frio, úmido *versus* seco eram de relevância crucial para ele. O calor situava-se acima do frio, e o único acima do seco. O sangue, sendo ao mesmo tempo quente e úmido, tomou-se, por isso, uma característica particularmente importante. Em consequência, Aristóteles tinha uma escala de valores para diferentes funções biológicas, na medida em que apareciam como características de diferentes tipos de animais. Criaturas mais quentes e mais úmidas eram supostamente racionais, enquanto criaturas mais frias e mais secas possuíam menos calor vital, e eram desprovidas do tipo mais elevado de "alma". Essa forma de especulação atraiu, particularmente, os aristotélicos renascentistas, induzindo-os a propor escalas de ordenação concreta de caracteres taxionômicos, com base na sua presumida importância fisiológica.

Isso deve ser lembrado, se quiser entender por que as classificações aristotélicas não pretendiam ser esquemas de identificação, ou esquemas puramente "fenéticos". Aristóteles procedia ao reconhecimento de certos grupos, antes de ilustrar as suas teorias fisiológicas e de estar habilitado a organizar informações sobre reprodução, ciclo vital (graus de perfeição da prole), e *habitat* (ar, terra água). Para atingir os seus objetivos, era então perfeitamente legítimo separar os cetáceos aquáticos dos mamíferos terrestres, e os cefalópodes delicados, nadadores livres, dos moluscos marinhos e terrestres, de concha dura. No seu conjunto, a despeito de algumas combinações incongruentes, e de alguns resíduos não classificados, os *taxa* superiores dos animais, em Aristóteles, eram nitidamente superiores aos de Lineu, cujo interesse primordial eram as plantas.

Ao estudarmos os trabalhos zoológicos de Aristóteles, ficamos impressionados com uma tríplice constatação: primeiro, Aristóteles tinha um enorme interesse pela diversidade do mundo. Segundo, não há evidências de que ele tivesse um particular interesse pela classificação animal em si mesma; em parte alguma tabulou os nove *taxa* superiores por ele reconhecidos. Por fim, repetindo, qualquer que tenha sido a sua classificação, ela não era o resultado de uma divisão lógica. Digno de nota é o fato de que o sistema lógico de Aristóteles se reflete pouco ou nada na sua *Historia animalium*. Nesta obra tem-se mais a impressão de uma abordagem empírica, quase pragmática, do que a de uma lógica dedutiva.

Aristóteles tencionava simplesmente dizer, da maneira mais eficiente possível, aquilo que ele

sabia sobre os animais, no sentido "que devemos obter primeiro uma noção clara dos caracteres distintivos e das propriedades comuns" (49 la8). O caminho mais rápido para alcançar esse objetivo era a comparação. Com efeito, o livro todo está montado sobre comparações: de estrutura (anatomia comparativa), de biologia reprodutiva, e de comportamentos (psicologia animal). Para facilitar a comparação, ele agregou os 580 tipos de animais, por ele mencionados, em conjuntos, como pássaros e peixes, muitas vezes utilizando agrupamentos que são tão velhos como a língua grega.

A sua classificação de todos os animais em "de sangue" e "sem sangue" era aceita, até que esses grupos fossem redenominados por Lamarck, como "vertebrados" e "invertebrados". Entre os animais de sangue, Aristóteles reconhecia as aves e os peixes como gêneros separados, mas incidiu em alguns impasses com respeito aos demais. Aceitando vivíparos *versus* ovíparos, como característica importante, separou os de pêlos (hoje chamados mamíferos) dos ovíparos de sangue frio (répteis e anfíbios). Distinguiu claramente os cetáceos tanto dos peixes como dos mamíferos terrestres. Diversos tipos de animais alados foram por ele nitidamente separados entre si, pássaros tendo asas de penas, morcegos asas de couro, e insetos asas membranosas. Mas, de qualquer maneira, entre os invertebrados, os Testáceos dele (moluscos de concha dura) incluíam elementos tão heterogêneos, como cracas, ouriços-do-mar, caramujos e mexilhões.

Aristóteles ofereceu grande quantidade de observações sobre diferenças estruturais de vários grupos de animais, fazendo particular referência aos sistemas digestivo e reprodutor. Parece também que ele ao menos se interessou pela ecologia dos animais (o seu *habitat* e o seu modo de vida), sua biologia reprodutiva, e o seu temperamento. "Os animais diferem entre si pela sua maneira de viver, por suas atividades, por seus hábitos, e por suas partes", particularmente em relação aos elementos água, ar e terra (487all-12). Está claro agora que o objetivo de Aristóteles não era o de fornecer uma classificação dos animais que servisse para a sua identificação.

Qual foi então a importância de Aristóteles para a história da sistemática? Talvez a sua contribuição maior tenha sido o fato de que ele, como filósofo eminente, demonstrou tamanho interesse pelos animais e pelas suas propriedades. Isso favoreceu grandemente a revitalização da zoologia na Alta Idade Média e na Renascença. Seja em relação à estrutura, aos hábitos alimentares, ao comportamento, ou à reprodução, em todos os campos ele levantou o tipo de questões significativas, que fizeram do estudo dos animais uma ciência. Ele também lançou os fundamentos para a eventual organização da biologia em morfologia, sistemática, fisiologia, embriologia e etologia, e deixou instruções sobre como deve proceder um pesquisador. A sua formalização de tipos de indivíduos (espécies) e de grupos coletivos (gêneros) constituiu o ponto de partida para as classificações mais precisas e mais bem elaboradas dos períodos posteriores.

Agora que Aristóteles já não é mais considerado puramente como um dos pais do escolasticismo, mas também um biólogo filósofo, muitos aspectos da sua obra aparecem sob uma luz inteiramente nova. Mas, seja como for, uma análise moderna da estrutura conceitual da taxionomia aristotélica ainda está por fazer. [3]

Como generalização ampla, provavelmente se pode dizer que o nível da história natural decaiu muito depois da morte de Aristóteles. Plínio e Aeliano foram compiladores aplicados que, de modo totalmente acrítico, colocavam lado a lado a boa história natural e criaturas fabulosas das várias mitologias. [4] No período seguinte, escrevia-se sobre os animais, não com vistas a obter conhecimentos sobre eles, mas para fins morais; eles passaram a ser símbolos. Quando se desejava falar da moral da diligência, escrevia-se sobre a formiga; da coragem, o leão. Com a origem do

cristianismo, histórias de animais muitas vezes integravam pregações religiosas. Os animais tomaram-se simbólicos para certas idéias do dogma cristão, e foram introduzidos nas pinturas e em outras artes, como símbolos dessas idéias. Pode-se afirmar que o estudo dos animais se tornou uma preocupação puramente espiritual, ou estética, quase inteiramente divorciado da história natural como tal. Isso era válido, de modo geral, pelo menos para um período de mais de mil anos, desde Plínio (79 d. C.) até o século XV (Stannard, 1979). O *De arte venandi* (1250), de Frederico II, e os escritos de Alberto Magno (1200-1280) constituíram apenas uma conexão no período.

Nos séculos seguintes ocorreu uma rápida mudança, favorecida por diversos acontecimentos. Um deles foi a redescoberta dos escritos biológicos de Aristóteles, e a sua disponibilidade, facultada por novas traduções. Outro, foi a melhoria geral dos padrões de vida, com maior ênfase na arte médica, e correspondente ênfase nas ervas medicinais. Por fim, desenvolveu-se, na Alta Idade Média, uma espécie de movimento de volta à natureza, afastando-se das preocupações exclusivas com a vida espiritual. A partir de Hildegard von Bingen (1098-1179) e Alberto Magno, aparentemente mais e mais pessoas observavam as plantas vivas e os animais da natureza, e o que é mais importante, escreviam sobre eles, e mais importante ainda, ao aparecer a arte da imprensa, eles imprimiam livros sobre os mesmos. Todavia, tratava-se ainda de um processo lento e gradual. A tradição enciclopédica daquele grande e acrítico compilador Plínio continuou até os dias de Gesner e Aldrovandi. Mas até essa altura, no século XVI, os autores de todos os livros sobre a natureza eram médicos.

A classificação das plantas pelos antigos e pelos herbalistas

Aristóteles também escreveu sobre plantas, mas os seus escritos se perderam. Assim, a história da botânica começa com o *Inquirição sobre as plantas,* do seu aluno Theofrasto (371-287 a. C.). Por mais importantes que sejam as suas contribuições para a morfologia das plantas e para a biologia das mesmas, Theofrasto não adotou nenhum sistema formal de classificação, constituindo a forma de crescimento (árvores, arbustos, subarbustos e ervas) o seu principal critério de divisão; outros critérios eram a presença ou ausência de espinhos, o cultivo pelo homem ou não, e assim por diante. Theofrasto, ao que parece, adotou muitos dos seus agrupamentos do folclore, com o resultado que alguns deles são perfeitamente naturais (carvalhos, salgueiros), enquanto outros, taxionomicamente falando, são totalmente artificiais, como "dafne", um conglomerado de plantas de folhas sempre verdes.

Muito mais importante para a história imediata da botânica foi Dioscórides (60 d. C.). Na sua qualidade de médico grego, adido ao exército romano, viajou por muitas regiões e adquiriu um enorme tesouro de informações sobre plantas de uso humano. O seu *Matéria medica* contém a descrição de quinhentas a seiscentas plantas que são ou de uso medicinal, ou que produzem temperos, óleos, resinas, ou frutas. O arranjo das plantas, nos seus cinco livros, baseia-se principalmente no seu uso prático (raízes medicinais, ervas usadas como condimento, perfumes, e assim por diante). Não obstante isso, ele muitas vezes lista plantas afins em sequência – por exemplo, a maioria das suas 22 espécies de *Labiatae,* ou as 36 espécies de *Umbelliferae.* E é certo que ele criticou o arranjo alfabético, adotado por alguns autores precedentes, com base em que este dissociava plantas afins que possuíam propriedades semelhantes. A importância principal de Dioscórides consiste em que o seu *Matéria medica* foi o livro-texto de botânica por um milênio e meio (Mägdefrau, 1973: 4-11). Dioscórides foi considerado a autoridade suprema em todos os assuntos relativos às plantas, particularmente nas suas propriedades medicinais. Todavia, como no caso da anatomia de Galeno, a

tradição passou mais e mais a ser um conhecimento livresco, mais e mais divorciado da natureza e dos organismos reais.

Contudo, a partir do século XIII, foram publicadas diversas obras sobre ervas, nas quais se percebe um retorno à observação atual da natureza, tendência essa que se acelerou grandemente após a descoberta da imprensa. Uma tradução latina de Dioscórides foi publicada em 1478, e uma de Theofrasto em 1483, e muitas das obras manuscritas sobre ervas, dos séculos anteriores, foram impressas pela primeira vez nesse período. [5] O crescente interesse pela identificação das plantas, a descoberta de ricas floras de espécies locais, desconhecidas de Dioscórides, bem como a busca de novas propriedades medicinais das plantas, recentemente descobertas, levaram à implantação de cátedras de botânica nas escolas médicas européias, sendo a primeira a de Pádua, em 1533.

Uma nova era teve início com a obra dos "pais alemães da botânica", Brunfels (1488-1534), Bock (1489-1554), e Fuchs (1501-1566). Esses naturalistas representam uma volta à natureza e à observação pessoal. Os seus relatos não são um amontoado de compilações e transcrições sem fim de mitos e de alegorias, mas sim descrições, baseadas nas plantas reais e vivas, observadas na natureza. Deles também são as tentativas de descrever e ilustrar as floras locais; as ilustrações produzidas pelos excelentes desenhistas e escultores, que eles empregaram, alcançaram um nível de perfeição e artesanato que não foi excedido em muitas gerações. Estas desempenharam o mesmo papel na botânica, como o fizeram as ilustrações de Versalius na anatomia. O título da obra de Brunfels, *Herbarum vivae Eicones* (1530), acentua o fato de que as plantas foram desenhadas a partir da natureza (por Hans Weiditz). Os três herbalistas descrevem e ilustram muitas espécies da Europa central, que eram inteiramente desconhecidas pelos botânicos antigos. Brunfels ilustra 260 plantas, e Fuchs, na sua *Historia Stirpium* (1542), não menos de quinhentas.

Hieronimus Bock foi o mais original dos três. Todas as suas descrições, escritas num alemão coloquial, preciso e pitoresco, foram claramente baseadas nas suas observações pessoais. Além disso, ele rejeitava expressamente os arranjos em ordem alfabética de outros herbalistas, e forneceu o seu próprio método, "colocar lado a lado, mesmo para distinguí-las, todas as plantas que se relacionam e se associam, ou que por outra forma se assemelham entre si". Ele não apenas produziu excelentes descrições, mas anotou também as localidades e os *habitats* (inclusive propriedades do solo) das plantas que descreve, bem como as suas estações de floração e outros aspectos da sua história vital. Dessa forma, a obra de Bock foi o protótipo de floras locais futuras, e, a par de outras obras herbárias impressas na França e na Inglaterra, situa-se entre os livros mais populares da época. [6]

A classificação entre os herbalistas

Talvez o aspecto mais marcante das "classificações" dos herbalistas seja a ausência de qualquer sistema consistente, porquanto o seu interesse não se situava de forma alguma na classificação, mas sim nas propriedades das espécies individuais. No caso de Brunfels (1530), a sequência parece ser perfeitamente arbitrária, pelo menos no que se refere aos gêneros. No entanto, espécies de afinidade bem próxima, como *Planta maior*, *P. minior,* e *P. rubea,* são colocadas perto umas das outras. Fuchs (1542) organiza as suas plantas, em grande parte, por ordem alfabética, sendo o conteúdo dos primeiros quatro capítulos *Absinthium, Abrotonum* e *Acorum.* Tal sequência é mantida na edição alemã (1543), embora os nomes alemães desses quatro gêneros, *Wermut,*

Taubwurtz, Haselwurtz e *Drachenwurtz,* estejam agora na ordem alfabética inversa. Curiosamente, Fuchs comenta que deixou fora da edição alemã, grandemente abreviada, aquilo que o "homem comum" não precisa saber.

Três aspectos de classificação, das obras herbárias, merecem ser postos em relevo. Primeiro, existe um vago reconhecimento de tipos (espécies) e de grupos (gêneros). Segundo, muitos grupos reconhecidos, como as gramíneas, são perfeitamente naturais, mas muitas vezes são ampliados, pelo acréscimo de formas superficialmente semelhantes. Por exemplo, entre as urtigas, vêm classificadas as verdadeiras urtigas (*Urtica*), tanto quanto as labiadas, como folhas semelhantes, as falsas urtigas. Ao lado do trigo (uma gramínea) encontra-se o trigo-mouro (uma dicotiledônea), meramente porque a palavra trigo faz parte do seu nome vernáculo. Tal justaposição era de valor considerável para a identificação, mas não oferecia nenhuma base para uma verdadeira classificação. E, finalmente, houve apenas tentativas limitadas para estabelecer *taxas* superiores. No seu *Herball* (1597), baseado em Dodoens e em Lobel, por exemplo, Gerard dedica o seu primeiro capítulo a "gramas, juncos, cereais, espadanas, bulbos ou plantas de raízes aceboladas", isto é, a plantas largamente monocotiledôneas. O seu segundo capítulo, todavia, contém "toda sorte de ervas para alimento, medicina, ou para uso de perfumaria" – o que botanicamente significa uma completa salada de frutas.

A tradição das obras herbárias alcançou o seu clímax com a publicação do *Pinax* (1623), de Caspar Bauhin. Ele demonstra o notável progresso feito nos noventa anos, desde a publicação do *Eicones,* de Brunfels. Uns seis mil tipos de plantas vêm descritos em 12 livros, divididos em 72 seções. Todos os tipos são consignados a um gênero e a uma espécie, embora não seja feita nenhuma diagnose genérica. Plantas afins são frequentemente colocadas juntas, com base em sua semelhança geral, ou por possuírem propriedades comuns. Aos grupos assim formados não são atribuídos nomes de *taxa,* e não são fornecidas diagnoses de *taxa* superiores. Não obstante, há reconhecimento implícito das monocotiledôneas, e as espécies e os gêneros de umas nove ou dez famílias e subfamílias de dicotiledôneas compõem um conjunto. Embora Bauhin em parte alguma explica o seu método, é evidente que ele ao mesmo tempo considerou um vasto número de caracteres diferentes, e agrupou aqueles gêneros que compartilham de um grande número de caracteres. Considerando que o objetivo principal do *Pinax* era proporcionar um conveniente catálago de nomes de plantas, a habilidade de Báuhin em encontrar gêneros afins, e com eles formar conjuntos, é simplesmente espantosa.

Os começos de quase todo desenvolvimento posterior da botânica sistemática podem ser encontrados nos escritos dos herbalistas: tentativas de agrupar as plantas com base em similaridade ou em características comuns, início de uma nomenclatura binária, ou mesmo de chaves dicotômicas, uma busca de características novas, e um esforço para fornecer descrições mais precisas e mais detalhadas. Talvez a contribuição mais valiosa dos herbalistas tenha sido a sua atitude empírica. Já não se satisfaziam meramente em copiar os escritos de Dioscórides e de Theofrasto; eles agora estudavam a planta *in natura wie eyn yedes seiner Art und Geschlecht nach auffwachs/wie es blüe/und besame/zu welcher zeit im jar/und in welcherley erdtrich eyn yedes am besten zufinden seie* ("como cada uma cresce de acordo com sua espécie e gênero, como floresce e deita sementes e em que estação do ano, e em que solo principalmente pode ser encontrada"; Bock, 1539). Mas cada herbalista tinha a sua própria maneira de fazer as coisas, e todos eles eram francamente inconsistentes nos métodos que chegaram a usar.

Tendo em vista que naquele tempo eram relativamente poucas as plantas conhecidas, poder-se-

ia encontrar uma espécie mediante simples manuseio de um livro-herbário, até deparar com algo razoavelmente semelhante, e só então se partiria para uma leitura cuidadosa da descrição e para o estudo da ilustração, de sorte a certificar-se da identificação. Esse método simples, todavia, tornou-se insuficiente quando o número das plantas conhecidas aumentou muito durante os séculos XVI e XVII, e isso numa *taxa* quase exponencial. Enquanto Fuchs (1542) conhecia umas quinhentas espécies, e Bauhin (1623) umas seis mil, John Ray, em 1682, já relacionava dezoito mil espécies. Um arranjo alfabético, ou por outro modo arbitrário, já não era mais suficiente. Para fazer face a essa avalanche de novos "tipos" de plantas, tomou-se necessária uma discriminação muito mais cuidadosa das espécies, no seio dos "tipos" (gêneros) mais vastos, e foi feito um esforço mais sério no sentido de identificar grupos de gêneros afins, isto é, *taxa* superiores. Requeria-se também algum sistema, ou método, pelo qual se pudesse reconhecer rapidamente um dado espécimen.

Classificação descendente por divisão lógica

A teoria da classificação poderia parecer ilusoriamente simples: ordenam-se os objetos a serem classificados com base em sua similaridade. Quando tratamos com organismos, isso conduz de relance à questão: Como se determina, de preferência como se mede, a similaridade? A resposta é por uma análise cuidadosa dos caracteres. A escolha e a avaliação dos caracteres ocuparam, por isso, o centro da atenção em discussões recentes. De qualquer maneira, nunca poderíamos entender o contraste entre as teorias antigas da classificação, dominantes de Cesalpino a Lineu, e as que prevalecem a partir de Darwin, se começarmos com a consideração dos caracteres. Em vez disso, devemos começar por perguntar que tipos de classificação são possíveis.

De fato, a ordenação por similaridade não era a forma em que se faziam as classificações durante a Renascença. A necessidade de identificação era dominante, e a primeira metodologia compreensiva da taxionomia das plantas foi desenvolvida para satisfazer a essa demanda. O anatomista-fisiologista italiano Cesalpino (1519-1603) é em geral considerado, e com justiça, o primeiro a realizar isso de modo consistente, no seu grande livro *De Plantis* (1583). Ele se considerava um discípulo de Theofrasto e, como ele, dividiu as plantas em árvores, arbustos, subarbustos (perenes), e plantas herbáceas. Mas para um sistema de identificação fácil, ele se voltou para Aristóteles, e tomou dele o método da divisão lógica, com o qual estavam familiarizados todos aqueles que frequentaram a Escola entre as Idades Médias e o fim do século XVIII (veja a discussão sobre Aristóteles, anteriormente).

Os princípios da classificação descendente, por divisão lógica, são basicamente muito simples. Todavia, nos escritos dos classificadores, de Cesalpino a Lineu, eles estavam mergulhados numa matriz de dogma e jargão escolásticos tão complexa (como indicado por termos tais como "essência", "universais", "acidentes", "diferenças", caracteres", e assim por diante), que para entendê-los é preciso um estudo especializado. [7]

O método da divisão lógica não se originou com Aristóteles. Platão já se interessava em distingir grupos genéricos de itens subordinados *{Messon* 72; *Parmênides* 129C; *Politicus* 261B), mas ele alcançou a sua plena importância somente com os seguidores de Aristóteles – por exemplo, a árvore de Porfírio, também chamada a árvore Rameana (Jevons, 1877: 702). A feição mais característica desse método consiste na divisão de um "gênero" em duas "espécies" *("tertium non*

datur"). Isto se chama divisão dicotômica. Tal método é idealmente adequado para o estabelecimento de chaves de identificação, mas muitas vezes conduz a classificações altamente artificiais e desequilibradas. O próprio Aristóteles, como antes referido, ridicularizou a idéia de basear a classificação na dicotomia, mas o uso que ele mesmo fez de exemplos zoológicos, nos seus exercícios lógicos, confundiu os seus seguidores.

Havia diversas razões para a popularidade da classificação descendente, no período entre Cesalpino e o século XIX. A sua vantagem prática mais importante era que começava com um número de classes facilmente reconhecíveis – ou seja, com árvores, arbustos, ervas, ou, no caso de animais, com pássaros, borboletas, ou besouros – e dividia-os em conjuntos subordinados de subclasse, com o auxílio de caracteres diferenciadores apropriados (*differentiae*). Não se requeria nenhum conhecimento prévio das espécies, mas tão-somente a habilidade de realizar o procedimento da divisão lógica. Qualquer leigo podia fazer isso. Seria todavia um erro pensar que a única razão da popularidade da divisão lógica era a sua praticidade. Tal popularidade era justamente mais eminente nos séculos em que todo mundo procurava pela ordem e pela lógica no universo criado. Em sendo assim, se o mundo representa um sistema ordenado, que outro meio melhor podia existir, no seu estudo e análise, do que os instrumentos e os métodos da lógica? Uma classificação só podia refletir adequadamente a ordem da natureza, se baseada nas verdadeiras essências dos organismos. Era o método da divisão lógica que haveria de servir para a descoberta e definição dessas essências. Assim, esse método era o reflexo perfeito da filosofia essencialista, predominante no período.

Nada é mais importante, em todo o método da divisão lógica, do que a seleção dos caracteres diferenciadores. A dependência do caráter individual, implícita nesse método, necessita de uma *pesagem* cuidadosa dos caracteres. [8] Cesalpino, plenamente consciente disso, dedicou grande cuidado e atenção ao estudo da morfologia da planta. Identificou muitos caracteres da maior utilidade, e foi um dos primeiros (Gesner o antecedeu) a reconhecer o valor taxionômico da frutificação.

Contudo, Cesalpino errou completamente o caminho na sua teoria da avaliação dos caracteres. Autêntico seguidor de Aristóteles, ele selecionou os caracteres com base na sua importância fisiológica. As duas espécies de atributos por ele considerados mais importantes, na planta, eram os relativos à nutrição e à reprodução. O aspecto nutritivo (crescimento) era tido como o mais relevante, e é por isso que a sua primeira divisão consistiu em árvores, ervas, e assim por diante. A importância da geração refletia-se na ênfase sobre frutificação, sementes, semeaduras (analogamente à ênfase de Aristóteles no embrião animal). A comparação era um elemento importante no seu método, mas ele a levou a extremos hilariantes, ao tentar a equiparação das estruturas funcionalmente mais importantes dos animais e das plantas. Chegou ao ponto de igualar as raízes das plantas com o estômago e o trato intestinal dos animais; e incluiu o tronco e a haste das plantas no seu sistema reprodutivo, porque carregam as sementes e os frutos.

Levando em consideração a frequência de convergências, o paralelismo, a perda dos caracteres, e outras irregularidades da evolução caracterológica, poder-se-ia esperar que o método da divisão lógica, baseado nos caracteres singulares, conduziria a um absoluto caos. No entanto, um estudo da classificação das plantas de Cesalpino mostra que os 32 grupos de plantas, por ele reconhecidos, são, no seu conjunto, notavelmente "naturais". [9] É simplesmente evidente que Cesalpino não podia ter chegado a tais agrupamentos pela mera aplicação da divisão lógica. Como Stafleu (1969: 23) corretamente observou, Cesalpino, evidentemente, "partiu de certos grupos naturais, por ele

conhecidos intuitivamente, ou por tradição, e a eles acrescentou a superestrutura perfeitamente irrelevante e sem importância" da divisão lógica. Dessa forma, Cesalpino seguiu um procedimento composto de dois tempos. Primeiro, ele selecionou suas plantas, mediante inspeção da sua maior ou menor inserção nos grupos naturais; e, depois, buscou caracteres-chaves adequados, que lhe permitissem arranjar esses grupos de acordo com os princípios da divisão lógica. Somente assim ele tinha condições de atingir, ao mesmo tempo, dois objetivos: fornecer uma conveniente chave de identificação, e agrupar as suas plantas em classes, de acordo com a sua "afinidade" (veja a seguir). Nem sempre ele teve sucesso na conciliação entre as demandas conflitantes dos dois métodos, a exemplo de quando os princípios da divisão lógica o forçaram a separar os legumes herbáceos e arbóreos em duas famílias distintas.

A despeito das evidentes limitações do seu sistema, Cesalpino exerceu uma poderosa influência na botânica, durante os duzentos anos seguintes. Até lá, e incluindo Lineu, todos os sistemas de classificação de plantas eram variações e melhoramentos da abordagem inaugurada por Cesalpino. Todos eles tinham por base de classificação o método da divisão lógica e certa avaliação *a priori* dos caracteres. Cesalpino teve um tal impacto, não porque a sua classificação fosse particularmente útil, mas simplesmente porque ele foi o primeiro autor a fornecer um método mais ou menos consistente de classificação. Assim seria, até que viesse a aparecer algum outro com um método melhor.

A escolha dos caracteres, durante os primeiros passos da divisão, resulta necessariamente em classificações de todo diferentes. Essa a razão por que os sistemas dos grandes botânicos dos séculos XVII e XVIII, que seguiram os passos de Cesalpino, diferem tão drasticamente uns dos outros. Só um especialista se interessaria pelos detalhes pelos quais as classificações de Magnol, Toumefort, Rivinus, Bauhin, Ray, e várias outras figuras de expressão menor se afastam entre si. Todos esses botânicos tinham diferentes conhecimentos sobre as plantas, e isso influenciou a sua escolha dos caracteres para a primeira divisão. De modo semelhante, na classificação dos animais, esse fato conduziu a classificações inteiramente diferentes, conforme se viesse a ser escolhida, como primeira *differentia,* com sangue ou sem sangue, com pêlos ou sem pêlos, bípedes ou quadrúpedes.

Outra consequência do método de classificação descendente é que ele não pode ser melhorado gradativamente, peça por peça. A substituição de um caráter por outro, diferente, resulta numa classificação completamente nova. Sob esse sistema, o número possível de classificações diversas é virtualmente ilimitado. E, no entanto, esses botânicos, de algum modo, foram bem-sucedidos no ajuste da escolha e da sequência dos seus caracteres, de forma tal a não romper certos grupos naturais de plantas, bem conhecidos. O tanto que a "naturalidade" de certos grupos era claramente reconhecida ficou demonstrado pelo fato de que, como acentua Larson (1971: 41), "muitas famílias de plantas – por exemplo, *Coniferae, Cruciferae*, *Graminaceae* e *Umbelliferae* – já estavam estabelecidas no século XVI, e permaneceram intactas pelas vicissitudes da briga em tomo de sistemas". Mais e mais esses agrupamentos se firmavam, particularmente, quando certos gêneros da Europa, aparentemente isolados, revelaram-se como pertencentes a ricas famílias tropicais.

Mas botânicos do século XVII, de qualquer maneira, divergiam entre si não apenas quanto ao peso por eles conferido aos diferentes caracteres, mas também em relação ao seu maior interesse, seja no gênero, seja na espécie, e bem assim na medida em que reputavam como sacrossanto o princípio da divisão lógica e o suposto sistema aristotélico da avaliação dos caracteres. É nesses dois pontos que os dois maiores botânicos do século XVII mais fortemente divergiam entre si.

Ray e Tournefort

John Ray (1627-1705), com certeza, foi muito mais do que um botânico. [10] Ele foi co-autor dos mais importantes tratados de zoologia do período, e escreveu um dos grandes livros sobre teologia natural. Mas era também um britânico prático, cujo primeiro escopo era produzir um livro sobre plantas, o qual permitisse uma identificação inequívoca das mesmas. Consequentemente, ele se preocupava, em particular, com a natureza das espécies. Na sua *Historia Plantarum,* ele trata de nada menos do que 18.655 "espécies" de plantas, e dá uma definição da categoria espécie (veja o glossário), que foi largamente adotada nos 150 anos seguintes. Praticamente uma exceção entre os primitivos botânicos, ele não teve uma formação de médico, e era menos afetado pela tradição escolástica do que os seus contemporâneos, inclusive o próprio Tournefort, que foi educado num colégio de jesuítas. Em decorrência disso, não há surpresa em que John Ray, desde as suas primeiras publicações botânicas, tenha sido muito menos consistente nas suas aplicações da divisão dicotômica do que Cesalpino e Tournefort. Não apenas utilizou conjuntos diferentes de caracteres subordinados, nas suas diversas classes, mas também não hesitou em passar dos caracteres de frutificação para os vegetativos (presença de uma haste ou de raízes bulbóides), quando isso lhe parecia conveniente. Tournefort e Rivinus atacaram-no com vigor, por tais desvios, mas Ray respondeu à crítica com o conselho pragmático de que "uma classificação aceitável é aquela que (…) congrega as plantas que são semelhantes, e que convergem nas partes fundamentais, ou no seu inteiro aspecto exterior, e ainda que separa aquelas que diferem nesses aspectos" (*Synopsis*, 1690: 33). Ele repete esse princípio orientador em todas as suas publicações posteriores. Por exemplo, "a primeira condição de um método natural consiste em que ele não deve nem desassociar grupos, no seio dos quais existem evidentes similaridades naturais, nem confundir os mesmos com distinções naturais" (*Sylloge*, 1694: 17). Cesalpino e outros defensores da divisão lógica, obviamente, tinham afirmado que era precisamente isso que o método deles devia fazer. Por isso, Ray é forçado a ir em frente. No seu *De Variis* (1696), salienta que, em realidade, não dispomos de nenhum método objetivo para determinar quais são os caracteres que refletem a essência, e quais outros são acidentais. Em outras palavras, ele implicitamente rejeita o método da avaliação *a priori*. (Importante notar que ele não recusa o conceito de uma essência, ou a diferença entre caracteres essenciais e acidentais.) Daí a sua conclusão que não apenas a flor e o fruto, mas também outros aspectos da planta podem refletir a essência. Chega inclusive ao ponto de dizer que as espécies podem diferir umas das outras por seu complexo de acidentes (*Ornithology*, 1678).

Sloan (1972) sustentou a tese que foram os estudos de Ray sobre os escritos de Locke que o levaram a essas posições heréticas. Existem, todavia, suficientes evidências no sentido de que Ray chegou a uma avaliação não-ortodoxa dos caracteres, por meio de uma abordagem puramente pragmática, e que recorreu aos "estudos filosóficos" apenas para ajuntar munição na sua réplica a Tournefort (29 de abril, 1696, carta a Robinson). Considerando ser muito duvidoso que um único caráter possa refletir a essência de um gênero, Ray recomenda, no seu *Methodus Plantarum* (1703: 6-7): "O melhor arranjo de plantas é aquele em que todos os gêneros, do mais elevado, por meio dos subordinados, até o mais baixo, possuem diversos atributos comuns, ou coincidem em diversos aspectos ou acidentes". E vai mais longe, chegando inclusive a empregar critérios ecológicos para os seus agrupamentos, conjunto de caracteres esse estritamente "proibido", desde Cesalpino. Ao tempo,

Magnol (*Prodromus*, 1689) já havia recomendado combinações de caracteres.

A contribuição de Ray para a verdadeira classificação das plantas foi, na realidade, menor. Como Alberto Magno, Pena, Lobel e Bauhin, ele distinguiu monocotiledôneas e dicotiledôneas, sem reconhecer a natureza da sua diferença fundamental. Ele ainda conserva a divisão das plantas de Theofrasto, em árvores, arbustos, ervas, e assim por diante, e as suas classificações das Cariofiláceas e Solanáceas, por exemplo, são bem inferiores às de Bauhin e de outros predecessores. A história das classificações botânicas indica que a influência de Ray foi limitada. Não obstante isso, dificilmente poderá ser colocado em dúvida o fato de que ele contribuiu para enfraquecer as garras do método da divisão lógica.

O mais ilustre contemporâneo de Ray na França, Joseph Pitton de Toumefort (1656-1708), foi talvez o primeiro botânico a dar-se conta plenamente da opulência das floras exóticas (Sloan, 1972: 39-52; Mägdefrau, 1963: 46-48). Considerações puramente práticas, por isso, eram mais importantes para ele do que o desenvolvimento, de um método universal, ou natural. O seu escopo era fornecer uma chave conveniente para a diversidade das plantas. "Conhecer as plantas é conhecer os nomes exatos que lhes foram dados, com base na estrutura de algumas das suas partes" (Toumefort, *Institutiones,* 1694: 1). Considerando que o número dos gêneros era ainda maleável, naquele tempo, ele se concentrou nesse nível. Em contraste com a maioria dos seus predecessores, ele usou um único termo para o nome genérico. O mérito maior de Toumefort consiste na primeira formulação clara do conceito de gênero, e na delimitação judiciosa e descrição clara de 698 gêneros de plantas, a maioria das quais (às vezes sob nomes diferentes) foram adotadas por Lineu. Resulta disso que alguns dos mais conhecidos nomes de gêneros de plantas remontam a Toumefort. Desde que as flores e frutos oferecem o maior número de caracteres facilmente visíveis, foram estas as partes da planta em que ele baseou a maioria das suas descrições; todavia, ocasionalmente fez também referência a outras estruturas, sempre que isso lhe parecia útil. Toumefort mostrou-se muito mais disposto a fazer concessões a necessidades práticas do que Lineu. No caso de plantas desprovidas de frutos e flores, ou das em que tais estruturas são muito pequenas para serem vistas a olho nu, ele recomendava que

> para a determinação correta de (tal) gênero, devia-se recorrer não apenas a todas os demais partes da planta, mas também aos seus caracteres acidentais, seus meios de propagação, bem como ao caráter geral e aparência externa (*Institutiones*: 61).

A despeito da sua cuidadosa análise dos caracteres, a sua classificação dos *taxa* superiores foi mais ou menos artificial. Das 23 classes por ele estabelecidas, apenas seis correspondem a grupos naturais. Todavia, para fins de identificação, o *Methode* de*Toumefort foi mais bem-sucedido do que os sistemas dos seus contemporâneos, Ray, Morison, ou Rivinus. Ele foi amplamente adotado, não apenas na França, mas também na Holanda, e eventualmente na Inglaterra e na Alemanha. Os sistemas de Boerhaave (1710), Magnol (1729) e Siegesbeck (1737) eram variantes do de Toumefort. Diferiam principalmente pela escolha do caráter que lhes parecia o mais importante. O objetivo primeiro de todos esses sistemas era a identificação, com o auxílio da divisão lógica. Nenhum deles teve sucesso em estabelecer uma delimitação consistente dos grupos naturais, o que de resto é impossível com o método da divisão lógica.

A classificação descendente não era má estratégia, no tempo de Cesalpino, porque, naquele período, tudo era incerto a respeito da classificação. Ainda não se havia desenvolvido um conceito

realístico de espécie, e o número de tipos de organismos, recentemente descobertos, crescia a uma taxa exponencial. Num tempo em que poucas pessoas conheciam algo sobre história natural, a identificação correta constituía a maior necessidade, e a classificação por divisão era perfeitamente apropriada para esse objetivo. A um olhar retrospectivo, é óbvio que ela significou um primeiro passo adequado, para não dizer inevitável, na direção de um método superior de classificação.

Os botânicos desse período foram frequentemente taxados de "aristotélicos", implicando isso uma abordagem dedutiva e uma dependência cega da tradição e da autoridade. Isso é totalmente injustificado. Certo é que eles utilizaram os métodos da divisão lógica, como sendo o sistema mais adequado para uma identificação bem-sucedida, mas o seu trabalho não se baseava de forma alguma na autoridade, mas muito mais no estudo da natureza, em longas viagens, e na análise cuidadosa dos espécimes. Lançaram um sólido alicerce empírico para os sistemas mais aperfeiçoados do período pós-lineano.

Nesta altura, deve-se chamar a atenção para a diferença frisante entre o desenvolvimento histórico da história natural e o das ciências físicas. Os séculos XVII e XVIII testemunharam a assim chamada revolução científica, a qual, todavia, era essencialmente limitada às ciências físicas e, em bem pequena medida, a algumas partes da biologia funcional. A história natural e a sistemática, em todo o caso, ficariam quase completamente ilesas a essas mudanças radicais ocorridas nas ciências vizinhas. De Cesalpino, passando por Tournefort e Ray (sem mencionar Jungius e Rivinus), até Lineu, teve continuidade uma tradição ininterrupta de essencialismo e do método de divisão lógica. Foi afirmado, e não sem razão, que a história natural, quase até o tempo de Darwin, continuou a ser dominada pela metafísica de Platão e de Aristóteles. O que deveria ser acrescentado, entretanto, é que ela foi dominada por um outro filão do intrincado pensamento de Aristóteles: o espírito do naturalista, o prazer de observar a natureza, e o fascínio da diversidade. Esse aspecto da herança aristotélica continuou até os dias de hoje, enquanto, na sistemática, a sua metafísica, já grandemente debilitada ao longo do período de transição, entre Adanson e 1859, foi completamente banida por Darwin.

A rápida acumulação dos conhecimentos sobre a classificação das plantas, entre o início de 1500 até Lineu, teria sido impossível sem um importante avanço tecnológico – a invenção do herbário (Lanjouw e Stafleu, 1956). A idéia da compressão e secagem de plantas parece ter tido a sua origem com Luca Ghini (1490-1556), entre cujos discípulos se contavam Cibo (o seu herbário, de 1532, ainda existe), Tumier, Aldrovandi e Cesalpino, tendo todos eles criado os seus herbários. Os herbários eram simplesmente indispensáveis para coleção de plantas exóticas. A maioria das descrições de Lineu sobre plantas não-suecas, por exemplo, foi elaborada a partir de espécimes de herbários. Todos os grandes herbários do mundo têm hoje em dia três a seis milhões de espécimes, a que os botânicos continuam a recorrer, para fins de descrição e identificação. Há boas razões para acreditar que os grandes avanços realizados na classificação das plantas, no decurso da segunda metade do século XVI, foram consideravelmente facilitados pela nova tecnologia dos herbários, que permitia uma referência retrocedente aos espécimes de todas as estações do ano. O segundo importante avanço tecnológico foi, evidentemente, a técnica de gravuras em madeira.

Luca Ghini foi também grande inovador em outro aspecto. Erigiu, em 1543 (ou 1544), o primeiro jardim botânico universitário, em Pisa. Um segundo foi implantado em Pádua, em 1545. A um tempo em que os herbários eram pouco numerosos, e pobres as ilustrações, o valor dos jardins botânicos, para fins de ensino, não poderia ser sobrestimado. Pelo final do século XVI, jardins

botânicos públicos tinham sido instaurados em Florença, Bolonha, Paris e Montpellier.

Os zoologistas pré-lineanos

A classificação dos animais, em comparação com as plantas, teve um impulso considerável com o novo despertar da ciência, durante a Renascença. Enquanto as plantas floríferas são bastante uniformes na sua estrutura, há diferenças marcantes entre um vertebrado, um inseto, ou uma anêmona, e mesmo no seio dos vertebrados, entre um mamífero, um pássaro, uma rã, ou um peixe. Nenhuma surpresa, portanto, que os grupos maiores dos animais já tivessem sido distinguidos desde antes do tempo de Aristóteles. Nenhuma teoria elaborada era necessária para reconhecê-los.

Em decorrência das diferenças tão marcantes entre os *taxa* bem definidos de animais, os zoologistas tenderam a especializar-se e a concentrar-se num grupo particular, como mamíferos, pássaros (Tumer, Belon), ou peixes (Rondelet).

Mas existe ainda uma diferença mais importante no tratamento das plantas e dos animais. As plantas são muito numerosas, mas, a despeito da sua aparente semelhança, algumas espécies eram tidas como possuidoras de propriedades curativas muito específicas. Uma identificação correta era, portanto, a necessidade predominante. Embora a identificação desempenhasse também algum papel nos livros sobre animais, todo mundo conhecia o leão, a raposa, a lebre, o corvo, e não parecia particularmente interessante ou importante saber como se classificavam. De qualquer maneira, existia a tradição dos livros moralizantes sobre os animais, como o *Physiologus,* ou o *Puch der natur,* de Konrad von Megenberg, que se demoravam sobre os hábitos dos animais. Consequentemente, desde os primórdios, a ênfase das novas zoologias consistia naquilo que hoje chamaríamos de comportamento e ecologia. E certo que havia também a tradição de copiar fielmente os autores clássicos e de acreditar nas análises filológicas tradicionais sobre o significado dos nomes dos animais; persistia também uma considerável credulidade em relação às histórias dos viajantes e à existência de monstros. Mas os autores mostravam um interesse genuíno pelos animais vivos, e uma clara evidência de que estudavam o seu objetivo na própria natureza. Todavia, pouco era o seu interesse pela classificação, e a taxionomia animal bem depressa ficou para trás em relação à das plantas.

No início do século XVI, cinco naturalistas, nascidos no espaço de 22 anos, foram responsáveis pela revitalização da zoologia, após a Idade Média. [11] William Turner (1508-1568), embora inglês, transcorreu grande parte da sua vida adulta no continente, onde publicou, em Colônia, em 1544, um *Avium ... Historia,* contendo histórias sobre a vida de pássaros individuais, claramente baseadas nas suas próprias observações. Tumer também é conhecido por suas publicações botânicas, mas estas não foram tão pioneiras quanto a sua ornitologia. Um volume muito mais pesado é a *UHistoire de la nature des oyseaux* (1555), de Pierre Belon. Ele adquiriu fama considerável devido às suas viagens pelo Mediterrâneo oriental e pelos países do Oriente Médio. Usando caracteres ecológicos e morfológicos, ele classificou os pássaros em raptores, aves aquáticas palmípedes, aves de pântano não-palmípedes, pássaros terrestres, e pássaros arborícolas grandes e pequenos. Dessa forma, a adaptação ao *habitat* constituía o seu critério maior de classificação. Alguns dos grupos de Belon ainda sobreviveram, particularmente na literatura ornitológica francesa, até a última quadra do século XIX. Belon também publicou sobre peixes e outros animais aquáticos (1551; 1553), mas tais

livros foram quase imediatamente eclipsados pelo *De Piscibus Libri 18* (1554), de Guillaume Rondelet (1507-1566), que incluía a descrição de cerca de duzentas espécies de peixes reais, bem como cetáceos, cefalópodes, crustáceos, moluscos de concha dura, anelídeos, equinodermos, celenterados e esponjas. Incluíam-se também alguns monstros, como se fossem regulares habitantes do Mediterrâneo.

Em 1551 começou a publicação da *Historia Animalium,* de Gesner. Era uma enciclopédia imensa, compreendendo mais de quatro mil páginas, onde Gesner (1516-1565) compilou tudo o que pôde encontrar na literatura sobre as várias espécies de animais. Plínio, muito mais do que Aristóteles, era evidentemente o seu ideal. Gesner tinha demasiadas ocupações para contribuir pessoalmente com o assunto, mas os seus numerosos correspondentes supriam-no de matéria original. Não obstante o seu enorme interesse por tudo, e tudo o que podia ter aprendido sobre os animais, Gesner claramente não estava interessado na classificação. As espécies são listadas em ordem alfabética, em cada volume, "de sorte a facilitar o uso da obra". Em dois outros livros, *ícones* (1553) e *Nomenclator* (1560), Gesner agrupou as espécies sistematicamente, mas não demonstrou qualquer progresso, além dos primitivos esforços de Aristóteles e de Rondelet. O seu superior livro de botânica, infelizmente, só foi publicado muito tempo depois da sua morte (1751-1771), e por isso exerceu pouca influência.

O volume único de Gesner sobre pássaros foi desdobrado em três grandes volumes por Ulisse Aldrovandi (1522-1605), aparentemente sem acrescentar-lhe quaisquer observações originais, exceto as descobertas anatômicas feitas por alguns dos seus amigos e pelos seus alunos. Nada mais era do que uma vasta compilação, sobre a qual Buffon disse: "Eliminando-se tudo o que é inútil ou irrelevante sobre o assunto, poder-se-ia reduzi-la a uma décima parte do original". A *Ornithologia* de Aldrovandi (1599; 1600; 1603) diferia num aspecto da *Historia* de Gesner: as espécies não vinham listadas em ordem alfabética, mas sim agrupadas em categorias totalmente artificiais, a ponto de falar de pássaros com bico duro, pássaros que se banham no pó ou no pó e na água, os que cantam bem, que há pássaros aquáticos, e por aí afora – perfeita caricatura de uma classificação, não observando nem os princípios da divisão lógica.

Os cem anos posteriores a Gesner, que conheceram grandes avanços na classificação das plantas, não conheceram nenhum na zoologia. Nenhum progresso foi verificado, até se substituírem a função e o *habitat*, como critérios de classificação, pela estrutura. Isso foi feito pela primeira vez pelo *Omithologie libri tres* (1676), obra póstuma de Willughby (1635-1672), onde os pássaros são classificados com base em caracteres estruturais, tais como a forma do bico e dos pés, e o tamanho do corpo. Mesmo que tenham sido utilizados os princípios da divisão lógica, Willughby evidentemente conhecia muito bem os pássaros, e a maioria dos grupos por ele reconhecidos ainda é considerada natural pelos padrões correntes (Stresemann, 1975). Nunca poderemos saber em que medida as suas classificações receberam a contribuição do seu amigo John Ray, editor dos manuscritos de Willughby. De qualquer modo, o próprio Ray cedo publicou pequenas sinopses de mamíferos e répteis (1693), e de insetos (1705); e as suas sinopses sobre pássaros (1713) e peixes (1713) foram publicadas postumamente. Por mais artificial que tenha sido o método de Ray, as classificações resultantes não apenas eram as melhores até aquela época, mas também superiores, em certos detalhes, às posteriores de Lineu.

A classificação animal tornou-se um problema candente quando foi "descoberto" o mundo dos insetos, no século XVII. Cedo foi percebido que o número das espécies de insetos era muito superior

ao das plantas, e diversos naturalistas (Swammerdam, Merian, Réaumur, de Geer e Roesel) começaram a dedicar muita ou total atenção aos insetos e à sua classificação. Entre eles, René Antoine Ferchault Réaumur (1683-1757) foi o maior. A sua famosa história natural dos insetos, em seis volumes, mesmo que, em parte, copiada da obra de Jan Swammerdam (1637-1680), foi pioneira em muitos aspectos. As suas soberbas observações sobre o inseto vivo forneceram um exemplo para a *Historie naturelle,* de Buffon, e a sua ênfase nos *taxa* superiores (em vez da tediosa descrição das espécies) foi seguida por Cuvier, no seu *Mémoir,* de 1795. Embora Réaumur não estivesse particularmente interessado na classificação, ele fez grande número de observações penetrantes, como a que a fêmea do inseto luminoso (pirilampo), mesmo que desprovida do caráter diagnóstico de élitros duros, nem por isso deixava de ser um besouro. Ele reconheceu que a delimitação dos grupos naturais não depende de um único caráter diagnóstico. Os pontos de vista de Réaumur eram claramente indicativos da crescente resistência ao método da divisão lógica, e, juntamente com os escritos de Adanson, inauguraram os princípios da classificação ascendente (veja a seguir). O trabalho de Réaumur foi continuado por C. de Geer (1720-1778), que fez maiores contribuições para a classificação dos insetos, as quais, ao que parece, influenciaram consideravelmente o sistema dos insetos de Lineu (Tuxen, 1973; Winsor, 1976a).

A história natural, do século XVI até o século XVIII, não era tão estritamente dividida em zoologia e botânica como o foi no século XIX. Autores como Tumer, Gesner, Ray, Lineu, Adanson, Lamarck, e outros, escreveram livros sobre animais e sobre plantas. Mas, mesmo naqueles séculos, muitos autores se especializaram ou em animais (Belon, Rondelet, Swammerdam, Réaumur, Buffon) ou em plantas (Cesalpino, Bauhin, Morison, Tournefort). Depois de 1800, nenhum taxionomista era mais capaz de cobrir os reinos tanto das plantas como dos animais. Devido a essa crescente separação, não é surpresa que traduções bem diferentes começaram a se desenvolver gradualmente na taxionomia desses dois reinos, não obstante a parcial transferência da metodologia botânica das plantas para os animais, feita por Ray e Lineu.

Enquanto desde o princípio a especialização entre os zoologistas era bem pronunciada, os botânicos, devido à uniformidade estrutural das plantas floríferas (angiospermas), podiam facilmente deslizar do estudo de uma família para o de qualquer outra, sem terem que aprender quaisquer novas técnicas ou terminologias. Foi só bem mais tarde dentro do século XIX que alguns botânicos começaram a tomar-se especialistas em algumas famílias, como, por exemplo, orquídeas, gramas, palmeiras – tendência essa que se acentuou nos últimos cinquenta anos. A especialização entre os zoologistas cresceu ainda mais quando começaram a estudar os insetos e os animais aquáticos (muito embora um zoologista ocasional pudesse ter-se especializado simultaneamente em *taxa* muito diferentes, como o aracnologista francês Eugène Simon (1848-1924), que também era um especialista em colibris). Tal especialização em um único táxon superior tirou da preocupação com os métodos e os princípios da classificação superior. Dificilmente se pode negar que, até o final do século XVIII, a taxionomia animal ia a reboque da taxionomia das plantas.

Havia também outro motivo para o atraso da zoologia: as plantas são muito mais fáceis de preservar do que os animais. Enquanto os herbários já eram populares desde meados do século XVI, só no final do século XVIII é que se descobriram métodos apropriados para proteger as coleções de animais contra a praga das traças e dos dermestídeos. A preservação em álcool foi usada por longo tempo, mas quem poderia estudar uma coleção de pássaros preservada em álcool? Tal método é adequado

para peixes e certos organismos marinhos, e para espécimes a serem usados para dissecação, mas não para pássaros cuja cor é importante. Sal e alume foram usados por algum tempo para preservar peles de pássaros e de mamíferos, mas só quando Becoeur, pelos anos 1750, inventou o sabão arsênico tomou-se possível preservar peles de pássaros de modo permanente (Farber, 1977). Esse único avanço tecnológico é o responsável pela existência das vastas coleções modernas de pássaros e mamíferos.

Os insetos, da mesma forma, eram extremamente vulneráveis à destruição pelos besouros dermestídeos, e não era possível manter coleções permanentes de insetos, até que fossem introduzidos a naftalina, estojos adequados e herméticos de coleção, e ocasionalmente a fumigação. Sempre também era necessária uma constante supervisão de uma equipe curadora. Embora existissem, em princípio, os mesmos problemas em relação às plantas, o perigo real era muito menor, e maior, correspondentemente, a facilidade para se fazerem e manterem coleções. A rápida ascendência da sistemática animal, depois de 1800, deve ser explicada, em parte, como o resultado de novas tecnologias na preservação das coleções de animais.

Duas outras diferenças maiores entre animais e plantas devem ser salientadas. Quando a extraordinária diversidade da anatomia interna dos animais invertebrados foi descoberta por Cuvier e Lamarck (veja adiante), isso conduziu a um grande florescimento da anatomia comparativa, o que por sua vez conduziu a um grande interesse, entre os zoologistas, pela classificação das classes e dos filos. A muitíssimo maior uniformidade interna das plantas, ou talvez, mais exatamente, a grande dificuldade de interpretar a anatomia das plantas, excluiu tal desenvolvimento na botânica. Finalmente, a espécie é um fenômeno muito mais complexo nas plantas do que nos animais (pelo menos nos animais superiores), e, em consequência disso, os zoologistas adotavam um conceito de espécie bastante diferente do dos botânicos (veja Capítulo 6).

Ao escrever uma história da sistemática, corre-se o risco de interpretações errôneas, quando se misturam indiscriminadamente os enunciados dos botânicos e dos zoologistas. Os pontos de vista desses dois tipos de biologistas devem ser apresentados e interpretados no contexto não só do seu objeto material, mas também da sua evolução conceitual. Mas mesmo no seio de um desses ramos da taxionomia podem coexistir mundos conceituais diferentes. Por exemplo, na taxionomia das plantas, a escola de Lineu foi por longo tempo tão predominante, que os que eram não-conformistas eram simplesmente ignorados, quando não eliminados.

Essa, em parte, é a razão por que botânicos como Magnol e Adanson, que, sob certos aspectos foram maiores cientistas que Lineu, foram negligenciados. Mesmo hoje em dia, a teoria da classificação e o conceito de espécie em geral diferem profundamente, quando se comparam os conceitos de um especialista de um grupo animal bem conhecido (como os pássaros) com os relativos a um grupo pouco conhecido de insetos ou outros invertebrados.

Carl Lineu

Nenhum outro naturalista gozou tão grande fama durante a sua vida como Carl Lineu (1707-1778), [12] chamado algumas vezes de "pai da taxionomia". Todavia, cem anos depois da sua morte, ele foi largamente considerado nada mais do um mesquinho pedante. Hoje, por meio das pesquisas de Cain, von Hofsten, Stearn, Larson, Stafleu, e outros discípulos de Lineu, podemos pintar um

quadro mais equilibrado. [13] A tarefa não é muito fácil, uma vez que Lineu era uma pessoa com personalidade muito complexa, que aparentemente tinha traços incompatíveis. Na sua metodologia ele era, seguramente, de um pragmatismo pedante, embora também fosse dotado de grandes recursos literários. Ele era um numerologista (com uma inclinação para os números 5, 12, 365) e também, particularmente nos últimos anos, um tanto místico; ainda assim ele era o modelo de um taxionomista meticulosamente descritivo. Ele viveu muitos anos na Holanda, e visitou a Alemanha, a França e a Inglaterra, embora falasse apenas sueco e latim, e conhecesse pouco sobre línguas estrangeiras. Ao tempo em que chegou à Holanda (1735), o seu método e arcabouço conceitual já estavam amadurecidos em alto grau, mas, embora o seu método tenha depois mudado apenas um pouco (a sua última invenção do binomialismo não foi por ele considerada uma importante modificação do seu sistema), as suas idéias filosóficas mudaram de forma decisiva. Só um aspecto da biologia das espécies individuais lhe mereceu um interesse mais aprofundado, a sua biologia sexual (Ritterbush, 1964: 109-122); mas, como revelam os seus ensaios *(Amoenitates Academicaé),* Lineu se interessava por uma grande variedade de assuntos biogeográficos e ecológicos (Linné, 1972). [14] A classificação, contudo, constituía o seu interesse primário; inclusive, a sua obsessão de classificar qualquer coisa que lhe caísse nas mãos chegou ao ponto de propor uma elaborada classificação dos botânicos, em fitologistas, botanófilos, colecionadores, metódicos, Adônicos, oradores, erísticos, e assim por diante *(Philosophia Botanica:* par. 6-52).

Em 1753, Lineu conhecia cerca de seis mil espécies de plantas, e acreditava que o total podia chegar a dez mil, sendo mais ou menos o mesmo o número das espécies animais (ele listou quatro mil, em 1758). (O seu contemporâneo Zimmermann (1778) fez a estimativa notavelmente mais realista de cento e cinquenta mil espécies de plantas, e de sete milhões de espécies de animais, a serem eventualmente descobertas.) Todo o seu método (por exemplo, um botânico deve lembrar a diagnose de cada gênero!) estava baseado na sua suposição de um número limitado de *taxa-,* todavia, conhecemos hoje mais de duzentas mil espécies somente de fanerógamos. Lineu conhecia 236 espécies suecas de algas, líquens e fungos, em comparação com as cerca de treze mil espécies conhecidas hoje na Suécia. Ele admitia que os trópicos de todas as partes do mundo continham um plano de vida bastante uniforme. Mas tais insuficiências do seu conhecimento estavam muito longe de serem tão prejudiciais ao desenvolvimento da sua metodologia quanto o eram os seus conflitos de conceito. De um lado, como veremos agora, Lineu era um praticante da lógica escolástica e um essencialista estrito; de outro lado, ele também aceitava o princípio da plenitude, que acentua a continuidade. O objetivo maior do seu método era a meta eminentemente prática de assegurar a correta identificação das plantas e dos animais, não obstante o procedimento pelo qual procurava alcançá-la fosse o método altamente artificial da divisão lógica. Não admira que os seus críticos conseguiram descobrir tantas inconsistências nos seus escritos.

Mas, apesar disso, Lineu mantém toda a celebridade que teve. As suas inovações técnicas (inclusive a invenção da nomenclatura binominal), a sua introdução de um rigoroso sistema de diagnoses estilo telegrama, o seu desenvolvimento de uma terminologia elaborada para a morfologia das plantas (Bremekamp, 1953a), a sua padronização das sinonímias, e de todo aspecto concebível da pesquisa taxionomia, trouxeram consenso e simplicidade para a taxionomica e a nomenclatura, área onde existia a ameaça de um caos total. Esse era o segredo da sua popularidade e sucesso. Por sua autoridade, Lineu tinha condições de impor o seu método no mundo da sistemática, e isso foi em grande medida responsável pelo florescimento sem precedentes da pesquisa taxionomica dos animais

e das plantas, durante o século XVIII e princípio do século XIX.

Mas nem por isso vários autores pós-lineanos, tanto botânicos como zoologistas, deixaram de deplorar o fato de que a obra de Lineu tenha resultado numa tal ênfase na classificação e na nomenclatura, a ponto de levar à quase obliteração de todos os outros aspectos da história natural,

> em particular, o estudo dos animais vivos foi completamente suprimido (…) como um ulterior resultado, não apenas as variedades, mas também filhotes e as larvas de espécies conhecidas foram descritos como espécies separadas (Siebold, 1854).

O esquecimento de Kölreuter e as brigas, tanto na botânica como na zoologia, para atrair talentos para a fisiologia e a embriologia, deplorados por Nägeli e Sachs, dão suporte a essa avaliação.

A razão por que os escritores modernos têm tido tanta dificuldade para entender Lineu é que muitos dos termos por ele usados, como "gênero", "espécie", "nome", "conhecer", e sistema natural", têm exatamente os sentidos especiais que esses termos possuíam no sistema da lógica escolástica. Na escola, Lineu tinha sido brilhante em lógica, e evidentemente ficou profundamente impressionado pela precisão desse método. De Cesalpino em diante, todo botânico aplicava a divisão lógica, com maior ou menor consistência, a qual ainda dominava Lineu (Cain, 1958). [15]

Há um aspecto em que Lineu se afastava significativamente dos seus antecessores. Estes, nas suas classificações descendentes, aplicavam a dicotomia tantas vezes quanto fosse necessário para alcançar o procurado "gênero" ou a "espécie". Em contraste, Lineu aplicou o pleno rigor do método somente em nível de gênero. Estava menos interessado nas categorias superiores ao gênero, e foi vago e inconsistente em relação à variação intra-específica.

Lineu e as categorias superiores

Em vez de um sistema de consistente dicotomia descendente, ele adotou um sistema dominado, no interior de um reino, por uma hierarquia de somente quatro níveis categóricos: classe, ordem, gênero e espécie. A classificação de toda a diversidade da natureza em *taxa,* nesses quatro níveis, conferiu clareza e consistência ao seu sistema, completamente isento das dicotomias abstrusas da maioria dos seus predecessores.

O taxionomista moderno reconhece uma hierarquia elaborada de categorias superiores. A série completa, das espécies ao reino, é muitas vezes chamada a "hierarquia lineana" (Simpson, 1961; Mayr, 1969), embora Lineu não tenha sido o primeiro autor a reconhecer categorias acima do gênero. Como vimos, Aristóteles indicou vagamente uma hierarquia no seu arranjo dos animais. Ele dividiu todos os animais em "sem sangue" e "com sangue". Os últimos envolvem subcategorias, como quadrúpedes, de muitos pés, ou sem pés, e assim por diante. A maioria desses agrupamentos se efetua com o auxílio de caracteres diagnósticos únicos, e os sucessores de Aristóteles normalmente interpretaram os seus arranjos como chaves diagnosticas. Contudo, como anteriormente mencionei, o próprio Aristóteles zombava do método artificial das chaves dicotômicas. Ele percebeu que o seu critério, por exemplo, "vivíparo" *versus* "ovíparo" não produz um grupo natural. Em momento algum Aristóteles faz uma distinção terminológica entre os vários níveis das categorias superiores.

Quando a tradição aristotélica foi reavivada, durante a Renascença, ela envolvia uma falta de

interesse nas categorias superiores. Os herbalistas, tanto quanto os enciclopedistas, ou absolutamente não reconheciam qualquer categoria superior, acima do gênero, ou designavam os grupos que resultavam da sua divisão lógica como "livros", "capítulos", ou algum outro termo não-taxionômico. Os grupos supragenéricos de Ray, da mesma forma, eram designações inteiramente informais. Toumefort, aparentemente, foi o primeiro botânico a desenvolver uma classificação formal de categorias superiores ao gênero. Ele dividiu as plantas em 22 classes; subdividiu essas classes, por sua vez, em 122 seções.

A terminologia dessas categorias superiores, antes de tudo, variava de autor para autor. O que Tournefort havia chamado "seções", Mugnol e Adanson chamaram de "famílias" e Lineu "ordens". Quando cresceu o número de gêneros e espécies de plantas, e com isso a necessidade de uma hierarquia mais elaborada, todos esses termos alternativos foram incorporados numa terminologia única. A categoria família foi usada, de modo bastante consistente, pelo ano 1800, para designar um nível entre gênero e ordem. Cuvier é ainda inconsistente na aplicação desses termos, em publicações sucessivas. Eles foram completamente formalizados somente nos escritos do entomologista Latreille.

Lineu foi singularmente pouco comunicativo quando se tratou de definir as suas categorias de ordem, classe e reino. Tem-se a impressão de que ele introduziu essas categorias superiores não por razões teóricas, mas por razões puramente práticas. Com efeito, ele afirma com toda franqueza que a classe e a ordem são menos "naturais" do que o gênero. Como ele escreve no *Philosophia Botanica* (par. 160): "Uma classe é uma convergência de diversos gêneros, nos aspectos da sua frutificação, em acordo com os princípios da natureza e da arte". Em outras palavras, as classes são de alguma forma artificiais, mas Lineu insinua que elas serão substituídas por classes naturais, quando todos os gêneros de plantas tiverem sido descobertos e descritos. A ordem era para Lineu, inclusive, mais do que uma escolha de conveniência: "Uma ordem é uma subdivisão de classes, necessária no sentido de evitar que se coloquem juntos mais gêneros do que a mente possa facilmente acompanhar" (par. 161). É evidente que as categorias superiores eram para Lineu, antes de tudo, expedientes para adequada recuperação de informações. A sua falta de interesse nas categorias superiores é documentada pelo fato de que os *taxa* superiores dos animais, por ele reconhecidos, são decididamente inferiores (isto é, mais heterogêneos) aos que foram delimitados por Aristóteles, mais de dois mil anos antes.

Existem várias inconsistências na atitude de Lineu em relação às categorias superiores. O gênero representa o seu pensamento essencialista por excelência, e todos os gêneros são separados por marcantes descontinuidades. Contudo, a sua atitude em relação a classes e a ordens é principalmente nominalista. Para elas, ele assume o mote de Leibniz de que a natureza não faz saltos. Quanto mais plantas conhecermos, tanto mais as lacunas entre os *taxa* superiores serão preenchidas, até que as fronteiras entre ordens e classes possam finalmente desaparecer. A sua aderência ao princípio da plenitude é comprovada pela sua afirmação de que todos os *taxa* das plantas têm relacionamentos por todos os lados, como no caso de países vizinhos num mapa do mundo (par. 77; sobre mapa, veja Greene, 1959: 135).

O gênero

O gênero é, para o taxionomista moderno, a mais baixa categoria coletiva, um agregado da espécie, compartilhando certas propriedades em comum. Não era esse o conceito de gênero entre os

praticantes da divisão lógica. Para eles, o gênero era uma classe com uma essência definível, a qual podia ser dividida em espécies, mediante recurso às diferenças. Um gênero não designava um grupo fixo numa hierarquia de categorias, e o "nome" genérico muitas vezes era plurinominal, particularmente nos níveis inferiores da divisão. Originariamente, havia pouca uniformidade no uso, e Aristóteles às vezes usava o termo *genos* inclusive onde nós hoje falaríamos de espécie (Balme, Grene). A gradual descida na escala do termo "gênero", até o nível da categoria que hoje chamamos gênero, foi um processo lento. Começou com os herbalistas e os enciclopedistas, entre os quais Cordus (1541) e Gesner (1551), que já utilizaram o nome genérico de uma forma notavelmente moderna, embora os herbalistas gemânicos usassem a palavra *Geschlecht* (gênero) mais frequentemente no sentido de espécie do que de gênero. O uso bastante vago dos termos "gênero" e "espécie" começou a adquirir um significado biológico nos escritos dos grandes taxionomistas do século XVII, Ray e Toumefort.

O gênero foi para Lineu a pedra angular da classificação. [16] Quando se estabelece uma ordem no nosso ambiente, não se devem classificar coisas, mas as suas "essências". Para Lineu, a existência de gêneros naturais era um axioma, e eles – isto é, as "essências" – foram criados como tais, e podiam ser reconhecidos com base nos seus caracteres da frutificação. Ele admitia tantos gêneros quantos fossem os diferentes grupos de espécies coincidentes na estrutura da sua frutificação. Não é o taxionomista que "faz" o gênero; ele apenas descobre os gêneros que foram criados desde o princípio. Há uma associação muito estreita da teoria lineana da classificação com o dogma criacionista e a lógica essencialista.

Nos seus escritos mais antigos, Lineu ainda mantinha aderência ao estrito código da lógica, de tal sorte que chama todo o reino das plantas de *sumrnum genus,* cujas espécies eram as classes de plantas. Abandonou esse uso depois de 1735, restringindo o termo "gênero" ao nível hierárquico imediatamente superior às espécies. Em 1764, ele registrou 1.239 gêneros de plantas. Lineu é muito enfático em relação ao seu método, que descreve com grande detalhe na sua *Philosophia Botanica* (par. 186-209). A definição de um gênero era o estabelecimento da sua essência.

> O "caráter" é a definição do gênero, e ele tem feição tríplice: *factício, essencial* e *natural.* O *caráter genérico é o* mesmo que a *definição do gênero* (par. 186) (…) A *definição essencial* atribui ao gênero, a que se aplica, uma característica particularmente restrita a ele, e que é especial. A definição essencial [caráter] distingue, mediante uma única idéia, cada gênero dos seus próximos, na mesma ordem natural (par. 187).

Não precisaríamos mais do que a definição essencial, se houvesse uma maneira de determinar quais são os caracteres de um gênero. Em todo caso, Lineu, por indução, faz concessão a Ray, no sentido de que tal método é desconhecido. Por essa razão, deve-se também apresentar uma *definição factícia,* que "distinga um gênero de outros, numa ordem artificial" (par. 188). Por fim, "A *definição natural* enumera todos os caracteres genéricos possíveis; e, dessa forma, ela inclui tanto a definição essencial como a factícia" (par. 189). [17]

Embora Lineu tivesse alterado grandemente as suas idéias em relação à delimitação nítida e à fixidez das espécies, no decurso da sua vida científica (veja Capítulo 6), ele nunca teve dúvidas sobre o gênero. Tem-se a impressão de que ele percebia os gêneros intuitivamente (por golpe de vista), o que inspirou a sua famosa máxima: "Não é o caráter (diagnose) que faz o gênero, mas sim o

gênero que dá o caráter". Na realidade, ele muitas vezes ignorou os desvios de alguma espécie aberrante, na medida em que estes ainda pertenciam "obviamente" a um dado gênero. O gênero, para ele, era o mais apropriado pacote de recuperação de informações, porque, na limitada representação dos reinos animal e das plantas, por ele conhecidos, os gêneros, no seu todo, eram separados uns dos outros por descontinuidades bem definidas. Mas mais importante ainda, e por razões da sua filosofia essencialista, o gênero (com a sua essência) era a real unidade da diversidade, conferida por Deus.

Sob certos aspectos, pelo menos conceitualmente, o gênero de Lineu, na sua consistência essencialista, monolítica e independente, era um retrocesso em relação ao gênero de Tournefort, que consistia em um agregado de espécies, e por isso em uma categoria coletiva. O gênero, dizia Tournefort, "é um artifício para juntar, como num buquê, plantas que se assemelham umas às outras" *(Elemens de botanique,* 1694: 13). O moderno conceito de gênero, dessa forma, remonta mais a Tournefort do que a Lineu. Stafleu (1971: 74) está absolutamente certo quando afirma "que não foi realmente Lineu que produziu pela primeira vez, de modo consistente, definições compostas (diagnoses), e por isso descrições comparativas de gêneros. O mérito disso cabe ao pragmático e empírico Tournefort.

O sistema sexual de Lineu

Para Lineu, uma classificação era um sistema que permitia ao botânico "conhecer" as plantas, isto é, dar-lhes um nome, com rapidez e segurança. Um tal sistema só podia ser imaginado mediante o uso de caracteres bem definidos e estáveis. Os aspectos vegetativos da planta revelam muitas adaptações a condições especiais, e são por isso sujeitos a inclinações convergentes (tais como entre cactos e eufórbios), que desnortearam os primeiros taxionomistas de plantas. A flor, que Lineu escolheu como a maior fonte para os seus caracteres, possuía a grande vantagem de que as diferenças numéricas em estames e pistilos (e diversos outros dos seus caracteres) não eram adaptações *ad hoc,* mas sim, como diríamos hoje, ou um subproduto incidental do genótipo latente, ou adaptações outras, para facilitar a polinização, independentemente do *habitat.*

Lineu, de maneira perfeitamente equivocada, chamou o seu método de "sistema sexual". Essa terminologia era o reflexo da sua avaliação da importância predominante do processo reprodutivo. A reprodução, para ele, indicava o secreto plano operativo do criador. Na realidade, é evidente que as diferenças de número de estames e pistilos, por mais práticas que sejam para a identificação, são de reduzida significância funcional, se é que a têm. Mas Lineu teria considerado de mau gosto admitir isso francamente, e, no intuito de conferir ao seu sistema uma justificativa filosófica, ele chamou isso de sistema sexual. O assunto foi apresentado pela primeira vez em forma de esquema no *Systema Naturae* (1ª ed.), de 1735. Quatro critérios básicos foram usados: número, forma, proporção e situação. O número absoluto era assim apenas um dos conjuntos de caracteres de Lineu. Entre os caracteres que ele utilizou para distinguir 24 classes (Monandros, Diandros, etc.), incluíam-se questões como, se as flores eram visíveis (mais tarde chamadas fanerógamos) ou não, quantos estames e pistilos há, se eles se fundem ou não, se ocorrem ou não os elementos masculino e feminino na mesma flor. As classes, por sua vez, eram divididas em Ordens, com o auxílio de caracteres adicionais.

Por mais artificial que tenha sido tal sistema, ele era marcadamente útil para os fins práticos da identificação, e para a reserva e recuperação de informações. Qualquer botânico, ao utilizar o

sistema sexual, chegaria aos mesmos resultados que Lineu. Tudo o que teria a fazer era aprender um número bastante limitado de nomes das partes da flor e do fruto, e estaria assim em condições de identificar qualquer planta. Nenhuma surpresa que quase todo o mundo tenha adotado o sistema lineano. Quando, já em 1739, Bernard de Jussieu, o papa da botânica francesa, declarou que o método de Lineu era preferível ao do seu compatriota Tournefort, por ser mais exato, o triunfo foi completo.

Em uma classificação baseada na descendência comum, qualquer espécie (ou táxon superior) só pode ser encontrada uma única vez. Ela detém uma posição única na hierarquia. Tal limitação não existe numa chave de identificação artificial. Um táxon variável pode ser introduzido repetidas vezes em duplas diferentes. Isso precisa ser lembrado ao se falar da classificação de Lineu dos invertebrados de concha dura. Ele colocou tipos com concha (moluscos, cirrípedes, certos poliquetas) na ordem dos Testáceos, ao passo que animais tenros, isto é, moluscos sem concha (como lesmas e cefalópodes), celenterados e a maioria dos poliquetas, na ordem dos Moluscos. Todavia, ao relacionar os gêneros dos Testáceos, ele conferiu em cada caso também um nome genérico de molusco aos animais tenros. Por exemplo: *Quitão* (animal *Doris), Cipreídeo* (animal *Umax) Náutilo* (animal *Sepia*), *Lepidócero* (animal *Tritori),* e assim por diante. Os gêneros *Doris, Umax, Sepia* e *Triton* são de novo apontados como gêneros válidos na ordem dos Moluscos. A preocupação dominante de Lineu era de ordem prática, no sentido da identificação, e é isso que o seu sistema de dupla-entrada procurava facilitar (von Hofsten, 1963). Era, evidentemente, um arranjo, onde a concha servia para identificação, enquanto o animal indicava a real posição no sistema. Poder-se-ia interpretar isso também como a tentativa de apresentar simultaneamente uma classificação artificial e uma natural.

Considerando o aparente artifício do método da divisão lógica, é surpreendente que muitos dos gêneros reconhecidos por Lineu consistem em grupos de espécies bem caracterizadas, diversos dos quais ainda hoje são aceitos como gêneros, ou famílias. Um exame mais aproximado dessas classificações resolve a charada. É perfeitamente óbvio que Lineu, assim como Cesalpino, primeiro reconhecia tais grupos por inspeção visual, e só depois elaborava a definição (essência). Isso Lineu confessou abertamente na sua *Philosophia Botanica* (par. 168), onde diz: "A forma deve ser buscada secretamente, sob a mesa (por assim dizer), de sorte a evitar a formação de gêneros incorretos". Quando perguntaram ao filho de Lineu qual era segredo do seu pai, que era capaz de criar tantos gêneros naturais, a despeito da artificialidade do seu método, ele respondeu:

> Não era outro do que a sua experiência do conhecimento das plantas por sua aparência exterior. Por isso, ele muitas vezes se afastava do seu próprio método, para não ser perturbado pela variação do número dos aspectos, contanto que o caráter do gênero pudesse ser preservado.

Em consequência, Lineu às vezes chegou ao ponto de colocar num único gênero espécies que diferiam no seu número de estames, e que poderiam ser remetidas a classes diferentes do seu sistema sexual! Também, frequentemente transferiu o diagnóstico de um gênero, tal e qual, nas edições posteriores dos seus trabalhos, mesmo que espécies que se lhe acrescentaram depois tivessem atributos que conflitavam com a antiga diagnose genérica. Da mesma forma, ele foi inconsistente nas suas classificações dos animais. O carrapato de carneiro – uma mosca sem asas – foi classificado

sem rodeios entre os "insetos bialados" (Dípteros). Há quantidade de casos semelhantes nos trabalhos zoológicos de Lineu, em que considerações de ordem prática eram preteridas em favor dos princípios filosóficos (veja também Winsor, 1976a).

Buffon

O século XVIII foi a grande idade da história natural. Esse século conheceu as heróicas viagens do capitão Cook, de Bougainville e de Commerson (Stresemann, 1975), e, a par disso, um novo interesse pela natureza se refletia não apenas nos escritos de Rousseau, mas também nos da maioria dos "filósofos" do Iluminismo. Foi o século dos gabinetes de história natural e dos herbários, de propriedade não só de reis e príncipes, mas também de cidadãos abastados, como George Clifford (16851760), na Holanda, Sir Hans Sloane (1660-1753) e Sir Joseph Banks (1743-1820), na Inglaterra, e outros na França e em diversos outros países do continente. [18] Uma das ambições desses patronos da história natural era a publicação de um catálogo científico das suas coleções.

Os livros sobre a natureza tomaram-se mais e mais populares, mas nenhum deles teve o sucesso espetacular da *Histoire naturelle,* de Buffon. Embora, como nos tratados taxionômicos de Lineu, se ocupasse da diversidade da natureza, a abordagem de Buffon era fundamentalmente diferente. A identificação era a última das suas preocupações; ele desejava acima de tudo traçar imagens vivas dos diversos tipos de animais. Ele rejeitava o pedantismo dos escolásticos e humanistas, e nada queria saber da sua ênfase em categorias lógicas, essências e descontinuidades. Ele se inclinava muito mais em favor das idéias promovidas por Leibniz, nas quais se acentuavam a plenitude e a continuidade, e para o conceito aristotélico da escala da perfeição. Para Buffon, isso se afigurava uma visão da natureza muito superior à insípida compartimentação dos "nomenclatores", termo com o qual se referia desdenhosamente a Lineu e aos seus discípulos. Os seus estudos sobre Newton conduziram-no para aquela mesma direção. A lei da gravitação e outras leis da física, por acaso, não mostraram que há uma unidade na natureza, efetivada por leis gerais? Por que dissecar e destruir essa unidade, recortando-a em espécies, gêneros e classes? A natureza não conhece espécies, gêneros e outras categorias;

ela conhece apenas indivíduos, assim ele declarou no primeiro volume da sua *Histoire naturelle,* em 1749, e tudo é continuidade (porém, já em 1749, ele excluiu as espécies desse enunciado radical). Os primeiros amores de Buffon haviam sido a física e a matemática. Todavia, embora tivesse tido previamente alguma familiaridade com a história natural, foi só quando nomeado diretor do Jardin du Roi (hoje Jardin des Plantes), em 1739, com a idade de 32 anos, que veio a se interessar vitalmente pela diversidade do mundo orgânico.

Buffon e Lineu nasceram, ambos, no ano de 1707, mas, apesar disso, o contraste entre os dois homens são podia ter sido maior, sendo isso de início também válido para os seus seguidores. Os lineanos enfatizavam todos aqueles aspectos do procedimento toxionômico que pudessem facilitar a identificação, enquanto Buffon e a escola francesa concentravam a sua atenção no entendimento da diversidade natural. Os lineanos sublinhavam a descontinuidade, Buffon a continuidade. Lineu aderia à filosofia de Platão e à lógica tomista, ao passo que Buffon era influenciado por Newton, Leibniz e o nominalismo. Lineu concentrava-se nos caracteres "essenciais", muitas vezes apenas num único caráter diagnóstico, porque, segundo afirmava, a atenção ao detalhe descritivo impediria o

reconhecimento dos caracteres essenciais. Em contraste, Buffon insistia em que "devemos utilizar todas as partes do objeto sob nosso exame", inclusive a anatomia interna, o comportamento e a distribuição.

A abordagem de Lineu era bem adequada para o tratamento dos mamíferos, e meramente uma continuação da tradição dos classificadores antigos (por exemplo, Gesner). O número das espécies de mamíferos era bastante limitado, e a identificação raramente constituía um problema. Somente botânicos como Ray e Lineu tinham aplicado os princípios da divisão lógica na classificação dos animais. Quando Buffon classificou os mamíferos em domésticos e em animais selvagens, ele justificou a divisão com sendo "a mais natural". Para ele, "natural" significava prático, não "refletindo a essência", como para Lineu. [19]

Pelo ano 1749, as idéias de Buffon começaram a mudar, modificando-se eventualmente de modo considerável sob o impacto do seu crescente conhecimento dos organismos (Roger, 1963: 566). Enquanto em 1749 ele expressava um ceticismo radical em relação à possibilidade de qualquer classificação dos organismos vivos, pelo ano 1755 ele admitia a existência de espécies correlatas. Em 1758, ele ainda ridicularizava a idéia dos gêneros, mas em 1761 aceitava-os, para facilitar a difícil enumeração dos "menores objetos da natureza"; em 1770, o gênero é instituído como a base da sua classificação dos pássaros, presumivelmente ainda com a reserva mental da sua natureza arbitrária. Embora ele admita uma descendência comum dos "gêneros" dos animais domésticos, eles são, evidentemente, apenas espécies biológicas. Também, a partir de 1761, ele adotou o conceito de família. Todavia, é preciso ter presente que Buffon jamais tentou a classificação de todo o reino das plantas e dos animais. Em realidade, grande parte da sua *Histoire naturelle* compõe-se de uma série de monografias de espécies de mamíferos individuais. Estas ostentam uma apresentação soberba, tanto do ponto de vista literário como científico, e tiveram um enorme impacto na formação de jovens zoologistas. Porém, elas não constituíam o material com que se pudesse desenvolver uma teoria geral da sistemática, algo em que Buffon simplesmente não estava interessado.

Embora partindo de pólos opostos, Lineu e Buffon aproximaram-se mais e mais, à medida que as suas obras avançavam. Lineu liberalizou os seus conceitos sobre a fixidez das espécies, e Buffon admitiu (contrariamente aos pontos de vista nominalistas) que as espécies podiam ser definidas, não arbitrariamente, como comunidades reprodutivas *{Hist. maí.,* 1753, IV: 384-386). De qualquer maneira, Buffon jamais aceitou a idéia de Lineu sobre a natureza do gênero, isto é, a crença de que se trata da mais objetiva de todas as categorias. Mais do que isso, os seus critérios para o reconhecimento dos *taxa* superiores eram inteiramente diferentes daqueles cujo uso era professado por Lineu (hábitos totais *versus* caracteres únicos, reveladores da essência).

Pelo final das suas vidas, digamos pelos anos 1770, o contraste entre os métodos taxionômicos de Lineu e Buffon tinha-se reduzido a tal ponto que as suas respectivas tradições se fundiram nos seus discípulos. Lamarck, um protegido de Buffon, ainda proclamou em alto e bom som que as categorias não existem, mas apenas os indivíduos; porém, uma vez registrado este artigo de fé, não lhe prestou mais muita atenção nos seus trabalhos taxionômicos. O mesmo se aplica a Lacépède. Em Cuvier, finalmente, já não é mais possível distinguir a tradição nominalista buffoniana.

Um novo impulso na classificação animal

Poucos progressos foram feitos na classificação animal, durante os séculos XVII e XVIII. Na realidade, a classificação lineana dos invertebrados representava um retrocesso em relação à de Aristóteles. Tudo isso mudou da noite para o dia, com a publicação, em 1795, do *Memoir ort the Classification of the Animais Named Worms,* [20] de Georges Cuvier (17691832). O táxon abrangente, reconhecido por Lineu sob o nome de Vermes, foi dividido por Cuvier em seis novas classes de igual nível: moluscos, crustáceos, insetos, vermes, equinodermos e zoófitos. Dezessete anos mais tarde, ele destituiu os vertebrados da sua posição privilegiada, promovendo alguns dos invertebrados a um nível igual, e classificou todos os animais em quatro filos ("ramificações"): vertebrados, moluscos, articulados e radiados (Cuvier, 1812). No interior desses *taxa* superiores, foi reconhecido um número de novas classes, ordens e famílias, que até então haviam sido confundidas umas com as outras, ou totalmente despercebidas. Ele consolidou os Moluscos e os Testáceos de Lineu na classe Moluscos, e removeu o peixe-geléia (medusa) e a anêmona-do-mar (actínia) dos moluscos para os zoófitos.

A mais importante contribuição de Cuvier para a classificação animal foi a sua descoberta do grande conteúdo informativo da anatomia interna dos invertebrados. Ao dissecar numerosos animais marinhos, ele encontrou uma abundância de novos caracteres e de tipos de organização. Isso marcou o início da grande tradição da zoologia comparativa dos invertebrados. As suas descobertas permitiram-lhe, pela primeira vez, o reconhecimento de um número de *taxa* que ainda hoje é aceito.

O que é bastante curioso em relação à enorme contribuição de Cuvier é que, embora ela esteja baseada num sistema de conceitos e leis cuidadosamente elaborado, conceitualmente ela não representa nenhum avanço sobre os princípios da lógica aristotélica. Mais uma vez, a ênfase está na classificação de cima para baixo, por um processo de divisão, e ainda existe a procura de uma essência, da verdadeira natureza de cada grupo, onde os caracteres ainda são avaliados com base na sua importância funcional. Apesar disso, a ele se deve a introdução de algumas inovações.

Cuvier e a correlação dos caracteres

Cuvier era de opinião que certos sistemas fisiológicos eram de tamanha importância que controlariam a conformação de todos os outros caracteres. Isso representava um novo ponto de partida conceitual. Os taxionomistas anteriores a Cuvier atuaram, no seu conjunto, como se cada caráter fosse independente de qualquer outro caráter, e como se um organismo com um caráter diferente tivesse uma diferente essência. Buffon tinha sido o primeiro a discordar dessa abordagem atomista. Um organismo não era um ajuntamento arbitrário de caracteres, como transparecia dos escritos dos lineanos; mas muito mais, a composição dos caracteres era ditada pela sua "correlação". Cuvier explanou as idéias bastante genéricas de Buffon num princípio concreto, o da *Correlação das partes* (veja o Capítulo 8). As várias partes de um organismo são de tal maneira interdependentes que, dado o dente de um ungulado artiodáctilo, um anatomista tem de imediato condições de fazer numerosas afirmações a respeito da provável estrutura de outras partes da anatomia desse animal. Todas as funções de um organismo são mutuamente dependentes, a tal ponto que não podem variar isoladamente:

> É nessa dependência mútua das funções, e no auxílio que elas se emprestam reciprocamente, que se fundam as leis que determinam as relações dos seus órgãos, e que possuem uma

> necessidade igual à das leis metafísicas e matemáticas, porquanto é evidente que a aparente harmonia entre os órgãos que interagem é uma condição necessária para a existência da criatura a que eles pertencem, e que se uma dessas funções for modificada, de uma maneira incompatível com a modificação das outras, a criatura já não poderia continuar a existir. *(Leçons d'anatomie comparée,* 1800,1: 51).

A partir dos enunciados de Cuvier, os taxionomistas experientes sempre utilizaram a variação correlata como uma das mais importantes indicações para a avaliação dos caracteres. Ela pode revelar tanto especializações *ad hoc,* em conexão com a ocupação de zonas adaptativas especiais, como uma integração genética profundamente assentada, traduzida pela constância dos caracteres nos taxa superiores. Lamarck, ao que parece, foi o primeiro a chamar a atenção para a importância dessa constância, no seu *Flore Françoise* (1778), cedo acompanhado por Jussieu. Cuvier, porém, foi mais além do que apenas chamar a atenção para a correlação das partes; ele concebeu também um sistema elaborado de avaliação dos caracteres, consubstanciado no seu princípio da *subordinação dos caracteres* (veja adiante).

O ponto em que Cuvier difere, na sua abordagem, de um autor como Lineu, consiste em que ele está genuinamente interessado na classificação e nos seus princípios, muito mais do que num esquema de identificação. No seu *Memoir,* de 1795, como Réaumur antes dele, não se preocupa de forma alguma com a descrição de gêneros e espécies. Ele expressou seu real objetivo nestas palavras:

> Em conclusão, não apresentei este ensaio de divisão na intenção de que ele possa servir como ponto de partida para a determinação do nome das espécies; um sistema artificial seria mais fácil para isso, e só para tanto ele serve. O meu escopo tem sido tomar conhecida mais exatamente a natureza, bem como as afinidades verdadeiras, dos *animaux à sang blanc* (invertebrados), mediante redução a princípios gerais daquilo que se conhece sobre a sua estrutura e propriedades genéricas.

Lamarck

Por mais diferentes que, filosoficamente, tenham sido entre si Jean Baptiste Lamarck (1744-1829) e Cuvier, as suas contribuições para a classificação foram notavelmente semelhantes (Burkhardt, 1977). Lamarck introduziu também inovações numerosas e válidas na classificação dos invertebrados, tratando de problemas tais como a posição dos cirrípedes e tunicados, bem como o reconhecimento dos aracnídeos e anelídeos como *taxa* distintas. É certo que, desde os protozoários aos moluscos, Lamarck apresentou numerosas contribuições taxionômicas, mas em matéria de teoria da classificação, os seus conceitos eram tão convencionais quanto os de Cuvier. Lamarck começou por acreditar em uma única série de animais, que iniciava com os mais simples Infusórios e culminava no homem. Consequentemente, ele tentou situar cada táxon superior, de acordo com o seu "grau de perfeição". Mais tarde, em parte sob o impacto da substituição da série única por quatro *ramificações,* por Cuvier, mas em parte também como resultado dos seus próprios estudos comparativos, Lamarck progressivamente abandonou o conceito de uma série única. De princípio, ele apenas admitia que certas espécies e gêneros divergiam da linha reta, devido à "força das circunstâncias", mas eventualmente admitia também a ramificação de "massas" *(taxa* superiores), e a sua apresentação final do parentesco dos animais (1815) não difere, em princípio, da árvore filogenética, tal como esperaríamos encontrar na literatura do ponto final do século XIX. Lamarck muitas vezes enfatizou o quanto considerava importante a atividade da classificação, uma vez que "o estudo das afinidades (…) deve agora ser encarado como o instrumento mais importante para o progresso da ciência natural".

Os caracteres taxionômicos

Classificação é o ordenamento de organismos em *taxa* com base em sua similaridade e parentesco, segundo determinado por seus caracteres taxionômicos ou inferido a partir deles. Essa definição indica a importância decisiva dos caracteres taxionômicos para a construção de classificações. Todavia, desde os começos da história da taxionomia até o dia de hoje, tem havido muita discordância sobre quais caracteres são mais úteis, e sobretudo legítimos, na análise taxionômica. Em grande parte, a história da classificação é uma história da controvérsia sobre esse ponto. Os gregos estavam plenamente conscientes do fato de que caracteres utilitários, como propriedades medicinais ou a presença de espinhos, têm pouco a ver com outras propriedades da planta, assentadas mais profundamente. Os essencialistas, que classificavam por divisão lógica, também percebiam que alguns caracteres eram mais fundamentais do que outros. Embora a sua

terminologia de caracteres essenciais e acidentais fosse agravada pelo dogma escolástico, eles pressentiam uma verdade que só foi compreendida muitos séculos depois. Desde Cesalpino, reconhecia-se que caracteres não-morfológicos, tais como relação com o homem (cultivado ou selvagem), sazonalidade (transitório ou sempre-vivo), ou *habitat,* eram menos aptos a produzir classificações úteis do que características estruturais. Em consequência, desde o século XVI, predominou na taxionomia o uso de caracteres estruturais.

Ao longo de todo o período, de Cesalpino até o presente, os caracteres taxinômicos provocaram três controvérsias maiores: (1) Deve-se usar apenas um único caráter-chave *(fundamentum divisionis*), ou caracteres múltiplos ("todos possíveis")? (2) São permitidos só caracteres morfológicos, ou também ecológicos, fisiológicos e comportamentais? (3) Devem os caracteres ser "sopesados" ou não – e, em caso positivo, por quais critérios?

Já Aristóteles afirmava que alguns caracteres são mais úteis do que outros na delimitação de grupos de animais, e bem poucos autores, no decurso de toda a história da taxionomia, discordaram dessa conclusão. (Os feneticistas numéricos [veja adiante], em algumas das suas primitivas publicações [Sokal e Sneath, 1963], contam-se entre as poucas exceções ao promoverem uma pesagem igual de todos os caracteres.) O problema, dessa forma, não consistia em pesar ou não, mas sim em dois outros problemas: que princípios se devem usar para determinar o peso de um caráter? e como se deve traduzir uma escala de pesos numa classificação? É preciso lembrar que a rejeição de um critério particular de pesagem de um autor por outro autor não significa a rejeição do método de pesagem como tal. Autores como Buffon e Adanson, que eram favoráveis ao uso de "tantos caracteres quanto possíveis", não propunham de forma alguma que deviam ser pesados igualitariamente.

Por todo o tempo em que as classificações eram basicamente esquemas de identificação, elas requeriam, necessariamente, uma confiança nos caracteres únicos. Não tinha importância se os grupos produzidos por tal método eram heterogêneos, enquanto o objetivo da identificação pudesse ser alcançado. No caso das plantas, os botânicos experientes sabiam que nenhuma outra parte da planta fornece maiores e melhores aspectos diagnósticos do que a "frutificação" (flores, frutos e sementes). Uma vantagem particular desse sistema estrutural consiste em que ele inclui um grande número de caracteres quantificáveis, tais como o número das pétalas da flor, estames e pistilos. As flores tinham o mérito adicional de serem comparativamente invariáveis, dentro de uma espécie (em comparação com a maioria dos aspectos da vegetação folhada), não obstante comporem um sortido acervo de partes variáveis, revelando diferenças específicas dentro da espécie. Ninguém foi mais diligente e bem-sucedido do que Lineu ao salientar tais diferenças, embora alguns dos seus contemporâneos o tenham condenado pelo uso de caracteres que só podiam ser vistos com o auxílio de uma lente manual.

Nenhum dos essencialistas teria admitido que utilizava a frutificação por causa das suas vantagens práticas. Ao contrário, eles erigiram um mito bem elaborado, no qual evidentemente eles próprios acreditavam, no sentido de que certos aspectos de uma planta, de alguma forma, eram mais importantes do que outros, e por isso refletiam melhor a essência. Cesalpino situou a nutrição e os seus resultados (crescimento) no grau mais alto, enquanto colocou a reprodução, refletida na frutificação, no segundo mais alto grau: desde que os dispositivos para a continuação de uma planta numa próxima geração constituem a segunda mais importante indicação da essência, todos os aspectos da frutificação (flores e sementes) são os próximos caracteres mais importantes. Lineu

diferia dele por colocar a frutificação acima do crescimento, chegando a afirmar simplesmente (*Phil. Bot.,* par. 88) que "a essência da planta consiste na sua frutificação". Talvez a melhor evidência para o fato de que as flores eram escolhidas por sua utilidade, mais do que por razões filosóficas, reside em que ainda hoje elas são predominantemente empregadas em chaves de identificação, a despeito do fato de que o argumento da sua "importância funcional" tenha sido abandonado há duzentos anos.

Embora a totalidade dos botânicos, desde Gesner (1567) e Cesalpino (1583) até Lineu, estivesse de acordo sobre a importância da frutificação, esta ainda deixava uma grande margem de escolha, devido à multidão dos caracteres disponíveis, todos eles relacionados com a frutificação.

Botânicos diversos escolheram caracteres diferentes, como base da sua primeira divisão: Toumefort e Rivinus, a corola; Magnol, o cálice; Boerhave, o fruto; Siegesbeck, as sementes; e Lineu, os estames e pistilos. Teria sido difícil decidir sobre o modo como esses componentes da frutificação pudessem ser escalonados, segundo o seu significado funcional. Em decorrência disso, os botânicos pré-lineanos dividiram-se em linhas nacionais. Os britânicos seguiam Ray, os alemães Rivinus (Bachmann), e os franceses Toumefort. Desde que a identificação era o principal objetivo, o sistema de Toumefort, que era mais simples, mais conciso, e mais facilmente memorizado do que os outros dois, acabou por ser mais e mais amplamente adotado pelos botânicos, até ser substituído pelo ainda mais prático sistema sexual de Lineu.

Quando o número dos animais conhecidos cresceu rapidamente, durante os séculos XVII e XVIII, os caracteres morfológicos passaram a ser utilizados sempre mais frequentemente, mas entre os zoologistas não havia ninguém que tivesse aquele intenso interesse pela metodologia, que caracterizava os botânicos contemporâneos. Qs critérios ecológicos ainda eram os preferidos, particularmente para grupos outros que não os vertebrados. Vallisnieri (1713), por exemplo, dividiu os insetos em quatro grupos maiores: os que habitam as plantas, os que moram na água (inclusive os crustáceos), os que residem nas rochas e no solo, e os que se apegam por dentro ou por sobre os animais. Mesmo quando os caracteres morfológicos vieram a ser usados, eles eram muitas vezes pobremente escolhidos, como quando Lineu classificou os cachalotes pisciformes entre os peixes, ou quando juntou a maioria dos invertebrados com os vermes (Vermes).

O princípio de Cuvier da subordinação dos caracteres, segundo o qual as várias partes de um organismo diferem no seu valor taxionômico, foi um sistema de pesagem. No seu primeiro trabalho (anterior aos anos 1805), os órgãos da nutrição, e particularmente da circulação, são de importância mais destacada do que os caracteres diagnósticos dos *taxa* superiores de Cuvier. De qualquer maneira, pelo ano 1807, o sistema nervoso foi claramente promovido ao primeiro lugar, e ele agora desempenhava o papel mais importante na delimitação e ordenamento das suas quatro *ramificações* (Coleman, 1964). No nível das categorias mais baixas, Cuvier muitas vezes consignava peso diferente ao mesmo caráter, em diferentes grupos de animais. Por exemplo, caracteres dentários definem ordens entre os mamíferos, gêneros entre os répteis, mas somente espécies entre os peixes. A estrutura dos pés, para dar outro exemplo, tem o valor de um caráter ordinal para os mamíferos, sendo os pés o seu principal meio de locomoção, enquanto nos pássaros, onde as asas são predominantes, os pés têm muito menor valor como caráter taxionômico. Sem embargo, Cuvier era de opinião que certos caracteres associavam-se a um certo nível, na hierarquia das categorias. Evidentemente, a sua subordinação dos caracteres nada mais é, mais ou menos, do que o sistema de pesagem *a priori* dos botânicos, exceto que, nos animais, à maneira tradicionalmente aristotélica, a "sensibilidade" vem colocada em primeiro lugar, uma vez que os caracteres primários derivam do

sistema nervoso. Mesmo que Cuvier tenha revolucionado a classificação dos invertebrados, isso não ocorreu pela introdução de conceitos novos, mas muito mais por tomar disponível todo um novo conjunto de caracteres, derivados da anatomia interna.

Uma segunda revolução no uso dos caracteres animais, não envolvendo ainda quaisquer conceitos novos, foi produzida por um avanço tecnológico, a descoberta do microscópio. A introdução, por Leeuwenhoek, de instrumentos óticos no estudo da história natural (pelo ano 1673), foi uma inovação cujo impacto ainda não esgotou o seu alcance (como indicado pelas recentes descobertas realizadas com o auxílio do penetrante microscópio eletrônico). Mesmo os estames e pistilos, caracteres-chave do sistema de Lineu, são percebidos mais perfeitamente por meio da amplificação. O estudo da escultura dos élitros ou das antenas de besouros, dos veios das asas, e dos aparelhos genitais de todos os insetos, requer pelo menos uma lente manual. A maioria dos invertebrados aquáticos, e certamente as algas, os protozoários e outros protistas, requer o microscópio para o seu estudo.

O alcance dos estudos microscópicos acelerou-se grandemente depois dos anos 1820. O exame histológico meticuloso dos organismos de todos os tamanhos conduziu à descoberta de órgãos sensoriais taxionomicamente importantes, como glândulas, estruturas acessórias dos sistemas reprodutivo e digestivo, e outros detalhes do sistema nervoso anteriormente desconhecidos. Caracteres inteiramente novos (por exemplo, diferenças cromossômicas e bioquímicas) foram acrescentados, a seu tempo, igualmente possibilitados pelos avanços tecnológicos. Mesmo que o número dos caracteres disponíveis ao taxionomista se apresentasse como um prato cheio, as novas informações não foram suficientes para compatibilizar importantes controvérsias.

O dogma de um tipo particular de caracteres é mais adequado como base da classificação e sofreu pesado ataque, já no tempo em que Lineu vivia. De qualquer maneira, o que se combatia não era o princípio da pesagem como tal, mas o raciocínio, com base no qual a pesagem devia ser realizada. De início, como anteriormente descrito, o único critério de pesagem admitido, como determinante da utilidade taxionômica, era o da sua importância funcional. A seu tempo, todavia, foram propostos critérios de pesagem inteiramente novos. Lamarck, Cuvier e de Jussieu acentuavam a importância de caracteres "constantes". De Candolle enfatizava simetrias de crescimento, que, por certo, muitas vezes caracterizam gêneros e famílias inteiras, nas plantas. Tais simetrias podem ser encontradas nas flores, na inserção das folhas, bem como em outras características das plantas.

Taxa *politéticos*

Para o essencialista, o gênero (em qualquer nível) é representado pela totalidade das "espécies" (significando *taxa* subordinados) que participam da mesma essência, ou, como mais tarde expresso pelos taxionomistas, por todas aquelas que tivessem certos "caracteres" em comum. Desde o primeiro período da classificação, constituía fonte de angústia o fato de se encontrarem certos indivíduos, ou espécies, privados de um ou de outro caráter "típico" (isto é, essencial) do táxon. Os pedantes separariam tais espécies genericamente; os taxionomistas mais experientes, Lineu por exemplo, simplesmente ignorariam a discrepância. Na realidade, encontraram-se *taxa* superiores que podiam ser definidos, de modo seguro, pela simples combinação dos caracteres, podendo cada um deles ocorrer também fora do táxon dado, ou ocasionalmente estar ausente em um membro do táxon. Em tais casos, nenhum aspecto singular não é nem necessário, para o parentesco nesse táxon, e nem

suficiente.

Adanson parece ter sido o primeiro a reconhecer isso claramente, embora o caso já esteja implícito em algumas afirmações feitas por Ray. Vicq-d'Azyr (1786) asseverou que "um grupo pode ser perfeitamente natural, ainda que não tenha um único caráter comum a todas as espécies que o compõem". Heincke (1898) mostrou que duas espécies de peixes, o arenque e o carapau, diferem um do outro em oito caracteres estruturais, mas apenas 10% dos indivíduos diferem entre si em todos esses caracteres. Beckner (1959) foi o primeiro a conferir um reconhecimento formal a esse princípio, ao designar os *taxa* baseados em combinações de caracteres como "politípicos". De qualquer maneira, tendo em vista que o termo "politípico" já era empregado na taxionomia num sentido diferente, Sneath (1962) introduziu o termo substantivo *Politético*.

O fato de ser aceita a caracterização de *taxa* superiores, mediante combinações politéticas de caracteres, assinalou o fim de uma definição essencialista. Mas, em todo o caso, muito antes disso, a inteira concepção da confiabilidade dos caracteres particularmente importantes, necessária ao método da divisão lógica, sofria pesada oposição e, a seu tempo, conduziu a um conceito inteiramente novo da classificação.

Classificação ascendente por agrupamento empírico

O método predominante de classificação, de Cesalpino a Lineu – classificação descendente, por divisão lógica –, revelou-se mais e mais insatisfatório, a partir do momento em que os botânicos e os zoologistas europeus começaram a ficar submergidos pela avalanche de novos gêneros e famílias dos trópicos. Do método de classificação, segundo o princípio da divisão lógica, esperava-se pudesse cumprir dois objetivos: revelar a ordem da natureza (o plano da criação), e fornecer um esquema conveniente de identificação. Todavia, ao ser posto em prática esse método, ficou claro que os dois objetivos eram incompatíveis, e que uma aplicação consistente dos princípios da divisão lógica conduzia usualmente a resultados absurdos. Uma análise retrospectiva dessa teoria da classificação mostra que ela incorria em pelo menos três fragilidades básicas:

1. Tendo que classificar apenas faunas e floras pequenas, um esquema de identificação, tal como a divisão lógica está apta a fornecer, é suficiente. O método, porém, é incapaz de agregar grupos "naturais" de espécies e de gêneros, para fins de classificação, quando se trata de faunas e floras muito vastas.
2. Apenas um único caráter pode ser usado a cada passo. A escolha desse caráter era ditada pela sua suposta capacidade de revelar a essência do "gênero". Todavia, a afirmação de que certos caracteres, por exemplo os de maior importância funcional, são melhor qualificados para revelar a essência de um táxon do que outros não se confirma nem teórica nem praticamente. Logo, todo o sistema de pesagem dos caracteres, segundo a sua presumida importância funcional, carece de validade.
3. Toda a filosofia do essencialismo, em que se baseava o método da divisão lógica, é inválida, e por isso inadequada como base de uma teoria da classificação.

A drástica revolução do pensamento filosófico que se instalou nos séculos XVII e XVIII não podia deixar de exercer um influxo no pensamento dos naturalistas da classificação. Para diversos historiadores tem sido um desafio fascinante a tarefa de inferir a relativa influência da revolução

científica e do Iluminismo, da filosofia de Locke, com sua ênfase no nominalismo e no empirismo, de Kant, e das idéias de Newton e Leibniz, com o seu acento na continuidade, sobre o pensamento de Buffon, Lineu, e suas escolas. A ridiculização dos "nomencladores", feita por Buffon (referia-se aos lineanos), era apenas uma das manifestações dessas influências filosóficas.

Todavia, quando se estuda mais de perto o trabalho taxionômico do século XVIII, aparece com toda a evidência que as considerações de ordem puramente prática desempenhavam o papel maior, senão dominante, na elaboração dos conceitos taxionômicos. E as dificuldades práticas, enfrentadas pela classificação descendente, tomavam-se cada dia mais evidentes. Que validade podia ter um método que forçou inclusive o grande Lineu a "trapacear" e a sortear as suas espécies, por assim dizer, "por baixo da mesa", porque a divisão lógica não conseguia fazê-lo? O que poderiam fazer os seus seguidores, menos experientes, para evitar o confronto de classificações completamente absurdas? Não se pode entender a natureza das mudanças fundamentais na teoria taxionômica, entre 1750 e 1850, a não ser que se preste igual atenção às novas exigências, apresentadas pela prática da taxionomia, e ao fato de que os fundamentos filosóficos da classificação descendente estavam sendo gradativamente minados.

Ficou efetivamente claro que seria fútil tentar salvar a classificação descendente e divisiva modificando-a, e que a única saída era substituí-la por um método completamente diferente: uma *classificação ascendente ou comparativa.* Nesse método começa-se de baixo, juntam-se espécies semelhantes em grupos, e combinam-se esses grupos numa hierarquia de *taxa* superiores. O método é, pelo menos em princípio, estritamente empírico. A despeito de diversas controvérsias (veja adiante), trata-se do método largamente empregado por todo taxionomista moderno, pelo menos nos estágios iniciais do procedimento classificatório.

Admitir uma classificação por inspeção e agrupamento, em vez de por divisão, significou uma total revolução metodológica. Não apenas foi invertida a direção dos passos classificatórios, mas também a confiança em um único caráter *(fundamentum divisionis*) foi substituída pela utilização e consideração simultâneas de numerosos caracteres, ou, como alguns dos proponentes da classificação ascendente haviam insistido, de "todos os caracteres".

A despeito da drástica diferença conceitual entre os dois métodos, a substituição da classificação divisiva pela compositiva ocorreu de modo tão gradual, no período do final do século XVII ao século XIX, que, segundo parece, ninguém se deu plenamente conta de que ela estava acontecendo.

Havia diversas razões para explicar essa mudança gradual. Antes de mais nada, o método de classificar itens por "inspeção", obviamente, não era de forma alguma uma descoberta nova. Já Aristóteles havia delimitado os seus *taxa* superiores mediante uma combinação dos caracteres. Se alguém nos pedisse para selecionar um cesto de frutas mistas, teríamos pouca dificuldade em repartilas, por "inspeção", em maçãs, peras e laranjas. Tal separação preliminar, aparentemente, foi empreendida por todos os botânicos antigos, mesmo por aqueles que professavam a prática da divisão lógica. Ela foi exercida abertamente por Bock e Bauhin, e clandestinamente por Cesalpino, Toumefort e Lineu. Com toda evidência, uma certa porção da classificação compositiva tinha sido incorporada ao método divisivo, desde o começo. (Em contrapartida, depois que a divisão lógica foi em princípio rejeitada, alguns elementos da mesma foram mantidos, devido à sua utilidade para a identificação.)

Houve diversos pré-requisitos para a ocorrência da mudança, mas nenhuma análise exaustiva da

sua história tinha sido realizada em profundidade. Em primeiro lugar, uma classificação de baixo para cima só é possível quando se entende aquilo que se está agrupando – vale dizer, as espécies. Por isso, o conhecimento das espécies era um pré-requisito da abordagem compositiva, mesmo que definida de modo essencialista. Os herbalistas antigos, e outros autores antes de Lineu, que por vezes amontoavam todas as espécies de um gênero, ou tratavam variantes como espécies completas, teriam tido enormes dificuldades com o método compositivo. O desenvolvimento de uma tradição de história natural, nos séculos XVII e XVIII, ofereceu, nesse ponto, uma contribuição crucial (veja Capítulo 6). O segundo pré-requisito foi o enfraquecimento dos laços do essencialismo, conforme anteriormente descrito. Por fim, desenvolveu-se, nesse período, em parte como resultado do declínio do essencialismo, uma atitude empírica, pela qual se cultivava um interesse maior pelos resultados do que pelos princípios subjacentes.

Pelos anos 1680, três botânicos podiam ser apontados como pioneiros do método de ordenação das espécies com base nos grupos de caracteres. O britânico Morison utilizou uma variedade de caracteres, e Ray afirmava que, para delinear as inferências corretas na essência de um gênero, "não pode haver sinal mais seguro, ou evidência, do que a posse de diversos atributos comuns" *(De Variis,* 1696: 13). Repetiu isso em 1703, ao dizer:

> O melhor ordenamento das plantas é aquele em que todos os gêneros, desde os mais altos, por meio dos subordinados e dos mais baixos, têm diversos atributos em comum, ou coincidem em vários aspectos ou acidentes (*Meth. Plant.:* 6-7).

Na França, mais ou menos no mesmo tempo, Magnol abandonou a confiança no método da definição dos *taxa* superiores por divisão. No intuito de destacar inferências de parentesco, ele se serviu de caracteres de todas as partes da planta, não apenas da frutificação. E ainda mais significativo do que isso, ele acentuou de modo bem específico a importância de uma abordagem holística, vale dizer, o agrupamento das espécies "por inspeção": Há sempre, em numerosas plantas, certa semelhança, uma afinidade que não consiste nas partes, quando consideradas separadamente, mas no todo; uma afinidade importante, que, contudo, não pode ser expressa (*Prodromus*, 1689). A importância especial de Magnol consiste em que ele teve uma grande influência sobre Adanson, cujas idéias ajudou a moldar. A sua recusa da classificação dos caracteres em essenciais e acidentais (como postulado pelos essencialistas), embora ignorada por Lineu, foi adotada por Adanson e por toda a escola empirista.

Buffon (*Oeuvr. Phil.,* 1749:13) foi muito positivo ao endossar a classificação por inspeção: "A mim parece que a única maneira de delinear um método instrutivo e natural é agrupar coisas que se assemelham entre si, e separar coisas que diferem umas das outras". Ele também acentuou que se deveriam levar em consideração todos os caracteres, e tal recomendação foi adotada por Merrem, Blumenbach, Palias, Meckel e outros zoologistas (Stresemann, 1975: 107).

O primeiro autor que teve a coragem intelectual de pôr abertamente em causa a validade do método da divisão lógica foi Michel Adanson (1727-1806). No seu *Les familles naturelles des plantes* (1763), ele sugeriu a sua substituição por uma abordagem empírica e indutiva,

> porque os métodos britânicos que consideram apenas uma das partes, ou só pequeno número de partes das plantas, são arbitrários, hipotéticos e abstratos. Eles não podem ser naturais

> (…) o único método natural, na botânica, é aquele que leva em consideração todas as partes das plantas … [e esta é a maneira pela qual] descobrimos a afinidade que aproxima as plantas umas das outras, e que as separa em classes e famílias.

Adanson foi mais além do que isso, e desenvolveu um método aperfeiçoado, para testar os caracteres taxionômicos.

Adanson e o uso de caracteres múltiplos

A rejeição do método divisivo de um único caráter levantou novos problemas. No caso em que a delimitação dos grupos for feita com base em muitos caracteres, quantos caracteres devem ser utilizados, e haveria alguma preferência para alguns entre eles? Adanson foi o primeiro botânico a investigar essas questões de modo sistemático. No intuito de descobrir qual o efeito que a escolha dos caracteres teria sobre a classificação, ele arranjou experimentalmente 65 agrupamentos artificiais de plantas, cada um deles baseado em um caráter particular, como a forma da corola, a posição das sementes, ou a presença de espinhos. Tais arranjos demonstraram-lhe que é impossível chegar a um sistema satisfatório, quando baseado num único caráter, ou numa combinação de apenas dois. Tendo em conta que Adanson calculou a proporção dos agrupamentos naturais, produzida por cada um desses arranjos, ele foi algumas vezes taxado de taxionomista numérico, por Adrien de Jussieu antes de todos, em 1848. Tal afirmação, porém, é totalmente equivocada, porque Adanson não utilizou essa abordagem aritmética na delimitação efetiva dos gêneros e famílias. Isso ele fez, seguindo o exemplo de Magnol, pela percepção visual dos grupos. Embora ele tenha, em primeiro lugar, discriminado as diferenças entre os gêneros e as espécies, "foi pela visão de conjunto [*ensemble*] dessas descrições comparativas que eu percebi que as plantas se distribuem entre si naturalmente, em classes ou famílias "(*Fam. pl,* 1763: CLVIII).

Adanson percebeu com toda clareza que caracteres diferentes diferiam no seu significado taxionômico.

> Conferir igual peso a todos os atributos teria sido uma contradição lógica do método indutivo de Adanson. Tal procedimento arbitrário teria significado uma avaliação *a priori* dos caracteres (Stafleu, 1963: 201; veja também Burtt, 1966).

O que Adanson propôs foi a consideração potencial de todas as partes da planta, não meramente a frutificação. Em particular, ele acentuou dois pontos: (1) que certos caracteres não contribuem em nada para a melhoria de uma classificação, e podem ser ignorados; e (2) que os caracteres com o maior conteúdo informativo são diferentes de família para família. Cada família tem o seu próprio "gênio".

Alguns adversários de Adanson criticaram-no, pelo particular motivo que o seu método requeria um conhecimento excessivo das plantas. Teria sido uma crítica legítima se a identificação fosse o único objeto da classificação; todavia, como a história da sistemática tem repetidamente provado, as classificações satisfatórias – classificações baseadas numa avaliação crítica de todas as evidências – só podem ser estabelecidas por aqueles que detêm um conhecimento exaustivo do grupo em referência. Pode-se resumir a posição de Adanson em relação aos caracteres, dizendo que ele,

por certo, privilegiou a pesagem dos caracteres, mas não com base em alguma noção preconcebida ou princípios *a priori* (como a importância fisiológica), mas muito mais por um método *a posteriori,* baseado numa comparação dos grupos, previamente estabelecidos por inspeção.

Quase todos os princípios propostos por Adanson tomaram-se hoje parte da metodologia taxionômica. Contudo, numa época ainda dominada pela lógica tomista e pela autoridade virtualmente ditatorial de Lineu, Adanson era quase completamente ignorado. É difícil dizer a medida do impacto que o *Famille des plantes* exerceu efetivamente. Ele foi enaltecido por Lamarck, mas outros, que foram claramente influenciados por ele, como A. L. de Jussieu, deixam de mencionar, de modo bastante deselegante, a fonte das suas idéias. Numerosos praticantes da taxionomia, nos anos e gerações posteriores, ao chegarem aos mesmos princípios, fizeram-no de maneira independente e empírica, mais do que pelo estudo dos escritos de Adanson, amplamente esquecidos. Só quase um século mais tarde é que a grandeza de Adanson foi redescoberta (Stafleu, 1963).

Período de transição (1758-1859)

O século posterior à publicação da décima edição do *Systema Naturae* (1758), de Lineu, foi uma era de atividade taxionômica sem precedentes, engendrada em grande parte pelo enorme prestígio que Lineu emprestou ao estudo da diversidade. Ao se descobrirem mais e mais organismos, mais e mais gente nova se tomava zoologista e botânico. A busca de novas espécies e a sua classificação ameaçavam abafar todos os demais interesses na biologia. Por exemplo, as estimulantes pesquisas sobre a biologia das flores, de um Kölreuter ou de um Sprengel, foram ignoradas, pelo fato de não produzirem novas espécies. Nägeli (1865), que não era um taxionomista, deplorava o fato de que todos os outros ramos da botânica estavam sendo submergidos pela "torrente da sistemática".

O enorme acúmulo de espécimes de plantas e animais nas coleções públicas e privadas resultou em profundas mudanças na profissão taxionômica. Os taxionomistas tomaram-se mais profissionais e especializados. Novas revistas foram fundadas, para acolher as descrições das inúmeras novidades; também amadores descobriram que podiam atingir um alto nível de competência, especializando-se numa família singular. A produção anual de pesquisas taxionômicas crescia sem parar.

As fronteiras da taxionomia expandiram-se em áreas inteiramente novas. Até aí, a zoologia tinha sido dominada pelo interesse dos vertebrados, e a botânica pelo estudo das plantas floríferas. Agora, desenvolveu-se na zoologia um interesse pelos invertebrados, particularmente os marinhos, e eventualmente (começando com Sars) os organismos do mar profundo. Os botânicos, por sua vez, começaram a dar cada vez maior atenção aos criptógamos.

Foi no decurso do período entre a publicação do *Famille des plantes* (1763), de Adanson, e a *Origin of Species,* de Darwin, que a classificação descendente foi gradualmente substituída pela classificação ascendente. A França, que dos países europeus era talvez a que menos era dominada pelo essencialismo, liderou claramente a introdução dos novos métodos da taxionomia. Isto se evidencia não apenas pelos esforços primitivos e pioneiros de Magnol, Buffon e Adanson, mas também pelos escritos de Lamarck e Cuvier. Lamarck (1809-1815), embora ainda aderindo excessivamente a filosofias obsoletas, classificava por agrupamento, em vez de por divisão lógica, e,

a par disso, o princípio da correlação das partes, de Cuvier, fortaleceu grandemente a tendência para a conceitualização de caráter múltiplo dos *taxa* e para a busca de caracteres novos. Tal fato inaugurou uma tradição pragmática nova em zoologia, pela qual os caracteres eram avaliados por sua capacidade de fornecer uma contribuição na formação de grupos aparentemente "naturais"; quer dizer, eles eram avaliados *a posteriori*. Mais do que isso, ficou reconhecido que a importância relativa de um caráter (o seu peso) podia mudar de um táxon superior para outro; em outras palavras, o valor taxionômico dos caracteres não é absoluto.

Isso conduziu também a uma revisão do conceito das categorias taxionômicas. Já não se as considerava mais como passos da divisão lógica (do *summum genus* para baixo, até as espécies inferiores), mas sim como níveis de uma hierarquia. O gênero agora passou a ser uma categoria coletiva superior, e por isso algo ontológica e epistemologicamente de todo diferente do gênero essencialista da divisão lógica. Essa mudança do sentido e da função do gênero foi muitas vezes despercebida por taxionomistas e filósofos, resultando disso mal-entendidos e confusão de conceitos.

Houve também uma sutil alteração da importância relativa das diversas categorias. Para Lineu, gênero era o centro do universo. A partir do momento em que, devido à contínua descoberta de novas espécies, os gêneros se tomaram cada vez mais numerosos, muitos deles tiveram que ser divididos sucessivas vezes, e assim a ênfase passou para o próximo nível superior, a família. Em diversos grupos de organismos, mas de forma alguma em todos, a família se tomou a unidade mais estável da classificação.

A passagem da classificação descendente para a ascendente (com as concomitantes alterações de método e do conceito) foi lenta, gradual e irregular, como aconteceu com quase todas as "revoluções" científicas. Como já referido, a ênfase sobre as famílias começou com Magnol (1689); o uso de diversos caracteres, muitas vezes derivados de diferentes sistemas orgânicos, já fora adotado, de modo mais ou menos hesitante, por Bauhin, Morison, Ray, Magnol e Toumefort; Bauhin (1623) foi talvez o primeiro a classificar as plantas por agrupamentos, "de acordo com as suas afinidades naturais". Contudo, todos esses autores pecavam pela inconsistência, particularmente devido ao fato de que eles sempre procuravam, em maior ou menor medida, colocar as suas classificações a serviço de sistemas de identificação.

Um fator sobre o qual Stafleu (1963: 126) chamou a atenção refere-se a que não apenas considerações de ordem prática, mas também Descartes e os seus princípios, ajudaram a solapar a autoridade da divisão lógica aristotélica. Adanson, por exemplo, modelou o seu próprio método de conformidade clara com as quatro regras básicas do método cartesiano: a dúvida, a análise a síntese e a enumeração. As influências de Descartes, bem como as de Newton e Leibniz (por intermédio de Buffon), situavam-se entre as razões por que Lineu exerceu menor impacto na França do que em qualquer outro país taxionomicamente ativo. As suas numerosas inovações práticas (binominalismo, regras de nomenclatura, e outras) foram eventualmente adotadas, com certeza, mas o seu aristotelismo era aceito apenas como um método conveniente de identificação, não como uma sólida base filosófica para a classificação. Talvez a mais notável evolução da taxionomia pós-lineana tenha residido no fato de que as classificações passaram a ser progressivamente mais hierarquizadas (veja adiante).

A taxionomia das plantas, que conheceu tão magnífico florescimento nos duzentos anos que mediaram entre Cesalpino (1583) e Lineu, continuou em verdade a crescer, no período posterior a Lineu, mas não de modo espetacular. Três desdobramentos caracterizaram essa era. O mais

importante deles foi o esforço (ainda não plenamente sucedido nem nos nossos dias) para desenvolver um "sistema natural" das plantas. De Jussieu, de Candolle, Endlicher, Lindley, Bentham e Hooker, todos eles, de modo mais ou menos exitoso, contribuíram para esse fim. Além disso, entre os criptogamístas, foi dada uma crescente atenção não apenas às samambaias e musgos, mas também aos fungos, algas e plantas aquáticas unicelulares (protistas). Finalmente – muito embora os botânicos raramente chegassem no nível dos zoologistas-, veio também para a botânica uma era de especialização, resultando na publicação de monografias sobre grupos especiais de plantas, e conduzindo dessa forma a pesquisas muito intensas em áreas seletas do reino vegetal.

Um desdobramento exiguamente levado em consideração foi o fato de que a taxionomia animal, durante esse período, se tomou um ramo maior da zoologia acadêmica. Naturalistas como Siebold, Leuckart, Ehrenberg, Sars, Dujardin e muitos outros (poder-se-ia incluir também Darwin nessa lista) começaram como taxionomistas, mas, interessando-se pela vida animal como um todo, deram contribuições da maior relevância para a zoologia geral, tais como o esclarecimento do ciclo vital dos parasitas, a alternância das gerações, a sequência dos estágios larvais dos invertebrados marinhos, a estrutura dos órgãos internos e sua função, e quase todos os demais aspectos dos animais viventes. Em numerosos casos, pode ser demonstrado, sem equívoco, que tais estudos surgiram diretamente de pesquisas taxionômicas; todavia, raramente se tem creditado à taxionomia o mérito de haver ocasionado o início de novas abordagens na biologia. Para dar um exemplo, só em anos recentes (Ghiselin, 1969) é que se tomou plena consciência do quanto foi importante o trabalho monográfico de Darwin sobre os cirrípedes, para o amadurecimento da sua teoria evolucionista.

A procura de um sistema natural

Muitos dos adeptos da classificação descendente estavam bem conscientes do fato de que as classificações produzidas por seus métodos eram "artificiais". Lineu, em mais de um dos seus trabalhos, deplorava que ainda não havia chegado o tempo de uma classificação verdadeiramente "natural" (da maneira como ele a entendia). Em diversas ocasiões, ele publicou fragmentos de uma classificação "natural" das plantas (Stafleu, 1971) e, independentemente do grau de artificialidade das suas divisões maiores, agrupou entre as mesmas a maioria dos gêneros de maneira muito próxima de como faria um moderno taxionomista evolutivo. De qualquer maneira, a simples substituição da classificação descendente pela ascendente não tinha condições de produzir uma classificação natural. Devia haver um princípio de organização, algum conceito básico, que pudesse servir de diretriz para o taxionomista.

Já desde os gregos prevalecia a convicção de que a diversidade da natureza era o reflexo de uma ordem mais profunda, ou harmonia. Nenhum outro grupo de filósofos, enquanto é possível julgar pelo pouco dos seus escritos que se conservaram, dedicou maior reflexão a essa harmonia do que os pitagóricos. A teologia natural reviveu o conceito de um equilíbrio harmonioso da natureza, e via sinais do mesmo por toda parte, no evidente "desígnio" de todas as adaptações. Contudo, à primeira vista, a diversidade apresentava-se como perfeitamente caótica, e parecia não adequar-se muito bem a essa filosofia. A situação ficava particularmente incômoda, no período pós-lineano, em face do crescimento, a uma taxa quase exponencial, do número de espécies conhecidas e de *taxa* superiores de plantas e animais. Ao observar as montanhas, por assim dizer caóticas, das novas espécies, como seria possível evitar a pergunta: "Onde está a harmonia da natureza com a qual todo naturalista

sonha? Quais são as leis que controlam a diversidade? Qual era o plano do pai de todas as coisas, quando projetou as criaturas pequenas e as grandes?"

Era simplesmente inconcebível, num período tão fortemente dominado pela teologia natural, que a diversidade orgânica pudesse ser totalmente desprovida de ritmo ou de razão, que pudesse ser nada mais do que o resultado de um "acidente". Por isso, impunha-se ao taxionomista a tarefa de encontrar as leis que regulavam a diversidade ou, como outros o formulariam, descobrir o plano da criação.

A classificação que refletiria de modo mais perfeito esse plano divino seria o "sistema natural", e alcançá-lo constituía o ideal de todo naturalista. Todavia, se procurarmos estudar o que os vários autores que empregaram o termo "natural" tinham em mente, deparamo-nos com uma grande diversidade. A discussão de algumas formas do uso desse termo ajudar-nos-á a entender o pensamento daquele período. Os diversos significados ficarão melhor esclarecidos, apresentando os seus respectivos antônimos.

1. "Natural" é aquilo que reflete a verdadeira "natureza" (isto é, a essência), em oposição ao que é devido ao "acidente". Os classificadores essencialistas, de Cesalpino a Lineu, tentaram fornecer classificações que fossem naturais, nesse sentido (Cain, 1958). Em princípio, esse era o ideal de Lineu, e, ao que tudo indica, era isso mesmo que tinha em mente quando expressou a sua insatisfação com o seu sistema sexual artificial. O natural não significava para Lineu o que significa para nós, porque para ele a "natureza" de uma espécie, de um gênero, ou de um táxon superior era a sua essência. Todos os estudiosos de Lineu concordam neste ponto (Stafleu, 1971; Larson, 1971).

Nunca se deve esquecer a convicção de Lineu de que os gêneros e os *taxa* superiores, como criações de Deus, representavam essências imutáveis, e que só poderemos conhecê-los de verdade após termos reconhecido plenamente tais essências. Como disse Cain (1958: 155):

> É como se, para [Lineu], um sistema "natural" mostrasse as *naturezas* das coisas, e as naturezas significavam, na prática, as "essências". A percepção disso ajuda-nos a compreender os seus ensaios sobre o "método natural" (subentendendo-se sistema natural).

A sua teoria da origem das classes e dos gêneros (num apêndice do *Genera Plantarum,* 1764) é de natureza estritamente criacionista. Por tudo isso, é perfeitamente óbvio o que Lineu de fato tinha em mente quando falava do "sistema natural": um sistema em que a definição intuitiva dos *taxa* superiores (baseada numa semelhança do conjunto) é substituída por uma determinação das verdadeiras essências desses *taxa.* Entre os sucessores de Lineu, evidentemente, o termo "sistema natural" adquiriu aos poucos um significado inteiramente diverso.

2. A partir do momento em que o poderio da filosofia essencialista começou a ficar abalado, o termo "natural" passou a significar aquilo que é racional, em oposição ao caprichoso. Tal interpretação refletia a atitude largamente difundida, no século XVIII, no sentido de que a ordem da natureza era racional, e que podia ser divisada e entendida mediante o raciocínio. Tudo na natureza obedece às leis emanadas de Deus, e a ordem dessa natureza é conforme ao plano divino. O "sistema natural", quando identificado, refletiria o projeto original da criação (Agassiz, 1857).
3. Para outros ainda, o termo "natural" significava "empírico", em contraste com o "artificial" (isto é, puramente utilitarista). Uma classificação natural, por esse conceito, iria satisfazer

as exigências de John Stuart Mill:

> Os fins da classificação científica são atendidos da melhor forma quando os objetos são dispostos em grupos, em relação aos quais possa ser emitido um número maior de proposições gerais, e desde que essas proposições sejam mais importantes do que quando pudessem ser feitas em relação a quaisquer outros grupos, em que as mesmas coisas poderiam ser distribuídas.

Basicamente, considerações desse tipo estavam implícitas nos esforços de Adanson. Trata-se de uma tradição iniciada por Bauhin, mais ou menos abertamente sustentada por Morison e Ray, e defendida de modo claro e definitivo por Magnol.

4. Finalmente, depois de 1859, o termo "natural", quando usado para descrever um sistema de classificação, acolheu o sentido de "descendência comum". Uma classificação natural, depois de Darwin, é aquela em que todos os *taxa* são formados pelos descendentes de um ancestral comum.

Mas, de qualquer maneira, a listagem desses vários sentidos do Termo "natural" não descreve de modo exaustivo os fundamentos conceituais das classificações propostas durante esse período. A procura de uma harmonia, ou de um plano na natureza, era influenciada por alguns outros conceitos que, em parte, já encontramos em outros contextos. Três conceituações, em particular, eram populares em períodos sucessivos.

Scala naturae

Durante séculos, a escala da perfeição parecia ser o único esquema concebível para trazer uma ordem na diversidade. [21] Blumenbach (1782: 8-9) foi um dos muitos autores que viam na *scala naturae* a base firme de um sistema natural, que permitiria ao homem "ordenar os corpos naturais de acordo com a sua maior e mais variada afinidade, agregar os que se assemelham e separar uns dos outros os que não são semelhantes". Lamarck, particularmente nos seus primeiros escritos, expressava igual maneira de sentir. Entre os botânicos, a idéia da *scala naturae* era menos popular, dada a pouco discernível tendência para a perfeição entre as plantas, exceto no avanço das algas e outros criptógamos para os fanerógamos. Em consequência disso, Lineu preferia comparar a classificação a um mapa, onde cada país toca diversos outros.

A reivindicação de que existe uma sequência continuada, do mais imperfeito átomo da matéria até o organismo mais perfeito, o homem, foi cada vez mais desafiada, à medida que mais se aprendia sobre a diversidade. Lamarck deixou de defender uma continuidade entre o inorgânico e o orgânico, embora tenha postulado frequentes gerações espontâneas. Os assim chamados "zoófitos" (corais, pólipos, e outros) eram escrutados com particular atenção. Seriam eles, de fato, intermediários entre as plantas e os animais, e, em caso negativo, seriam eles plantas ou animais? Foi grande a excitação, e não menor a consternação, quando Trembley[22] descobriu, em 1740, que a hidra verde *(Chlorohydra viridissima)* era definitivamente um animal, possuindo, não obstante, a clorofila e um extraordinário poder de regeneração, capacidade essa que até então se imaginava fosse tipicamente reservada às plantas. Logo Trembley demonstrou também que os corais e os briozoários eram igualmente animais, em vez de intermediários entre plantas e animais. A grande quantidade de ramificações, que Lamarck

admitia nas diferentes linhas da afinidade animal, também era simplesmente incompatível com uma única escala da perfeição.

Ela recebeu o golpe de misericórdia quando Cuvier (1812) afirmou, com toda ênfase, que há quatro filos distintos de animais, nem mais e nem menos, e que absolutamente não existe conexão alguma entre eles. As vezes ainda foi possível, depois de Cuvier, reconhecer afinidades entre os membros de agrupamentos menores, mas o princípio de ordenamento pela "perfeição crescente" já não era mais aplicável. Além disso, tornou-se cada vez menos convincente postular conexões entre grupos não-semelhantes. A unidade do mundo orgânico, num certo tempo simbolizada pela *scala naturae,* parecia desintegrar-se cada vez mais, à medida que se chegava a conhecer melhor o universo da vida. A partir do momento em que se percebeu claramente que uma linha ou princípio diretor unidimensionais eram inadequados, partiu-se para a procura de esquemas multidimensionais.

Afinidade e analogia

A posição de um grupo de organismos na escala da perfeição era determinada pela sua *afinidade* com vizinhos menos perfeitos ou mais perfeitos. Um biologista moderno tem certa dificuldade em visualizar o que significava "afinidade" nas discussões pré-evolucionistas; talvez significasse apenas similaridade. Porém, existia uma convicção de que tal similaridade refletia algum tipo de relacionamento causai, tal como representado na ***scala*** *naturae,* ou como vislumbrado por Louis Agassiz no plano original da criação.

Algumas das dificuldades da *scala naturae* pareciam proceder da existência de dois tipos de semelhança, uma, a afinidade verdadeira, e outra, a que Schelling, Oken e seus seguidores designaram como *analogia.* Os pinguins relacionam-se com os patos ou mergulhões por afinidade verdadeira, mas com os mamíferos aquáticos (como baleias), por analogia. Os gaviões revelam afinidade com papagaios e pombos, mas são análogos aos carnívoros entre os mamíferos. Por bizarras que tenham sido algumas idéias dos *Naturphilosophen,* a sua divisão do "parentesco" em afinidade e analogia revelou-se de grande importância na subsequente história da biologia. Foi nessa base que Richard Owen desenvolveu os seus conceitos de homologia e analogia, que desde então dominaram a anatomia comparativa, particularmente depois que esses termos receberam uma redefinição evolucionista.

Contudo, anteriormente à doutrina da evolução, como teria sido possível converter essa idéia de afinidade e analogia num sistema? Aqui os *Naturphilosophen* tomaram emprestado os seus conceitos dos pitagóricos. Haverí a maneira melhor de exprimir a lei e a harmonia da natureza do que em número? O entomologista W. S. MacLeay (1819), o número 5, e, embora outros depois experimentassem o 3 e o 4, o número 5 permaneceu o mais popular, daí a referência ao sistema *quinariano*, [23] MacLeay pensava que todos os ***taxa*** estavam dispostos em círculos, cinco em cada círculo, e os círculos adjacentes tocavam-se entre si ("osculando-se"). Os *taxa* de um mesmo círculo revelavam afinidade, e o relacionamento com outros círculos designava a analogia. Uma das tarefas do taxionomista era, assim, a procura de tais conexões cruzadas.

Conquanto esses esquemas, muitas vezes bastante bizarros, fossem severamente criticados pelos naturalistas mais sóbrios, é possível simpatizar com esses aderentes do quinarianismo. Eles procuravam pelas leis que dessem conta da diversidade da natureza, e os esquemas numéricos pareciam ser aproveitáveis, antes do evolucionismo. O próprio T. H. Huxley foi, por um momento,

enamorado do quinarianismo, e fez numerosas tentativas para ordenar os *taxa* superiores dos invertebrados em círculos correspondentes, ou linhas paralelas (Winsor, 1976b). O quinarianismo era tão popular na Inglaterra, nos anos 1840 e 1850, que o próprio Darwin lhe deu alguma atenção. Pois, se os organismos eram realmente dispostos em múltiplos de cinco, então isso seria uma indicação de que eles foram designados por um artífice superior, e, assim, a diversificação por seleção natural ficaria refutada. Todavia, mesmo um estudo superficial mostrou a Darwin que os fatos da diversidade taxionômica eram incompatíveis com qualquer um dos esquemas numerológicos. Em particular, as suas pesquisas sobre as lapas não forneceram nenhuma evidência para o quinarianismo.

Mas mesmo aqueles que rejeitavam o quinarianismo não podiam deixar de reconhecer que existiam diversos tipos de similaridade. A afinidade e a analogia sempre foram reconhecidas, mas reconheciam-se também "semelhanças" meramente incidentais e outros tipos de similaridade. A afinidade era a mais intrigante dessas similaridades, mas havia vasto consenso no sentido de que ela era "o resultado direto daquelas Leis da Vida Orgânica que o Criador decretou por sua própria vontade no ato da Criação" (Strickland, 1846: 356). Esse o motivo por que a afinidade se tornou, para Agassiz, a prova mais poderosa da existência do Criador.

Pragmatismo e hierarquismo

O fracasso da *scala naturae,* dos grandiosos esquemas dos *Natur-philosophen,* bem como dos esforços pitagóricos dos numerologistas teve um efeito de moderação sobre a taxionomia. Nos cinquenta anos anteriores à ***Origin,*** a maioria dos taxionomistas em geral evitava teorizar, e, quando adotavam os princípios da classificação ascendente, satisfaziam-se com a simples atividade pragmática de agrupar entre si espécies e gêneros aparentemente semelhantes.

Houve pouco progresso conceitual nesse período. Cuvier, na sua última publicação, limitou-se a reiterar os princípios que havia enunciado trinta anos antes. A situação na botânica não era melhor. A *Théorie élémentaire* (1813), de A.-P. de Candolle, não obstante afirmações em contrário, ainda adere a métodos clássicos essencialistas e *a priori*, [24] Todavia, sem que os praticantes virtualmente se dessem conta, o uso de características de uma única chave, para o estabelecimento de ***taxa*** superiores, estava sendo substituído pelo agrupamento de espécies (ou de outros ***taxa*** inferiores) em ***taxa*** superiores, com base na combinação de caracteres. A classificação ascendente estava se tomando algo normal. Começar da "estaca zero" estimulou em alto grau o desenvolvimento de especialistas (Lindroth, 1973).

Resultado da nova abordagem foi a descoberta que muitos *taxa,* anteriormente identificados, eram heterogêneos em alta medida. Por exemplo, Meckel (1821) e Leuckart (1848) conseguiram demonstrar que os Radiados, de Cuvier, que se distinguiam com base no caráter-chave "radial *versus* simetria bilateral", eram na realidade um ajuntamento inatural de dois filos altamente distintos — os equinodermos e os celenterados. Em todos os níveis, do filo abaixo até o gênero, os *taxa* superiores, anteriormente reconhecidos, foram reexaminados, separando-se-os em componentes mais homogêneos, sempre que se revelassem como agregados não-naturais. Pelo ano 1859, grande parte dos *taxa* de animais havia sido redefinida e restringida a grupos de espécies que coincidiam amplamente nas suas características estruturais e biológicas.

O entusiasmo por essa abordagem puramente pragmática e não teórica foi um tanto esfriado,

quando se descobriram certos fenômenos que abalaram uma confiança excessiva na semelhança fenética. Por certo que há muito tempo se sabia que a lagarta e a borboleta são o mesmo animal, mas, com o crescente interesse pela classificação, já não era possível evitar a pergunta se uma classificação baseada nas lagartas seria a mesma daquela baseada nas borboletas, em que se metamorfoseavam. Na primeira metade do século XIX, descobriu-se que tal metamorfose acontece em muitos grupos de invertebrados; e, com certeza, ela é normal na maioria dos grupos marinhos sésseis. Desde o início de qualquer sistema zoológico, as cracas foram classificadas entre os Moluscos, ou sua subdivisão, os Testáceos. Foi uma verdadeira sensação quando, em 8 de maio de 1826, John Vaughan Thompson observou que a larva de um crustáceo, apegada ao fundo de frasco de vidro, se transformou num filhote de craca (Winsor, 1969). Estudos posteriores não deixaram nenhuma dúvida de que as cracas eram crustáceos sésseis. Thompson e outros estudiosos da vida marinha descobriram, além disso, que muitos organismos de plâncton não são nada mais do que estágios larvais de invertebrados bem conhecidos, e que mesmo os crustáceos livres podem metamorfosear-se por diversos estágios de larva (náuplio, zoé, cíprio).

A idéia confortável de tipos que podiam ser ordenados, ou de acordo com a primazia da função (Cuvier), ou pela determinação de um discreto *Bauplan* (von Baer e os *Naturphilosophen),* foi lançada numa confusão ainda mais completa por duas descobertas posteriores, feitas na primeira metade do século XIX. Uma delas consistiu nos ciclos vitais complicados dos cestóides, trematódeos e outros parasitos internos. Os estágios na alternância de gerações – por exemplo, cisticerco e tênia, cercárias e fascíola – são tão profundamente diferentes, embora produzidos pelos mesmos genótipos, a ponto de lançar uma grande dúvida sobre a validade de uma abordagem puramente fenética da classificação. Mais surpreendente ainda foi a descoberta de uma regular alternância de gerações nas salpas (tunicados), por Adelbert von Chamisso (1819), e nos celenterados, por Michael Sars (1838-1846) e J. J. Steenstrup (1842). Tão diferentes são as gerações de nadadores livres e sésseis de uma única espécie, que até a sua descoberta eles eram situados em *taxa* inteiramente diferentes (Winsor, 1976b; Churchill, 1979). O problema não era desconhecido dos botânicos, pois, entre vários grupos de criptógamos, o gametófito e o esporófito são em geral completamente diferentes.

Por felicidade, essas descobertas bastante perturbadoras não conduziram a mais um embate de especulações metafísicas, mas simplesmente inspiraram os taxionomistas a redobrarem os seus esforços para aproximar grupos "naturais" de organismos "aparentados". Tais esforços resultaram, de modo quase automático, numa classificação de categorias subordinadas, hoje relacionadas usualmente com a hierarquia de Lineu. Qual é o sentido do termo "hierarquia" na teoria taxionômica?

Classificações hierárquicas

A maioria das classificações, seja de objetos inanimados ou de organismos, é hierárquica. Existem categorias "mais altas" e categorias "mais baixas", existem níveis mais altos e níveis mais baixos. O que normalmente se perde de vista é que o uso do termo hierarquia é ambíguo, e que dois tipos de ordenamento, fundamentalmente diferentes, foram designados como hierárquicos. Uma hierarquia pode ser *exclusiva* ou *inclusiva.* As categorias militares, do soldado, cabo, sargento, tenente, capitão, ao general, são exemplos típicos de uma hierarquia exclusiva. Um nível inferior não é a subdivisão de um nível superior; assim, tenentes não são uma subdivisão de capitães. A *scala*

naturae, que tão vigorosamente dominou o pensamento do século XVI ao XVIII, é outra boa ilustração de uma hierarquia exclusiva. Cada nível de perfeição era considerado um avanço (ou uma degradação), em relação ao próximo nível inferior (ou superior) na hierarquia, mas *não* o incluía. A hierarquia das funções, tal como defendida desde Cesalpino até Lineu, constitui mais um exemplo de uma hierarquia exclusiva. Que o crescimento detenha o nível mais alto, e a reprodução o segundo nível mais alto, nessa hierarquia, não significa que a reprodução seja uma subdivisão do crescimento, da forma como os gêneros são subdivisões das famílias.

A moderna hierarquia das categorias taxionômicas é um exemplo típico de uma hierarquia inclusiva. Para ilustrar isso com um exemplo concreto, espécies caninas, como lobos, coiotes, chacais, são agrupadas no gênero *Canis* (cães); os vários gêneros de caninos e raposídeos são combinados na família dos Canídeos. Estes, juntamente com gatos, ursos e doninhas, e outras famílias correlatas, são combinados na ordem dos Carnívoros. Classes, subfilos, filos, reinos são níveis superiores sucessivos nessa hierarquia. Cada táxon superior contém os *taxa* dos níveis inferiores, subordinados.

Em teoria, as hierarquias classificatórias inclusivas podem ser produzidas tanto pela divisão lógica como pela classificação compositiva. Mas, de qualquer maneira, historicamente, a divisão lógica jamais conduziu a uma hierarquia taxionômica bem definida, porque cada nível era tratado em separado, desde que toda "espécie" (tal como definida na divisão lógica) se tornava um "gênero", no próximo nível hierárquico inferior. E mesmo quando Tournefort e Lineu estabilizaram em larga medida o gênero, eles reconheciam somente duas categorias superiores, e nelas mostraram pouco interesse (veja anteriormente).

Lineu foi o primeiro autor a usar as categorias superiores de modo racional, e, no seu conjunto, de modo consistente. Sem embargo, o seu pensamento era ainda excessivamente dominado pelo princípio da divisão lógica, para permitir-lhe apresentar uma hierarquia inclusiva dos organismos, plenamente consistente. Esse desenvolvimento só ocorreu em realidade nas duas décadas que mediaram entre 1795 e 1815 (Winsor, 1976b: 2-3). O notável grupo de taxionomistas, do Museu d'Histoire Naturelle de Paris, foi amplamente responsável por essa mudança. Contudo, autores diversos adotaram em graus diferentes a nova maneira de pensar. Por exemplo, o arranjo dos *taxa* superiores (massas), de Lamarck, ainda representavam uma hierarquia estritamente exclusiva, embora houvesse elementos compositivos, e por isso inclusivos, no nível das categorias inferiores. Os quatro filos de Cuvier (*ramificações*) não possuíam conexão hierárquica, ou se tal fosse o caso, ela era estritamente exclusiva. Todavia, dentro desses filos, no nível das categorias mais baixas, podem ser observadas algumas tendências hierárquicas inclusivas.

O método de construção de hierarquias inclusivas, por procedimento compositivo, é importante por razões diversas. Obviamente, a teoria da descendência comum, tal como Darwin a propôs em 1859, a ninguém teria ocorrido, a não ser para a existência da hierarquia inclusiva das categorias taxionômicas. Uma preocupação mais imediata é o fato de que a nova abordagem levanta questões tanto práticas como de conceito, relativas aos princípios sobre os quais deveria basear-se a construção de uma hierarquia inclusiva. Isto constituiu um problema particularmente cadente, porque o pensamento da maioria dos taxionomistas ainda era influenciado, quando não dominado, pela aderência à *scala naturae,* uma hierarquia exclusiva.

A realidade das categorias superiores e os taxa

Já a partir do século XVII, e com maior ou menor vigor desde então, havia um argumento para a "realidade" das categorias superiores. Os essencialistas, como Lineu, insistiam dogmaticamente em que pelo menos o gênero, caracterizado pela sua essência, era um fenômeno "real". Os taxionomistas de tendência nominalista, liderados por Buffon (1749), insistiam com igual vigor que somente os indivíduos existem, e que pelo menos as categorias superiores, como o gênero, a família e a classe, são apenas convenções arbitrárias da mente humana. O fato de que não existiam nem dois botânicos do século XVII que chegassem à mesma classificação parecia dar suporte seguro ao argumento nominalista. Ao fazer uma distinção entre o abstrato ideal e o concreto real, Buffon lançou a base para a solução, mas a controvérsia continuou por outros duzentos anos.

O motivo por que ela durou tanto tempo deve-se principalmente a uma confusão terminológica. O termo "categoria" era usado em dois sentidos completamente diferentes. A confusão só foi eliminada quando se introduziu um novo termo, a palavra "táxon", para designar um daqueles dois sentidos. [25]

Um táxon é um "grupo de organismos de qualquer grau taxionômico, suficientemente distinto para ser validamente denominado e assinalado como categoria definida". Em termos de lógica, um táxon é um indivíduo, e os animais ou plantas individuais, de que o táxon é composto, são ***partes*** do táxon (Ghiselin, 1975; Hull, 1976). Uma *categoria,* no seu sentido moderno restrito, designa um grau ou nível, em uma classificação hierárquica; é uma classe, cujos membros são todos os ***taxa*** abrangidos por um determinado nível. A diferença entre táxon e categoria fica melhor esclarecida mediante um exemplo: piscos-de-peito-roxo, tordos, pássaros canoros, aves Passeriformes, aves, vertebrados, cordados e animais são grupos de organismos reais; eles são *taxa.* O nível conferido aos mencionados *taxa,* na classificação hierárquica, é indicado pelas categorias em que eles são situados: espécie, família, subordem, ordem, classe, subfamília, filo e reino.

A questão: "As categorias superiores são reais"? deve, portanto, ser desmembrada em duas outras questões: (1) (A maioria) dos grupos *(taxa)* que situamos nas categorias superiores são bem delimitados?; e, (2) é possível dar uma definição objetiva (não arbitrária) de tais categorias superiores, como gênero, família ou ordem? A resposta para a primeira pergunta é, claramente, sim; mas para a segunda é, claramente, não. *Taxa* como, beija-flores, macacos antropóides, ou pinguins são perfeitamente "naturais" ou "reais" (vale dizer, bem delimitados), e, no entanto, o nível categórico que se lhes atribui é subjetivo, pelo menos para os *taxa* acima do nível da espécie. Um táxon pode ser situado na categoria família por um autor, numa categoria inferior (tribo), por um segundo autor, e numa superior (superfamília) por um terceiro. Em outras palavras, o nível categorial é amplamente uma decisão arbitrária. Aqueles que tão vigorosamente discutiram sobre a realidade ou não das categorias estavam simplesmente falando de coisas diferentes. Isso foi claramente percebido por alguns autores antigos (como, por exemplo, Plate, 1914), mas a distinção continuou a ser ignorada, por falta de um instrumento terminológico.

5. AGRUPAMENTO SEGUNDO ASCENDÊNCIA COMUM

Os taxionomistas empíricos não dispunham de nenhuma explicação causai para o fato de se poder agrupar espécies de acordo com o "parentesco" ou "afinidade". Quando Strickland (1840) definiu a afinidade como "a relação que subsiste entre dois ou mais membros de um grupo natural, ou, em outras palavras, uma coincidência de caracteres essenciais", ele deixou as palavras-chave, "natural" e "essencial", sem definição. Foi Darwin quem preencheu essa lacuna explicativa, mostrando por que existem grupos naturais, e por que eles compartilham caracteres "essenciais". Foi ele quem forneceu a teoria básica da classificação biológica. Ninguém antes dele havia afirmado, de modo tão inequívoco, que os membros de um táxon são semelhantes porque descendem de um ancestral comum. É certo que a idéia não era inteiramente nova, e Buffon jogou com a possibilidade de espécies semelhantes, como cavalos e burros, ou todos os felinos, poderem ter sido derivadas de uma espécie ancestral, e da mesma forma fizeram Erasmus Darwin e alguns dos evolucionistas germânicos. Lineu, nos seus derradeiros anos, sugeria que os membros de um táxon superior podiam ser o produto de hibridação. Todavia, nem Buffon, nem Lineu converteram essas especulações, seja numa teoria da classificação, seja numa teoria da evolução. Isso também não exerceu qualquer influência na classificação hierárquica, quando Palias, em 1766, e Lamarck, em 1809 e 1815, propuseram diagramas tríplices de parentesco (Simpson, 1961: 52).

Só poucos dão conta de que Darwin foi o fundador de todo o campo da taxionomia evolutiva. Como Simpson disse acertadamente, "a taxionomia evolutiva tem origem explicitamente, e de modo, pode-se dizer, exclusivo, em Darwin". Com isto se expressa não apenas que a teoria da descendência comum dá contas automaticamente da maioria dos graus da similaridade entre os organismos (como de fato dá), mas também que Darwin desenvolveu uma teoria bem elaborada, com descrição detalhada do método e das dificuldades. [1] Todo o capítulo 13 do *Origin* (pp. 411458, da 1ª edição) é por ele consagrado ao desenvolvimento da sua teoria da classificação. Principia com as sentenças frequentemente citadas:

> Desde os albores da vida, todos os seres orgânicos se revelam como semelhantes entre si, em graus descendentes, de tal forma que podem ser classificados em grupos sucessivos. Essa classificação, evidentemente, não é arbitrária, como o agrupamento de estrelas, ou de constelações" (p. 411).

Aqui Darwin rejeita implicitamente a afirmação, muitas vezes proclamada, de que as classificações, que pelo ano 1859 haviam atingido um considerável nível de elaboração e refinamento, tivessem sido um produto artificial e arbitrário dos taxionomistas. Ele continua:

> Os naturalistas procuram ordenar as espécies, gêneros e famílias em cada classe do que se chama Sistema Natural. Mas o que se entende por este sistema? Alguns autores encaram-no meramente como um esquema apto a arranjar entre si aqueles objetos vivos que são mais parecidos, e separar aqueles que são mais dissemelhantes (…) Mas muitos naturalistas julgam

que existe algo mais significativo no Sistema Natural: acreditam que ele revela o plano do Criador; mas, a menos que isso se especifique, ou no tempo ou no espaço, ou em qualquer outra coisa que o plano do Criador possa significar, a mim me parece que nada, por essa forma, se acrescenta ao nosso conhecimento. (…) Eu acredito que [na nossa classificação] esteja incluído algo mais do que a mera semelhança; e que a proximidade da descendência – única causa conhecida da similaridade dos seres orgânicos – seja o elo, por oculto que esteja nos diversos graus da modificação, que nos é parcialmente revelada pelas nossas classificações (p. 413).

N o *Origin,* bem como na sua correspondência, Darwin acentua reiteradamente que "toda classificação verdadeira é genealógica" (p. 420), mas que "a genealogia por si mesma não produz a classificação" (L. L. D., II: 247). É certo que Darwin acreditava "que o arranjo dos grupos no seio de cada classe, na devida subordinação e relação em referência a outros grupos, deve ser estritamente genealógico para ser natural"; mas ele também tinha plena consciência de que isso não era toda a história,

mas que o montante da diferença, nos diversos ramos ou grupos, embora alinhados no mesmo grau de sangue em relação ao seu progenitor comum, pode ser muito diferente, devido aos diversos graus de modificação a que foram submetidos; e isso vem expresso pelas formas que se distribuem nos diversos gêneros, famílias, seções, ou ordens" (*Origin:* 420).

Trata-se de urna afirmação muito importante, porque chama a atenção para a principal diferença entre duas escolas modernas de taxionomia, os cladistas e os taxionomistas evolutivos, como adiante será discutido.

Neste ponto, Darwin evoca o seu famoso diagrama filogenético (*Origin*: 166), no qual cada uma das três espécies congêneres de Silurianos (A, F e I) tem descendentes modernos de categoria muito diferente. A linha derivada da espécie F mudou tão pouco que ela ainda é classificada no gênero Silurianos, enquanto os seus dois grupos irmãos, A e I, constituem agora famílias e mesmo ordens diferentes (p. 125). Na sua classificação dos Cirrípedes, Darwin normalmente aplicava o princípio da determinação do nível pelo grau da divergência, em vez de pela proximidade do ponto de junção (Ghiselin e Jaffe, 1973; Mayr, 1974c).

Darwin dedicou algo em tomo de oito anos à classificação dos Cirrípedes (balanídeos), e isso lhe proporcionou grande discernimento, tanto teórico como prático, em matéria de classificação (Ghiselin, 1969). Esse fato lhe permitiu traçar um conjunto de recomendações, para ajudar os taxionomistas a encontrar as semelhanças que fossem as mais úteis para determinar a "proximidade da descendência". Em particular,-ele enfatizava repetidamente a importância de sopesar o valor taxionômico (conteúdo de informação) de todos os caracteres:

Pode-se ter pensado (e efetivamente nos tempos antigos se pensou) que aquelas partes da estrutura que determinavam os hábitos de vida e o lugar em geral ocupado na economia da natureza eram de importância muito grande para a classificação. Nada pode ser mais falso (…) pode-se mesmo apresentar como regra geral que, quanto menos uma parte da organização se refere a hábitos especiais, tanto mais importante ela se torna para a classificação (p. 414;

veja também p. 425).

Em particular, Darwin rejeita a idéia vastamente difundida entre os botânicos dos séculos XVII e XVIII, e desde Cuvier também entre os zoologistas, de que, quanto mais importante for uma estrutura para a sobrevivência e perpetuação de um organismo, tanto mais importante ela será também para a sua classificação. Ele cita caso após caso (pp. 415416), refutando essa idéia:

> Que a importância meramente fisiológica de um órgão não determina o seu valor classificatório já foi demonstrado pelo único fato que, em grupos afins, em que o mesmo órgão (…) tem aproximadamente o mesmo valor, o seu valor classificatório é, em larga medida, diferente (p. 415).

Ele ilustra esse fato com o valor altamente desigual que possuem as antenas, como caráter taxionômico, nas diferentes famílias de insetos.

O conselho de Darwin não constitui uma negação da importância da seleção natural. O que Darwin discernia acima de tudo é que as adaptações especiais podem envolver apenas uma limitada parte dos dotes genéticos de um grupo, e serem por isso menos informativas do que os hábitos gerais. E mais do que isso, adaptações especiais podem ser adquiridas independentemente, em diversas linhas evolutivas não-correlatas; em outras palavras, elas são sujeitas à convergência. Ter plena consciência dessas potenciais fragilidades das adaptações especiais pode ajudar a proteger o taxionomista contra uma interpretação da convergência, como sendo uma evidência da descendência comum. Outros tipos de caracteres, às vezes bem tênues na sua aparência, são bem mais informativos:

> A relevância de caracteres desprezíveis para a classificação depende principalmente de serem eles correlacionados com diversos outros, de importância maior ou menor. Por certo, o valor de um agregado de caracteres é muito evidente na história natural (p. 417).

Darwin, assim, estava plenamente consciente da variação convergente de diversos caracteres. Após discutir as propriedades particulares de outros caracteres, tais como embriológicos, rudimentares e distributivos, Darwin chega à seguinte conclusão:

> Todas as precedentes regras, auxílios e dificuldades explicam-se (…) do ponto de vista de que o sistema natural se funda na descendência com modificações; de que os caracteres, que os naturalistas consideram como reveladores da verdadeira afinidade entre duas ou mais espécies, são aqueles que foram herdados de um genitor comum, e que, por isso, toda classificação é genealógica; de que a comunidade de descendência é o elo oculto que os naturalistas inconscientemente estavam procurando (p. 420).

Na avaliação dos caracteres, Darwin propõe certas regras, algumas das quais já por nós mencionadas. Da mesma forma como Ray, Lamarck, de Jessieu, Cuvier, de Candolle, e a maioria dos classificadores dos séculos precedentes, ele enfatiza o elevado peso taxionômico dos caracteres que são *constantes,* nos grandes grupos. Além disso, acentuar a importância de complexos de caracteres

correlatos, desde que não sejam apenas resultantes de um modo de vida semelhante. Ele dedica toda uma seção a semelhanças espúrias, causadas pela evolução convergente (p. 427), e adverte o taxionomista a que não se deixe enganar por tais "semelhanças analógicas ou adaptativas" (p. 427). [2]

As discussões teóricas sobre a classificação evolucionista, no século seguinte, consistiram em pouco mais do que notas de rodapé em relação a Darwin. Nenhuma das suas regras ou princípios foi refutado, e nada que fosse de especial importância foi desde então acrescentado. Duas recomendações de Darwin são particularmente relevantes. Uma delas é apartar as semelhanças que procedem de similaridades espúrias, devidas à convergência. Por exemplo, um caráter como o notocórdio possui um alto peso taxionômico, porque é parte de um complexo sistema de caracteres, que dificilmente poderia ter-se originado duas vezes, independentemente. Por outro lado, o metamerismo (segmentação) não é nem de longe um caráter básico, pois existe grande evidência de que se tenha originado pelo menos duas vezes no reino animal. É muito improvável que o metamerismo dos vertebrados tenha qualquer conexão filogenética com o dos artrópodes.

A outra recomendação de Darwin é no sentido de "pesar" os caracteres. Tal avaliação é importante, porque alguns caracteres têm um conteúdo informativo muito maior do que outros. A pesagem filogenética, tal como praticada por Darwin, é um processo *a posteriori.* O peso de um caráter é dado pela sua correlação com as partes mais solidamente estabelecidas (por vários métodos de teste) das classificações. Alguns taxionomistas acharam difícil distinguir isso da pesagem *a priori* (tal como aplicada por Cesalpino e Cuvier), mas, de qualquer maneira, isso pode ser perfeitamente executado, mediante uma análise apropriada; e desde que a pesagem filogenética *a posteriori* tem sido reenfatizada (Mayr, 1959a; Cain, 1959b), ela se revelou um método útil (Mayr, 1969), e hoje a mesma se funde com os métodos de pesagem computarizada.

A razão do conteúdo informativo altamente desigual dos assim chamados caracteres taxionômicos não foi até agora determinada, de modo inequívoco, mas acredita-se que ela seja devida ao fato de que alguns componentes do fenótipo sejam muito mais solidamente implantados no genótipo do que outros. Quanto mais um caráter ou um complexo de caracteres for geneticamente bem assentado, com tanto maior probabilidade ele será útil para a revelação do parentesco. O trabalho de Schmalhausen, Waddington e Lemer mostrou que a arquitetura do caráter confere ao genótipo uma integração tão estável, que certos componentes do fenótipo podem permanecer inalterados ao longo da divergência filética. As canalizações e os mecanismos reguladores subjacentes parecem às vezes permanecer virtualmente intocados, durante a evolução, e nisso reside a explicação para a estabilidade, por vezes totalmente inesperada, de componentes de aparência insignificante do fenótipo.

No que tange à metodologia da classificação, a revolução darwiniana teve apenas um reduzido impacto. É evidente que a verdadeira reviravolta na história da taxionomia foi o abandono do essencialismo e da "classificação descendente", e isso foi largamente executado bem antes de 1859. A contribuição básica de Darwin para a taxionomia foi de dupla ordem: pela sua teoria da descendência comum, ele forneceu uma teoria explicativa para a existência da hierarquia lineana, bem como para a homogeneidade dos *taxa* numa classificação "natural"; e restaurou, pelo menos em princípio, o conceito da continuidade entre grupos de organismos, a qual havia sido rejeitada por Cuvier e pelos *Naturphilosophen,* na sua teoria dos arquétipos. Olhemos mais de perto alguns aspectos dessas contribuições.

O sentido da afinidade

Como vimos, os quinarianos e vários outros zoologistas e botânicos, entre 1820 e 1840, reconheceram claramente que havia dois tipos de similaridade entre os organismos. A semelhança de uma baleia com um mamífero terrestre é devida à afinidade; a semelhança entre uma baleia e um peixe é devida à analogia. Os mais perspicazes entre esses estudiosos, como Strickland e Owen, perceberam a particularidade de que as analogias eram devidas à similaridade de função, mas esbarravam num impasse ao tentar explicar a afinidade, a não ser invocando o "plano da criação". Darwin resolveu esse problema com a simples declaração de que a afinidade é a proximidade da descendência. Isso levou ao postulado de que todos os *taxa* seriam compostos dos descendentes do ancestral comum mais próximo, ou, para usarmos a terminologia de Haeckel, que seriam monofiléticos. No intuito de delimitar esses *taxa,* foi preciso investigar cuidadosamente todas as similaridades e diferenças, a fim de distinguir os caracteres originários da descendência comum (os únicos válidos para a classificação) dos caracteres analógicos (convergentes), como os bicos em gancho dos gaviões e corujas, ou os pés palmípedes das aves aquáticas, que foram adquiridos independentemente, devido à semelhança de funções.

Restauração da continuidade

A rejeição da escala da perfeição, pelos anatomistas comparativos, no início do século XIX, resultou no reconhecimento de tantas unidades não-correlatas quantos eram os arquétipos (*Baupläne*). Naturalmente, existia ainda uma busca do que era superior ou inferior, como se reflete no conselho que Louis Agassiz dava aos seus alunos: "Qualquer fato que vocês puderem apresentar, mostrando ser uma Ordem mais elevada ou mais baixa do que uma outra, é pesquisa científica verdadeira". A interpretação de Darwin da hierarquia lineana, como sendo devida à descendência comum, não apenas restaurou o princípio da continuidade, mas também representou um poderoso programa de pesquisa. Ninguém percebeu isso melhor do que Haeckel, cuja ambição era correlacionar todos os *taxa* de animais e de plantas, com base em sua descendência, e representar isso na forma de árvores filogenéticas, que têm ornado desde então os manuais de sistemática. Haeckel era um artista, e representava as suas filogenias, literalmente, como árvores pinturescas. Elas foram progressivamente substituídas por diagramas tríplices, os assim chamados dendrogramas, cujo primitivo exemplo pode ser encontrado no *Origin* (Voss, 1952).

A relação entre a postulada filogenia e a classificação permaneceu controvertida, de 1859 até o presente. Já em 1863, T. H. Huxley rejeitava quaisquer considerações filogenéticas, e reclamava que todas as classificações fossem baseadas "em considerações puramente estruturais (…) tal classificação adquire a sua mais elevada importância como uma afirmação das leis empíricas da correlação entre as estruturas". Huxley aqui divergia claramente de Darwin, cujo princípio era que não se podem fazer observações sem ter uma teoria. A tendência moderna tem sido aplicar o princípio de Darwin, investigando cada táxon, para ver se as características das espécies nele incluídas indicavam ser o táxon monofilético – vale dizer, formulando, de modo consistente, postulados filogenéticos, e então testar se eles são sustentados pela evidência taxionômica.

Para Haeckel, não havia dúvida de que a classificação devia se basear no parentesco, e que o parentesco seria conhecido tão logo a filogenia fosse entendida. A tarefa principal da classificação,

por isso, consistia no desenvolvimento de métodos que pudessem revelar a filogenia. Entre esses métodos, o que mais excitava Haeckel e os seus contemporâneos era a teoria da *recapitulação* (Gould, 1977). Ela postulava, na sua forma mais clássica, que os estágios ontogenéticos recapitulavam os estágios adultos dos ancestrais (veja o Capítulo 10). A teoria é hoje considerada como válida, mas, não obstante, foi uma teoria altamente heurística, tendo dado origem à embriologia comparada, ocasionando muitas descobertas espetaculares. O seu maior triunfo tem sido a demonstração de Kowalevsky da presença de um notocórdio nas larvas dos esguichos marinhos (tunicados), provando assim que eles são cordados e não moluscos, como antes se pensava. O fato de que os embriões de mamíferos têm arcadas de guelras, como os seus ancestrais peixes (descoberto por

Rathke, em 1825), e muitas outras descobertas semelhantes da embriologia comparada mostraram que é aceitável um teoria modificada da recapitulação, afirmando que os embriões frequentemente recapitulam embrionários dos seus ancestrais. O valor heurístico da embriologia comparada já havia sido abundantemente demonstrado, entre 1820 e 1859, por meio das larvas tipicamente crustáceas das cracas (Winsor, 1969), da elucidação do ciclo vital de alguns crustáceos parasitos e, finalmente, da demonstração de que o peixe-estrela quebradiço *Comatula* nada mais é do que o primeiro dos crinóides *Pentacrinus.* E certo que as aulas em homenagem a Lowell, de 1848-49, de Louis Agassiz, tinham como tema o valor da embriologia comparada, como suplemento da anatomia comparada. Desde 1836, Agassiz teve a idéia de que existia um tríplice paralelismo entre a história fóssil, o desenvolvimento embrionário e o nível na classificação (Winsor, 1976b: 108).

O resultado último das pesquisas da anatomia e da embriologia comparadas foi que, uma após outra, as classes não-naturais de filos de animais foram convertidas em naturais, pela remoção de elementos não-correlacionados, como a separação das cracas e dos tunicados dos moluscos, e, o que é mais importante, a dissolução do filo Radiados de Cuvier (Winsor, 1976b). O processo da compreensão do relacionamento entre os grupos maiores de invertebrados, que deveu seu ímpeto original a Cuvier e Lamarck, provavelmente fez tantos (ou mais) progressos nos cinquenta anos anteriores ao *Origin,* como nos cinquenta posteriores. As cuidadosas análises morfológicas contribuíram mais para o reconhecimento e delimitação dos *taxa* naturais do que a teoria filogenética. Não obstante, o esforço para construir árvores filogenéticas era a preocupação mais ativa dos zoologistas, na segunda metade do século XIX. [3]

A classificação dos *taxa* maiores das plantas talvez tenha sido menos afetada pela teoria evolucionista do que a dos animais. Inconscientemente, os princípios da *scala naturae,* uma progressão do simples (primitivo) ao complexo, continuaram por longo tempo como o princípio orientador dos botânicos. A classificação das plantas floríferas (angiospermas) foi prejudicada de duas diferentes maneiras. Primeiro, ela se baseava quase inteiramente na estrutura da flor, e, além disso, somente nos últimos trinta ou quarenta anos é que a anatomia do lenho e os constituintes químicos foram seriamente acrescentados ao repertório dos caracteres úteis. O segundo entrave foi um conceito equivocado sobre quais eram as flores mais primitivas. Por muito tempo se admitia que os primeiros angiospermas eram os polinizados pelo vento, e não tinham pétalas, e que por isso, entre as famílias vivas, as Betuláceas, Fagáceas e correlatas (Amentíferas), que são polinizadas pelo vento, eram consideradas como as mais primitivas. Sabe-se hoje que a polinização pelo vento e a correspondente ausência floral são algo secundário, e que um grupo de famílias inteiramente diferente, aparentado com as Magnoliáceas e Ranunculáceas (Ranais), é mais primitivo. Os elos de

ligação entre elas e o embrião da somente, os ancestrais inferiores dos angiospermas, ainda não foram encontrados nos registros fósseis. O tratamento nos manuais mais importantes indica não apenas o nível de atividade nesse campo, nas décadas recentes, mas também o notável progresso que foi feito na delimitação razoável de *taxa* homogêneos, naturais.

Talvez nada influenciou tão profundamente o desenvolvimento da botânica, no século XIX, do que as pesquisas de Hofmeister sobre o ciclo vital e a reprodução dos criptógamos, e sobre as homologias das suas estruturas reprodutivas. Isso não apenas forneceu a primeira visão clara da relação entre os criptógamos, mas também derrubou a anteriormente insuperável barreira entre criptógamos e plantas floríferas. As investigações de Hofmeister estabeleceram claramente que um plano mais ou menos uniforme de organização se estendia ao longo de todo o reino vegetal. O seu *Comparatives Stiulies of the Cryptogains* (1851) lançou uma base sólida para o estabelecimento de uma filogenia dos criptógamos, depois de 1859. Uma vez bem elaboradas as características dos vários grupos, foi relativamente fácil ordená-los, com o auxílio do princípio da descendência comum.

Bem cedo a atenção principal foi dirigida para o estudo da variação na reprodução, em vários grupos de criptógamos, e para o parentesco entre esses grupos. Nenhum deles necessitou de tantos esclarecimentos como os fungos, altamente heterogêneos. O grande pioneiro nesses estudos foi Anton de Bary (1831-1888), que resumiu as suas numerosas e detalhadas análises do ciclo vital de vários grupos de fungos, em 1866 e 1888, lançando um alicerce firme para o trabalho ativo dos seus sucessores.

A importância e a unicidade dos fungos são reconhecidas por vários pesquisadores recentes, separando-os das plantas num reino à parte.

O declínio da pesquisa macrotaxionômica

Depois dos anos 1880, houve um declínio gradual mas notável do interesse pela macrotaxionomia e pelos estudos filogenéticos. Havia diversas razões para isso, algumas intrínsecas à área, outras extrínsecas. A mais importante delas talvez tenha sido a sensação de desapontamento diante da dificuldade de se obterem resultados definidos e claros. A similaridade é usualmente um indicador bastante acurado do parentesco, quando se trata da classificação de *taxa* abaixo do nível de ordens. Na classificação dos *taxa* superiores (ordens, classes e filos), a similaridade já não constitui um guia confiável, e por isso o progresso foi pequeno e decepcionante. Para a maioria dos não-taxionomistas, é bastante surpreendente o fato de que ainda hoje seja tão inseguro o nosso conhecimento dos graus de parentesco entre os organismos. Por exemplo, em relação à maioria das ordens dos pássaros, ainda se desconhece que outra ordem constituiria um parente mais próximo de uma ordem dada. O mesmo se aplica a muitas famílias e gêneros de mamíferos, como por exemplo os Logomorfos, os Tubulidentados, os Xenartros, e *Tupaia*.

Contudo, tais incertezas na classificação dos vertebrados superiores são muito menores em comparação com as dos invertebrados, as plantas inferiores, e, acima de tudo, os procariotos e os vírus. Quando se lêem as discussões recentes em torno da classificação dos invertebrados inferiores, fica-se espantado com o fato de que algumas das mesmas questões, que eram debatidas pelos anos 1870, 1880 e 1890, ainda hoje são controversas. Normalmente existem opiniões majoritárias, mas o

simples fato de que alternativas não-ortodoxas têm vigorosos defensores está a indicar o grau de incerteza que ainda prevalece. Para dar o tom do tipo de problemas que são controvertidos, eu poderia formular algumas questões: de que grupo de protozoários evoluíram os metazoários? Têm todos os metazoários um único ancestral protozoário, ou as esponjas evoluíram separadamente? São os mesozoários, os celenterados, ou os turbelários os mais primitivos metazoários, acima das esponjas? E natural a divisão dos invertebrados superiores em Protostômios e Deuterostômios? A qual desses dois grupos (se forem reconhecidos) pertencem os Tentaculados (lofoforados)? Qual é a consistência da teoria arquicelomática?

Muitos problemas concernentes ao parentesco dos *taxa* dos artrópodes ainda estão por resolver, e, da mesma forma, a procedência dos artrópodes dos anelídeos. Kerkut (1960) chamou corretamente a atenção para essas incertezas, das quais naturalmente ninguém tem melhor consciência do que os especialistas da área. Sendo esta uma história das idéias, não é possível nem mesmo começar uma história da sequência das classificações, relativas aos vários *taxa* superiores de animais e de plantas, que foram propostas nos últimos duzentos anos. Apesar disso, é uma história fascinante. [4] A cada geração, novas esperanças eram suscitadas por princípios novos (como a recapitulação), ou por caracteres recém-descobertos; contudo, o progresso foi lento.

As tentativas inúteis de estabelecer o parentesco entre os filos maiores dos animais induziram pelo menos um zoologista competente, na passagem do século, a negar a descendência comum. Fleischmann (1901) chamou a teoria um mito esplêndido, mas sem uma consubstanciação de qualquer fundamento real. Kerkut, cinquenta anos mais tarde, não subscreveria uma conclusão tão extrema, mas mostra-se quase igualmente pessimista quanto ao chegar algum dia a um entendimento das relações entre os *taxa* dos animais superiores. A honestidade nos obriga a admitir que a nossa ignorância em relação a esses parentescos ainda é grande, para não dizer opressiva. É um estado de coisas um pouco deprimente, considerando que já se passaram mais de cem anos desde o grande período *pós-Origin* da construção da filogênese. As chaves da morfologia e da embriologia simplesmente não são suficientes para essa tarefa.

A segunda razão para esse desencanto pós-darwiniano com a macrotaxionomia foi uma confusão conceitual. Quando Haeckel e seus discípulos insistiam em que somente podiam ser considerados naturais aquelas classificações que fossem baseadas na filogênese dos grupos em questão, seus adversários objetavam: "Como podemos nós conhecer a filogênese? Por acaso não é verdadeiro que as filogenias são deduzidas das descobertas feitas durante o estabelecimento das classificações? Logo, como poderíamos basear as classificações na filogenia, sem ficarmos envolvidos desesperadoramentee num círculo vicioso"? Só em anos relativamente recentes a questão foi resolvida. Nem a filogenia se baseia na classificação, nem a classificação se baseia na filogenia. Ambas se baseiam no estudo dos "grupos naturais", que se encontram na natureza, grupos esses possuidores de combinações de caracteres que se podem esperar dos descendentes de um ancestral comum. Tanto a classificação como a filogenia estão baseadas na mesma comparação dos organismos e suas características, bem como numa cuidadosa avaliação das suas semelhanças e das suas diferenças (Mayr, 1969). Os taxionomistas evolutivos concordam hoje em que a classificação biológica deve ser compatível com a filogenia inferida. Esse aclaramento conceitual abriu caminho para um renovado interesse pela classificação dos *taxa* superiores.

As outras causas de declínio do interesse pela macrotaxionomia, depois de 1900, eram de natureza externa. Devido à afirmação dos mendelianos de que as mutações produzem novas espécies,

a excitação da taxionomia transferiu-se para a microtaxionomia (o "problema das espécies"), culminando efetivamente na nova sistemática. Com as subespécies sendo considerados, em larga medida, como espécies incipientes, muitos especialistas, particularmente estudiosos de pássaros, mamíferos, borboletas e caracóis, dedicaram sua total atenção à descrição de novas espécies. A concentração sobre o nível das espécies revelou também um interminável suprimento de espécies ainda não descritas; e isso tudo contribuiu para a negligência da macrotaxionomia.

Talvez o fator mais importante para o declínio da macrotaxionomia tenha sido a crescente competição oriunda de outros ramos da biologia. Com as excitantes descobertas feitas na biologia experimental (*Entwick lungsmechanik,* citologia, genética mendeliana, fisiologia, bioquímica), a maioria dos jovens e mais brilhantes biologistas passou para essas áreas. Disso resultou um encolhimento da força de trabalho na taxionomia e a redução do suporte institucional para esse ramo da biologia.

Entre as 29 comunicações apresentadas no simpósio "A Sistemática de Hoje", realizado em Upsala, em 1957, em comemoração ao 250° aniversário do nascimento de Lineu (Hedberg, 1958), apenas quatro delas trataram de problemas da macrotaxionomia. Isso bem ilustra o interesse dominante pelo nível das espécies, interesse característico da maior parte dos taxionomistas da primeira metade do século XX. Apesar disso, um discreto interesse pela classificação dos *taxa* superiores continuou ao longo do período, e bom número de trabalhos significativos chegou a ser publicado, concernentes aos problemas e conceitos da classificação, tais como os de Bather (1927), Simpson (1945), Rensch (1947) e Huxley (1958). Por volta de 1960, a tarefa da nova sistemática em microtaxionomia estava amplamente cumprida (pelo menos em relação ao desenvolvimento dos conceitos), e o tempo era chegado para uma nova preocupação com a macrotaxionomia.

A necessidade de uma nova metodologia

O esplêndido ponto de partida fornecido por Darwin, para o desenvolvimento de uma teoria e de um método em relação à macrotaxionomia, foi largamente ignorado no período pós-darwiniano. O padrões pelos quais os gêneros, as famílias e as ordens eram identificados e combinados, em *taxa* sempre mais elevados, tomaram-se altamente desiguais, nos diferentes grupos de organismos. Nos grupos mais escassamente conhecidos, as "classificações" com base num único caráter – ou, mais corretamente, esquemas de identificação – ainda estavam muito em voga. A partir do fato de que autores diferentes podiam escolher diferentes caracteres chaves, instaurou-se o mesmo tipo de controvérsias que ocorreram na botânica do século XVII. Os taxionomistas frequentemente propunham novas classificações, sem outra justificativa adequada, a não ser a afirmação de que elas eram "melhores". Para Lineu, os nomes dos *taxa* superiores tinham o sentido de servirem de ajuda à memória, mas esse objetivo foi completamente perdido de vista por aqueles zoologistas e botânicos que chegaram a rachar os gêneros e as famílias em pedaços cada vez menores. Isso chegou a tal ponto que, por exemplo nos pássaros, alguns autores dos anos 1920 e 1930 chegaram a reconhecer em quase toda espécie um gênero separado. Não havia parâmetros na aplicação das categorias superiores. Um notável ornitologista distribuiu as famílias dos pássaros em 25 ordens; um outro autor, igualmente notável, distribuiu-as em 48 ordens. Para alguém que olhasse a macrotaxionomia de fora, digamos a partir das ciências aplicadas, como a medicina, a agricultura ou a ecologia, a situação da taxionomia teria parecido perfeitamente caótica, como, de fato, era.

Mas seja como for, não era totalmente negra a situação. Havia pelo menos alguns manuais aproveitáveis sobre a teoria e a prática da sistemática biológica (Ferris, 1928; Rensch, 1934; Mayr, Linsley e Usinger, 1953). Esparsas ao longo da literatura, apareciam ocasionalmente discussões incisivas sobre certos aspectos da teoria da classificação, por exemplo, em Mayr (1942: 280-291), sobre o significado do gênero, e principalmente em Simpson (1945), sobre a teoria da macrotaxionomia. Talvez o desenvolvimento positivo mais relevante do período tenha sido haver conferido um sentido ecológico aos *taxa* superiores. Foi reconhecido que os *taxa* superiores são compostos de espécies que, no seu conjunto, ocupam um nicho específico, ou zona adaptativa. Em outras palavras, a primazia passou do caráter morfológico, pelo qual um táxon superior é reconhecido, para o seu sentido biológico na natureza ambiental. Mas não obstante isso, no que dizia respeito ao biologista médio, a classificação oferecia sérios problemas, para dizê-lo de modo suave. A nova sistemática, por se haver concentrado largamente no nível da espécie, não ofereceu nenhuma solução para as carências da macrotaxionomia. O auxílio deveria vir de alguma outra parte.

Duas soluções drásticas e diferentes foram propostas, independentemente uma da outra: a fenética numeral e a cladística. As duas nova metodologias não se apresentavam como reformas, mas muito mais como substituições revolucionárias dos procedimentos existentes.

Fenética numérica

Faz parte de quase todos os métodos de classificação o ordenamento de itens em grupos, com base na similaridade. Todavia, a construção de classificações biológicas, pelo método de uma pesagem *a posteriori*, como exercida por taxionomistas empíricos, a partir de Adanson, e justificada teoricamente por Darwin, requer considerável conhecimento e experiência. Assim, foi ocasionalmente levantada a questão, perfeitamente legítima, se não seria possível desenvolver um método, pelo qual mesmo uma pessoa totalmente inexperiente, inclusive um não-biologista, pudesse agrupar espécies em gêneros "naturais" e *taxa* superiores. Na verdade, a disponibilidade de um método objetivo e automático teria sido vantajosa mesmo para o taxionomista experiente, nos casos em que dois ou mais autores estivessem em desacordo sobre uma classificação ótima. O elemento essencial em tal abordagem seria o desenvolvimento de métodos que permitissem quantificar os graus da semelhança, e converter uma taxionomia qualitativa, ou subjetiva, numa taxionomia numérica e objetiva.

A história da taxionomia numérica ainda não foi escrita. Esforços pioneiros nesse sentido remontam à metade do século XIX, embora a maioria deles trate de variações intra-específicas, particularmente a variação geográfica. As tentativas de usar métodos numéricos para a classificação das espécies, gêneros, e mesmo para os *taxa* superiores, estão em geral um pouco ocultas na literatura taxionômica, e conhecidas apenas de uns poucos especialistas. Algumas referências sobre essa literatura podem ser encontradas em Simpson, Roe, e no *Quantitative Zoology* (1960), de Lewontin.

Um dos primeiros, e quase esquecido, foi o geneticista A. H. Sturtevant (1939; 1942). Ele se cercou de notáveis precauções, para evitar desvios, e excluiu dos seus cálculos quaisquer caracteres sabidamente relacionados com os aspectos de adaptação e desenvolvimento. Numa análise de 39 caracteres de drosófilas (*Drosophila*), ele conseguiu ordenar as 58 espécies em vários grupos

aparentados, e mais importantes do que isso, chegou a configurar diversas generalizações, bastante amplas, que desde então foram repetidamente confirmadas. A primeira delas é que métodos estritamente fenéticos são muito confiáveis quando aplicados a parentes próximos, mas que tendem a dar resultados contraditórios no caso de formas de parentesco mais distantes. Além disso, conseguiu chegar a uma definição de *caracteres bons,* elaborando uma tabela em que mostra a correlação entre caracteres diferentes, e descobrindo que os "melhores" dentre eles eram aqueles que podiam servir como indicadores úteis da natureza provável de outros caracteres, em outras palavras, caracteres que eram co-variantes com outros.

Depois que foi inventado o computador eletrônico, ocorreu, de modo independente, a três grupos de taxionomistas – C. D. Michener e R. R. Sokal (1953), no Kansas; P. H. A. Sneath (1957), um bacteriologista de Londres; e A. J. Cain e G. A. Harrison (1958), de Oxford, Inglaterra – a proposição de métodos computadorizados, na quantificação da similaridade, bem como no agrupamento de espécies e de *taxa* superiores, para auxílio de tais métodos quantitativos. O aspecto mais importante da sua proposta foi o de substituir a capacidade integradora do cérebro humano, que na taxionomia clássica realizava o agrupamento dos *taxa* simplesmente por inspeção, ou por uma tabulação das semelhanças, pelas operações mecânicas do computador. Isto, segundo imaginavam, substituiria a avaliação arbitrária e subjetiva, usual no passado, pelo método objetivo, repetível invariavelmente. De início, os três grupos concordavam em que se devia conferir o mesmo peso a todos os caracteres; mas Cain e Harrison (1960) cedo reconheceram o conteúdo informativo dos diversos caracteres, e por isso propuseram a "pesagem filética". Também Michener bem depressa se distanciou da sua proposta inicial; mas os dois pioneiros restantes, Sokal e Sneath, juntaram esforços e apresentaram a sua metodologia e filosofia, em 1963, num tratado clássico, *Principies of Numerical Taxonomy.*

O rótulo "taxionomia numérica" conduzia a equívocos, porque, como Simpson e outros lembraram, métodos numéricos foram usados na taxionomia durante gerações, e pelas mais divergentes escolas de taxionomia. Tomou-se de uso, por isso, referir-se ao método taxionômico de Sokal e Sneath como *fenética numeral.* Infelizmente, os novos métodos eram propalados mediante afirmações sumárias, que depois não poderiam ser comprovadas. Foi afirmado, por exemplo, que dois cientistas, dispondo do mesmo conjunto de caracteres, mas trabalhando inteiramente independentes um do outro, chegariam a idênticas avaliações da semelhança de dois organismos, se usassem os novos métodos fenéticos. A evidente invalidade de tais asserções provocou considerável hostilidade por parte dos taxionomistas tradicionais e experientes. [5] Uma segunda edição (1973) de Sokal e Sneath, drasticamente revista, inclui muitos melhoramentos. Outros textos sobre taxionomia numérica devem-se a Jardine e Sibson (1971), e Clifford e Stephenson (1975). Para uma abordagem um tanto diferente, consulte-se também Throckmorton (1968).

Como Darwin já havia apontado, caracteres diferentes têm diferente conteúdo de informação, e bem diferentes classificações resultarão quando se escolhem diferentes misturas de caracteres. Partes diversas do corpo, estágios diversos do ciclo vital, tudo isso conduz a diversificadas avaliações da similaridade. No intuito de demonstrar a sua objetividade, os feneticistas dos números propuseram rejeitar as espécies como unidade de classificação, substituindo-as por "unidades taxionômicas operacionais" (UTOs),{§§§§} como se isso representasse uma melhoria. Na realidade, o assunto os levou às mesmas dificuldades práticas que ocasionaram o abandono do conceito da espécie. Ou os feneticistas deviam tratar os diferentes sexos, as clesses etárias e as morfes{*****} como UTOs

diferentes, separando então machos e fêmeas, e outros fenótipos extremamente variados, em *taxa* diferentes; ou, então, deviam analisar variantes biológicas (fenos),"{†††††} com extremo cuidado, e combinar variantes em UTOs que coincidem com as espécies biológicas. Uma tal estimativa da variação, embora muito mais realista, requeria precisamente o tipo de julgamentos subjetivos que foram proclamados como banidos pelo método fenético "objetivo".

A diferença muito mais importante entre os taxionomistas tradicionais e os feneticistas numéricos consiste na sua atitude em relação à passagem. Há três, e somente três, atitudes possíveis com respeito à pesagem. De acordo com a primeira, todos os caracteres são equivalentes, isto é, possuem a mesma importância para a classificação. Embora os feneticistas se tenham referido a isso como sendo um método de "não pesagem", ele é sem dúvida um método de pesagem, *a priori,* que dá a cada caráter igual peso. Trata-se de uma distorção, obedecendo aos métodos da pesagem *a priori* de Aristóteles, Cesalpino e Cuvier. O fato de um invertebrado marinho ter ou não um notocórdio é de um valor taxionômico maior que centenas de outros caracteres. Que alguns caracteres contenham grande conteúdo de informação, relativa ao parentesco, enquanto outros são apenas "ruído", é coisa que já foi apontada por Adanson, há mais de cem anos (*Fam. PI,* 1763,1: CLXVII).

A segunda opção referente à pesagem é que existe um conjunto de critérios fixos, o valor fisiológico, por exemplo, pelos quais se pode determinar a relativa importância taxionômica de caracteres diferentes. Esse foi o método *a priori* de Aristóteles e Cuvier. A terceira opção é a pesagem *a posteriori,* pela qual os organismos são primeiramente ordenados em grupos que se apresentam como naturais (mediante a consideração de numerosos caracteres e suas combinações), dando-se depois peso maior àqueles caracteres que parecem ser correlacionados com os grupos mais naturais. Essa foi a abordagem de Darwin; assim ele concluiu:

> A importância de caracteres insignificantes, para a classificação, depende principalmente do fato de serem eles correlacionados com diversos outros caracteres, de maior ou menor importância (*Origin*: 417).

No decurso da história da taxionomia, virtualmente, todos os taxionomistas de experiência sabiam, e muitas vezes enfatizaram, o quanto pode ser diferente o valor taxionômico de caracteres diversos. Uma classificação de macacos antropóides e de hominóides, baseada primacialmente na estrutura do córtex do cérebro, seria consideravelmente diferente de uma outra que fosse baseada nas macromoléculas fisiológicas maiores (hemoglobina e outras). A geração mais nova dos taxionomistas numéricos debruça-se sobre as diferenças marcantes do conteúdo informativo dos vários caracteres, e hoje se concentra no esforço de substituir a intuição e a avaliação subjetiva por métodos objetivos de pesagem *a posteriori* (por meio, por exemplo, da análise da correlação).

Os feneticistas convertem a totalidade dos valores de similaridade dos caracteres individuais numa única "distância fenética", ou valor global de similaridade. Mas, como Simpson (1964a) se expressa, com acerto: "Uma medida única de similaridade implica uma enorme perda de informação, principalmente quanto à direção do caráter e à origem das diferenças". É procedimento profundamente viciado quantificar a similaridade numa comparação de entidades tão altamente heterogêneas com os complexos de caracteres de *taxa* diferentes. Esse é o motivo por que a fenética foi chamada um método tipológico, e porque Simpson concluiu que ela conduz "ao retrocesso quanto aos princípios taxionômicos … uma revitalização consciente dos princípios pré-evolucionistas, do

século XVIII".

Poder-se-ia ignorar a debilidade conceitual do método, se ele fosse capaz de produzir resultados práticos. De qualquer maneira, para compensar, pelo menos em parte, a evolução mosaica e o ruído introduzido por caracteres sem conteúdo informativo, os feneticistas necessitam programar um vasto número de caracteres (de preferência, acima de cem). É normalmente possível encontrar grande número de caracteres em grupos morfologicamente tão complexos como os artrópodes (insetos, aracnídeos, e outros). Mas há uma severa escassez de caracteres taxionomicamente úteis na maioria dos outros grupos de organismos. Só isso já excluiria o uso de um método baseado na análise de caracteres não-sopesados. Além do mais, mesmo com os insetos, o método é muito laborioso, e a programação de cem ou mais caracteres, de um grande número de *taxa*, consome um tempo excessivo. Por esse motivo, um dos pioneiros da fenética, C. D. Michener, voltou aos métodos tradicionais, quando classificou uma vasta coleção de abelhas australianas (que continha numerosas espécies novas).

Hoje, mais ou menos vinte e cinco anos após o primeiro anúncio da filosofia fenética, é possível tentar um veredito sobre a validade e a utilidade dos seus métodos. Evidentemente, a aproximação básica de toda classificação é fenética, e o seu esforço consiste em estabelecer grupos de entidades "semelhantes". O sucesso desse esforço depende dos métodos e dos princípios, por meio dos quais a semelhança é estabelecida. A fenética numérica falhou claramente nesse particular, pela sua insistência na passagem igualitária e por sua determinação de ignorar toda informação filética.

Todavia, o fracasso da filosofia básica da fenética numeral não é motivo para deixar de reconhecer a utilidade de muitos dos métodos numéricos, e particularmente multivariados, desenvolvidos e empregados pelos feneticistas. Os métodos inaugurados pelos taxionomistas numéricos são hoje amplamente usados em muitas áreas da ciência, bem como em outros campos, onde a seleção e a classificação de dados são importantes. Haver defendido e introduzido na taxionomia o uso de tais métodos poderia ser apontado como a maior contribuição da fenética numeral. Outra contribuição é a ênfase dada ao princípio, tradicionalmente endossado pelos melhores taxionomistas, de usar tantos caracteres diferentes e sistemas de caracteres, quanto factível, e permitido pelas novas informações.

Os métodos da fenética são muito úteis para o agrupamento de espécies em grandes gêneros, e na classificação de grupos anteriormente confusos. Por outro lado, não conheço nenhuma contribuição substancial de qualquer grupo maduro, ou para a classificação no nível de ordens, classes, ou filos.

O futuro mais promissor da fenética numeral é presumivelmente o incremento ulterior de procedimentos de pesagem. Estes devem basear-se ou na variação correlata (co-variação) dos caracteres, ou em diretrizes empíricas variadas. Os inferiores descendentes de um ancestral comum são quase sempre reconhecidos pela posse conjunta de certos caracteres, e é simplesmente questão de bom-senso atribuir a alguns caracteres peso maior que a outros. Qualquer abordagem classificatória que não fizer uso da pesagem dos caracteres é indiscutivelmente ineficaz.

No seu afã de serem "estritamente objetivas", as escolas fenéticas abstiveram-se de levar em consideração qualquer evidência oriunda da ancestralidade. Realizar precisamente isso é a principal característica de uma escola oposta de classificação, a cladística.

Cladística

A proposta da escola taxionômica, conhecida pelo nome de "cladística", foi motivada pelas mesmas considerações da fenética: eliminar da classificação a subjetividade e o arbítrio, pela implementação de um método do virtualmente automático. Seu primeiro manifesto abrangente foi publicado em 1950, por Willi Hennig, no seu *Theorie der phylogenetischen Systematik*. Segundo ele, as classificações devem basear-se exclusivamente na genealogia, isto é, no esquema de ramificação da filogenia. A filogenia, afirma ele, consiste numa sequência de dicotomias, representando de cada vez a fissão de uma espécie parental em duas espécies irmãs (ou melhor, filhas); admite-se que a espécie originária deixa de existir no momento da dicotomia. Os grupos irmãos devem ser situados no mesmo nível categorial, e as espécies ancestrais, juntamente com todos os seus descendentes, devem ser incluídas num único táxon holofilético.

A obra de Hennig está escrita num alemão bastante difícil, com alguns períodos virtualmente ininteligíveis. Em parte alguma faz referência aos escritos de Huxley, Mayr, Rensch, Simpson e outros autores, que, em parte, cobriram a mesma área, nas décadas anteriores. Novos termos e novas definições são incidentalmente introduzidos, mas não há um índice que possa remeter às páginas mais relevantes. Não é surpresa que o volume, de saída, tenha sido universalmente ignorado, exceto por alguns poucos autores germânicos. Tomou-se mais vastamente conhecido só a partir de 1965 e 1966, quando foram publicadas traduções inglesas da metodologia de Hennig. Por volta de 1970, começou a desenvolver-se um virtual culto de Hennig, conquanto alguns dos seus assim chamados seguidores se tenham afastado largamente dos seus principais originais.

Embora Hennig tivesse designado o seu método *sistemática filogenética,* ele se baseava apenas num único componente da filogenia – a ramificação das linhagens. Por isso, ele foi rebatizado por outros autores como cladística (ou cladismo), nome sob o qual é geralmente hoje em dia conhecido.

O aspecto crucial da cladística consiste na sua análise cuidadosa de todos os caracteres, na comparação dos *taxa* correlatos, e bem assim na divisão desses caracteres em ancestrais (plesiomorfos) e derivados em caráter único (apomorfos). Os pontos de ramificação, na filogenia, são determinados pelo percurso do caminho retrogressivo dos caracteres de derivação única (sinapomorfias), por se admitir que tais caracteres apomorfos se encontram apenas entre os descendentes do ancestral em que pela primeira vez esse caráter apareceu. Diz-se que o método permite a reconstrução da filogenia, prescindindo da evidência fóssil; e tal afirmação, de fato, foi confirmada em boa parte.

Desde Darwin, o objetivo do taxionomista evolutivo tem sido reconhecer apenas *taxa* monofiléticos, vale dizer, *taxa* compostos exclusivamente dos descendentes de um ancestral comum. Grupos presumidamente monofiléticos são constantemente testados, em confronto com sempre novos caracteres, no intuito de determinar, sim ou não, se o postulado da monofilia tem fundamento. Esse método não é circular, como foi demonstrado por Hull (1967). A comparação cuidadosa das espécies e dos gêneros, incluídos num *taxa* superior, bem como a análise de todas as similaridades, com o objetivo de determinar se são verdadeiramente homólogos, confirmaram, de fato, por volta de 1950, que a maioria dos *taxa* reconhecidos de animais (aspecto menos verdadeiro para as plantas) era monofilética. Willi Hennig, em todo o caso, foi o primeiro autor a articular explicitamente o princípio de que os pontos de ramificação, na genealogia, deviam ser baseados exclusivamente nos caracteres sinapomorfos. É a posse conjunta de caracteres de derivação única que comprova a

ancestralidade comum de um dado grupo de espécies, afirmou esse autor.

A análise cladística

Em princípio, o método da análise cladística, para a delimitação dos grupos monofiléticos, é um procedimento soberbo. Ele firma critérios objetivos para o estabelecimento da comunidade de descendência. Compele a uma análise meticulosa de todos os caracteres, e introduz um novo princípio para a pesagem – o da posse conjunta de caracteres sinapomorfos. Grupos que compartilham as mesmas sinapomorfias são grupos irmãos. Sem dúvida, algumas objeções têm sido levantadas contra a análise cladística.

A primeira delas é um problema de terminologia. Hennig introduziu um número considerável de novos termos técnicos, muitos deles desnecessários (embora "plesiomorfo" e "apomorfo" comumente ainda estejam em uso). Causou também alguma confusão a tentativa de Hennig de transferir termos bem estabelecidos para conceitos inteiramente diferentes – por exemplo, restringir o termo "filogenia" ao componente de ramificação da filogenia; definir "parentesco" estritamente em termos de proximidade com o mais achegado ponto de ramificação; e, pior de tudo, deslocar o termo "monofilético" do seu uso habitual, como designação de táxon, para o processo da descendência.

Desde Haeckel até 1950, a sequência da operação sempre tem sido, primeiro, delimitar um táxon à base de considerações fenéticas, e, depois, fazer o teste para ver se era monofilético. Os cladistas simplesmente combinam todos os descendentes inferiores de uma dada espécie num táxon "monofilético", mesmo que eles sejam tão diferentes como pássaros e crocodilos.

Um segundo problema consiste na dificuldade de determinar a sinapomorfia. A posse conjunta de um caráter derivado, por dois *taxa*, pode ter uma ou outra de duas causas. Ou o caráter derivou do mais próximo ancestral comum (sinapomorfia genuína, ou homóloga); ou ele foi adquirido por *convergência* (apomorfia não-homóloga, ou pseudo-apomorfia). A confiabilidade da determinação da monofilia de um grupo depende, em larga medida, do cuidado que se toma na distinção entre essas duas classes de similaridade. A frequência de "apomorfias" não-homólogas foi subestimada por muitos cladistas. O fato de que muitas vezes uma determinada adaptação, mesmo aparentemente bastante improvável, pode ser adquirida de modo independente vem bem ilustrado pela evolução dos olhos. Os fotorreceptores, no reino animal, originaram-se independentemente pelo menos quarenta vezes, e em outros vinte casos não se consegue determinar se os olhos, encontrados em *taxa* relacionados, foram resultado de desenvolvimentos patrísticos ou convergentes (Plawen e Mayr, 1977). Isso e muitos outros casos (veja Gingerich, 1979) estão a demonstrar que muitas vezes é difícil dividir as sinapomorfias entre as que são homólogas e as que não o são. A perda independente de um caráter, em linhagens separadas, é uma forma particularmente frequente de convergência.

Outra dificuldade formidável, na determinação das sinapomorfias, é o estabelecimento da direção da mudança evolutiva, vale dizer, a definição de qual aspecto de um caráter é ancestral e qual outro é derivado. Por exemplo, a posição de gêneros e famílias de angiospermas sem pétalas depende da decisão sobre se a ausência das pétalas florais foi considerada uma condição primária (ancestral), ou derivada; ou então, para tomarmos um caso do reino animal, os tunicados podem ou ser considerados primitivos, sendo então os Acrânios (*Amphioxus)* e os vertebrados oriundos de neatenia (reprodução por larvas), ou o *Amphioxus* pode ser considerado a condição ancestral, e, nesse caso, os tunicados (Ascídios) seriam um ramo lateral especializado, secundariamente séssil.

Os sistemas dos animais e das plantas estão implicados em situações em que o arranjo dos *taxa* superiores depende inteiramente da leitura da direção em que se acredita tenha ocorrido a evolução. Os casos em que a direção evolutiva foi revertida são particularmente incômodos, mas muito mais comuns do que em geral se pensa.

Há vários métodos, inclusive um estudo do registro fóssil, por meio dos quais uma ou outra das polaridades pode ser revelada como provável, mas permanece o fato de que uma determinação inequívoca da condição ancestral é ainda muitas vezes impossível.

Os resultados da análise cladística vêm registrados num diagrama de ramificações, designado *cladograma*. Ele consiste numa série de dicotomias, traçando as cisões sucessivas das linhas filéticas. Dois pressupostos, na construção dos cladogramas, são estritamente arbitrários. O primeiro é que toda espécie existente é eliminada quando da origem de uma nova, e o segundo, que todo o caso de cisão é uma dicotomia. Com a descoberta de que a maioria dos eventos de especiação acontece em populações pequenas, isoladas fundadoras, tomou-se evidente que tal especiação não tem influência alguma na genética e na morfologia da espécie originária, a qual pode continuar essencialmente inalterada por milhões de anos e seguir produzindo novas espécies filhas, a intervalos frequentes. A dicotomia estrita, da mesma forma, é um pressuposto irreal. Um táxon grande, tendo alcançado o ponto de maturação, pode produzir simultaneamente diversas linhas filiadas especializadas, que, embora tecnicamente constituindo grupos irmãos, podem seguir o seu caminho divergente, nada mais tendo em comum do que a procedência do mesmo táxon genitor. Em alguns cladogramas recentes, isso foi reconhecido, e certas dicotomias foram substituídas por politomias (Aslock, 1981). Por todos esses motivos, Hull (1979) acentuou, com razão, que a afirmação de muitos claditas, no sentido de que o seu método é completamente objetivo, não é comprovada pelos fatos. É importante lembrar isso em relação às críticas que os cladistas fazem sobre a fragilidade de outras metodologias taxionômicas competitivas.

A classificação cladística

As várias dificuldades da análise cladística são enfrentadas também pelos taxionomistas tradicionais, e não constituem a razão maior da sua oposição à cladística. O motivo das objeções é muito mais a relação entre a análise cladista e a classificação cladista. Para um cladista, sua tarefa se encerra com a análise cladística. A genealogia reconstruída, representada no diagrama das ramificações (cladograma), fornece-lhe a classificação diretamente. A classificação cladística reflete minuciosamente o esquema da ramificação, e permite a imediata leitura da filogenia de um grupo, sem desvios. Se a única informação que quisermos extrair de uma classificação for a sequência dos pontos de ramificação da filogenia, então a classificação cladística será a resposta. Se quisermos algo mais sobre a história de um grupo, refletido na classificação, devemos procurar um método que não desconsidere completamente a divergência evolutiva e os caracteres autapomórficos.[6] Os cladistas estão em desacordo com o profundo discernimento de Darwin, no sentido de que a genealogia por si mesma não dá a classificação. Eles delimitam os seus *taxa* não pela similaridade, mas pelo princípio da holofilia, isto é, pela unificação de todos os descendentes de um ancestral comum num único táxon. Isso resulta em combinações tão incongruentes – como um único táxon para crocodilos e pássaros, ou chimpanzés e homens. As classificações vêm baseadas inteiramente nas sinapomorfias, mesmo nos casos em que, a exemplo da evolução dos pássaros a partir dos répteis, os

caracteres autapomórficos excedem em grande número as sinapomorfias com os seus parentes répteis mais próximos.

Em outras palavras, o método ignora o fato de que a filogenia tem dois componentes: o desabrochar de linhas evolutivas e as subsequentes mudanças evolutivas das linhas desabrochadas. A razão por que este último componente é tão importante para a classificação apóia-se no fato de que a história evolutiva de grupos irmãos é muitas vezes terminantemente diferente. Entre dois grupos relacionados, derivados do mais próximo ancestral comum, um pode deferir muito pouco do grupo ancestral, enquanto o outro pode ter entrado numa nova zona adaptativa, e ali ter-se desenvolvido num tipo drasticamente novo. Mesmo em se tratando de "grupos irmãos", na terminologia da cladística, os taxionomistas têm situado tradicionalmente tais grupos em níveis diferentes. Nada ilustra melhor a diferença entre a cladística e a taxionomia tradicional do que o veredito de Hennig, no sentido de que grupos irmãos devem ser consignados na mesma faixa, independentemente do quanto possam diferir, na sua divergência a partir da separação.

Para Hennig, a cladística era uma "classificação filogenética", e concentrava o seu esforço (embora a metodologia fosse inadequada para tal objetivo) em representar, nas suas classificações, a evolução filogenética. Tal interesse não é compartilhado por alguns dos seus seguidores que, ou se abstêm de qualquer referência sobre a evolução e a filogenia, ou mesmo negam deliberadamente que a evolução possa refletir-se numa classificação. Para uma crítica mais extensiva da classificação cladística, devo remeter à literatura recente. [7]

Em algumas palavras finais, seja-me permitido fazer justiça ao método cladístico. A maior virtude da análise cladística é que ela é um método eficaz para testar a "naturalidade" (isto é, a monofilia) dos grupos originalmente delimitados pelos métodos fenéticos. A partir do fato de que a similaridade das espécies e dos gêneros pode ter razões diversas, a monofilia só pode ser confirmada por análise rigorosa da homologia dos caracteres, em que a similaridade se baseia.

No intuito de apreciar o quanto tem sido fundamental o impacto da metodologia de Hennig, basta apenas olhar para as recentes revisões taxionômicas, particularmente as relativas aos peixes e certos grupos de insetos. Mesmo autores como Michener, e outros, que rejeitam a afirmação de que o cladograma possa ser traduzido diretamente numa classificação, procuram utilizar cuidadosamente o princípio da sinapomorfia, na delimitação dos *taxa*. A análise cladística tem sido particularmente exitosa onde é disponível grande número de caracteres, e onde as classificações existentes foram bastante imaturas. Os novos cladogramas disso resultantes mostraram que muitos *taxa,* anteriormente aceitos, eram polifiléticos. A tradução de uma análise detalhada numa classificação estritamente correspondente, como feito, por exemplo, por Rosen (1973), em relação aos teleósteos superiores, conduz, de qualquer maneira, a uma proliferação de novos empregos de nomes de *taxa* anteriormente existentes, e à cunhagem de muitas terminologias novas, e, ainda mais perturbador, à introdução de muitos novos níveis categoriais. A objeção de que tal procedimento é claramente incompatível com o ideal de uma classificação conveniente é rejeitada por Bonde (1974: 567), como não sendo um "argumento válido contra a teoria de Hennig". Ele certamente não é contra a análise cladística, mas o é na mesma medida contra a classificação cladística.

Talvez a mais importante contribuição de Hennig e do seu método tenha sido a de ajudar a esclarecer a relação entre filogenia e classificação. Simpson, Mayr e outros taxionomistas estavam equivocados ao discutirem o relacionamento entre filogenia e classificação. Os taxionomistas dos angiosperma, desacorçoados com as dificuldades de reconstruir a filogenia das plantas floríferas,

discordavam das conclusões dos zoologistas, no sentido de que os *taxa* deviam ser consistentes com as descobertas da filogenia, e que os *taxa* superiores deviam ser unidades monofiléticas (Mayr, 1942: 277-280). Davis e Heywood escrevem no seu manual:

> A classificação, afirmam os taxionomistas, deve ser baseada na filogenia, ou refleti-la. Tal afirmação, acreditamos nós, carece de realismo em um grupo com registro fóssil extremamente inadequado … Na verdade, toda a concepção de uma classificação filogenética, segundo nos parece, é um engano (1963: XVIII).

O que esses autores perderam de vista é que o registro fóssil é igualmente inadequado para a maioria dos grupos de animais, e que a filogenia deve ser inferida nesses grupos todos. Constitui grande mérito de Hennig o haver articulado uma metodologia que permite essas inferências e facilita o seu teste repetido. Dessa forma, a ausência de fósseis não exclui o estabelecimento de filogenias. Tanto quanto sei, a totalidade das filogenias aceitas, das ordens dos mamíferos, foi originalmente baseada na pesquisa anatômica comparada (via homologia), e em caso nenhum a filogenia previamente estabelecida foi refutada por achados fósseis posteriores.

A discussão aparentemente eterna sobre se a classificação deve expressar a filogenia, ou se deve ser baseada na filogenia, ou se deve ser consistente com a filogenia, ou se absolutamente não tem nada a ver com a filogenia, está começando agora a ser esclarecida. É evidente que, tanto na classificação como na filogenia, se procede de acordo com o método hipotético-dedutivo. Isto significa que se deve testar uma série de proposições: (1) que os membros de cada táxon sejam entre si os "parentes" mais próximos (vale dizer, os mais parecidos uns com os outros); (2) que todos os membros de um táxon sejam descendentes do ancestral comum mais próximo (monofilia *stricto sensu)* \ (3) que a hierarquia lineana dos *taxa* seja consistente com a filogenia inferida.

Existem numerosas maneiras de testar cada uma dessas proposições, todas elas em última instância remetendo-se à análise da homologia. No estudo da homologia, é da maior importância "distinguir entre definições e a evidência disponível e utilizada para determinar se a definição pode ser aceita como aplicável" (Simpson, 1975: 17; também 1961: 68-70). Depois de 1858, houve apenas uma definição de homólogo que faz sentido biologicamente:

> Um aspecto [caráter, estrutura, e assim por diante] é homólogo em dois ou mais *taxa,* se puder ser seguido retrogressivamente [derivando de] até o mesmo [um correspondente] aspecto do presumido ancestral comum desses *taxa*".

Numerosos autores contribuíram para a coleta de critérios, ajudando-nos a decidir se uma definição se aplica ou não, num caso particular. No que concerne aos caracteres morfológicos, a melhor enumeração de tais critérios é a de Remane (1952). Alguns dos seus critérios (por exemplo, posição em relação a outras estruturas) não são aplicáveis a homologias comportamentais ou bioquímicas; de fato, pode ser que seja necessário desenvolver um conjunto diferente de critérios, com evidência de homologia, para cada tipo de caracteres. Foi, assim, bastante infeliz, e totalmente impróprio, que Remane tenha erigido os critérios que serviam como *evidência* da homologia em critérios para a *definição* da homologia.

A metodologia tradicional ou evolutiva

Tanto a fenética como a cladística recrutaram numerosos seguidores. Todavia, a maior parte dos taxionomistas, embora adotando um ou outro dos avanços metodológicos das duas novas escolas, manteve a metodologia tradicional da classificação. Isso consiste no esforço de representar na classificação não apenas a ramificação das linhas filéticas, mas também a sua subsequente divergência. O procedimento pode ser realizado, indicando-se na ordenação dos vários *taxa* se os mesmos se tomaram drasticamente diferentes dos seus grupos irmãos, devido à invasão de um novo nicho ou zona de adaptação. Isso resulta na conversão do cladograma em um filograma (Mayr, 1969). Essa escola é às vezes denominada taxionomia evolutiva, porque na sua filosofia ela segue Darwin quase ao pé da letra. Ela às vezes também é referida como taxionomia eclética, porque na sua metodologia ela faz uso dos métodos recentemente desenvolvidos, como certos métodos numéricos da fenética, e a divisão ancestral – derivada dos caracteres, da cladística. Os métodos e os princípios da taxionomia evolutiva estão bem descritos nos livros de Simpson (1961) e Mayr (1969), bem como em diversos outros ensaios de Bock, Ghiselin, Michener e Ashlock. [8]

A principal diferença entre esse método e a cladística reside no peso considerável que se dá aos caracteres autapomórficos. Trata-se de caracteres derivados, adquiridos por um grupo irmão, mas não pelo outro. Levando em consideração que o número de caracteres, adquirido pelas aves, desde a sua ramificação, a partir do ramo dos arquissaúrios, é muitas vezes tão grande como o número dos caracteres que distinguem os arquissaúrios dos grupos répteis, as aves são reconhecidas como uma classe separada dos vertebrados, ao invés de classe combinada com os crocodilos (únicos arquissaúrios sobreviventes), numa ordem. Da mesma forma, as pulgas são reconhecidas como uma ordem em separado, ou subordem, dos insetos, embora sejam claramente derivadas de uma divisão particular dos dípteros; os piolhos (anopluros) são reconhecidos como um táxon superior em separado, embora claramente procedentes de um grupo de malófagos, que por sua vez se originam de um grupo de psocópteros.

Nesses casos, e em todos os outros em que uma linha colateral tenha adquirido numerosas autapomorfias, em decorrência de drástica modificação por meio de adaptações especiais, um tratamento puramente cladístico conduz a uma imagem de parentesco falsa, no sentido em que esse termo é tradicionalmente entendido (Kim e Ludwig, 1978). Dessa forma, a situação de um táxon pelo método evolutivo baseia-se no peso relativo das autapomorfias, quando comparado com as autapomorfias dos grupos irmãos.

Como Rench, Huxley e outros enfatizaram, o componente anagenético da evolução muitas vezes conduz ao desenvolvimento de "graus" definidos, ou níveis da mudança evolutiva, que devem ser levados em consideração na classificação. A objeção levantada pelos cladistas de que isso introduziria a subjetividade na classificação foi rejeitada pelos taxionomistas evolutivos, com duplo argumento. O primeiro é que o método cladista é da mesma maneira repleto de subjetividade, devido à decisão sobre a polaridade da mudança evolutiva, devido à evolução mosaica, e devido a decisões relativas ao paralelismo evolutivo (Hull, 1979). O segundo contra-argumento consiste em que há muitos casos onde é bastante fácil calcular uma razão aproximada entre autapomorfias e sinapomorfias, em dois grupos irmãos. Sempre que uma clade (uma linhagem filética) ingressou numa nova zona de adaptação, resultando numa drástica reorganização, a transformação poderá acolher um peso taxionômico maior que a proximidade da ancestralidade comum. A particular importância das

autapomorfias reside em que elas refletem a ocupação de novos nichos e novas zonas adaptativas, que muitas vezes têm significação biológica bem maior que as sinapomorfias cladísticas.

O conceito e termo "grau" tem uma longa história. Ray Lankester (1909) falava dos Protozoários e Metazoários como graus sucessivos, e, depois de separar as esponjas como Parazoários, dividiu os restantes Metazoários em dois graus, Enteroceles (Celenterados) e Celomates. Bather (1927) fez largo uso do conceito de grau, e tentou ilustrar como certas linhas filéticas passavam através de diversos graus, em períodos geológicos sucessivos. Mais recentemente, Huxley (1958) mostrou o quanto é útil o conceito de grau, para ilustrar os desdobramentos evolutivos, e para servir de base para o ordenamento dos *taxa.* Rench e Simpson também chamaram a atenção para a existência de tais patamares evolutivos, em que boa parte da especiação (cladogênese) pode ocorrer, sem qualquer anagênese significativa.

O cladista ignora a existência dos graus, porque essa abordagem concede o reconhecimento de *taxa* "parafiléticos". Um grupo monofilético é "parafilético", na terminologia do cladista, quando não é "holofilético", isto é, se não inclui todos os descendentes do ancestral comum. A classe dos Répteis, por exemplo, como tradicionalmente reconhecida, é um grupo parafilético, porque não inclui as Aves e os Mammalia, dois grupos que foram separados, como tendo alcançado um nível de grau que diferia daquele dos demais Répteis. O reconhecimento de grupos parafiléticos impede a tradução automática de uma classificação num esquema de ramificação, mas é capaz de expressar graus de divergência, algo que o cladograma não pode.

Novos caracteres taxionômicos

A espinha dorsal dos três métodos de classificação – fenética numeral, cladística e taxionomia evolutiva – é a análise e a evolução dos caracteres taxionômicos. Uma insuficiênca de caracteres informativos é usualmente a razão por que não se podem resolver as divergências entre classificações concorrentes. Não é de admirar que a queixa mais frequente de uma taxionomista seja que o grupo de animais ou plantas de que se ocupa não fornece caracteres suficientes para permitir uma decisão inequívoca sobre o parentesco. Dois fenômenos, em particular, contribuem para essa dificuldade. Um deles consiste no fato bem conhecido de que o fenótipo, em certos grupos de organismos, é marcadamente "padronizado", como nas centenas de espécies *Rana,* ou nas milhares de espécies *Drosophila,* fornecendo assim apenas poucos indicadores do parentesco. Outro, é que qualquer desvio desse padrão normalmente afeta apenas um único complexo funcional, relacionado com alguma especial *ad hoc.* A passagem para uma nova fonte de alimento, ou a adoção de novo conjunto de sinais de aproximação sexual, pode eventualmente resultar numa reconstrução morfológica bem visível, permitindo ser dividida em um número considerável de caracteres individuais. Consigná-los, todavia, como caracteres em separado seria totalmente equivocado, porque, filogeneticamente falando, eles não são outra coisa que reflexos de uma mudança funcional isolada. Darwin já havia advertido sobre o perigo de excesso de confiança nas especializações *ad hoc* (*Origin*, 414).

Uma dificuldade ainda mais frequente, encontrada pelo taxionomista, consiste no conflito entre as conclusões baseadas em estruturas diferentes. O estudo das extremidades, por exemplo, pode indicar que o táxon *b* é mais claramente aparentado com o táxon a, enquanto as conformações do tubo

digestivo estão a sugerir que o táxon *b é* o parente mais próximo do táxon c. Nesses casos, uma avaliação dos aspectos adicionais das extremidades, ou do tubo digestivo, raramente produz uma solução satisfatória.

Encontram-se numerosos casos, assim, em todos os *taxa* superiores, e por esse motivo os taxionomistas, nas últimas décadas, dedicaram grande atenção à busca de novos caracteres taxionômicos. Embora uma análise morfológica cuidadosa revele continuamente caracteres novos, os caracteres não-morfológicos desempenham um papel cada vez mais importante, no estabelecimento das classificações. Isso inclui componentes de comportamento, história da vida, e ciclo anual (veja vivíparos e ovíparos, de Aristóteles), fisiologia, ecologia (por exemplo, ocupação de um nicho), parasitas, e qualquer outro atributo concebível de um organismo. Muitos desses caracteres são de grande utilidade para a discriminação das espécies, mas alguns deles revelam-se como mais indicativos do parentesco de grupos de espécies.

A distribuição geográfica muitas vezes fornece indicadores inesperados, como já havia sido preconizado por Darwin. Um gênero australiano, aberrante, com muito maior probabilidade, se relaciona com uma família australiana autóctone, em vez de ter os seus parentes mais próximos na África, ou na América do Sul. Esse princípio, da procura do parente mais próximo numa área geográfica facilmente acessível, não funciona no caso de algumas espécies e grupos que habitualmente dispõem de grandes facilidades de dispersão, mas se aplica muito bem em numerosos outros casos, como foi demonstrado por Simpson, para os animais, e por Thome, para as plantas. Uma combinação da análise cladística com a análise biogeográfica, como Hennig e seus seguidores chegaram a comprovar, é às vezes particularmente reveladora.

O que apenas algumas décadas atrás constituía a mais nova fronteira de taxionomia, a saber, o estudo dos caracteres bioquímicos, tomou-se hoje um dos ramos mais ativos e aproveitáveis. [9] Ele teve início logo depois de 1900, com os estudos imunológicos (Nuttall, 1904). Os métodos imunológicos ainda hoje estão em uso (Leone, 1964), mas uma grande bateria de métodos novos se lhes acrescentou, desde então. Mais especificamente, o que se estuda é a distribuição, a variação e a evolução das moléculas. Moléculas relativamente pequenas, como alcalóides e saponinas, nas plantas, têm muitas vezes uma distribuição taxionômica bastante restritiva, e por isso podem ser indicativas de parentesco (Hegnauer, 1962; Hawkes, 1968). No caso de moléculas maiores, pode-se estudar a sua evolução por vários métodos, particularmente pela determinação das mudanças da sequência aminoácida. Tais diferenças podem ser muitas vezes quantificadas e utilizadas para construir dendrogramas de distância fenética. Os estudos de macromoléculas individuais, como a hemoglobina, lisozima ou citocromo-c, são de qualquer maneira dispendiosos, em termos de tempo e equipamentos, e dependem, para uso mais amplo, dos métodos da automação. Os métodos bioquímicos são mais úteis onde falhou a análise morfológica, ou pelo menos onde ela apenas conseguiu produzir resultados ambíguos. A análise dos alelos genéticos das enzimas (isozimas), pelo método da eletroforese, foi particularmente produtiva (Ayala, 1976). Esse método não apenas revelou numerosas espécies gêmeas, como também permitiu mostrar que a amplitude da diferença entre duas espécies era, *grosso modo,* correspondente ao tempo em que as linhas evolutivas, conducentes às duas espécies, se separam. A análise da eletroforese, quando baseada em um número suficientemente grande de *locus* de genes, é, por isso, muito valiosa para possibilitar uma averiguação isenta dos resultados da análise morfológica. O método da hibridação do DNA leva diretamente ao genótipo. Nesse método, mensuram-se as compatibilidades de um grande número de

genomas de duas espécies, e o grau da equiparação indica diretamente a proximidade do parentesco, isso nos casos em que certas dificuldades técnicas puderam ser superadas. Os caracteres moleculares únicos, obviamente, são tão suscetíveis de convergência como o são os caracteres morfológicos. Dessa forma, construir classificações moleculares de um único caráter é tão perigoso quanto construir classificações morfológicas também de um único caráter.

Recorre-se desesperadamente aos métodos moleculares para descobrir os pontos de junção dos *taxa* superiores, digamos, as ordens dos pássaros ou os filos dos invertebrados. Aqui, a análise morfológica falhou tão amplamente, porque foi impossível encontrar um número suficiente de caracteres claramente homólogos, e porque a polaridade das tendências evolutivas é muitas vezes incerta.

Os resultados das análises morfológica e molecular nem sempre são congruentes, como o demonstra uma comparação do homem e do chimpanzé. Por isso, alguns autores sugeriram que deveria haver duas classificações, uma baseada nos caracteres morfológicos, outra nos moleculares. Tal sugestão se afigura imprudente, por diversas razões: não apenas existe aí a probabilidade de que caracteres moleculares diferentes venham a requerer diferentes classificações nesse nível, mas a sugestão implica também que tenhamos diversas filogenias, o que evidentemente é um erro. As classificações não são classificações de caracteres separados, mas sim de organismos inteiros. Uma síntese futura deverá ocupar-se da integração das descobertas sobre os caracteres morfológicos, comportamentais e moleculares de diversos tipos, em uma classificação única e ótima.

A epistemologia da classificação

Os filósofos, tradicionalmente, têm mostrado considerável interesse pelos princípios da classificação. Com certeza, a classificação (embora não a classificação dos organismos em si) foi uma das preocupações centrais de Aristóteles (veja Capítulo 4). A substituição da classificação descendente (divisão lógica) por agrupamentos (classificação ascendente), no período pós-lineano, foi um avanço filosófico de monta, e os filósofos, no século XIX, continuaram a interessar-se muito pela classificação – por exemplo, Mill, Jevons e os tomistas. Todavia, os filósofos falharam de algum modo na formação das conclusões necessárias, relativas à classificação biológica, que a revolução darwiniana tomou possível. Eles continuaram, quase unanimemente, a sustentar o essencialismo e vários outros conceitos, que ficaram obsoletos depois do pensamento evolucionista. Por exemplo, eles tendiam a confundir identificação e classificação, referindo-se à classificação como um processo que envolve espécimes individuais, enquanto atualmente ela trata de populações (espécimes), e enquanto os organismos são meramente inscritos nas espécies (isto é, são identificados). Mesmo hoje, alguns filósofos (Hempel, 1965) parecem pensar "que a classificação consiste na divisão de classes grandes em subconjuntos" (classificação descendente), ao passo que, na realidade, a classificação evolucionista opera por meio do agrupamento de *taxa* correlatos em *taxa* superiores.

Mas, de longe, a mais séria deficiência da abordagem de muitos filósofos tem sido a suposição de que "a classificação dos animais e das plantas … é, em princípio, essencialmente igual à classificação dos objetos inanimados" (Gilmour, 1940: 465). A metodologia da fenética está baseada no mesmo pressuposto. Infelizmente, isso não é válido. Classificações artificiais ou arbitrárias são

legítimas para objetos que se classificam estritamente à base de alguma qualidade ou característica, como os livros em uma biblioteca. De qualquer maneira, existem limitações definidas quando se trata da classificação de itens sobre os quais há teorias explicativas (Mayr, 1981). Isso é válido, por exemplo, para classificações causais de doenças, bem como para a classificação de organismos, baseada na teoria de que o seu parentesco se deve à descendência comum. Na realidade, é impossível chegar a classificações significativas de itens que são o produto de uma história evolutiva, a menos que os processos históricos, responsáveis por sua origem, sejam devidamente levados em consideração. Classificar tipos de estrelas, fenômenos geológicos, componentes da cultura humana, ou a diversidade biológica, à base da proposição de Gilmour, resulta em classes de similaridade que, na maioria dos casos, refletem de modo apenas incompleto o relacionamento dos itens. Em consequência disso, já a partir de Darwin foi firmado o consenso entre os taxionomistas evolutivos, no sentido de que os *taxa* naturais têm que ser monofiléticos, no uso clássico da palavra, vale dizer, devem consistir nos descendentes de um ancestral comum. Tal base teórica de toda classificação biológica representa uma forte limitação, e refuta completamente a assertiva de que as teorias da classificação são aplicáveis igualmente aos objetos inanimados e aos organismos. Alguns elementos da nova geração de filósofos (como Beckner, Hull) estão a par desses desdobramentos, e empenham-se no desenvolvimento de uma filosofia da classificação biológica, em colaboração com aqueles biologistas que mais contribuíram com o seu pensamento sobre a relação entre a teoria evolucionista e a classificação, como Simpson, Mayr e Bock. [10]

Facilidade de recuperação de informações

As conclusões sobre parentesco a que chega o taxionomista evolutivo, representadas por um filograma, atribuem peso igual ao exato posicionamento dos pontos de ramificação e ao grau de divergência (isto é, o número de autapomorfias) de cada linhagem filética. É esse o filograma usado pelos evolucionistas, como base das suas generalizações.

Uma classificação, contudo, tem uma segunda função: servir como chave da informação armazenada num sistema. E para que a classificação possa servir como um sistema maximamente útil para recuperar informações, diversos aspectos de uma classificação devem ser levados em conta, ao se traduzir um filograma numa classificação, aspectos esses conhecidos pelos termos “nível”, “tamanho dos *taxa*”, “simetria” e “sequência”. Algumas arbitrariedades acompanham a determinação de cada um desses aspectos, e por isso elas serão presumivelmente objeto de controvérsia para sempre.

Nível{‡‡‡‡‡‡}

Na hierarquia de Lineu, o nível é indicado pela categoria em que um determinado táxon é situado. A determinação do nível representa um dos aspectos decisórios mais difíceis e arbitrários da classificação. Para o cladista, o nível é dado automaticamente pelo mais próximo ponto de ramificação da árvore filogenética, e assim *taxa* irmãos devem possuir nível igual. Em contraste, o taxionomista evolutivo deve decidir sobre o número e o peso dos caracteres autapomórficos que venham a justificar uma diferença de nível entre dois grupos irmãos; tal decisão se toma

particularmente difícil quando entra em conflito a evidência de tipos diferentes de caracteres. Um taxionomista molecular, por exemplo, poderia colocar o *Pan* (chimpanzé) e o *Homo* na mesma família, devido à semelhança das suas macromoléculas, enquanto Julian Huxley optou por promover o homem no nível de um reino separado (Psicozoários), devido às características únicas do mesmo relativas ao seu sistema nervoso central e às suas faculdades. Não existem regras determinadas para resolver tais conflitos, exceto dizer-se que se busca acima de tudo o equilíbrio do sistema, e se adota um nível de ordenação que permita as generalizações mais úteis.

Tamanho

Maior ainda é o desacordo entre os taxionomistas em relação ao tamanho ótimo dos *taxa*. Algumas autores consideram que mesmo diferenças pequenas, relativamente, justificam o reconhecimento de novos gêneros, famílias e *taxa* superiores. Eles são chamados *splitters* ("rachadores")[{§§§§§§}], no jargão taxionômico. A maior parte dos taxionomistas prefere *taxa* mais vastos e mais compreensivos, como sendo mais aptos a exprimir o parentesco, e reduzindo a carga da memória. Eles são chamados *lumpers* ("agregadores"). O conflito entre *lumpers* e *splitters* tem estado entre nós desde os dias de Lineu, que era pessoalmente um *lumper*. Ele chegou ao ponto de confrontar a diversidade orgânica, empregando, além do reino, apenas quatro níveis na escala das categorias (espécie, gênero, ordem e filo). Hoje em dia, mesmo taxionomistas relativamente conservadores reconhecem 21 níveis de categorias (Simpson, 1945). Onde Lineu reconhecia apenas 312 gêneros, para todos os animais, o zoologista moderno conhece mais que cem mil, incluindo 2.045 só para os pássaros. Como regra geral, pode-se dizer que a maioria dos grupos taxionomistas passa por uma fase bastante intensa de fracionamentos, quando estudados mais ativamente, mas que tal fase fica revertida, quando o conhecimento do grupo alcança maior maturidade. Há vasto consenso em que a função de uma classificação, como índice para um sistema de recuperação de informação, impõe certos constrangimentos em relação ao tamanho dos *taxa* e ao número dos níveis na hierarquia.

Os feneticistas são os únicos taxionomistas recentes que fizeram um sério esforço para introduzir alguma uniformidade e ausência de arbítrio, na ordenação dos *taxa*. Utilizando várias medidas de distância, seja com base nos caracteres morfológicos (Sokal e Senath, 1973), seja na distância genética (Nei, 1975), eles propuseram graus absolutos de diferenças, que qualificam (ou não) um grupo de espécies para a separação de gêneros. Quando a medida da distância se apóia numa base suficientemente larga (como a comparação do DNA, ou os isozimas de trinta ou quarenta, de preferência muito mais, *locus* de genes), ela pode refletir bastante bem a extensão da divergência evolutiva dos vários grupos de espécies. Há indícios de que os padrões para o reconhecimento de gêneros, baseados no grau de diferença molecular, devem ser diferentes em diferentes *taxa* superiores, quando os graus da divergência morfológica se revelam em forte conflito com a divergência molecular. Espécies de rãs e de sapos, morfologicamente muito semelhantes, podem apresentar uma notável divergência molecular, enquanto em grupos como pássaros e mamíferos, diferenças morfológicas pronunciadas e tipos de coloração podem deixar de refletir qualquer divergência molecular de monta. Se fosse adotado um parâmetro molecular uniforme, muitos gêneros de vertebrados de sangue quente, há muito reconhecidos, deveriam ser sinonimizados, enquanto entre os anuros e os gastrópodes dever-se-iam introduzir nos gêneros, em grupos de espécies

morfologicamente muito semelhantes. É duvidoso que isso seria desejável, tendo em conta a função das classificações.

Simetria

O problema da simetria é um problema criado pela evolução, não pelos taxionomistas. Existiria uma simetria ideal se todos os *taxa,* em cada nível de categoria, fossem de igual tamanho. Para os quinarianos, o número ideal era o cinco. A idéia de que todos os *taxa* deviam ter aproximadamente o mesmo número de espécies surgiu pela primeira vez ao tempo em que a teologia natural ainda dominava o pensamento dos naturalistas. O problema foi tratado, primeiramente, por A. von Humboldt, mais tarde por von Buch, e, em 1835, por um entomologista anônimo *(Ent. Mag.* 2: 44-54, 280-286), cujo artigo chamou a atenção de Darwin. A existência de *taxa* de tamanhos altamente desiguais parecia excessivamente caprichosa para ser digna dos planos do criador. Infelizmente, a evolução (juntamente com a extinção) é, na realidade, tão caprichosa. Há ordens inteiras de animais com apenas uma única espécie, e, por outro lado, inúmeros gêneros, particularmente entre os insetos, com mais de mil espécies. Hoje é evidente que as taxas de especiação, bem como as de sobrevivência, são altamente desiguais, nas diferentes áreas do sistema natural.

Sequência

Talvez o mais espinhoso problema da classificação seja o da conversão da árvore filogenética numa sequência linear. Enquanto se pensava que havia apenas uma única escala da perfeição, a tarefa, em princípio, era simples. Como Lamarck o exprimiu, parte-se dos organismos menos perfeitos, e termina-se com os mais perfeitos. Quando Cuvier destruiu a *scala naturae*, encontrou um novo critério de sequência na subordinação dos caracteres. Rejeitou qualquer continuidade entre os quatro filos animais, por ele reconhecidos; mas nem por isso a sua ordenação, de acordo com o desenvolvimento do sistema nervoso central, deixou de ditar claramente uma sequência. A idéia básica da escala da perfeição, dessa forma, ainda era mantida. A aceitação da evolução teve, curiosamente, pouca influência sobre a teoria da sequência na taxionomia. A linguagem da *scala naturae* recebeu simplesmente uma nova roupagem, evolucionista. Os organismos "mais perfeitos" passaram a ser os "mais altamente evoluídos", ou simplesmente os organismos "superiores". Virtualmente, todas as classificações de animais e de plantas baseiam-se no princípio, explícito ou implícito, de que os organismos mais primitivos, ou inferiores, são postos em primeiro lugar, e os superiores mais tarde. A seu tempo, todavia, começou uma inquietante e acalorada discussão em tomo do sentido da palavra "superior". Por que um peixe deveria ser superior a uma abelha melífera? Por que os mamíferos eram superiores às aves? É um parasito superior ou inferior à forma livre de que derivou?

Quando amadureceram os estudos do parentesco dos animais e das plantas, ficou cada vez mais claro que nem a escala da perfeição, nem mesmo a simples árvore filogenética descrevem corretamente a diversidade orgânica. Em vez disso, a maioria dos grupos de organismos é melhor configurada como toiças filogenéticas altamente complexas, com numerosos ramos equivalentes, cada um deles começando com ancestrais bem simples e primitivos, e terminando com descendentes bem complexos e especializados. O fato da irradiação adaptativa toma impossível o estabelecimento

de uma teoria verdadeiramente lógica de sequência taxionômica. Em vastas áreas do sistema natural, é impossível demonstrar que uma sequência taxionômica particular seja superior a outras alternativas. Como resultado disso, houve uma tendência crescente para a adoção de critérios puramente práticos, que pudessem ajudar no resgate de informações (Mayr, 1969). [11] O princípio mais importante consiste em manter qualquer sequência amplamente aceita, a menos que seja claramente demonstrado que ela aglomerou *taxa* sem relacionamento algum. As constantes discussões na literatura taxionômica, relativas à "melhor" sequência das ordens dos angiospermas, ou das famílias dos pássaros Ganoros, mostram que mesmo embaraços tão mínimos não conseguem eliminar a falta de consenso; e contudo, uma sequência linear é uma necessidade prática. Os espécimes das coleções são ordenados em sequência linear, e assim fazem também as publicações, em todas as revisões, catálogos e revistas.

Estado atual e o futuro da sistemática

Considerando o fato de que a taxionomia é o ramo mais antigo da biologia, é notável que ainda hoje seja vigorosamente atual. Ela se manifesta na fundação de novos periódicos, explicitamente dedicados à taxionomia (*Taxon, Systematic Zoology, Systematic Botany,* e outros), em toda uma série de publicações de peso, em numerosos simpósios internacionais, e numa bibliografia anual sempre crescente. Há atividades em muitas frentes, não apenas na metodologia da taxionomia. A mera descrição de novas espécies é um negócio interminável. O que é mais surpreendente é o número de novos tipos maiores, descobertos, ou pelo menos identificados, nas décadas recentes. Por exemplo, o novo filo Pogonóforos foi descrito apenas em 1937, e os Gnatosomúlidas ainda mais recentemente (1956). O único celacanto sobrevivente, *Latimeria,* foi descoberto em 1938, o molusco primitivo *Neopilina,* em 1956, o antigo grupo de crustáceos Cefalocáridas, em 1955. Quase tudo o que sabemos sobre a rica fauna intersticial das areias e Iodos marinhos foi descoberto nos últimos cinquenta anos. Que o *Trichoplax* fosse o mais primitivo dos metazoários foi revelado apenas nos anos 1970.

Talvez a mais espantosa descoberta seja representada pelos fósseis pré-cambrianos, descritos por Barghoom, Cloud e Schopf. Eles fizeram retroceder a história da vida de 650 milhões de anos para cerca de 3,5 bilhões de anos atrás. Mas às vezes também se fazem descobertas simplesmente por meio de um estudo mais cuidadoso dos fósseis existentes, como foi revelado pela recente descrição dos Agmatas, um filo extinto de invertebrados do primeiro Cambriano.

Indicativos do vigor da recente pesquisa taxionômica são os melhoramentos na classificação dos *taxa* superiores, em todos os grupos de organismos, desde as bactérias, fungos e protozoários, até os vertebrados, inclusive os primatas. A velha controvérsia sobre se é o pólipo ou a medusa a forma ancestral dos delenterados foi esclarecida por muitas pesquisas recentes, resultando que o pólipo angariou mais defensores que a medusa. Os Scifozoários parecem possuir mais caracteres ancestrais que qualquer outra classe de celenterados, e a classe dos Cubozoários, recentemente reconhecida (Wemer, 1975), enquadra-os perfeitamente nos Hidrozoários. No tocante às plantas, os trabalhos de Thome, Carlquist, Cronquist, Stebbins e Takhtajan conduziram a uma completa reclassificação dos angiospermas. Mas, de qualquer maneira, o número de *taxa* superiores de parentesco desconhecido, ou pelo menos incerto, ainda é muito grande, e podem-se esperar maiores

progressos nas próximas duas ou três décadas do que houve nas passadas.

Nos tempos de Lineu, e até mais remotamente ainda (Aristóteles e Theofrasto), dois reinos de organismos eram reconhecidos, Plantae e Animalia. Os fungos e as bactérias eram chamados de plantas. Quanto mais avançava, nos tempos recentes, o estudo dos organismos unicelulares e dos micróbios, tanto mais se reconhecia o artificialismo daquela classificação. Antes de mais nada, foi evidenciado que as algas azuis (melhor chamadas cianobactérias) e as bactérias diferem radicalmente de todos os outros organismos, e foram por isso colocadas à parte, como procariotos (Stanier e van Niel, 1942). Elas são desprovidas de um núcleo celular organizado e de cromossomos complexos, e diferem dos organismos restantes (eucariotos) na maioria das suas macromoléculas. Há grandes diversidades (de metabolismo e outras) entre as bactérias, mas mesmo os grupos mais divergentes (e aparentemente mais primitivos), como as Metanobactérias, têm tantas características em comum com as outras bactérias que com elas se combinam muito bem, no reino Monera.

Também os fungos são hoje, em geral, segregados, como um reino separado das plantas, das quais diferem não apenas pelo metabolismo (não há fotossíntese), mas também na estrutura celular (sempre haplóides), e em outros aspectos. Reconhecer ou não outro reino ainda (Protista), para os animais e plantas unicelulares, como defendido por alguns autores, é uma questão de gosto. Desde que a literatura sobre protozoários e algas unicelulares é bem separada da dos metazoários e metáfitos, tal separação pode favorecer a coleta de informações. Estas questões da melhor estruturação das classificações de todos os organismos foram discutidas por Margulis (1981).

Entre as muitas razões para os constantes avanços na classificação dos organismos, os melhoramentos da metodologia são a mais importante. Sabe-se hoje que a classificação não é um procedimento de único passo, e que por isso métodos simplistas raramente conduziram a resultados satisfatórios. Classificar envolve toda uma série de passos (Mayr, 1981), e, a cada novo passo, impõem-se procedimentos diferentes, sobremodo proveitosos. Por exemplo, os métodos fenéticos são muito úteis na primeira delimitação tentativa dos *taxa,* e mais uma vez no ordenamento dos *taxa,* com base nos graus da diferença patrística e cladista. Os métodos cladísticos são mais úteis no teste dos modos inferidos da ramificação (análise cladística).

Sobre a questão – em que medida os métodos numéricos são úteis, ou mesmo superiores ao computador humano-, ainda não há consenso. Muitos caracteres morfológicos estão de tal maneira intrincados com convergências, polifilia e evolução mosaica, que seriam muito vulneráveis como material básico de uma análise numérica. A convergência e a polifilia ocorrem também na evolução das macromoléculas, e presumivelmente na do DNA, mas há indícios de que certas mudanças nas macromoléculas impõem tão grandes embargos na subsequente evolução das mesmas, a ponto de sugerir que as semelhanças moleculares, quando se avaliam simultaneamente números bastantes grandes de moléculas, são mais confiáveis do que uma análise morfofenética indiscriminada, como originalmente proposta pela fenética numeral.

O estudo da diversidade

Os termos “taxionomia” e “sistemática” foram geralmente considerados sinônimos, durante a primeira metade deste século. Se fosse perguntado ao taxionomista quais eram as tarefas da sistemática, ele teria respondido: “Descrever a diversidade da natureza (significando: descrever as

espécies que compõem a diversidade) e classificá-la". E, contudo, já nos remotos dias de Leeuwenhoeck e Swammerdam, no século XVII, era evidente que o estudo da diversidade orgânica compreendia mais do que a descrição e a classificação das espécies. Já naquela época (a bem da verdade, já no tempo de Aristóteles), estava claro que o estudo da diversidade não se exauria com essas preocupações elementares do taxionomista. Desde os seus primórdios, o estudo da diversidade incluía a análise dos estágios do ciclo vital e do dimorfismo sexual. Ao se estudarem os animais vivos na natureza, descobriu-se também que apareciam espécies diferentes em *habitat*s diversos, que preferiam alimentos diferentes, e que tinham comportamentos diferentes. Mas foi apenas na metade deste século que se despertou plenamente para a importância do estudo da diversidade, na esteira da nova sistemática e da síntese evolucionista. Ficou então evidente que a definição tradicional da função da sistemática era extremamente limitada, e não refletia a verdadeira situação.

Em consequência disso, Simpson (1961) fez uma clara distinção terminológica entre taxionomia e sistemática. Ele conservou o termo "taxionomia", no seu sentido tradicional, mas conferiu à "sistemática" um objeto muito mais amplo, diferindo-a como "o estudo científico dos tipos de organismos e de sua diversidade, bem como de todo e qualquer parentesco entre eles". A sistemática, por essa forma, ficou concebida como a ciência da diversidade, e esse conceito novo e ampliado da mesma foi vastamente adotado. A nova definição levantou de pronto a questão sobre quais funções deveriam integrar esta ciência da diversidade, no seu conceito amplificado, e que papel lhe caberia na biologia contemporânea.

A taxionomia, na sua definição mais estreita, permanece a espinha dorsal e o fundamento de toda a ciência da sistemática. Fazer o inventário completo das espécies existentes de animais e de plantas, e ordená-las em uma classificação, parece ser uma tarefa sem fim. Um especialista na taxionomia de traças (Acarinos), nematódeos, aranhas, ou de algum grupo esquecido de insetos, ou de invertebrados marinhos, ainda pode consumir produtivamente a sua vida inteira, não fazendo outra coisa que descrever novas espécies e inscrevê-las no gênero apropriado. A diversidade da natureza orgânica parece ser virtualmente ilimitada. Nos dias de hoje, são descritas anualmente cerca de dez mil novas espécies, e mesmo que admitíssemos uma estimativa por baixo das espécies não-descritas, levar-se-iam outros duzentos anos para completar a tarefa de simplesmente descrever e denominar todas as espécies.

Um aspecto curioso da taxionomia é a grande autonomia que alcançam os seus diversos ramos. Dependendo do grau de maturidade do conhecimento de um grupo, os métodos e os conceitos aplicados em cada grupo apresentam diferentes graus de sofisticação. Ainda assim, nas várias áreas especializadas da taxionomia contemporânea, deparamo-nos com os diversos estágios das contendas conceituais dos taxionomistas, desde Lineu e Cuvier até a nova sistemática. Ainda hoje, por exemplo, há alguns autores para os quais a palavra "classificação" significa simplesmente um sistema de identificação. *Taxa* de espécies politípicas são universalmente aceitos na ornitologia, mas são inauditos em muitas outras áreas da taxionomia animal. A independência dos vários grupos é bem ilustrada pelo fato de que zoologistas, botânicos, e bacteriologistas, todos têm os seus próprios e diversos códigos de nomenclatura.

A diversidade é um dos dois grandes aspectos da natureza orgânica; os processos da vida são o outro. Todavia, essa importância do estudo da diversidade nem sempre foi reconhecida. Consequentemente, a sistemática teve os seus altos e baixos na história da biologia. No tempo de Lineu, ela virtualmente monopolizava a área, e recebeu novo impulso durante o período pós-

darwiniano da construção da filogenia (por parte de Haeckel e seus seguidores). Mas, em parte, como reação aos excessos do período anterior, seguiu-se um período de olvido, quando não de supressão, do estudo da diversidade. Ao percorrermos os escritos de Max Hartmann (biologia geral), Hans Driesch, T. H. Morgan, Jacques Loeb, e outros biólogos experimentais, nunca poderíamos adivinhar que o estudo da diversidade também foi um campo importante e florescente da biologia. Parte dessa negligência foi merecida, uma vez que o trabalho daqueles que estudavam a diversidade, nesse período, era em geral excessivamente descritivo (como na sinecologia e em grande parte da taxionomia), ou unilateralmente concentrado em problemas fllogenéticos (anatomia comparativa, a etologia de Heinroth e Whitman). Quando os estudiosos da diversidade se interessavam verdadeiramente por problemas mais gerais, o seu objetivo último muitas vezes parecia ser a reconstituição do ancestral comum.

Hoje em dia, ainda não dispomos de uma análise histórica aproveitável que pudesse mostrar-nos como e quando tal situação se alterou. É evidente, em todo o caso, que por volta de 1920, 1930 e 1940 entravam em cena novos desdobramentos. Há muitas indicações no sentido de que a sistemática de populações era a cunha que se introduzia. Na Rússia, ela conduziu à origem da genética de populações, na obra de Chetverikov (1926; veja Adams, 1972; Mayr e Provine, 1980). A sistemática de populações culminou na nova sistemática (Rensch, Huxley, Mayr), que por sua vez contribuiu decisivamente para a síntese evolucionista (Mayr, 1963). A difusão do pensamento evolucionista, e, mais particularmente, do pensamento de população, conduziu a uma nova conceitualização na paleontologia (Simpson, 1944; 1953), na morfologia evolutiva (Davis, 1960; Bock, 1959), na ecologia (Lack, MacArthur) e na etologia (Lorenz, Tinbergen). As questões relativas à diversidade, bem como uma aproximação comparada, baseada na diversidade, desempenharam um papel predominante em todos esses desenvolvimentos.

A nova ênfase na diversidade afetou drasticamente o clima conceitual de ramos inteiros da biologia. Durante décadas, por exemplo, a evolução era descrita como sendo a mudança nas frequências de genes nas populações. Essa definição reducionista limitou a biologia evolutiva à modificação das espécies existentes, vale dizer, à componente de adaptação da evolução. A origem da diversidade era negligenciada, como se não fora parte da evolução. A mesma postura era assumida nos escritos de muitos paleontologistas, até os anos 1950 e 1960. Simpson (1944; 1953) e outros paleontólogos contemporâneos cingiram-se quase por completo ao tratamento da componente vertical da evolução, e omitiram os problemas da *origem* da diversidade, mesmo na discussão da irradiação adaptativa. Somente em 1972 (Eldredge e Gould) a origem da diversidade recebeu uma atenção adequada, por parte dos paleontólogos. Na morfologia evolucionista, o estudo da diversidade, igualmente, conduziu a novos conceitos. O interesse ingênuo pelo ancestral comum (pelo estudo das similaridades homólogas) é agora substituído por um interesse pela origem das diferenças entre os descendentes, isto é, pelo interesse na diversidade. Parece que o mesmo está acontecendo na etologia, embora ali o desenvolvimento esteja ainda apenas começando.

Considerando a vasta influência que uma atitude moderna em relação à diversidade exerceu sobre toda a biologia dos organismos, valeria a pena estudar mais detalhadamente as contribuições específicas provenientes da sistemática. Isso também é necessário para refutar a impressão amplamente difundida dos profanos, no sentido de que a sistemática nada mais é que uma espécie de coleção de selos mais evoluída. Houve uma tendência de creditar algumas das mais importantes contribuições da sistemática a algumas áreas vizinhas, tais como a genética de populações, a

ecologia, ou a etologia, mesmo quando os avanços foram de fato realizados pelos praticantes da taxionomia, e tomados possíveis unicamente pela experiência que eles adquiriram na qualidade de taxionomistas. E correto limitar as etiquetas "taxionomia" ou "sistemática" a operações puramente clericais e descritivas, e dar nome diferente a descobertas e conceitos mais amplos que emergem de procedimentos descritivos mais elementares.

É preciso lembrar que, no começo (séculos XVII e XVIII), a sistemática e a história natural eram em grande parte um só campo. Muitos ramos da biologia dos organismos, atualmente reconhecidos, desenvolveram-se a partir da sistemática. Parte considerável da ecologia trata das interações de espécies diferentes, sejam elas a competição, a simbiose, ou relações predador-presa. A natureza dessas interações não pode ser entendida, a menos que se estudem bem de perto as espécies integrantes. Quase todo o trabalho da escola de MacArthur sobre ecologia trata da diversidade, e o mesmo faz também o estudo dos ecossistemas. Desde que o comportamento animal, em grande medida, é específico da espécie, e desde que maior parte da evolução do comportamento provém da comportação das diversas espécies, mais uma vez se evidencia como o estudo da diversidade está intimamente integrado com esse ramo da biologia. Há muitos ramos da biologia que dependem inteiramente da sistemática. Neles se incluem a biogeografia, a citogenética, a oceanografia biológica e a estratigrafia. Não preciso insistir, mais uma vez, na indispensabilidade da sistemática para as ciências aplicadas, como saúde pública, agricultura e conservação.

Por importante que seja a sistemática para a fundamentação dos mencionados ramos da biologia de organismos, talvez mais importante ainda ela seja pela sua contribuição no alargamento conceitual da biologia moderna. A maior teoria unificadora na biologia – a teoria da evolução – foi em ampla medida uma contribuição trazida pela sistemática. Não é mera coincidência que Darwin tenha escrito o seu *Origin of Species* depois de defrontar-se com problemas taxionômicos, durante a viagem do *Beagle,* e depois de oito anos de trabalho concentrado na taxionomia das cracas (ou lapas). Os taxionomistas também forneceram a maior parte das indicações para a solução de muitos problemas evolutivos individuais, tais como, o papel do isolamento, os mecanismos da especiação, a natureza dos mecanismos de isolamento, taxas da evolução, tendências da evolução, bem como o problema da emergência de novidades evolutivas. Os taxionomistas (paleotaxionomistas inclusive), mais do que qualquer outro profissional da biologia, deram contribuições significativas para todos esses assuntos.

Os taxionomistas foram participantes ativos na síntese evolucionista (Mayr e Provine, 1980). A maioria dos autores que integraram com maior sucesso a genética nos maiores problemas da evolução, como Cheteverikov, Rensch, Dobzhansky, Mayr e Simpson, era taxionomista de formação.

A fisiologia ambiental muito deve à sistemática. Zoólogos sistematizadores, como C. L. Gloger, J. A. Allen e Bemhardt Rensch, contribuíram de modo relevante para a descoberta da variação geográfica adaptacional, bem como para o estabelecimento de regras climáticas. Foram os zoologistas de competência taxionômica que demonstraram a base genética das diferenças de adaptação entre as castas geográficas.

Porventura a maior contribuição oferecida pelo estudo da diversidade foi de que ela ajudou a desenvolver uma nova aproximação para a filosofia. Foi o estudo da diversidade, mais do que qualquer outra coisa, que solapou o essencialismo, a mais insidiosa de todas as filosofias. Enfatizando que cada indivíduo é único e diferente de qualquer outro, os estudiosos da diversidade concentraram sua atenção no papel do indivíduo; isso, por sua vez, conduziu ao pensamento de populações, um tipo de pensamento que é de extrema importância na interação de subgrupos

humanos, sociedades humanas e raças humanas. Mostrando que cada espécie é única, e por isso insubstituível, o estudioso da diversidade nos tem ensinado a reverência em face de cada novo produto da evolução, uma das componentes mais importantes do conceito de conservação. Acentuando a importância do indivíduo, desenvolvendo e aplicando o pensamento de população, e por induzir-nos à reverência pela diversidade da natureza, a sistemática ofereceu-nos uma dimensão para a conceituação do homem, a qual foi largamente ignorada, para não dizer negada, pelas ciências físicas; e é todavia um componente crucial para o bem – estar da sociedade humana, e para o planejamento futuro da humanidade.

6. MICROTAXIONOMIA, A CIÊNCIA DAS ESPÉCIES

As entidades que o taxionomista reúne em gêneros e em *taxa* ainda mais elevados são as espécies. Elas são as formas básicas dos seres vivos que constituem a diversidade da natureza. Elas representam o nível mais baixo da descontinuidade genuína, acima do nível dos indivíduos. O pardal cantor e o pardal cinza são espécies diferentes, o mesmo se aplicando ao carvalho-vermelho e ao carvalho-alfinete. A entidade designada pelo termo "espécie" parecia, à primeira vista, óbvia, simples, e facilmente definível. Mas tal não é o caso. Provavelmente não há nenhum outro conceito na biologia que tenha permanecido tão solidamente controverso como o conceito de espécie. [1] Poder-se-ia pensar que o acalorado debate do período pós-darwiniano tivesse produzido clareza e unanimidade, ou que, pelo menos, a nova sistemática dos anos 1930 e 1940 houvesse trazido um esclarecimento final, mas isso não ocorreu. Mesmo hoje em dia, diversos estudos sobre o problema das espécies se publicam a cada ano, e eles revelam quase tantas diferenças de opinião como havia cem anos atrás. O avanço verificado consiste em que a natureza do desacordo é formulada com muito maior clareza do que nos períodos anteriores. O que é particularmente interessante, para o estudioso das idéias, é que a história do problema das espécies é, em larga escala, muito independente da história do problema da classificação. O ramo da sistemática que trata do problema das espécies pode ser designado microtaxionomia, e a sua história será o objeto do presente capítulo.

Quando se fala de espécies, tem-se de ordinário em mente espécies de plantas e de animais. De fato, o termo muitas vezes é aplicado a toda sorte de objetos, no sentido de "tipos de". O químico fala de espécies de moléculas, e o mineralogista de espécies de minerais (Niggli, 1949; Hooykaas, 1952). Todavia, o conceito de espécie, na química e na mineralogia, é fundamentalmente diferente do da sistemática biológica contemporânea. Na minerologia, o nome de uma espécie é, no seu todo, o nome de uma classe, definida em termos de um conjunto de propriedades, essencial para pertencer à classe. As espécies de objetos inanimados, portanto, correspondem mais ou menos à espécie lineana, ou pré-lineana, mas de forma alguma à moderna espécie biológica.

Porém, mesmo se limitarmos a nossa atenção às espécies de organismos, encontraremos uma grande diversidade de pontos de vista, em parte porque a categoria espécie cumpre diferentes funções nos diversos ramos da biologia. Para o taxionomista profissional, o táxon espécie é o "tipo" elementar que necessita ser identificado e classificado; para o biologista de laboratório, ele é o organismo que possui caracteres definidos e específicos de espécie, em relação a atributos fisiológicos, bioquímicos ou comportamentais; para o evolucionista, ele é a unidade de evolução (Monod, 1974b), e para o paleontólogo, a seção de uma linhagem filética. Quanto aos diversos especialistas, na melhor das hipóteses, enfatizam aspectos diferentes; na pior delas, chegam a conclusões amplamente divergentes. O resultado é uma prolongada controvérsia.

Ao que parece, uma das mais elementares premências do homem é o desejo de conhecer o que são afinal os diferentes tipos de coisas de que se compõe o seu entorno. Mesmo os povos primitivos têm nomes para tipos de pássaros, peixes, flores ou árvores, e as espécies por eles reconhecidas são em geral exatamente as mesmas reconhecidas pelo taxiomista moderno (Gould, 1979). Tal denominação de tipos é possível porque a diversidade da natureza não é contínua, mas consiste em

entidades discretas, separadas umas das outras por descontinuidades. Encontram-se na natureza não apenas indivíduos, mas também "espécies", isto é, grupos de indivíduos que compartilham certas características entre si.

O conceito de espécie é necessário, porque o termo "tipo de" não é suficientemente preciso. O problema da delimitação dos *taxa* de espécies, contra grupos de níveis categorias superiores e inferiores, é um problema de demarcação. A discriminação de espécies biológicas verdadeiras, dentro dos gêneros, é assim um problema de demarcações, em relação a agrupamentos mais abrangentes. Contudo, cada espécie biológica contém muitos fenos, [2] que são amiúde tão diferentes entre si que foram primeiramente descritos como espécies diferentes. Se o termo espécie for equivalente a "tipo diferente", não há critério discriminativo que permita uma atribuição inequívoca de "tipos" diferentes às três categorias: fenos, espécie verdadeira e gênero. Cabe ao conceito de espécie servir de baliza para a adequada classificação dos "tipos".

Isso levanta desde logo um problema. Quais são as características que permitem assinalar indivíduos em espécies? Essa questão pode ser facilmente respondida quando a diferença entre duas espécies é tão bem definida como entre o leão e o tigre. Em muitos outros casos, a variação entre os indivíduos de uma mesma espécie apresenta-se, à primeira vista, como sendo da mesma ordem de grandeza como entre as próprias espécies. E isso se deve à existência efetiva de variações profundas no seio das espécies de animais e plantas, refletidas no dimorfismo sexual, na existência de estágios diferentes no ciclo vital (como lagarta e borboleta), na alternância de gerações, e em muitas outras formas de variações individuais. Isso põe grandes dificuldades à delimitação das espécies. Se quisermos resolver tais problemas, é necessário possuir não apenas uma informação biológica suficiente, mas também um conceito claro sobre o que se entende pelo termo "espécie".

Táxon de espécie e categoria de espécie

Um olhar retrospectivo evidencia a grande confusão causada pela aplicação do termo "espécie" a duas categorias lógicas fundamentalmente diferentes, ambas denominadas espécies. A introdução do novo termo *táxon*[3] permite agora uma distinção clara entre os dois conceitos. Um táxon é um objeto biológico ou botânico concreto. Grupos de indivíduos, como lobos, pássaros azuis, moscas comuns, são *taxa* de espécies (veja Capítulo 4).

Quando um taxionomista se defronta pela primeira vez com espécimens, ou indivíduos, na natureza, que deseja consignar numa espécie, ele esta lidando com um problema estritamente zoológico ou botânico. São os indivíduos de determinada circunscrição membros de uma mesma população? Ele se ocupa não de um problema de nível, como no caso de uma categoria de espécie, mas de um problema de delimitação. Ele trata de um dado objeto zoológico, digamos de gansos da neve *(Anser caerulescens*), e procura determinar se pássaros brancos e azuis são o produto do mesmo grupo de gens. Mas ele trata, outrossim, como um problema ontológico. São os animais, pertencentes a uma espécie, membros de uma classe ou não? Ghiselin (1974b) chegou a concluir enfaticamente a favor da interpretação (veja também Dobzhansky, 1951) que considera todos os produtos do grupo de genes de uma espécies *partes* de espécies (não como membros de uma classe!), e que encara o conjunto da espécie como um indivíduo, ontologicamente falando. Que os *taxa* de espécie não são classes, mas têm um *status* diferente, isso já foi afirmado há alguma tempo pelos zoologistas mais lúcidos. Os *taxa* de espécie são indivíduos, no sentido de que cada espécie possui

uma unidade espaço-temporal e uma continuidade histórica (Hull, 1976; 1978). Cada espécie tem delimitação bastante bem determinada, coerência interna em qualquer dado momento, e, com algumas restrições, continuidade ao longo do tempo. Qualquer agregado de populações que satisfaça à definição de categoria de espécie é específico.

Os problemas práticos relativos ao táxon de espécie são de duas ordens: (1) a inscrição das variantes individuais ("fenos"; veja Mayr, 1969) no táxon específico apropriado, e (2) a delimitação dos *taxa* entre si, particularmente a decisão sobre quais populações de um agregado variável particular de populações, no tempo e no espaço, devam ser incluídas numa única espécie.

O *táxon de espécie* deve ser nitidamente distinguido da *categoria de espécie.* A categoria de espécie é a classe cujos membros são os *taxa* específicos. A definição particular da categoria de espécie, que venha a ser adotada por um autor, determina os *taxa* a serem por ele indicados como espécies. O problema da categoria de espécie é simplesmente um problema de definição. Como vamos definir o termo "espécie"? As mudanças nas definições configuram a história do conceito de espécie.

A determinação do *status* de espécie é, por isso, um procedimento de dois tempos. O primeiro consiste na delimitação do táxon específico presuntivo, no confronto com outros, e o segundo é a localização do táxon dado na categoria apropriada, por exemplo, "população", "subespécie", ou "espécie". Esse reconhecimento claro da diferença fundamental entre o táxon específico e a categoria específica é um avanço ocorrido nas últimas décadas, e eliminou finalmente a maior fonte de confusões, pelo menos em princípio. Muitas controvérsias, supostamente em tomo de conceito de espécie, de fato diziam respeito ao reconhecimento dos. roxa específicos e à inscrição de variantes individuais (ou outros fenos) nos *taxa* de espécie. Espécies politípicas, por exemplo, não são uma categoria separada de espécie, mas apenas um tipo especial de *taxa* de espécie. A maioria dos taxionomistas, inclusive eu próprio, andava confusa sobre essa questão, até bem poucos anos atrás.

Os primitivos conceitos de espécie

Os antigos não reconheciam a integridade biológica de cada espécie. Aristóteles, por exemplo, admitia a ocorrência frequente da hibridação entre as espécies, como entre raposas e cães, ou entre cães e tigres. Tanto Aristóteles como Theofrasto aceitavam a crença folclórica de que as sementes de uma espécie de planta podiam germinar em plantas de outra espécie (heterogonia). Muitos herbalistas e botânicos primitivos também admitiam isso como verdadeiro, ou pelo menos não fizeram nenhum esforço para refutá-lo. [4] Alberto Magno descreveu cinco maneiras de transformação de uma planta em outra.

Em vista de tais inseguranças com respeito à natureza das espécies, não causa surpresa a ausência de uma terminologia consistente. De acordo com os nossos dicionários, a palavra grega para espécie é *eidos,* e *genos* para gêneros, embora Platão tenha intercambiado completamente as duas palavras. Ele nunca usou *eidos* no sentido de "espécie", subordinada à categoria "gênero". Aristóteles fez uma distinção entre as duas palavras, mas só a partir dos seus tratados de lógica. Em seus escritos biológicos, a palavra *genos* vem empregada 413 vezes, mas em 354 desses casos ele se refere a um tipo de animal, e somente nos casos restantes a uma categoria de gênero. Nas 96 vezes em que é usado *eidos,* só 24 deles denotam tipos de animais. Dessa forma, o termo *eidos* só é usado

em 6% dos 378 casos em que se faz referência a um tipo de animal, em todos os demais é usado o termo *genos*. "A idéia tradicional de que Aristóteles de fato classificou os animais em gêneros e espécies … não é sustentada pela evidência" (Balme, 1962).

O principal uso dos termos "gênero" e "espécie", na filosofia grega, foi nas discussões sobre a lógica. Na divisão lógica, o gênero era dividido em espécies, independentemente do nível do mesmo. *Canis* seria uma espécie no gênero dos carnívoros, mas o *poodle* seria uma espécie no gênero dos cães. Os termos "gênero" e "espécie" ordenavam a inclusão de membros em classes maiores. Essa prática, que enfatizava a relatividade dos níveis, teve continuidade, desde os antigos até os tempos de Lineu, o qual escreveu em uma das suas primeiras publicações: "*Vegetabilium species sunt: Lithophyta, Algae, Fungi*" …, e assim por diante {*Fundamenta,* 1735).

A adoção do cristianismo e a aceitação do dogma da criação notadamente pouco mudaram a situação, no começo. Santo Agostinho declarou que as plantas, no terceiro dia da criação, brotaram *causaliter,* quer dizer, que a terra então havia recebido o poder de produzi-las. Isso abriu o caminho para as idéias da geração espontânea, heterogenia, e toda sorte de outras mutações na posterior história da terra. Sua definição de espécie *("similia atque ad unam originem pertinentia* "O que se assemelha e pertence a uma única origem") prenuncia a de Ray.

A atitude era relação às espécies mudou drasticamente depois da Reforma. A fixidez e a constância total das espécies tomaram-se agora dogma firme. Uma interpretação literal do *Gênese* exigia a crença na criação individual de cada espécie de plantas e de animais, nos dias que precederam à criação de Adão. A espécie, dessa forma, era a unidade da criação. O rápido progresso da história natural, naquele período, favoreceu esse conceito. Muitos herbalistas, nos seus estudos sobre plantas selvagens, igualmente chegaram à idéia de que as espécies eram unidades bem definidas da natureza, e que eram constantes e nitidamente separadas umas das outras.

O conceito essencialista de espécie

A interpretação criacionista das espécies, por parte dos fundamentalistas cristãos, está em perfeito acordo com o conceito essencialista da espécie, segundo o qual cada uma delas se caracteriza por sua essência imutável (*eidos*) e se separa de todas as outras por uma marcante descontinuidade. O essencialismo sustenta que a diversidade da natureza, tanto inanimada como orgânica, é o reflexo de um número limitado de universais imutáveis (Hull, 1975). Tal conceito, em última instância, remonta ao conceito platônico de *eidos*, e é exatamente isso que autores posteriores tinham em mente quando falavam da essência, ou da "natureza", de algum objeto ou organismo. Todos os objetos que compartilham da mesma essência pertencem à mesma espécie.

A presença da mesma essência é inferida, em base, à semelhança. Por essa razão, as espécies eram simplesmente definidas como grupos de indivíduos *semelhantes,* e que são *diferentes* dos indivíduos que pertencem a outra espécie. As espécies, assim concebidas, representam diferentes "tipos" de organismos. Os indivíduos, segundo esse conceito, não guardam qualquer relação especial entre si; eles são meramente expressões do mesmo *eidos*. A variação é o resultado de manifestações imperfeitas do *eidos*.

O critério da similaridade funcionava razoavelmente bem na classificação de "espécies" de minerais e de outros objetos inanimados. A similaridade, todavia, se revela um critério bem pouco

confiável quando se trata de classificar organismos altamente variáveis. Como saber ao certo quando dois indivíduos compartilham da mesma essência? Isso pode ser admitido em relação àqueles que são muito semelhantes, àqueles que "participam dos mesmos caracteres". Mas o que fazer quando estamos diante de indivíduos que são tão diferentes como são os machos e as fêmeas entre animais sexualmente dimórficos, ou como o são larvas e adultos nos invertebrados, ou ainda como o são tantas outras variantes, nitidamente diversas, que muitas vezes se encontram no seio de uma espécie? O método da inferência a partir da similaridade ruiu completamente em todos os casos de acentuada variação sexual e etária, ou de qualquer tipo de polimorfismo. Forçoso tem sido perguntar se existia algum outro método pelo qual se pudesse determinar uma "igual essência"?

John Ray *(Hist. Plant.,* 1686; tr. E. Silk in Beddall, 1957) foi o primeiro a fornecer uma resposta biológica para essa pergunta:

> Quando se deseja começar um inventário das plantas, e estabelecer uma correta classificação das mesmas, deve-se tentar descobrir algum tipo de critério, para distinguir aquilo que se chama "espécie". Após longa e considerável pesquisa, não me ocorreu nenhum critério mais seguro, para a determinação da espécie, do que os aspectos distintos que se perpetuam na propagação a partir da semente. Dessa forma, sejam quais forem as variações que acontecem nos indivíduos ou nas espécies, se elas procedem da semente de uma e mesma planta, serão variações acidentais, que não caracterizam uma espécie … Assim também os animais que diferem especificamente guardam permanentemente a sua espécie distinta; uma espécie jamais nasce da semente de uma outra, e vice-versa.

Estava aí um esplêndido compromisso entre a experiência prática do naturalista, que pode observar na natureza o que pertence a uma espécie, e a definição essencialista, que postula uma essência comum subjacente. De maneira perfeitamente óbvia, toda a gama da amplitude da variação que qualquer par de genitores co-específicos possa produzir, por meio dos seus rebentos, está contida no potencial da essência de uma espécie singular. A importância da reprodução, nesse conceito de espécie, é que ela permite inferências no volume da viação, sempre compatíveis com a existência de uma única essência.

A definição de Ray foi entusiasticamente adotada por muitas gerações de naturalistas. Ela possuía a vantagem adicional de adaptar-se perfeitamente ao dogma criacionista. Era isso que Cuvier tinha em mente quando definia a espécie como *"individus descendants des parents communs"*. [5] Ele explicou isso numa carta a seu amigo Pfaff.

> Nós imaginamos que a espécie seja a inteira descendência do primeiro casal criado por Deus, mais ou menos como todos os homens se apresentam como filhos de Adão e Eva. Que meios temos hoje para redescobrir a trilha dessa genealogia? Com certeza, não é pela semelhança estrutural. Na realidade, permanece apenas a reprodução, e eu sustento que esse é o único caráter seguro e infalível para o reconhecimento das espécies (Coleman, 1964: 145).

De fato, nada mais era do que o critério de Ray, e mais tarde o próprio Cuvier admitia que, na prática, a semelhança era o critério primário para a delimitação dos *taxa* das espécies. Evidentemente, não há nenhuma ressonância evolucionista na definição cuvieriana da espécie.

Numerosas definições de espécie, desde Ray até o final do século XIX, mantinham, de um lado, a fixidez, a permanência e a descontinuidade sem trampolim das espécies, e, de outro, utilizavam critérios biológicos para conciliar a aparente contradição entre variações de monta e a existência de uma essência única. As palavras "descendência comum", tão frequentemente usadas pelos escritores daquele período, tinham meramente o sentido operacional de um relacionamento sanguíneo, muito mais do que qualquer crença na evolução. Quando um autor tão enfaticamente antievolucionista como von Baer (1828) define a espécie como sendo "a soma dos indivíduos unidos por descedência comum", é absolutamente evidente que ele não se refere à evolução. Nem Kant a ela se referia, quando diz que "a classificação natural se ocupa com as linhas de descendência, agrupando os animais de acordo com o seu parentesco sanguíneo" (Lovejoy, 1959d: 180). Para um criacionista, isso simplesmente significava a descendência do par que foi originalmente criado. Uma "descendência" nesse sentido foi reafirmada por Lineu.

Lineu

Carl Lineu, o grande botânico sueco, sempre é descrito como o campeão das espécies essencialistas. Ele o foi efetivamente, mas tal caracterização de forma alguma descreve adequadamente a versatilidade do seu conceito de espécie, porque ele combinava as experiências de um naturalista local com um criacionista pio e com um discípulo da divisão lógica. [6] Mesmo que as três componentes do seu pensamento acentuassem a constância e a nítida delimitação das espécies, é preciso, para o entendimento exaustivo da sua maneira de pensar, ter sempre em mente essa tripla fonte da sua conceituação. Ele articulou pela primeira vez (1736) o seu conceito de espécie no cérebro aforisma: "Contamos com tantas espécies quantas foram as diferentes formas criadas no princípio". Em 1751, no *Philosophia Botanica* (par. 157), ele estende esse conceito na seguinte afirmação:

> Há tantas espécies quantas foram as diversas formas criadas pelo ser infinito no princípio, as quais, obedecendo às leis da geração, produziram outras, mas sempre semelhantes a elas: por isso, hoje existem tantas espécies quantas foram as diferentes estruturas, antes de nós.

Quando Lineu dizia "criado", entendia isso literalmente. Em um ensaio ele registrou a sua crença

> de que, no começo do mundo, foi criado apenas um único par sexual de cada espécie de seres vivos … Por um par sexual entendo um macho e uma fêmea, em cada espécie, cujos indivíduos diferem no sexo. Mas existem certas classes de animais naturalmente hermafroditas, e destes foi originalmente formado um único indivíduo, em cada tipo.

Ele chegou a essa conclusão não apenas com base em suas convicções religiosas, mas também porque isso exprimia as então descobertas científicas "modernas". Spallanzani e Redi haviam refutado a ocorrência de geração espontânea, e Ray e Lineu estavam convencidos de que a conversão das sementes de uma espécie nas de outra (heterogonia) era igualmente impossível. As idéias de Santo Agostinho não encontravam confirmação.

No pensamento de Lineu, a espécie nunca desempenhou um papel tão importante como o gênero. Em consequência disso, ele muitas vezes se mostrou displicente no seu tratamento das espécies particulares, nos seus catálogos taxionômicos, relativos às plantas *(Species Plantaram)* e aos animais *(Systema Naturaé),* duas obras em que as suas compilações das espécies são pródigas de erros. Isso levou a frequentes revisões desses escritos.

As observações dos naturalistas, as exigências de fé cristã e o dogma do essencialismo, tudo isso conduziu à conclusão da existência de espécies bem definidas e perfeitamente constantes, conceito esse que teve uma enorme influência nos cem anos seguintes. Enquanto se acreditava que as espécies se transformavam facilmente em outras (heterogenia), e que de modo igualmente fácil se produziam por geração espontânea, o problema da evolução como um todo não se apresentava. Poulton (1903), Mayr (1957) e Zirkle (1959) chamaram a atenção para o fato de que a insistência das espécies talvez encorajou mais os subsequentes estudos evolucionistas do que se ele tivesse endossado a crença tradicional da grande plasticidade das espécies. Foi o seu conceito de espécie que gerou uma contradição entre as numerosas indicações de uma evolução na natureza e a suposta constância das espécies, contradição essa que demandava uma solução.

Curiosamente, Lineu, nos seus últimos anos, renegou o conceito tipológico de espécie constante, tão bem conhecido sob o seu nome. Ele eliminou a afirmação "*nullae species novae*" ("nenhuma espécie nova"), na décima segunda edição do *Systema Naturae* (1766), e riscou a expressão "*Natura non facit saltus"* no seu próprio exemplar da *Philosophia Botanica* (Hofsten, 1958). Bom número de descobertas botânicas foi responsável por essa mudança de pensamento (Zimmermann, 1953: 201-210). Primeiro, ele observou uma impressionante mutação da estrutura da flor (*Peloria)* da planta *Linaria,* que ele pensava fosse uma espécie e um gênero recém-surgidos, e mais tarde descobriu diversas espécies supostamente híbridas. Isso o levou à crença curiosa de que talvez apenas os gêneros tenham sido criados no princípio, e que as espécies eram o produto da hibridação entre esses gêneros. Tal hipótese, evidentemente, não apenas era incompatível com tudo o que ele havia dito e acreditado anteriormente, mas de fato era também irreconciliável com o essencialismo. Nada a admirar, portanto, que Lineu tenha sido atacado de pronto e asperamente, de todos os lados, pois a produção de novas essências, por hibridação, era algo impensável para qualquer essencialista coerente. Ninguém se bateu mais fortemente por isso do que Kölreuter, o qual, numa série de experimentos (1761-1766), mostrou que os híbridos recentemente produzidos no seio das espécies não são espécies novas estáveis, mas altamente flutuantes, e que podiam ser reduzidos à espécie originária, mediante contínuos cruzamentos retrogressivos (Olby, 1966). [7] Aquelas últimas idéias de Lineu foram quase inteiramente esquecidas no período seguinte, e aparentemente não tiveram influência alguma em qualquer pensamento evolutivo posterior.

Seu contemporâneo, Michel Adanson, tão revolucionário em alguns aspectos do seu pensamento, tinha um conceito de espécie inteiramente ortodoxo. Realizou uma cuidadosa análise do problema da espécie, para então concluir

> que a transmutação da espécie não ocorre nas plantas, como não ocorre entre os animais, e não há inclusive prova direta que ela aconteça com os minerais, de acordo com o princípio aceito de que a constância é essencial na determinação de uma espécie (1769: 418).

Esta citação ilustra particularmente bem o quanto um conceito de espécie formalista, e não

biológico, era sustentado, inclusive, por biólogos perspicazes e, de resto, inspirados.

O conceito essencialista da espécie era admitido quase unanimemente pelos taxionomistas do período pós-lineano. Tal conceito postulava quatro características da espécie: (1) a espécie consiste em indivíduos semelhantes, partícipes da mesma essência; (2) cada espécie é separada de todas as demais por nítida descontinuidade; (3) toda espécie é constante ao longo do tempo; e (4) existem severas limitações para a possível variação de alguma espécie. Este, por exemplo, foi o conceito de espécie de Lyell.

Buffon

Em relação ao seu pensamento sobre a espécie, Georges Louis Buffon, embora mais afastado no tempo, estava mais próximo das idéias atuais do que Lineu e Cuvier. E bastante difícil apresentar um resumo conciso das idéias de Buffon sobre as espécies, não apenas por se encontrarem dispersas nos numerosos volumes da sua *Histoire naturelle,* mas também porque o seu pensamento mudou ao longo do tempo, desde a sua primeira manifestação, em 1749, até a sua última, em 1766. Estudiosos diferentes de Buffon chegam, por isso, a apresentar interpretações diversas. [8]

Os primeiros pronunciamentos de Buffon sobre a espécie tinham uma conotação fortemente nominalista, e pareciam enfatizar a existência dos indivíduos, em vez das espécies, e da continuidade entre elas:

> A natureza progride por meio de gradações desconhecidas e, consequentemente, não se sujeita às nossas divisões absolutas, quando passa por nuanças imperceptíveis de uma espécie para outra, e muitas vezes de um gênero para outro. É inevitável a existência de grande número de espécies duvidosas e de espécimens intermediários, que não sabemos onde situar *(Oeuvr. Phil.*: 10, trad. Farber, 1972).

Na realidade, essa afirmação, contida no volume I da *Histoire naturelle,* fazia parte de um ataque ao sistema de Lineu; nos dois outros volumes da mesma *Histoire naturelle* (todos três publicados simultaneamente em 1749), Buffon sustentava o conceito de espécie constante e bem delimitada. Embora tenha sido negado por diversos especialistas, as espécies de Buffon eram de fato concebidas essencialisticamente. Toda a espécie era caracterizada por um *moule intérieur* específico da espécie, o qual, se bem que derivado diversamente, compartilhava de muitos atributos de *eidos* de Platão. E, além disso, cada espécie era nitidamente separada de todas as outras:

> Existe, na natureza, um protótipo geral em cada espécie, pelo qual se moldam todos os indivíduos. Os indivíduos, porém, são modificados, ou melhorados, dependendo das circunstâncias do processo em que se formam. Em relação a certas características, existirá então uma aparência irregular, na sucessão dos indivíduos, mas ao mesmo tempo permanece uma constância perceptível da espécie, considerada como um todo. O primeiro animal, por exemplo o primeiro cavalo, consistiu na forma exterior e no molde interno, a partir do qual todos os cavalos, passados, presentes e futuros, são formados *(Hist. ncit.,* IV: 215-216, de Farber, 1972: 266).

O que Buffon considerava a característica mais importante da espécie era essa sucessão de indivíduos, porque toda sucessão de indivíduos é nitidamente separada de todas as outras:

> É, portanto, na diversidade característica das espécies que os intervalos entre as diversificações da natureza são melhor percebidos e mais bem assinalados. Poder-se-ia dizer mesmo que tais intervalos entre as espécies são os mais uniformes e os menos variáveis de todos, desde que sempre seja possível traçar uma linha entre duas espécies, quer dizer, entre duas sucessões de indivíduos que não podem reproduzir-se entre si. Essa é a distinção mais sólida de que dispomos, na história natural … Cada espécie – cada sucessão de indivíduos que podem reproduzir-se entre si com êxito – será considerada uma unidade, e tratada em separado … A espécie é então apenas a sucessão constante de indivíduos semelhantes, que podem reproduzir-se entre si (*Hist. nat*., IV: 384-385).

Suplementando o critério de Ray, que demonstrou que organismos de aparência muitíssimo diferente podiam pertencer à mesma espécie, desde que compartilhassem uma descendência comum, Buffon descobriu um critério pelo qual se podia decidir se "tipos" muito parecidos eram ou não espécies diferentes. Por exemplo, o asno e o cavalo, constituem eles uma espécie? Sua solução consistia em que indivíduos que não pudessem gerar prole fértil pertenciam a espécies diferentes.

> Podemos considerar dois animais como pertencentes à mesma espécie, quando, mediante cópula, eles se perpetuam a si mesmos e preservam a similitude da espécie; e podemos considerá-los como pertencendo a espécies diferentes, se forem incapazes de produzir geração nas mesmas condições *(Hist. nat.,* II: 10).

"Uma espécie é uma sequência de indivíduos semelhantes, e que podem reproduzir-se entre si" (p. 385). A grande novidade do conceito de espécie de Buffon é que o critério da co-especificidade já não é mais, como era em Ray, o montante das variações morfológicas dos descendentes de um grupo de genitores, mas muito mais a capacidade de produzir uma geração fértil. Introduzindo esse critério inteiramente novo, Buffon avançou um longo caminho na direção do conceito biológico da espécie.

Há um segundo aspecto pelo qual Buffon se afasta de Lineu e de outros taxionomistas ortodoxos; a saber, a sua degradação dos caracteres morfológicos, em favor da ênfase nos hábitos, temperamento e instinto, os quais ele considerava características muito mais importantes, da espécie, do que os aspectos puramente estruturais. Não é suficiente, diz ele, identificar uma espécie por alguns poucos caracteres-chaves; se quisermos conhecer uma animal, devemos levar em consideração todas as suas características. Ninguém levou mais a sério essa advertência que os naturalistas de campo; o grande florescimento da história natural dos animais vivos, pássaros em particular, nas gerações seguintes, deve-se em grande parte aos conceitos de Buffon. Sempre é possível reconhecer uma espécie pelas características da sua história viva. Uma espécie, por isso, é algo natural e concreto, em contraste com o gênero lineano, que é uma construção puramente arbitrária.

Anos mais tarde na sua vida (1765), Buffon modificou um pouco o seu conceito de espécie, definindo o termo "espécie" num sentido mais limitado e bastante restrito (Roger, 1963: 576).

Quando ele verificou, em particular no estudo das aves, que havia grupos de espécies intimamente relacionadas, algumas delas aparentemente produzindo híbridos férteis, ele conferiu a essas "famílias" de espécies os atributos que anteriormente reservava só às espécies. Todavia, ele manteve, ao mesmo tempo, o seu conceito das espécies bem definidas, em um nível mais baixo. Esse tatear na busca de um novo conceito de espécie, vislumbrando a idéia de que grupos de espécies pudessem possuir uma unidade que se devia à descendência comum, aparentemente não teve um impacto duradouro sobre os seus leitores, e não desempenhou papel relevante na história posterior do conceito da espécie.

Por outro lado, a maneira claramente "biológica" de encarar as espécies não deixou de exercer importante influência. Zimmermann (1778) afirma que está seguindo Buffon, Blumenbach e Spallanzani, ao adotar a fecundação por cruzamento como o critério da espécie, e que está incluindo todos os cães numa espécie única,

> em primeiro lugar, porque todos eles cruzam uns com os outros e, o que é mais importantes, produzem filhotes férteis; e, em segundo lugar, porque todas as raças de cães possuem os mesmos instintos, o mesmo apego ao homem e a mesma capacidade de adestramento.

Tal conceito biológico da espécie era largamente difundido pelos anos 1750 e 1760, e se refletia nos escritos de Palias, Gloger, Farber, Altum, e dos melhores naturalistas do século XIX. No entanto, sobrevivia paralelamente um conceito estritamente essencialista, em particular entre os diversos tipos de colecionadores, que descrevia cada variante como sendo uma espécie nova. Pastor C. L. Brehm designou nada menos que quatorze "espécies" de pardais caseiros, do seu pequeno vilarejo, na Turíngia; um especialista francês de moluscos de água doce assentou os nomes de mais de 250, calcadas em variantes de uma única. Para esses autores, as espécies equivaliam a tipos, e qualquer consideração das mesmas como populações era alheia ao seu pensamento. É a esse tipo de conceito sobre a espécie que muitas vezes se faz referência, na literatura da sistemática, como sendo o conceito típico da espécie. Dificilmente existe um táxon superior de animais e de plantas em que não houvesse um ou dois desses ativos "biscateiros de espécies", contabilizando sinônimos às centenas e aos milhares (Mayr, 1969: 144-162).

Na botânica, talvez mais do que na zoologia, a variação se constituía na desculpa para a descrição de inumeráveis novas espécies, particularmente nos assim chamados gêneros "difíceis", como *Rubus* ou *Crataegus*. A situação era agravada pelo fracasso quase universal dos botânicos na distinção terminológica entre variedades individuais e variedades geográficas. O início de uma melhoria veio quando o Congresso Internacional de Botânica, de 1867, adotou as proposições de Alphonse de Candolle, no sentido de reconhecer subespécies, variedades, e outras subdivisões da espécie. Nos anos seguintes, as publicações de Kemer (1866; 1869) e de Wettstein (1898) ajudaram a clarear a situação. Mas mesmo após o surgimento da nova sistemática, um número excessivamente grande de botânicos ainda usava o termo "variedade", indiscriminadamente, tanto para populações geográficas, como para variantes intrapopulacionais.

O conceito nominalista de espécie

A oposição ao conceito essencialista de espécie desenvolveu-se em duas frentes, entre os naturalistas e entre os filósofos. Os dois filósofos que exerceram a maior influência no começo e na metade do século XVIII, Leibniz e Locke, sentiam-se desconfortáveis com o conceito de espécie bem definida e nitidamente descontínua. Locke não necessariamente negava a existência das espécies, mas dizia: "Admito, em todo o caso, como verdadeiro, que os limites das espécies, da forma como são discriminadas, são estabelecidos pelos homens". Ele exclamava que era incapaz de ver por que duas raças de cães "não são espécies tão distintas como um *spaniel* e um elefante … tão incertas nos parecem as delimitações das espécies de animais".

Quando os conceitos de plenitude e de continuidade começaram a dominar o pensamento ocidental, no período pós-leibniziano (Lovejoy, 1936: 229-241), a concepção de categorias sistemáticas descontínuas, inclusive a da espécie, caiu em descrédito, e os filósofos recaíram numa definição nominalista das espécies. Para um nominalista, somente existem os indivíduos, enquanto as espécies, ou qualquer outra "classe", são construções feitas pelo homem.

O nominalismo, uma escola de filosofia medieval, rejeitava a noção do essencialismo, no sentido de coisas semelhantes compartilharem uma mesma substância (essência), e proclamava, em vez disso, que todas as classes de objetos similares compartilham, de fato, de um nome. Tal interpretação era aplicada também às espécies, por diversos autores do século XVIII (Crombie, 1950). Por isso, Robinet afirmava: "Existem apenas indivíduos, e não reinos, ou classes, ou gêneros, ou espécies" *(De la nature,* IV: 1-2). Asserções dessa natureza podem ser encontradas nos escritos de diversos naturalistas franceses, começando pelo primeiro volume de Buffon (1749), e continuando com Lamarck (Burckhardt, 1977) e Lacépède (1800).

Buffon abandonou bem depressa esse conceito (se é que alguma vez tenha acreditado nele de verdade), e os outros naturalistas, como Lamarck e Lacépède, encararam as espécies de maneira inteiramente ortodoxa, nos seus tratados taxionômicos efetivos. Lamarck, nos seus últimos anos (1817), estava mais e mais convencido da importância das espécies. Enfatizava que as espécies de objetos inanimados eram algo inteiramente diferente das espécies de organismos. As espécies de organismos são sistemas complexos de moléculas heterogêneas, o que explica a sua capacidade de variação e mudança. Por fim, chegou a levantar indagações sobre a sua mudança evolutiva, e se "não se multiplicando, se diversificam". Essa visão profética da espécie estava a quilômetros de distância da primitiva afirmação de Lamarck, no sentido de que só os indivíduos existem. [9]

O conceito nominalista de espécie permaneceu popular entre os botânicos, ao longo de todo o século XIX. Schleiden e Nägelli contam-se entre os seus principais autores. Gêneros "confusos", como o *Rubus* e o *Hieracium,* constituíam a evidência mais frequentemente citada para a defesa desse ponto de vista. Também entre os antropólogos era popular o conceito, particularmente para aqueles autores que lidavam com "artefatos", tais como os conodontes, onde a delimitação dos *taxa* de espécies é muitas vezes realmente difícil. Argumentações vivazes em favor da consideração das espécies, como sendo convenção puramente arbitrária, foram publicadas por botânicos eminentes, como Cronquist, e por paleontólogos, como A. B. Shaw, ao longo da última década. O botânico Bessey (1908) fixou muito bem esse ponto de vista:

> A natureza produz indivíduos, e nada mais … as espécies não têm uma existência real na natureza. Elas são conceituações mentais, e nada mais do que isso … as espécies foram inventadas a fim de que pudéssemos fazer referência a grandes números de indivíduos,

coletivamente. [10]

Alguns adversários recentes do conceito biológico (como, por exemplo, Sokal e Crovello, 1970) também endossam idéias basicamente nominalistas, embora eles constituam uma minoria. A evidência das descontinuidades, intrinsicamente conservadas, entre populações compátrias naturais, é tão conclusiva, que muitos estudiosos das faunas e flores locais adotaram o conceito biológico de espécie.

A razão por que os autores dos séculos XVIII e XIX, insatisfeitos com o conceito essencialista da espécie, chegaram a adotar o conceito nominalista não era necessariamente por estarem convencidos da sua superioridade, mas simplesmente porque não tinham como pensar em outra alternativa. O mesmo perdeu essa vantagem, com a chegada do conceito biológico da espécie, e já hoje não está mais em voga, pelo menos entre os biologistas.

O conceito darwiniano de espécie

Nenhum outro autor reflete de modo mais vivido do que Darwin o conflito em tomo do conceito de espécie. A espécie de que ele se ocupava, como jovem colecionador e naturalista, em Shrewsbury, Edinburgh e Cambridge, era a espécie tipológica, "não dimensional", da fauna local. Essa era também a espécie dos seus amigos colecionadores de besouros, e de Henslow e Lyell (Mayr, 1972b). Era esse ainda o conceito de espécie de Darwin, quando desembarcou nas Galápagos, em 16 de setembro de 1835. O *Beagle* visitou quatro ilhas (Chatham, Charles, Albemarle e James), todas elas no perímetro de cerca de 150 quilômetros uma das outras. Não tendo nunca dantes se defrontado com a criação geográfica, Darwin estava convencido de que a fauna de todas aquelas ilhas vizinhas era a mesma, e aparentemente rotulou todos os seus espécimes apenas como sendo procedentes das "ilhas Galápagos" (Sulloway, ms.). O fato de que os espanhóis do lugar sabiam distinguir a raça de tartarugas gigantes de cada ilha parece que, de início, não causou grande impressão a Darwin, cuja mente, ao tempo, estava muito mais preocupada com geologia. Quando ele depois ordenava as suas coleções de pássaros, defrontou-se com o problema de como classificar as populações das diferentes ilhas. Por exemplo, existia um pássaro canoro imitador (*Mimus*) em todas as ilhas Galápagos, mas os de uma ilha determinada eram um pouco diferentes dos das demais ilhas. Seriam os habitantes das várias ilhas espécies diferentes, ou apenas veriedades? Essa foi a pergunta que se apresentou a Darwin. Nenhuma dúvida de que se tratava de *taxa* diferentes, pois as diferenças podiam ser vistas e descritas. O problema consistia na questão do nível, isto é, como situá-los em uma categoria adequada. É preciso ter isso em mente, quando se analisam as proposições de Darwin sobre as espécies. Mais importante ainda é ter bem presente que o conceito de espécie de Darwin sofreu uma mudança considerável, nos anos 1840 a 1950 (Kottler, 1978; Sulloway, 1979). Em 1830, os conceitos de espécie e de especiação darwinianos eram determinados quase exclusivamente pela evidência zoológica. Efetivamente, ele concebia as espécies como sendo mantidas por isolamento reprodutivo. Que essa tenha sido a maneira de pensar de Darwin sobre as espécies, no período, é algo que passou despercebido aos seus discípulos, até serem redescobertos os seus cadernos de notas. Neles ele escreveu, por exemplo, como segue:

> Minha definição da espécie nada tem a ver com a hibridação; ela é simplesmente um impulso instintivo para manter a separação, e ela sem dúvida será superada, sem o que não se produziriam híbridos, mas enquanto for assim, esses animais são espécies distintas (NBT, C: 161). [11]

Temos aí uma descrição clara do isolamento reprodutivo, mantido por mecanismos isoladores etológicos. Há repetidas referências, nos cadernos, sobre a mútua "repugnância" das espécies ao intercruzamento. "A aversão entre duas espécies é evidentemente um instinto; e isso impede a procriação" (B: 197). Definição de espécie: "é aquela que permanece como um todo, com caracteres constantes, juntamente com outros seres de estrutura muito próxima" (B: 213). Nesses cadernos de apontamentos, Darwin enfatizava repetidas vezes que o *status* de espécie tinha pouco ou nada a ver com o grau da diferença. "Daí que as espécies podem ser espécies boas, mesmo diferindo escassamente nos caracteres exteriores" (B: 213). Aqui ele se refere a duas espécies irmãs de toutinegras *(Phylloscopus trochilus (collybita* e *sibilatrix*), descobertas na Inglaterra, por Gilbert White, em 1768, as quais eram tão parecidas que só foram reconhecidas formalmente como tais, pelos taxionomistas, em 1817. Não há exagero em afirmar que, por volta de 1830, Darwin incorporava algo muito próximo ao moderno conceito biológico da espécie.

Quando abrimos o *Origin,* de 1859, e lemos o que ele diz sobre a espécie, não podemos evitar o sentimento de estarmos diante de um autor completamente diferente (Mayr, 1959b). Tendo em vista que, até a redescoberta dos cadernos de notas, este é o Darwin conhecido do mundo biológico, a partir de 1859, é de importância histórica citarmos o que Darwin dizia no *Origin:*

> Nenhuma definição satisfez até agora a todos os naturalistas; no entanto, todo naturalista sabe vagamente o que diz, quando fala de uma espécie (P-44).
>
> Na determinação de uma forma, ou como uma espécie ou como uma variedade, a opinião dos naturalistas que possuem um julgamento seguro e vasta experiência parece ser a guia única a ser seguida (p. 47).
>
> A partir dessas observações, perceber-se-á que encaro o termo espécie como algo arbitrário, a bem da conveniência, em relação a um conjunto de indivíduos fortemente parecidos entre si, e que ele não difere essencialmente do termo variedade, que se aplica a formas menos distintas e mais flutuantes (p. 52; veja também p. 469).
>
> Portanto, o quantitativo da diferença é um critério muito importante para estabelecer se duas formas devam ser designadas como espécies ou como variedades (pp. 56-57).
>
> As variedades têm os mesmos caracteres gerais das espécies, pois não têm como serem distinguidas das espécies (p. 59; e afirmação semelhante à p. 175).
>
> Por isso, pode-se demonstrar que nem a esterilidade, nem a fertilidade proporcionam qualquer distinção clara entre espécies e variedades, (p. 248).
>
> Em resumo, devemos tratar as espécies da mesma forma como os naturalistas tratam dos gêneros, quando admitem que estes são meramente combinações artificiais, feitas por conveniência (p. 485).

E numa carta a Hooker (24 de dezembro, de 1856), Darwin escreve:

> Eu estava ainda agora comparando as definições de espécie … É realmente ridículo de se ver quantas idéias diferentes dominam as mentes dos naturalistas, quando se ocupam da "espécie"; para alguns, a semelhança é tudo, e a descendência tem pouco peso – para outros, a semelhança parece que não vale nada, e a criação é a idéia imperante – para outros, a descendência é a chave – para outros ainda, a esterilidade é um teste infalível, enquanto para ainda outros ela não vale um vintém. Isso tudo ocorre, no meu entender, pela tentativa de definir o indefinível (L. L. D., II: 88).

O que teria ocasionado esse giro de 180 graus no conceito darwiniano de espécie? Suas leituras, tanto quanto sua correspondência, indicam que, depois de 1840, e particularmente a partir de 1850, Darwin foi crescentemente influenciado pela literatura botânica e pela correspondência com os seus amigos botânicos. Como ele mesmo disse: "Todas as minhas noções sobre *como* as espécies se alteram procedem de um estudo longo e continuado das obras de agricultores e horticultores" (L. L. D., II: 79). Talvez nenhum outro botânico tenha tido maior influência sobre o pensamento de Darwin que William Herbert, que, entre outras coisas, disse:

> Não há nenhuma linha real ou natural que diferencie as espécies das variedades permanentes ou discerníveis … e nem existe qualquer aspecto em que se possa depositar confiança para declarar se duas plantas se distinguem como espécie ou como variedade (1837: 341).

Afirmações quase exatamente iguais podem ser encontradas na literatura botânica, desde aquele tempo até hoje. Só raramente se fez alguma tentativa no sentido de distinguir entre situações simpátricas e alopátricas. Herbert não dava primazia à fertilidade por cruzamento sobre o grau da semelhança morfológica, porque ele acreditava "que a fertilidade do híbrido, ou do descendente misto, depende mais do aspecto constitucional (seja o que for que isso signifique!) que das mais aderentes afinidades botânicas dos progenitores" (1837: 342). Não o isolamento reprodutivo, mas sim o grau da diferença toma-se agora a baliza para o *status* de espécie. Para Herbert, o gênero era a única categoria "natural".

Muitas das afirmações de Darwin são perfeitamente legítimas se traduzirmos a palavra "variedade" como "isolado geográfico". É tão válido hoje em dia, como o era no tempo de Darwin, que a classificação de isolados geográficos, particularmente os que são fortemente acentuados, é arbitrária. Existem literalmente centenas, talvez mesmo milhares, de isolados geográficos, entre os pássaros, que tão recentemente, como ainda em 1970, eram ordenados como espécies por alguns ornitologistas, e como subespécies, por outros.

Se tudo o que Darwin quis dizer é que é difícil, e muitas vezes impossível, classificar populações isoladas, ninguém poderia culpá-lo de falha por isso. Isolados geográficos são de fato espécies incipientes. Darwin infelizmente usou uma linguagem estritamente tipológica, e empregando os termos "formas" e "variedades", em vez de "indivíduos" ou "populações", ele introduziu uma ambiguidade perturbadora. Além disso, em lugar de usar o termo "variedade", de modo consistente, como raças geográficas, ele muitas vezes o empregava, particularmente nos últimos escritos, como designação de um indivíduo variante ou aberrante. Por tal extensão do sentido da palavra "variedade", Darwin confundiu dois modos de especiação perfeitamente diferentes, a geográfica e a

simpátrica.

Ao lançarmos uma vista de olhos sobre as afirmações de Darwin a respeito das espécies, no *Origin,* pode-se colher a impressão de que ele considerava as espécies algo puramente arbitrário, algo meramente inventado, para a conveniência dos taxionomistas. Alguns de seus comentários lembram uma afirmação de Lamarck, no sentido de que as espécies não existem, mas só indivíduos. Sem dúvida, na sua obra taxionômica, os dois homens trataram as espécies de uma maneira perfeitamente ortodoxa (Lamarck com os moluscos, Darwin com as cracas), como se foram outras tantas criações independentes. E seja-me permitido acrescentar, isso era perfeitamente legítimo, porque nessas monografias taxionômicas eles listaram e descreveram *taxa* de espécies, e a definição da categoria espécie, exceto em casos extremos, era uma consideração irrelevante.

De certa forma, Darwin estava muito satisfeito consigo mesmo por haver "resolvido" o problema da espécie. Desde que as espécies continuam a evoluir, elas não podem ser definidas; elas são designações puramente arbitrárias. O taxionomista já não precisa preocupar-se com que seja uma espécie:

> Quando os pontos de vista expedidos no presente volume … forem geralmente admitidos … os sistematizadores … já não serão constantemente assaltados pela dúvida sombria se esta ou aquela forma seja, em essência, uma espécie. Isto, estou seguro, e falo por experiência, será algo de não pequena relevância (*Origin*: 484).

Isso explica por que Darwin abandonou as tentativas de definir o que é uma espécie. Ele a tratava de modo puramente tipológico, caracterizando-a como "grau de diferença". Ghiselin (1969: 101) observou corretamente que não há sólida evidência de que [Darwin] tenha concebido as espécies como populações reprodutivamente isoladas". A observação é corretamente válida para o período em que escrevia o *Origin.*

E preciso lembrar, além disso, que Darwin, no *Origin,* se ocupava das espécies no contexto do problema de sua origem gradual. Darwin tinha uma forte motivação, embora talvez inconsciente, para mostrar que as espécies são desprovidas de constância e da distinguibilidade que os criacionistas advogam para elas. Pois, como poderiam elas ser o resultado de uma mudança gradual, por seleção natural, se fosse verdade, como os adversários de Darwin continuaram a defender, nos cem anos seguintes, que as espécies são nitidamente delimitadas e apartadas por "hiatos intransponíveis"? Daí que era boa estratégia negar a distinção das espécies. Tal proposição acolhia suporte considerável, contanto que se definissem as espécies simplesmente por grau de diferença, em vez de por isolamento reprodutivo, e na medida que não se fizesse distinção entre "variedades" geográficas e intrapopulacionais. Se as espécies forem assim concebidas, a origem de novas deixa de ser um problema insuperável. Mas o trânsito do conceito de espécie de Darwin dos anos 1830 para o dos anos 1850 forneceu a base para controvérsias que duraram um século.

O surgimento do conceito biológico de espécie

A publicação do *Origin* criou um dilema formidável para os estudiosos das espécies. As espécies procederam evidentemente de ancestrais comuns, como Darwin sustentava, mediante um

processo lento e gradual. Todavia, os naturalistas locais encontravam na natureza espécies que deviam ser separadas por hiatos sem trampolim, não consistindo, de forma alguma, em agregados arbitrários de espécimens, como Darwin parecia afirmar no *Origin.* Consequentemente, as espécies continuaram a ser encaradas como se ninguém tivesse estabelecido uma teoria da evolução. Entre os taxionomistas de museu, a interpretação essencialista das espécies continuou a dominar (Stresemann, 1975). Intitulava-se o *conceito morfológico da espécie*, porque o grau da diferença morfológica era usado como o critério, por meio do qual se decidia se determinados indivíduos pertenciam à mesma espécie ou a uma outra. Ainda em 1990, um grupo de eminentes biólogos e taxionomistas ingleses, entre eles Ray Lankester, W. F. R. Weldon, William Bateson e A. R. Wallace, endossava unanimemente uma definição de espécie estritamente morfológica (Cock, 1977). A definição fornecida por Wallace-

> uma espécie é um grupo de indivíduos que se reproduzem dentro de limites de variação definidos, e que não se ligam por variações imperceptíveis com a sua espécie correlata mais próxima

– situaria toda raça geograficamente isolada no nível de uma espécie separada. Sempre que se deparava com a variação, aplicava-se a regra de Ray, isto é, considerar co-específico tudo quanto um par de genitores co-específicos viesse a produzir na sua descendência. Tal conceito de espécie não era apenas adotado pela maioria dos taxionomistas, mas era também o conceito dominante entre os biologistas experimentais. As espécies de *Oenothera,* de De Vries, baseavam-se nessa definição morfológica, e recentemente, em 1957, Sonnebom recusava-se a designar as "variedades" de *Paramecium* como espécies, embora, com base nas suas características biológicas e comportamento reprodutivo, fosse assaz evidente que o eram, como o próprio Sonnebom de fato admitiu. [12]

Muito superior ao conceito morfológico era o conceito de espécie encontrável ao longo dos naturalistas de campo. Autores como F. A. Pernau (1660-1731) e Johann Heinrich Zom (1698-1748) estudaram todos os aspectos da biologia das aves, nos seus arredores, e nunca puseram em questão o seu pertencer a espécies bem definidas, separadas de todas as outras por características biológicas (canto, ninho, forma de migração, época) e por isolamento reprodutivo. Zom, como Ray, pertencia à tradição da teologia natural, e nos 150 anos seguintes os melhores trabalhos sobre as espécies na natureza eram de autoria de teólogos naturais. Na realidade, a grande maioria de estudiosos de pássaros, durante o período, Gilbert White, C. L. Brehm e Bernard Altum, eram padres ou pastores (Stresemann, 1975). No estudo das espécies de insetos da natureza, os teólogos naturais, como William Kirby, também estavam na vanguarda. Foi essa tradição dos naturalistas de campo que, ao tornar-se autoconsciente e científica, conduziu ao desenvolvimento do conceito biológico de espécie.

O velho conceito de espécie, baseado na idéia metafísica de uma essência, é tão fundamentalmente diverso do conceito biológico de uma população reprodutivamente isolada que uma passagem gradual de um para outro não era possível. Impunha-se uma rejeição consciente do conceito essencialista. Isso foi facilitado pelo reconhecimento claro de numerosas dificuldades enfrentadas pelos estudiosos das espécies, ao tentarem aplicar o critério do "grau da diferença" (Mayr, 1969: 24-25). A primeira consistia em que não se conseguia encontrar evidências da existência de uma essência subjacente, ou "forma" responsável por descontinuidades nítidas na natureza. Em outras palavras, não há maneira de se determinar a essência de uma espécie, e portanto

não há maneira de se usar a essência como parâmetro, em casos de dúvida. A segunda dificuldade era apresentada pelo evidente polimorfismo, isto é, a ocorrência de indivíduos marcadamente diferentes, na natureza, os quais, não obstante, por seus hábitos de procriação ou história de vida, poderiam mostrar-se como pertencentes a uma única comunidade reprodutiva. A terceira dificuldade era o reverso da segunda, quer dizer, a ocorrência, na natureza, de "formas" que diferiam claramente na sua biologia (comportamento, ecologia) e que eram reprodutivamente isoladas umas das outras, e todavia não podiam ser distinguidas morfologicamente (espécies gêmeas; veja adiante).

Quando olhamos para muitas das discussões históricas sobre a espécie, ficamos impressionados de ver como alguns dos autores mais antigos chegaram tantalizantemente próximos de um conceito biológico de espécie. Para um biólogo moderno, da definição essencialista modificada de Ray – "Uma espécie é um agregado de todos os variantes potencialmente produzidos pelos mesmos genitores" – à definição da espécie baseada no conceito de apenas comunidades reprodutivas, pareceria somente um pequeno passo. Mais perto ainda estava a definição de Buffon: "Uma espécie é uma sucessão constante de indivíduos semelhantes, que podem reproduzir-se entre si", e cujos híbridos são espécies. Todavia, Buffon ainda considerava as espécies essencialmente constantes. Também Girtanner (Sloan, 1978) e Illiger (Mayr, 1968), em alguns dos seus enunciados, chegaram muito perto de uma afirmação da espécie biológica, mas ao mesmo tempo foram incapazes de se desvencilhar da estrutura essencialista do seu pensamento. O mesmo se aplica a muitos outros autores do século XIX. Nenhum deles deu o passo, aparentemente pequeno, de definir a espécie em termos de um conjunto de populações reprodutivamente isolado. Por que houve uma demora tão grande?

Três são os aspectos da espécie biológica que requereram a adoção de conceitos novos. O primeiro consiste em encarar as espécies não como tipos, mas como populações (ou grupos de populações), isto é, passar de um pensamento essencialista para um pensamento de população. O segundo é definir as espécies não em termos de diferença, mas por sua distinguibilidade, vale dizer, pela separação reprodutiva. E o terceiro, definir as espécies não por propriedades intrínsecas, mas por sua relação com outras espécies coexistentes, uma relação que se exprime tanto comportamentalmente (ausência de intercruzamento) como ecologicamente (não fatalmente competitivas). Adotadas essas três mudanças conceituais, toma-se óbvio que o conceito de espécie adquire sentido apenas na situação não-dimensional: considerações multidimensionais são importantes na delimitação dos *taxa* das espécies, mas não no desenvolvimento do parâmetro conceitual. Também fica evidente que o conceito é chamado biológico não por tratar de *taxa* biológicos, mas por ser biológica a definição, sendo totalmente inaplicável a espécies de objetos inanimados; e que não se devem confundir assuntos relativos ao táxon de espécie com aspectos relativos ao conceito de categoria de espécie.

O enunciado claro e a análise explícita dessas características da espécie biológica só foram realizados pelos anos 1940 e 1950.[13] De qualquer maneira, os pontos essenciais tinham sido captados por uma série de pioneiros. Os dois primeiros autores que descreveram claramente, e definiram, a espécie biológica foram os entomologistas K. Jordan (1896; 1095) e Poulton (1903; veja Mayr, 1955). Poulton definiu a espécie "como uma comunidade intercruzante, singâmica", e Jordan afirmou que

> os indivíduos ligados por parentesco de sangue formam uma unidade faunística única, em uma

> área … As unidade, de que se compõem as faunas de uma área, separam-se umas das outras por hiatos que, nesse ponto, não podem ser transpostos de forma alguma (1905: 157).

As propriedades da espécie biológica

Ornitologistas competentes, como Stresemann e Rensch, aplicaram com êxito o conceito biológico de espécie, pelos anos 1920 e 1930. Em 1919 (p. 64), Stresemann enfatizava que não é o grau da diferença que caracteriza as espécies, mas

> que as formas, quando atingiram o nível de espécie, durante o isolamento geográfico, tornaram-se diferentes entre si, fisiologicamente, que … podem se reencontrar novamente, e não acontece o intercruzamento.

A definição de espécie de Dobzhansky, como sendo formas "que são fisiologicamente incapazes de intercruzamento" (1937: 312), é virtualmente a mesma. A história das numerosas tentativas de chegar a uma definição satisfatória da espécie tem sido contada repetidas vezes (por exemplo, Mayr, 1957; 1963). A definição de Mayr, de 1942 – "As espécies são grupos de populações naturais que, de fato ou potencialmente, se cruzam entre si, e que são reprodutivamente isolados de grupos semelhantes" (p. 120) – ainda tinha algumas debilidades. A distinção "de fato vs. potencial" é desnecessária, pois "reprodutivamente isolado" se refere à posse de mecanismos de isolamento, e é irrelevante para o *status* de espécies se eles, em dado momento, são postos em causa. Uma definição mais descritiva é a seguinte: *Uma espécie é uma comunidade reprodutiva de populações (reprodutivamente isolada de outras), que ocupa um nicho específico na natureza.*

Essa definição não nos ajuda a delimitar os *taxa* das espécies. O que ela faz mesmo é permitir que se determine o nível categorial dos *taxa.* Em contrapartida, o grau da distinguibilidade morfológica não é um critério adequado, como comprovado pelas espécies gêmeas com morfes acentuadas. O conceito biológico de espécie, exprimindo a relação entre populações, faz pleno sentido e se aplica verdadeiramente apenas na situação não-dimensional. Às situações multidimensionais ele só pode ser aplicado por inferência.

As palavras "reprodutivamente isolado" constituem a chave da definição biológica da espécie. Elas levantam desde logo o problema da causa desse isolamento, problema esse que foi solucionado pelo desenvolvimento do conceito de *mecanismos de isolamento.* O início primitivo desse conceito remonta ao critério de esterilidade de Buffon, um critério popular entre os botânicos mesmo dentro do século XX. Todavia, os zoologistas, e particularmente os ornitologistas e estudiosos das borboletas, observaram que, na natureza, a barreira da esterilidade raramente é comprovada nos animais, e que a co-especificidade é geralmente determinada pela compatibilidade comportamental. Com o ocorrer do tempo, foram descobertos mais e mais esquemas que impediam as espécies de se intercruzarem, como, por exemplo, a diversidade das estações de germinação e floração, bem como a ocupação de habitats diferentes. O botânico sueco Du Rietz (1930), ao que tudo indica, foi o primeiro a fornecer uma listagem detalhada e uma classificação de tais barreiras de cruzamento das espécies. O estudo das mesmas foi claramente dificultado pela ausência de um termo técnico. Dobzhansky apresentou o termo "mecanismo de isolamento" para "qualquer agente que obstaculiza a interfertilidade de grupos de indivíduos". "Os mecanismos de isolamento podem ser divididos em

duas grandes categorias, geográfica uma, e fisiológica a outra" (1937: 230). Embora Dobzhansky tenha percebido que o isolamento geográfico se situava "num plano diferente de qualquer tipo de isolamento fisiológico", ele não levou devidamente em consideração que só esta última constitui genuína propriedade das espécies. Por esse motivo, Mayr restringiu o termo "mecanismo de isolamento" às propriedades biológicas da espécie, excluindo expressamente as barreiras geográficas (1942: 247). Mas ainda permanecia uma dificuldade: ocasionalmente, um indivíduo de uma espécie, de resto perfeitamente caracterizada, pode hibridar-se. Vale dizer, os mecanismos de isolamento garantem apenas a integridade de populações, mas não de algum indivíduo esporádico. O reconhecimento desse fato levou Mayr a formular uma definição melhorada: "Os mecanismos de isolamento são propriedades biológicas dos indivíduos, que impedem o cruzamento de populações real ou potencialmente simpátricas" (1963: 91). Nos últimos quarenta anos, o estudo dos mecanismos de isolamento tornou-se um dos campos mais ativos da biologia. [14]

No isolamento reprodutivo, de qualquer maneira, é só uma das duas maiores características da espécie. Os naturalistas mais antigos já haviam observado que as espécies se circunscrevem a certos *habitais,* e que cada uma delas se adapta a um nicho particular. Essas idéias eram proeminentes nos escritos de Buffon e de todos os escritores dos séculos XVIII e XIX, que falavam da economia da natureza. Darwin estava convencido de que o âmbito geográfico de uma espécie era largamente determinado pelas fronteiras da sua espécie competidora. [15] Todavia, ao longo do desdobramento do moderno conceito da espécie, a ênfase foi dada de início quase exclusivamente ao isolamento reprodutivo. A pessoa que mais do que qualquer outra é digna de merecimento, por haver revitalizado o significado ecológico de espécie, foi David Lack (1944; 1949). Historicamente, é interessante comparar a evolução da sua interpretação do tamanho do bico das diferentes espécies de pintassilgos das Galápagos. Num primeiro escrito (1945, mas de fato produzido antes de 1940), ele havia interpretado o tamanho do bico como o sinal de reconhecimento de uma espécie, e por isso um mecanismo de isolamento, enquanto, no seu livro posterior (1947), ele interpretou o mesmo como adaptação a um nicho alimentar específico da espécie, interpretação essa que desde então tem sido amplamente confirmada.

Hoje está perfeitamente claro que o processo de especiação não se completa pela simples aquisição de mecanismos de isolamento, mas requer também a absorção de adaptações que permitam a coexistência com competidores potenciais. A dificuldade de uma espécie invadir a área de um competidor potencial é documentada pela grande frequência de padrões de distribuição parapátricos de espécies de relacionamento muito próximo. (Populações, ou espécies, são *parapátricas* quando estão geograficamente em contato, mas não sobrepostos especialmente, e raramente ou nunca cruzam entre si.) Em tais casos, uma espécie é dominante de um lado da linha divisória, a outra do outro lado. O caráter parapátrico também pode ser causado pela esterilidade cruzada, mas isso na ausência de mecanismos de isolamento pré-copulatórios.

Foi feita por Van Valen (1976: 233) uma tentativa de basear a definição de uma espécie no nicho de ocupação: "Uma espécie é … uma linhagem … que ocupa uma zona de adaptação diferente, por pouco que seja, da de qualquer outra linhagem no seu ambiente". Isso reflete o princípio da exclusão competitiva, mas não é muito prático como definição de uma espécie, porque muitas vezes é bem difícil descobrir a tal diferença "mínima" de nicho entre duas espécies, como ficou demonstrado por muitas pesquisas biológicas. Além do mais, muitas espécies (como, por exemplo, as borboletas lagartas) ocupam nichos muito diferentes, nos estágios diversos do seu ciclo vital, e em diversas

partes da sua área geográfica. Seriam cada uma delas, por isso, linhagens e espécies diferentes? Tais casos demonstram graficamente que a comunidade reprodutiva é o verdadeiro cerne do conceito de espécie. Na realidade, a ocupação de nicho e o isolamento reprodutivo são dois aspectos da espécie, os quais não são mutuamente exclusivos (exceto nas parapátricas), como demonstrado por Lack (1947), Dobzhansky (1951), Mayr (1963: 66-68), e outros. O certo é que o significado biológico maior do isolamento reprodutivo consiste em oferecer proteção a um genótipo adaptado para a utilização de um nicho específico. O isolamento reprodutivo e a especialidade do nicho (exclusão competitiva) são, portanto, nada mais que os dois lados da mesma moeda. Somente quando falha o critério do isolamento reprodutivo, como no caso dos clones assexuais, é que se recorre ao critério da ocupação do nicho (Mayr, 1969: 31).

A nova sistemática

A substituição do conceito essencialista da espécie por uma espécie biológica concebida populacionalmente foi um processo por demais lento. Os pré-requisitos para essa mudança foram o desenvolvimento da teoria dos *taxa* de espécies politípicos, o refinamento da terminologia das categorias intra-específica e, mais importante do que isso, a percepção crescente da imensa variedade das populações naturais. Os taxionomistas, os biometristas, os geneticistas de população e, mais recentemente, os bioquímicos (através da análise das enzimas) contribuíram para o progressivo enfraquecimento do conceito de espécie tipológico. Os fisiologistas experimentais, bem como os embriologistas, foram talvez os últimos a se converterem ao pensamento de população.

A proporção em que o conceito populacional de espécies foi aplicado a diferentes grupos de animais e de plantas tem sido altamente desigual. No caso de espécies que podem ser facilmente estudadas na natureza, a conversão para o conceito biológico foi virtualmente realizada há mais de trinta anos. Mas onde apenas se estuda material preservado, como no caso de muitos grupos de insetos e de outros invertebrados, o conceito de espécie predominante é de preferência o tipológico, mesmo hoje em dia.

Estudiosos particularmente argutos de pássaros, mamíferos, peixes, caracóis e borboletas chegaram, de modo independente, a conclusões muito semelhantes. Todavia, as opiniões desses líderes progressistas da sistemática constituíam uma opinião minoritária, até por volta de 1930. Muitos outros taxionomistas tratavam das espécies e sua variação de maneira não radicalmente diversa da de Lineu, quase duzentos anos antes. Por volta de 1940, de qualquer maneira, o novo movimento era suficientemente visível, a ponto de um taxionomista, Julian Huxley, referir-se a ele como *a nova sistemática,* um volume assim intitulado, embora, curiosamente, houvesse pouco da nova sistemática nesse volume.

O que era a nova sistemática? Não era uma técnica específica, e talvez possa ser melhor descrita como um ponto de vista, uma atitude, ou uma filosofia geral. Ela começou antes de tudo como uma rebelião contra a aproximação nominalista, tipológica e completamente não-biológica de certos (aliás, muitos) taxionomistas do período anterior. O novo sistematizador considera que todos os organismos aparecem, na natureza, como membros de populações. Ele estuda as propriedades biológicas dos organismos muito mais do que os caracteres estáticos de espécimens mortos. Ele utiliza o maior número possível de tipos de caracteres – fisiológicos, bioquímicos, comportamentais,

bem como morfológicos. Ele usa técnicas novas não apenas para mensurar os espécimens, mas também para registrar os seus sons, realizar análises químicas e executar cômputos estatísticos e correlatos. Na zoologia, o primeiro trato metódico das idéias da nova sistemática deveu-se a Rensch (1929; 1933; 1934) e a Mayr (1942).

Na botânica, a situação era mais complexa. Aqui, abriu-se uma vala profunda entre os taxionomistas de herbários, que continuavam a cultivar a tradição de Lineu, e os naturalistas e experimentadores de campo, que se declaravam cada vez mais insatisfeitos com a aproximação tipomorfológica dos cultores do herbário, particularmente desde que os esforços de uns poucos pioneiros imaginativos parecem não ter tido um impacto permanente. [16] O ecologista vegetal sueco, Turesson (1922), finalmente rebelou-se contra essa tradição, afirmando que a terminologia tradicional das espécies e das variedades era totalmente inadequada para descrever a dinâmica da variação nas populações naturais. Para fazer frente a essa situação, Turesson introduziu os termos novos *ecoespécie,* para a "espécie lineana do ponto de vista ecológico", e *ecótipo,* para o "produto que se apresenta como resultado da resposta genotípica de uma ecoespécie a um *habitat* particular". Mais do que isso, esse autor afirmou que o estudo da avariação genética e ecológica de populações naturais nada tinha a ver com a taxionomia, e deveria ser colocado como objeto de uma ciência biológica separada, a *genecologia* (por outros chamada *biossistemática).*

O próprio Turesson era bastante mais tipológico na sua forma de pensamento. Ao ler os seus escritos, tem-se a impressão de que ele considerava as espécies vegetais um mosaico de ecótipos, muito mais do que como um agregado de populações variáveis. Até certo ponto, pode-se encontrar a mesma tendência de um pensamento topológico nos escritos de outros autores escandinavos. Não obstante, os conceitos revolucionários de Turesson e suas análises experimentais de amostras de populações de plantas selvagens exerceram um tal impacto na taxionomia das plantas que dificilmente poderia ser exagerado. Ele inspirou numerosos estudos das características adaptativas de populações locais, que aprofundaram grandemente o nosso conhecimento da estrutura populacional de espécies de plantas e da sua capacidade de responder a pressões seletivas locais. Foi uma rebelião libertadora em relação à tradição lieneana dos herbários, com o seu compromisso com a identificação e com o pensamento tipológico. O grito de Turesson por uma botânica, chame-se-a *genecologia* ou biossistemática, foi correspondido por Anderson, Turril, Stebbins, Epling, Camp, Gregor, Fasset, e por outros estudiosos das populações de plantas. [17]

Os botânicos levavam claramente a dianteira em relação aos zoologistas, e isso em dois aspectos. Eles introduziram métodos experimentais mais cedo, e empregaram-nos de modo muito mais extensivo, favorecidos pelo fato de que é muito fácil transplantar e cultivar plantas, e desenvolvê-las em cultura, do que criar a maior parte dos animais. Também os botânicos utilizaram os estudos dos cromossomos mais cedo, e de modo mais intenso, em parte por necessidade, devido à frequência de poliplóides nas plantas. Por outro lado, a introdução de espécies politípicas, na taxionomia das plantas, foi muito demorada, e as descobertas dos estudos cromossômicos foram muitas vezes interpretadas de maneira estritamente tipológica. Durante algumas décadas, parece ter havido uma ruptura completa entre o lineuismo dos herbalistas e a aproximação experimental dos botânicos de populações. De qualquer maneira, a seu tempo, o novo modo de pensar, por essa forma introduzido na botânica, estendeu-se também aos herbários, e o fosso que existia em 1922 foi ficando cada vez menor, até finalmente desaparecer. Muitos herbários dispõem hoje de facilidades para a criação de plantas, e suplementam a sua compreensão da variação das espécies naturais com o estudo

da variação genética e cariológica, bem como, às vezes, da variação das enzimas e de outras moléculas (Mayr, 1963: 351-354; Ehrendorfer, 1970; Grant, 1971; Solbrig, 1979; 1980).

Ao examinar o conceito de espécies na botânica, é preciso ter em mente que as espécies, em muitos grupos de plantas, são um fenômeno muito mais complexo do que na maioria dos grupos de animais, aves em particular. Não é apenas a imobilidade dos indivíduos das plantas, favorecendo a formação de ecótipos, que é responsável pelas complicações, mas também a vasta ocorrência de poliplóides, hibridação e várias formas de assexualidade e autofertilização. Certos botânicos, de certo com boas justificativas, levantaram a questão sobre se o amplo espectro dos sistemas de germinação das plantas podia ser incluído inteiramente no conceito (e termo) único de "espécie". Em acréscimo ao termo "ecoespécie", Turesson introduziu o termo "coenoespécie"(******), para a totalidade das populações (e espécies) capazes de intercâmbio de genes, por hibridação. O mais ambicioso esquema para distinguir terminologicamente os diferentes sistemas de germinação das plantas foi proposto por Camp e Gilly (1943), que distinguiram, mediante nomes técnicos especiais, doze tipos diferentes de espécies. Na realidade, existe tanta superposição nos critérios utilizados, e tão pouca correlação entre os mecanismos genéticos e a variação morfológica visível, que esse esquema sofisticado não foi adotado por nenhum outro autor. Em todo o caso, a diversidade dos sistemas de germinação das plantas ajuda a explicar por que houve tanta resistência, por parte dos botânicos, à doação do conceito biológico de espécie.

Tentativas de reconhecimento de diferentes tipos de espécies não estiveram totalmente ausentes na própria zoologia. Certos autores (como Cain, 1954) procuraram distinguir morfoespécies, bioespécies, paleoespécies, ecoespécies, etoespécies, e assim por diante, mas não se tem a mínima impressão de que tais esforços terminológicos tenham conduzido a qualquer conhecimento novo. O termo que talvez acolhe a melhor justificação é "agamoespécie", para as espécies de organismos de reprodução assexual (veja adiante).

A validade do conceito biológico de espécie

O conceito biológico de espécie não ficou isento de ameaças. Os primeiros ataques, nos anos 1920 a 1940, questionaram antes de tudo a sua praticidade: "Como pode um paleontólogo comprovar o isolamento reprodutivo dos fósseis?", ou, "Os espécimes que ordeno nas minhas coleções são tipos separados e distintos, e o melhor nome para eles é espécie". Esses adversários não levantaram nenhuma questão de significado biológico, mas tão-somente de conveniência administrativa e burocrática. Os componentes do conceito biológico de espécie tiveram relativamente poucas dificuldades para demonstrar que os adversários faziam confusão entre táxon de espécie e categoria de espécie, que desconheciam a diferença entre evidência e inferência (como observou Simpson argutamente), e que, retrocedendo ao conceito morfológico da espécie, se cai na arbitrariedade de ter que decidir sobre o grau da diferença que um indivíduo ou uma população deve ter para merecer o *status* de "espécie".

Um outro grupo de críticas movidas naquele período (igualmente devidas, em larga medida, à confusão entre táxon de espécie e categoria de espécie) baseava-se no desejo de definir as espécies "quantitativamente", ou "experimentalmente". Uma vez que o conceito biológico de espécie não se baseia nem em critérios quantitativos, nem experimentais, dizia-se, ele deve ser rejeitado. Tal

rejeição se apóia na assertiva falaciosa de que as metodologias e as teorias das ciências físicas são aplicáveis, sem quaisquer ajustes, à biologia evolutiva. Qualquer naturalista pode observar as descontinuidades reprodutivas e ecológicas, geneticamente programadas, que existem na natureza, sem necessidade de aplicar sofisticadas análises computadorizadas.

Entre os anos 1950 e 1970, veio à baila uma nova bateria de argumentos contrários ao conceito biológico de espécie. Vários autores afirmaram que em relação aos organismos particulares, objeto do seu estudo, era impossível encontrar as cisões nítidas entre as populações simpátricas, descritas pelos adeptos do conceito biológico de espécie. Em outras palavras, afirmava-se que não existe uma base experimental válida para o conceito biológico de espécie, e que este representa uma situação especial de alguns poucos grupos, não podendo ser generalizado e estendido a todos os organismos. Para dar contas da diversidade da natureza, dever-se-ia, por isso, ou adotar um conceito diferente e mais compreensivo, ou então admitir diversos conceitos de espécies, para fazer face aos diversos tipos de organismos.

Trata-se de objeções honestas, e elas têm uma certa dose de validade. Isso leva à pergunta: se os casos que parecem não adaptar-se são exceções, ou se é talvez o próprio conceito biológico de espécie que está baseado numa situação excepcional? Foi dito, por vezes, que o conceito biológico de espécie foi "inventado" por ornitologistas, e que só é válido para os pássaros. Os fatos históricos refutam essa afirmação. É bem verdade que diversos ornitologistas (Hartert, Stresemann, Rensch, Mayr) foram muito ativos na promoção desse conceito, mas Poulton e K. Jordan, os dois grandes pioneiros do mesmo, eram entomologistas, e os estudiosos de *Drosophila,* desde Timofeeff-Ressovsky, Dobzhansky e J. T. Patterson, até Spieth e Carson, eram firmes defensores da espécie biológica. Por mais heterodoxas que possam parecer algumas das idéias de M. J. D. White, ele afirma com vigor a sua aceitação da espécie biológica, baseado no seu amplo conhecimento dos ortópteros e de outros insetos (White, 1978). É evidente, então, que o conceito não descreve uma situação excepcional.

A frequência com que a espécie biológica não funciona só pode ser determinada mediante cuidadosa análise estatística de todas as espécies de um táxon superior. O primeiro autor a empreender uma tal análise foi Verne Grant (1957). Ele tomou onze gêneros de plantas califomianas, e determinou a percentagem de espécies "boas", isto é, espécies bem delimitadas, que não podem ser confundidas com outras espécies, nem intercruzadas com outras. Em contrastes com a situação dos pássaros, somente menos da metade das espécies era "boa". Apenas no gênero das serralhas *Asclepias,* todas as 108 espécies eram "boas". Em uma análise de todas as espécies de pássaros da América do Norte, Mayr e Short (1970) mostraram que 46 das 607 espécies continham populações fortemente diferenciadas, isoladas perifericamente, as quais eram consideradas por alguns ornitologistas espécies plenas, subespécies, por outros. Apenas em cerca de quatro outros casos houve algumas dúvidas em relação ao *status* de espécie. O conceito biológico de espécie foi de grande valia para decidir o *status* de espécies gêmeas, espécies polimórficas, e em casos de hibridação. Só num único caso (duas espécies do gênero *Pipiló)* o conceito fracassou completamente. Nas *Drosophila,* onde as espécies, no seu conjunto, são bastante ortodoxas, foram encontradas umas poucas situações (como, por exemplo, no complexo sul-americano *D. willistoni),* consideradas perfeitamente de exceção. A validade da frequente afirmação, no sentido de que o conceito biológico de espécie não pode ser aplicado a certos *taxa* superiores de animais e de plantas, só tem condições de ser avaliada após efetuada completa análise quantitativa desses *taxa,* da

forma como descrito anteriormente.

Os fatores biológicos que criam as maiores dificuldades para o conceito biológico de espécie são os seguintes:

Semelhança morfológica (ou identidade)

O conceito morfológico de espécie estava a tal ponto arraigado, à época em que se introduziu o conceito biológico, que muitos profissionais do ramo resistiram em reconhecer populações morfologicamente idênticas como sendo espécies gêmeas, mesmo quando se descobria que eram reprodutivamente isoladas. A distinção, em 1768, entre três espécies de toutinegras (*Phylloscopus*), por Gilbert White, e depois a distinção entre duas espécies de aves de poleiro pardas (*Certhia*), e entre duas espécies de abelheiros de topete preto *(Parus),* por C. L. Brehm, nos anos 1820, foram talvez os primeiros casos de um reconhecimento de espécies crípticas, ou gêmeas, como desde então passaram a se chamar essas espécies extremamente parecidas (Mayr, 1942, 1948, 1963). Bem depressa foram também reconhecidas espécies gêmeas entre os insetos (Walsh, 1864; 1865), embora a maioria dos entomologistas, agarrados firmemente ao conceito morfológico de espécie, as designasse geralmente "raças biológicas" (Torpe, 1930; 1940). Foi somente pelos anos 1930 a 1940 que se reconheceu a enorme importância das espécies gêmeas, na agricultura e na saúde pública. Em particular, a descoberta, por vários estudiosos do mosquito da malária, que o assim chamado *Anopheles maculipennis* era de fato um complexo de seis espécies gêmeas permitiu um avanço crucial no controle da malária. Todavia, a resistência ao conceito, em relação a espécies morfologicamente muito parecidas, mesmo por parte de biólogos proeminentes, continuou até os anos 1940 a 1950. Quando Dobzhansky e Epling (1944) descreveram a *Drosophila persimilis,* Sturtevant (1944) fez objeções, e continuou a chamar essa espécie *D. pseudoobscura B.* Quando se tomou simplesmente evidente que as assim chamadas "variedades" de *Paramecium* eram espécies reprodutivamente isoladas, Sonnebom (1957) recusou-se a aceitar essa conclusão, e a elas se referia como sendo singenes. Só em 1975 ele finalmente lhes concedeu o *status* de espécie. Dos protozoários aos mamíferos, não existe um grupo de animais em que não tenham sido descritas numerosas espécies gêmeas nos últimos anos. [18]

O reconhecimento das espécies gêmeas enfrenta objeções perfeitamente legítimas, em três áreas. (1) No âmbito dos protistas e procariotos, desprovidos em grande medida de traços diferenciadores, são necessárias técnicas muito especiais (como transplantes de núcleo, análises bioquímicas) para estabelecer distinções específicas. (2) Entre os fósseis, onde falta qualquer evidência necessária para distinção de espécies gêmeas. (3) Nos autopoliplóides, no reino das plantas, os indivíduos com diferente número de cromossomos podem ser reprodutivamente isolados, mas morfologicamente indistinguíveis. Nenhuma dessas situações especiais refuta o conceito biológico de espécie, mesmo que o taxionomista prático possa ocasionalmente ser forçado a utilizar critérios morfológicos para delimitar *taxa* de espécies, e assim tratar grupos de espécies gêmeas sob o mesmo nome.

Nos anos 1950 a 1960, discutia-se em torno de duas interpretações diferentes das espécies gêmeas. De acordo com Mayr (1948; 1963), as espécies gêmeas fornecem a evidência de que a correlação entre a diversidade morfológica e a aquisição de mecanismos de isolamento não é muito forte. Espécies gêmeas são espécies biológicas que adquiriram isolamento reprodutivo, mas não ainda diferença morfológica. Se um gênero inclui tantas espécies gêmeas como espécies

morfologicamente distintas, estas últimas são usualmente mais diferenciadas em termos genéticos, mas tal relação não conta necessariamente nas comparações intergenéricas. Mas, segundo grupo de estudiosos, as espécies gêmeas são espécies incipientes, representando um estágio no processo da especiação. Pesquisas posteriores, todavia, revelaram de modo convincente que, do ponto de vista do isolamento reprodutivo, as espécies gêmeas não diferem das espécies morfologicamente distintas. E mais do que isso, espécies morfologicamente distintas, como as *Drosophila silvestris* e *D. heteroneura,* do Havaí, são por vezes muito mais semelhantes geneticamente do que espécies gêmeas. Hoje em dia tem-se como evidente que as espécies gêmeas *não* são espécies incipientes.

Casos-limite ou espécies incipientes

Desde que a maioria das espécies se origina como geograficamente isoladas, poder-se-ia esperar que certa percentagem de tais populações isoladas se situe nos limites entre subespécies, espécies e espécies bem constituídas. A decisão de intitular tais populações de espécies, ou o contrário, passa a ser necessariamente algo arbitrário. A existência desses casos de fronteira é exatamente o que se deve esperar, se acreditarmos na evolução. Muitos desses casos são igualmente embaraçosos para o conceito morfológico de espécie, tendo em vista que eles são intermediários, tanto em termos morfológicos quanto reprodutivos. Das 607 espécies de pássaros da América do Norte, por exemplo, 46 possuem populações que se inscrevem na classe de espécies incipientes.

Reprodução uniparental (assexualidade)

O conceito biológico de espécies baseia-se no isolamento reprodutivo das populações. Tal conceito, por isso, não pode ser aplicado a grupos de animais e de plantas desprovidos da reprodução bissexual. Em relação a esses organismos, não existem populações, no sentido convencional da biologia. Numa espécie de reprodução assexual, cada indivíduo e cada clone são reprodutivamente isolados. Seria absurdo chamar a cada um deles uma espécie separada. Mas como se poderiam combinar tais indivíduos e clones em espécies? Isso tem sido há muito tempo uma fonte de discussão entre os biologistas. Qualquer solução que se venha a adotar será, na melhor das hipóteses, um compromisso. Aquela que aparentemente se adapta melhor à maioria das situações do que qualquer outra está baseada na idéia de que uma espécie se caracteriza não apenas pelo isolamento reprodutivo, mas também pelo fato de que ela ocupa um nicho ecológico específico de espécie. Esta segunda característica da espécie pode ser normalmente aplicada aos organismos assexuados. Costuma-se, por isso, combinar em espécies aqueles organismos assexuados e aqueles clones que preenchem o mesmo nicho ecológico, ou que desempenham o mesmo papel no ecossistema. A paisagem ecológica é altamente diversificada, e, em consequência disso, os nichos são descontínuos, e da mesma forma o são os ocupantes de tais nichos ecológicos. Essas descontinuidades podem muitas vezes ser utilizadas para discriminar *taxa* de espécies entre organismos de reprodução uniparental. Na maioria dos casos, as ocupações de nichos diferentes estão correlacionadas a certas diferenças morfológicas, fisiológicas ou bioquímicas, e por isso esses tipos de diferenças podem ser utilizados para inferir diversidades ecológicas. Usualmente, grupos inteiros de diferenças mais ou menos correlatas estão envolvidos, e tais grupos são chamados espécies (Stanier *et alii,* 1970: 525). Não é tal, como por vezes se diz, que as espécies nos

organismos assexuados são morfologicamente definidas, mas sim que as diferenças morfológicas permitem uma inferência do seu nicho de ocupação, e assim do seu *status* de espécie.

Evidentemente, ainda não foi dita a última palavra sobre o conceito de espécie dos organismos com reprodução uniparental, os procariotos em particular. Nestes organismos se deparam muitos fenômenos intrincados, não comparáveis a tudo o que se conhece dos eucariotos superiores. Aqui se inclui, por exemplo, a extrema constância das "espécies" de Caianoficeas (algas azuis), bem como a evidência de grande parte do intercâmbio de genes, em certos gêneros de bactérias. Requer-se um maior conhecimento de dados concretos, nessas circunstâncias, antes de se poder especular sobre que conceito de espécie melhor se aplica a tais organismos.

Vazamento dos mecanismos de isolamento (hibridação)

Em relação aos animais semoventes, que possuem mecanismos de isolamento comportamentais bem desenvolvidos, a hibridação é rara, na realidade; na maioria das espécies, excepcional. Um completo colapso, todavia, do isolamento reprodutivo tem sido constatado em numerosos casos, no seio de certas populações de espécies animais simpátricas (Mayr, 1963: 114-125). Contudo, nem nas aves nem nas *Drosophila,* ele constitui uma ameaça séria ao conceito biológico de espécie. Muitos grupos de animais ainda não são suficientemente bem conhecidos para se determinar a frequência da hibridação. A impressão que se colhe da literatura é que ela é tão rara, na maioria dos outros grupos de animais, como o é entre as aves e as *Drosophila.* Onde ela é mais comum, como entre os peixes de água doce, não chega ainda ao ponto de levar a uma séria dissolução da integridade da espécie, pois os híbridos são geralmente estéreis. A hibridação, por certo, cria uma dificuldade igualmente grande, tanto para o conceito morfológico quanto para o conceito biológico de espécie.

A situação é claramente diferente nas plantas. Edgar Anderson (1949) introduziu o conceito útil de introgressão, para designar a incorporação dos genes de uma espécie no acervo genético de outra, como resultado de uma hibridação bem-sucedida e retrocruzamento. Os botânicos estão de acordo em que tal derrame dos genes de uma espécie para a outra é frequente, embora ainda persista uma discussão considerável sobre em que medida ele é comum (Grant, 1971: 163-184). Por vezes, esse escoamento dos genes conduz a uma completa liquefação das demarcações da espécie, correspondendo ao desmantelamento semelhante que acontece entre as espécies de pássaros *Passer domesticus* e *P. hispaniolensis,* ou *Pipilo erythophtalmus* e *P. ocai,* mas muito mais frequentemente as duas espécies originárias continuam a existir lado a lado, a despeito da contínua introgressão. Stebbins registrou o caso de duas espécies de carvalhos californianos (*Quercus*), das quais se conhecem híbridos desde o Plioceno até o presente, e onde, todavia, as duas espécies conservaram sua integridade essencial. Casos semelhantes, em particular ainda com os carvalhos, foram descritos também recentemente na literatura botânica. A genética de tais casos permanece inteiramente incompreensível, tendo-se a impressão de que uma parte do genótipo das duas espécies não fica afetada pela hibridação. As duas espécies, no caso, parecem permanecer "reprodutivamente isoladas", no sentido de que não se fundem numa população única, a despeito do vazamento de alguns dos seus genes. Se em tais casos de introgressão deve ou não ser abandonado o conceito biológico de espécie, permanece assunto controvertido (Van Valen, 1976). Eu não penso que deva. A introdução de um novo termo técnico para tais ocorrências poderá contribuir para chamar a atenção para a sua existência, mas tem pouco valor explicativo. De qualquer maneira, podem existir gêneros

de plantas, como *Rubus, Crateagus,* ou *Taraxacum*, sem espécies distintas.

O famoso problema da espécie, na biologia, pode ser reduzido a uma simples escolha entre duas alternativas: As espécies são realidades da natureza, ou elas são simplesmente construções teóricas da mente humana? As agressões ao conceito de espécie suscitam uma manifestação indigna de Karl Jordan (1905). Sempre que ele ia às suas excursões de campo, assim dizia, encontrava descontinuidades naturais bem definidas, cada uma delas caracterizada não apenas por particularidades visíveis, mas também por um grande séquito de características biológicas (vocalização, sazonalidade, preferências ecológicas, e assim por diante). Para ele, um entomologista, as espécies eram simplesmente um fato da natureza. Exatamente assim pensa também o ornitologista. Sinceramente, ele tem dificuldade de entender por que alguém haveria de torturar-se com o problema da espécie.

Então, de onde procedem os ataques ao conceito biológico de espécie? Eles procedem ou dos matemáticos, como Sokal, que têm pouca intimidade com as espécies da natureza, ou dos botânicos. Eu mesmo não sou botânico, mas, desde os primeiros tempos da minha juventude, tenho colecionado, identificado plantas, e isso em três continentes. Com certeza, existem situações de "impasse", como anteriormente mencionado, mas estou muito mais impressionado com a clara distinção da maioria dos "tipos" de plantas, que encontro na natureza, do que com os ocasionais impasses. Uma preocupação míope com as situações de "impasse" impediu muitos botânicos (mas de forma alguma todos eles, talvez nem mesmo a maioria) de perceberem que o conceito de espécie, na maior parte dos casos, descreve a situação da diversidade natural das plantas de modo perfeitamente adequado. [19] É até engraçado constatar que alguns daqueles que foram os mais ativos detratores do conceito de espécie, ao escreverem comentários e monografias taxionômicos, parecem mudar de posição, pois aí se revelam inteiramente convencionais, praticando assim a mesma inconsistência conceitual, como o fez Lamarck, ao aplicar o conceito nominalista de espécie.

Aplicação do conceito biológico de espécie aos *taxa* multidimensionais de espécies

No decurso do século XVIII e início do XIX, a espécie livrava-se cada mais do peso que lhe era imposto pelo dogma essencialista, e tornou-se gradualmente a unidade de observação do naturalista local. Este sabia que aquilo com que se deparava na sua área de estudo não era nem simples aglomerado de indivíduos, como afirmavam os nominalistas, nem os reflexos de uma essência. As populações locais possuíam uma unidade, mantida pelo intercruzamento dos indivíduos de que eram compostas essas populações. Diferenças de sexo e idade, ou outros tipos de variação individual, raramente deixavam o naturalista confuso por muito tempo. As espécies, da forma como por ele percebidas, eram objetos "reais", constantes, e separados entre si por hiatos bem definidos. Elas eram as espécies "não-dimensionais", conhecidas de John Ray e Gilbert White, na Grã-Bretanha, e de Lineu, na Suécia.

Mayr, numa série de análises, a partir de 1946, salientava que o conceito de espécie acolhe o seu pleno significado somente quando as populações, pertencentes a espécies diferentes, entram em contato. Isso ocorre em situações locais, sem que entrem as dimensões de espaço (geografia) e de tempo. A palavra "espécie", numa tal situação não – dimensional, designa um conceito relacionai, como o termo "irmão". Ser irmão não é uma propriedade intrínseca de um indivíduo, pois que isso

depende inteiramente da existência de outro irmão. Uma população, da mesma forma, é uma espécie que se relaciona com outras populações simpátricas. A função do conceito de espécie consiste em determinar o *status* de indivíduos e populações coexistentes. Saber se tais indivíduos pertencem ou não à mesma espécie é de fundamental importância para o ecologista e para o estudioso do comportamento. Esses biologistas lidam quase exclusivamente com situações não-dimensionais. Se duas populações, que não estão em contato entre si, seja no tempo ou seja no espaço, são ou não co-específicas, é, na maioria dos casos, uma questão biologicamente desinteressante, para não dizer completamente irrelevante.

Todavia, há três grupos de biólogos cujos problemas de pesquisa forçam-nos a ir além das situações não-dimensionais: os taxionomistas, os paleontólogos e os evolucionistas. Eles se obrigam a sistematizar populações que se apresentam no espaço e no tempo, revelando, como se diz, a variação geográfica e temporal. De que forma esses profissionais encaram os problemas levantados pelas espécies multidimensionais?

Variação na dimensão espacial

Comecemos pelo problema da *variação geográfica.* Ao se compararem as populações de países diferentes, deparava-se com todo tipo de dificuldades para classificá-las nas categorias apropriadas. [20] O primeiro autor a defrontar-se com esse problema, ao que parece, foi Buffon, quando se pôs a estudar os animais da América do Norte. Ali ele encontrou não apenas mamíferos que eram muitíssimo parecidos com as espécies européias, como o castor, o calce, o cervo vermelho (gamo), mas também muitos pássaros que, segundo parecia, eram aparentados com espécies bem conhecidas da Europa. Essas observações induziram Buffon a afirmar:

> Sem reverter a ordem da natureza, possivelmente todos os animais do Novo Mundo seriam basicamente os mesmos do Velho Mundo, dos quais se originaram. Poder-se-ia sugerir, além disso, que, tendo sido separados dos restantes animais por mares imensos ou por terras intransponíveis, e, com o tempo, tendo-se impregnado de todas as impressões e sofrido todos os efeitos do clima, que por sua vez também se alterou pelas mesmas causas que produziram a separação, esses animais se encolheram, se desfiguraram, etc. Mas isso não nos impediria de encará-los hoje como animais de espécies diferentes (*Oeuvr. Phil.*: 382).

Por razões de conveniência, muitos autores, ao classificarem as formas vicárias, designavam-nas espécies.

Alguns naturalistas preferiram uma solução diferente. Palias, durante suas viagens pela Sibéria, e bem assim outros exploradores russos no interior da Ásia oriental (cujas coleções Palias estudou) também encontraram numerosas formas vicárias de espécies européias. Mesmo reconhecendo-as como novas, Palias usualmente as classificava como "variedades". Essas duas soluções para o problema de como classificar os representantes geográficos de espécies previamente conhecidas continuaram a competir entre si, nos 150 anos seguintes. Muitos taxionomistas chamavam cada variante geográfica uma espécie diferente, mas o ornitologista Gloger (1833), pondo ênfase no fato de que muitas, senão a maioria, das espécies de pássaros variam geograficamente, recomendava chamar todas essas variantes geográficas de raças, ou variedades.

Dois desdobramentos foram necessários para pôr fim a essa controvérsia. O primeiro foi a rejeição do essencialismo, com a sua insistência na constância da essência das espécies. Isso permitiu reconhecer o fato de que existem *taxa* de espécies geograficamente variáveis, para fazer face a essa variabilidade. O segundo, foi o reconhecimento de que a delimitação desses *taxa* constitui um problema completamente separado do de estabelecer critérios não-ambíguos para a sua classificação, seja na categoria da espécie, seja numa categoria infra-específica. Para que seja possível situar um táxon, deve-se ter um conceito da categoria em que será colocado. Esse o motivo por que foi necessário desenvolver um conceito de espécie claramente definido.

Categorias infra-específicas

Os essencialistas não sabiam como lidar com a variação, pois, por definição, todos os membros de uma espécie têm a mesma essência. Quando se encontravam indivíduos que diferiam fortemente da norma da espécie, eles eram considerados espécies diferentes; quando diferiam apenas tenuemente, uma "variedade". A variedade (*varietas*) era a única subdivisão da espécie que Lineu reconhecia, e assim também os antigos taxionomistas, variedade essa que se afastava do tipo ideal da espécie. Na sua *Philosophia Botanica* (1751, par. 158), Lineu caracterizou a variedade como segue:

> Existem tantas variedades quantas são as diferentes plantas produzidas pela semente da mesma espécie. A variedade é uma planta que se modificou por uma causa acidental: clima, solo, temperatura, vento, etc. Consequentemente, uma variedade toma à sua condição original, quando o solo é mudado.

Aqui Lineu definia a variedade como uma modificação não-genética do fenótipo. Contudo, na sua discussão das variedades no reino animal (par. 259), Lineu incluía também variantes genéticas, tais como raças de animais domésticos e diversos tipos de variantes intrapopulacionais. Como exemplos, ele enumera "vacas brancas e pretas, pequenas e grandes, gordas e magras, lisas e felpudas; assim também as raças de cães domésticos". É evidente que a categoria "variedade", nos escritos de Lineu, consistia em um conjunto altamente heterogêneo do tipo da espécie. Ele não distinguiu entre variedades hereditárias e não-hereditárias, nem entre aquelas que se referem a indivíduos e as que representam populações diferentes (como raças domésticas e geográficas). Essa confusão prolongou-se por duzentos anos, e alguns resíduos da mesma ainda podem ser encontrados na literatura contemporânea. A aplicação do termo "variedade" a fenômenos tão diferentes como variantes intrapopulacionais e populações distinguíveis foi uma das razões por que Darwin não percebeu de modo mais claro o problema fundamental da especiação (Mayr, 1959b).

As variedades geográficas tornaram-se particularmente importantes na história da sistemática e do evolucionismo. Por exemplo, Palias e Esper (Mayr, 1963: 335), já no século XVIII, reconheceram que as raças geográficas são algo bem diferente das variedades ordinárias, e tentaram exprimir isso numa terminologia própria. A seu tempo, tais variedades foram designadas "subespécies", mas ainda eram tratadas de modo perfeitamente tipológico. As subespécies eram consideradas, quase ao final do século XIX, unidade taxinômica, como as espécies morfológicas, mas de nível categorial mais baixo.[21] Essa interpretação tipológica das subespécies foi lentamente substituída por uma interpretação populacional. A subespécie é agora definida como

> um agregado de populações de uma espécie, fenotipicamente semelhantes, habitando uma divisão geográfica no nível de uma espécie, e diferindo taxionomicamente de outras populações da espécies (Mayr, 1969: 41).

É uma unidade de conveniência para o taxionomista, mas não uma unidade da evolução.

Por volta de 1850, os zoólogos mais progressistas, particularmente os estudiosos dos pássaros, peixes, borboletas e caracóis, começaram a perceber não apenas que não existem nem dois indivíduos de uma população que sejam inteiramente idênticos, mas também que a maioria das populações difere uma das outras no valor principal de muitos caracteres. As consequências desse novo ponto de vista sobre a teoria da evolução serão discutidas num capítulo posterior, mas isso também teve um impacto na classificação das espécies.

Quando uma população se diferenciava "taxionomicamente" (o que normalmente significava morfologicamente) de outras já identificadas, ela era descrita como uma nova subespécie. Acrescentava-se um nome ao nome da espécie, e assim a designação da subespécie se tomava trinominal. A raça inglesa de arvéola branca *Motacilla alba,* por exemplo, ficou sendo *Motacilla alba* var. *lugubris*. Aos poucos, a designação "var." foi abandonada, e a subespécie passou a designar-se simplesmente, com nome triplo, *Motacilla alba lugubris*. O primeiro autor a empregar rotineiramente os trinômios foi Schlegel (1844).

Por aquele mesmo tempo, uma tendência já presente nos escritos de Esper virou tradição: restringir o termo "variedade" a variantes individuais (intrapopulacionais), e o termo "subespécie" às raças geográficas (Mayr, 1942: 108-113).

A consistência com que o termo "subespécie" é aplicado a raças geográficas varia de um grupo taxionômico para outro. Muitos botânicos, ainda; hoje, chamam as raças geográficas de variedades. Em certas áreas da zoologia, o termo "variedade" é usado somente para variantes individuais, enquanto as raças geográficas ou são ignoradas (quando tênues), ou promovidas ao nível de espécies plenas. Estamos ainda longe de uma verdadeira consistência na taxionomia das plantas e dos animais.

Taxa *de espécies politípicas*

Somente em algumas espécies se reconhecem subespécies. Certos autores foram de opinião que tais *taxa* de espécie deveriam ser distinguidos terminologicamente, e vários nomes para eles foram sugeridos. Rensch (1929) propôs o termo *Rassenkreise,* enquanto Mayr (1942) empregou intencionalmente o termo mais apropriado de *espécies politípicas,* originalmente introduzido por Julian Huxley. É este o termo hoje de uso universal, para descrever espécies compostas de certo número de subespécies (Mayr, 1969: 37-52).

De começo, pensava-se que a adoção de espécies politípicas implicaria o estabelecimento de um novo conceito de espécie. Todavia, tão logo firmada a distinção terminológica entre "categoria" e "táxon", ficou evidente que a espécie politípica é apenas um tipo especial de táxon de espécie, e que não requer qualquer alteração do conceito da categoria biológica da espécie.

O reconhecimento de *taxa* de espécies politípicas, pela nova sistemática, levou a um grande esclarecimento e simplificação da classificação em nível de espécie. Na ornitologia, por exemplo, a correta aplicação da espécie politípica permitiu a redução do número de *taxa* de espécies

reconhecidos, de vinte mil, em 1920, para cerca de nove mil, hoje.

O progresso na modernização da taxionomia das espécies foi altamente desigual, nas diversas áreas da biologia. A exemplo, mais que 95% de todas as espécies de pássaros estavam descritos, por volta de 1930, e somente em torno de três ou quatro espécies por ano eram descobertas posteriormente. E, assim, o esforço maior da taxionomia ficava consagrado à avaliação da consistência das subespécies e à delimitação das espécies politípicas. Em outros grupos, tantas são as espécies que ainda estão sendo descobertas, que o uso do conceito da espécie politípica mal pôde começar.

Nos dias de hoje, entre os ornitologistas, a unanimidade no tratamento das subespécies ainda não é completa. A situação era, a bem dizer, caótica no século XIX (Stresemann, 1975: 243-268). Alguns autores ignoravam completamente populações geograficamente isoladas, a menos que fosse gritante a diferença; outros descreviam-nas como subespécies, e outros ainda designavam cada uma dessas populações espécies plenas. Por volta de 1890, verificou-se uma redução desse desacordo. Instalou-se o consenso de que populações diferenciadas deviam ser reconhecidas como tais, mas perdurava a discordância sobre como designá-las: seriam subespécies, ou outras tantas espécies. Por influência dos melhores ornitologistas americanos, Baird, Coues e Ridgway, foi adotado o princípio segundo o qual seriam tratadas como subespécies todas aquelas populações cuja variação se superpunha à população parental. Esse princípio foi expresso no dito "a intergradação é a pedra de toque do trinominalismo". De conformidade com o conceito morfológico da espécie, de que esses autores eram adeptos, qualquer caso isolado que ostentasse diferença morfológica ou de cor bem definida era chamado uma espécie. Tal critério, para o reconhecimento de *taxa* de espécies, foi amplamente adotado em nível internacional, como, por exemplo, na definição da espécie de Lankester-Wallace, anteriormente referida.

O ornitologista alemão, Ernest Hartert, afastou-se dessa conceitualização estreita de subespécie, substituindo-a por um critério novo, a saber, o da representação geográfica. Mesmo que uma população geograficamente expressiva seja diferente, e "mesmo que não haja formas intermediárias", ao chamá-la de subespécie, "revela-se a proximidade do parentesco". Sua definição de subespécie, dessa forma, por inferência, estava baseada no conceito biológico de espécie. Embora combatido vigorosamente pelo estado-maior dos ornitologistas, tanto na América como na Europa, o princípio de Hartert bem depressa angariou seguidores na Alemanha (Meyer, Erlanger, Schalow) e na Áustria (Tschusi, Hellmayer), ficando completamente vitorioso em 1920, sob a liderança de Erwin Stresemann.

Contudo, Stresemann e alguns de seus adeptos muitas vezes foram longe demais na aplicação do princípio da vicariedade geográfica. Eles tendiam a reduzir toda espécie alopátrica ao nível de uma subespécie, influenciados, em parte, pela *Formenkreislehre* de Otto Kleinschmidt (ver Stresmann, 1975). Foi Rensch (1929) quem deu um grito por um basta nesse excesso de agrupamento. Ele propôs que se reconhecessem não apenas grupos de subespécies, geograficamente representativas, isto é, espécies politípicas, mas também grupos de espécies geograficamente representativas, as quais ele intitulava *Artenkreise,* redesignadas como "superespécies" por Mayr (1931). As superespécies são grupos de populações geograficamente vicárias (anteriormente consideradas espécies politípicas), cujos componentes (chamados "aloespécies" por Amadon) ficaram isoladas pelo tempo suficiente para alcançarem o nível de espécie. Grande parte da atividade da taxionomia das aves, nas décadas recentes, consistiu no discernimento cuidadoso das espécies politípicas, particularmente nas regiões

insulares, a fim de determinar quais subespécies isoladas, e bem pronunciadas, podiam ser promovidas ao nível de aloespécie. A melhor serventia do reconhecimento das superespécies acontece na área da pesquisa zoogeográfica.

As superespécies são comuns também em muitos outros grupos de organismos, mas isto só se evidencia quando um especialista delineia a distribuição das espécies mais proximamente aparentadas num mesmo mapa. Com muita frequência, as bordas dessas espécies se tocam, ou se superpõem ligeiramente (distribuição parapátrica), com ou sem alguma pequena porção de hibridismo. O grupo *Rana pipiens,* de rãs da América do Norte, considerado em 1940 urna espécie politípica vastamente difundida, revelou-se desde então como sendo uma dessas superespécies, consistindo em pelo menos seis (alo) espécies componentes.

Nenhum grupo de animais está com a taxinomia tão amadurecida como o das aves. Por essa razão, as aves têm sido de particular valia, não apenas para os estudos evolucionistas, mas também para a ecologia. Em muitos grupos de animais, a aplicação de espécies politípicas, biologicamente definidas, tem avançado bem menos. Há indicações no sentido de que a situação, quanto às aves, seja particularmente simples, pois parece aí que não se encontram muitas das dificuldades com que se defrontam os estudiosos de outros *taxa* de animais e de plantas. A variação cromossômica, por exemplo, parece ser muito tênue, e a poliploidicidade, ausente. A hibridação entre as espécies é suficientemente rara para não causar qualquer problema, e nem há qualquer especialização ecológica ou adaptação a hospedeiros específicos que criem dificuldades. A especiação incipiente parece proceder exclusivamente por via de isolados geográficos. Isso confere às espécies de aves uma simplicidade tal, que raramente se encontra em outros *taxa* (Mayr e Short, 1970). Muita pesquisa adicional é necessária para determinar se o conceito predominante de espécie deva ser modificado, ou se outros tipos de *taxa* de espécies devam ser reconhecidos, para fazer face a todas as complexidades de outros grupos de animais e de plantas.

Variação na dimensão do tempo

Os paleontólogos, de modo particular, enfrentam dificuldades formidáveis, na delimitação dos *taxa* das espécies. Em localidades fósseis diferentes, toca-lhe lidar tanto com a dimensão temporal, como com a dimensão geográfica. O estudioso de biotas recentes trata de uma seção transversal, instantânea, da continuidade evolutiva, enquanto o paleontólogo trata da diversidade como sendo um contínuo. Em vista dessas dificuldades, os paleontólogos, até bem pouco tempo, passaram de modo geral ao largo do problema da espécie. No seu *Tempo and Mode in Evolution* (1944), Simpson quase nunca menciona a espécie. E quando o faz, é somente em referência à especiação, como, por exemplo,

> As linhas filéticas … são compostas de espécies sucessivas, mas as espécies sucessivas são algo muito diferente das espécies contemporâneas, envolvidas na especiação, no sentido em que esse termo vem usualmente
> empregado (p. 202).

Da mesma forma como o neo-ontológo, o paleontólogo deve tentar a solução do seu problema, começando pela situação não-dimensional. Tal aproximação é possível, tendo em vista que uma

amostra colhida em um sedimento fóssil (num horizonte restrito) representa normalmente uma situação não-dimensional. Aqui o paleontólogo tem condições de tomar uma decisão inequívoca. A variação que aí se encontra pertence a uma única população, ou representa diversas espécies. As subespécies, no espaço e no tempo, ficam excluídas, pela própria natureza da situação. A análise de tais amostras monotópicas fornece o parâmetro a ser aplicado na comparação de amostras que diferem no espaço e no tempo. Dividir o material coletado, num mesmo local, em numerosas "variedades", como feito por alguns paleontólogos de invertebrados, pode ser útil para as pesquisas estratigráficas, mas biologicamente indefensável. Faz menos sentido ainda, em termos biológicos, quando paleobotânicos reconhecem "espécies" separadas, a partir de folhas, troncos, inflorescências e sementes, coletados no mesmo depósito. Segundo se admite, mesmo tais amostras não-dimensionais levantam problemas difíceis. Nem sempre é fácil determinar se certos fenos representam espécies diferentes, ou apenas diferenças de idade ou sexo. Em grupos em que ocorrem espécies gêmeas, estas presumivelmente nunca poderão ser distinguidas nos fósseis. De qualquer maneira, trata-se aí muito mais de dificuldade técnicas que de problemas de conceito.

Essas dificuldades conceituais surgem, de qualquer maneira, quando o paleontólogo se obriga a estender as espécies locais de um único depósito ao espaço multidimensional da história da vida. Com que critérios poderia ele delimitar os seus *taxa* de espécies? Toda linhagem filética é um sistema aberto. Onde se poderia situar o começo e o fim de uma espécie em tal continuidade? Hennig (1950), da escola cladística, procura escapar a esse dilema, definindo a espécie simplesmente como o segmento de uma linhagem filética, entre dois pontos de ramificação. Isso omite qualquer referência ao isolamento reprodutivo, e é proceder fortemente tipológico, na sua exclusiva confiança em um número limitado de caracteres ancestrais ou derivados. Além disso, é um trato estritamente formalístico, porquanto nesse esquema a espécie *a* toma-se automaticamente a espécie *b,* quando outra espécie, c, se desmembra, mesmo que não haja nenhuma evidência de qualquer diversidade entre as espécies *a* e *b*. O cladística E. O. Wiley (1978) afirmou recentemente que "nenhuma linhagem presumidamente separada, única e evolutiva, pode ser subdividida numa série de espécies ancestrais e descendentes". As afirmações de Hennig e de seus seguidores ignoram o fato de que os eventos de especiação, que acontecem nas periferias de populações, não têm efeito algum no corpo principal da espécie, o qual continua sua vida evolutiva sem alteração do seu *status* de espécie, tendo em conta que ele não é afetado pelo brotar de uma espécie irmã periférica.

A "solução" formalística do problema da espécie no tempo, por isso, não é nenhuma solução. Como Simpson acentua (1961: 165), com muita razão, todas as linhagens evolutivas (exceto em casos de saltos da evolução) têm uma continuidade evolutiva completa, e, se não dividíssemos tal linha em espécies ancestrais e descendentes, "poder-se-ia começar pelo homem e regredir até um protista, sempre dentro da espécie *Homo Sapiens".* Mas como se poderia dividir tal linhagem numa sequência de espécies?

Simpson tentou resolver esse problema, mediante a introdução de um novo conceito de espécie, o de *espécie evolutiva:*

> Uma espécie evolutiva é uma linhagem (sequência ancestral – descendente de populações), evoluindo em separado das outras, e com o seu próprio papel evolutivo unitário e suas tendências (1961: 153).

A vulnerabilidade dessa definição consiste, evidentemente, em que ela se aplica de igual forma à maioria das espécies incipientes, tais como as subespécies geograficamente isoladas. Estas também evoluem separadamente, e são dotadas do seu próprio papel evolutivo unitário, mas não são espécies, até que não tenham adquirido o isolamento reprodutivo. E quanto ao mais, o que significa exatamente "papel evolutivo unitário"? A definição de Simpson é a de uma linhagem filética, mas não a de uma espécie.

Além disso, essa definição não nos ajuda de forma alguma a definir a sequência dos *taxa* de espécies no tempo. Seriam as sequências de *taxa* de espécies temporais, descritas por Gingerich (1977), nos *Plesiadapis* e outros mamíferos do Paleoceno/Eoceno, espécies boas ou apenas subespécies? A resposta de que elas são espécies, se tiveram diferentes "papéis evolutivos unitários", não é resposta alguma, pois de que maneira poderíamos determinar isso? A definição de Simpson é basicamente uma descrição tipológica, que ignora o fato de que os *taxa* de espécies evolutivamente mais interessantes são as espécies politípicas. Muitas populações e raças desses complexos diferem significativamente na utilização dos nichos; elas não possuem um papel evolutivo unitário. A definição de espécie dada pela paleontologia tenta substituir a definição não-dimensional por uma outra unidimensional (dimensão-tempo), mas envolve-se em contradições, pelo fato de ignorar as dimensões "horizontais" (longitude e latitude). A principal fragilidade das assim chamadas definições das espécies evolutivas reside em que elas minimizam (quando não ignoram) o problema crucial da espécie, que é a causa e a manutenção das descontinuidades entre as espécies, concentrando-se, em vez disso, no problema de como delimitar *taxa* de espécies multidimensionais. E mais, elas nem mesmo atingem o objetivo limitado de delimitar tais sistemas em aberto. Incidentalmente, houve tentativas anteriores de incorporar o critério "evolutivo" numa definição de espécie (por exemplo a de Alfred Emerson), mas elas não foram adotadas, ao se reconhecerem a irrelevância e a impraticabilidade desse critério.

A situação, todavia, não é completamente desesperadora. Muitas linhagens fileticas se extinguem, e isso põe um fim natural à sua última espécie da linhagem. Da mesma forma, muitas espécies se originam, rapidamente, numa população fundadora, perifericamente isolada, ou num refúgio temporário. Aqui, o começo da primeira espécie da nova linhagem é dado. A delimitação precisa entre *taxa* de espécies temporais é impossível somente em casos de uma sequência de espécies ancestrais – descendentes, que gradualmente se transformam umas em outras, numa única linhagem filética. Aqui, a evolução biológica falha em satisfazer os desejos do taxionomista. Felizmente, os registros fósseis são mais prestativos. Suas lacunas normalmente fornecem intervalos suficientes nas linhagens, para permitirem uma delimitação de *taxa* verticiais de espécies, por artificial que isso possa ser. Ao que se afigura, teremos que aceitar tal solução de compromisso, uma vez que a evidência parece não dar suporte à afirmação de alguns defensores da teoria dos "equilíbrios pontuados", (ver Capítulo 13), segundo a qual não haveria jamais qualquer especiação filética, e que toda nova espécie se originaria de populações fundadoras (ou de refúgios), ou mesmo de saltos.

O significado de espécie na biologia

Devido às intermináveis discussões em tomo da definição da categoria de espécie, os biólogos

que não se ocupam de espécies, mas de células

ou moléculas, poderiam pensar que a espécie é, na biologia, um conceito arbitrário e insignificante. Na realidade, o reconhecimento da importância da espécie cresce constantemente (Mayr, 1969). Houve um tempo em que a categoria de espécie constituía a grande preocupação dos taxionomistas. Num estágio posterior, os geneticistas começaram a enfatizar a unidade genética de espécie, exprimindo isso tanto por se referirem a ela como sendo um cabedal vasto e único de genes, como por acentuarem a co-adaptação dos genes entre si. Isto, por sua vez, afetou a avaliação do processo de especiação. O assunto já não é mais encarado, como em Darwin, como sendo uma mudança casual e sempre presente, mas sim como um evento drástico. Mais uma vez tomamos consciência de que é necessário um passo concreto, para a passagem de uma espécie à próxima. Sabemos hoje que as mudanças genéticas de população para população, no seio de uma espécie, são muitas vezes de tipo diferente e, definidamente, de uma ordem de magnitude mais baixa que as mudanças genéticas de uma espécie para outra.

Sendo o isolamento reprodutivo um dos importantes aspectos da espécie, em relação às outras, é evidente que a aquisição dos mecanismos desse isolamento é de relevância crucial na história das espécies. Pode-se encontrar grande volume de variação genética nas populações adjacentes e inter-relacionadas de uma espécie, mas todas elas pertencem à mesma espécie, sempre que não estiverem separadas por barreiras reprodutivas. Enquanto ausentes estas barreiras, a diversidade das populações pode ser revertida mediante fluxo genético, por uma hibridação imposta, ou por pressões de seleção convergente. Alcança-se o ponto de irreversibilidade, quando uma população evolutiva adquiriu mecanismos de isolamento em relação à sua população originária. A partir desse ponto "ponto sem retorno", a nova espécie pode invadir novos nichos e novas zonas de adaptação. A origem de *taxa* novos e superiores, e de todas as inovações evolutivas, remonta, em última instância, a uma espécie fundadora. A espécie, por esse motivo, é a unidade básica da biologia evolutiva (Mayr, 1970: 373374).

O papel da espécie, na evolução, foi muitas vezes subestimado. Huxley (1942), em grande parte, considerava a formação das espécies "uma luxúria biológica, sem grande influxo nas tendências maiores e contínuas do processo evolutivo". Mayr (1963: 620-621) discordou dessa interpretação:

> A prodigiosa multiplicação das espécies é um pré-requisito do processo evolutivo. Cada espécie é um experimento biológico … No que concerne a uma espécie incipiente, não há maneira de prever se o novo nicho que ela adentra é um beco sem saída ou o ingresso numa nova e vasta zona de adaptação … Conquanto o evolucionista possa falar de fenômenos amplos, tais como tendências, adaptações, especializações e regressões, esses fenômenos não são separáveis da progressão das entidades pelas quais aquelas tendências se manifestam, as espécies. As espécies são a unidade real da evolução.

A espécie é também, em larga medida, a unidade básica da ecologia. Uma vez que os ecossistemas se compõem de espécies, nenhum deles pode ser plenamente entendido, a menos que seja decomposto nas suas espécies constituintes, e sejam compreendidas as interações mútuas dessas espécies. Uma espécie, independentemente dos indivíduos que a compõem, interage, como uma unidade, com as demais espécies que compartilham o mesmo ambiente (Cf. Cody e Diamond, 1974). Tal interação é o objeto principal da ecologia.

Tendo em vista o fato de que os mecanismos de isolamento fazem da espécie uma comunidade reprodutiva, a espécie animal constitui também unidade importante para a ciência do comportamento. Indivíduos pertencentes à mesma espécie possuem o mesmo sistema de sinalizações, no que concerne aos elementos do comportamento sexual. Da mesma forma, os membros de uma espécie compartilham muitos outros padrões comportamentais, em particular aqueles todos que se relacionam com manifestações sociais.

Por ser a espécie uma das unidades, talvez a mais significativa, da evolução, como também da sistemática, da ecologia e da etologia, ela é uma unidade tão importante na biologia, como o é a célula num nível mais baixo de integração. Ela representa um instrumento de ordenação imensamente útil para muitos fenômenos biológicos significativos. Mesmo que não haja nenhum nome especial para a "ciência das espécies", como existe o nome "citologia" para a ciência das células, não há dúvida que tal ciência existe, e que se tornou uma das áreas mais ativas da biologia.

A espécie é também de grande importância prática. Muita confusão foi provocada, em vários ramos da biologia, inclusive na fisiologia, por uma identificação imprecisa, quando não errônea, da espécie com que o estudioso se ocupava. Os profissionais da biologia aplicada, seja ao tratarem de portadores de doenças, de patogenias, seja de pestes agrárias ou florestais, seja de problemas da vida selvagem ou da pesca, sempre estão a lidar com espécies. A despeito da variabilidade oriunda do caráter genético único de cada indivíduo, existe uma unidade específica da espécie, relativa ao programa genético (DNA) de quase todas elas. Essa onipresença da espécie coloca uma multidão de problemas de origem e de sentido, problemas esses que ocupam uma parte muito expressiva das atuais pesquisas na biologia.

PARTE II

EVOLUÇÃO

Provavelmente, não existe nenhuma tribo primitiva no mundo que não possua algum mito sobre a origem do homem, das árvores, do sol, e talvez mesmo do mundo como um todo. Uma grande serpente, ou pássaro gigante, um peixe ou um leão, ou algum outro organismo com poderes sobrenaturais ou capacidades de geração, era a forma da força atuante, envolvida nessas origens. Quando se desenvolveram as religiões, com deidades concretas, eram esses deuses que criaram as coisas e a vida. Entre os gregos, esse papel era exercido por Zeus, Athena, Poseidon, e outros deuses. A história da criação, do Gênese, é o protótipo desse conceito da origem. A maioria dessas antigas histórias sobre a origem tem em comum o fato de que a criação foi um evento único-e-para-sempre. Isso resultou num mundo estático, atemporal, em que a única mudança era o suceder-se das estações e das gerações humanas. Um processo de evolução era um conceito completamente alheio aos primitivos criacionistas. Um pensamento genuinamente evolucionista surgiu notadamente tarde na história, não obstante afirmações em contrário. [1]

7. ORIGENS SEM EVOLUÇÃO

Os séculos VII, VI e V a. C. foram períodos de florescimento sem precedentes do comércio e do intercâmbio, no Mediterrâneo oriental e no Oriente Próximo. Os gregos, particularmente os colonos jônios da Ásia Menor, viajavam para o Egito e Mesopotâmia, e familiarizaram-se com a geometria egípcia e com a astronomia dos babilônios. Aos poucos ficou claro que se podiam explicar muitos fenômenos "naturalmente", fenômenos que antes eram atribuídos à atividade dos deuses. Então, por que não indagar também questões sobre a origem da matéria, do mundo, da vida?

E quem iria levantar tais questões? Não os cientistas, porque até a Alta Idade Média e a Renascença não existia a ciência, no sentido em que hoje empregamos esse termo. O lugar dos cientistas era ocupado pelos filósofos, os quais estavam à procura da verdade e tentavam compreender o mundo em que viviam. Várias escolas filosóficas foram descritas no Capítulo 3; aqui mencionaremos apenas aquilo que pode ter alguma referência com a evolução (Guthrie, 1962). Infelizmente, restaram apenas fragmentos dos escritos dos filósofos pré-socráticos, mas há suficientes elementos para permitir-nos suspeitar que muito daquilo que eles pensavam era, ao que se afigura, parte da tradição babilônica e egípcia.

O primeiro filósofo que conhecemos foi Thales de Mileto, que viveu nos anos 625-527 a. C. Ele era antes de tudo um astrônomo, geômetra e meteorologista, e evidentemente não estava interessado nos fenômenos biológicos. Ele considerava a água o princípio primeiro, e Aristóteles mais tarde especulou que Thales podia ter dito isso porque a água desempenha um papel tão importante na vida dos animais e das plantas, sendo úmido o próprio sêmen. Também, tantos animais têm alguma conexão com a água, no seu ciclo vital.

Seu discípulo Anaximandro (610-546 a. C.), embora mais conhecido como geógrafo e astrônomo, mostrou mais interesse pelo mundo da vida. Ele tinha uma cosmogonia completa, mas bastante fantasiosa, na qual o fogo, a terra, a água e o ar desempenhavam papéis importantes. Anaximandro imaginava a primeira geração de organismos como se originando através de uma metamorfose, igual àquela pela qual um inseto emerge do estágio de crisálida:

> Os primeiros animais foram gerados na umidade, e estavam envoltos em cascas espinhentas. Quando cresceram mais, eles migraram para a terra mais seca; e quando a sua casca exterior se fendeu e foi abandonada, eles sobreviveram por algum tempo no novo modo de existência.
>
> O homem, para começar, foi gerado de seres vivos de outra espécie, porque, enquanto outros conseguem rapidamente caçar para a sua própria comida, só os homens necessitam de prolongada nutrição. Se ele tivesse sido assim desde o princípio, nunca teria sobrevivido. Por isso, os homens foram formados dentro dessas [criaturas pisciformes] e permaneceram dentro delas como embriões, até chegarem ao estado maduro. Então, finalmente, as criaturas rebentaram, e fora delas vieram os homens e as mulheres, que estavam aptos a se defenderem por si mesmos. (De Toulmin e Goodfield, 1965: 36.)

Isso não é uma antecipação da evolução, como por vezes se tem afirmado, mas refere-se bem

mais à ontogenia das gerações espontâneas. A seguinte geração de filósofos – Anaximenes (555 a. C.), Diógenes de Apollonia (435 a. C.), Xenófanes (500 a. C.) e Parmênides (475 a. C.) – aceitava a geração espontânea, a partir do limo ou da terra úmida.

Empédocles (492-432 a. C.) propôs uma teoria absurda da origem dos seres vivos. No princípio, se originaram apenas as partes do corpo: cabeças ou membros sem corpos, cabeças sem olhos ou bocas, e assim por diante. Enquanto flutuavam, essas partes foram atraídas umas para as outras, até se completarem combinações perfeitas; as imperfeitas pereceram. E perfeitamente ridículo chamar isso um prenuncio da teoria darwiniana da seleção natural, pois nenhuma seleção está envolvida no ajuntamento de partes complementares, nem a eliminação de peças imperfeitas é um processo de seleção. Talvez Empédocles, ao propor sua teoria, tenha sido originalmente inspirado por monstruosidades, como bezerros de duas cabeças.

Nos escritos de Anaxágoras (550-428 a. C.) e de Demócrito (500-404 a. C.), podemos encontrar as primeiras insinuações sobre a adaptação. Para Anaxágoras, um NOUS imaterial forneceu o ímpeto que impulsionava o mundo, sem direcionar, porém, o curso futuro da origem das coisas. Essa não era uma teoria da criação por um plano, como por vezes se tem dito. Demócrito, que aparentemente admirava as adaptações orgânicas, absteve-se cuidadosamente de postular qualquer agente diretivo. Voltava-se muito mais para o pensamento de que o edifício da organização – de sistemas – era uma consequência necessária da propriedade dos átomos. Demócrito, dessa forma, foi o primeiro a levantar o problema dos mecanismos do acaso *versus* tendências imanentes direcionadas a um fim. Ele também acreditava na ordem do mundo, formulando problemas que Aristóteles mais tarde tentou resolver, mediante o conceito de teleologia.

Dois aspectos, em particular, caracterizam os conceitos das origens do mundo dos primeiros filósofos gregos: (1) Os atos de "criação" são desdeificados, isto é, o mundo, ou a vida, e os organismos específicos não são produto da ação de um deus, como era universalmente aceito no período pré-filosófico, mas são o resultado do poder gerador da natureza. (2) As origens eram não-teleológicas, vale dizer, sem um plano ou um objetivo subjacentes: ao contrário, o que aconteceu foi o resultado do acaso, ou de uma necessidade irracional.

Dessa forma, esses filósofos foram os primeiros a fornecer uma explicação racional que invoca unicamente forças conhecidas e agentes materiais, como o calor do sol, ou a água e a terra. Por mais ingênuas e primitivas que tais especulações possam aparecer aos olhos do pensamento moderno, elas constituem a primeira revolução científica, por assim dizer, uma rejeição do sobrenatural, em favor de explicações materiais.

Existe outra diferença aparentemente fundamental entre a concepção do mundo dos filósofos gregos e os autores-sacerdotes da Bíblia. O mundo da Bíblia é recente, tendo a criação ocorrido somente em tomo de quatro mil anos antes de Cristo, como o bispo Ussher mais tarde calculou. Mais do que isso, este mundo cedo chegaria de novo a um fim, no dia do juízo final. Assim, o tempo era um aspecto desprezível da visão do mundo. Por outro lado, a consideração do tempo pelos filósofos gregos nos parece inconsistente. O tempo, para nós modernos, significa mudança, enquanto o conceito predominante entre os pré-socráticos era um mundo etemo, sem mudanças significativas, ou no máximo com mudanças cíclicas, que cedo ou tarde resultariam num retorno à condição original – um mundo estático-constante. Isso aparentemente era aceito mesmo por Heráclito, o do mote *panta rhei* ("tudo flui"). Por isso, embora o tempo fosse ilimitado, ele era de pouca relevância para a visão do mundo dos gregos; não requeria uma substituição de um mundo de origens por um mundo

evolutivo. As origens, por certo, eram de enorme interesse para eles: a origem do universo, da terra, da vida, dos animais, do homem, e da linguagem. Mas pouca reflexão, se é que houve, foi dedicada a mudanças subsequentes.

A aproximação da escala de Hipócrates (460-370 a. C.) foi drasticamente diferente. Esses médicos davam muito mais peso à observação e a uma abordagem empírica do que ao raciocínio. Eles acreditavam inquestionavelmente numa herança de caracteres adquiridos e no princípio do uso e desuso. O clima e outros fatores regionais eram responsáveis pelas diferenças entre as pessoas que viviam em lugares diferentes.

Platão

Dispersos nos ensinamentos dos filósofos jânios, havia pontos promissores para o desenvolvimento do pensamento evolutivo, como o tempo ilimitado, a geração espontânea, mudanças no ambiente, e uma ênfase nas alterações ontogenéticas do indivíduo. Mas isso não foi em frente. Na realidade, a filosofia grega logo a seguir mudou drasticamente de direção. Devido à influência de Parmênides, e mais ainda dos pitagóricos do Sul da Itália, o pensamento da filosofia grega voltou-se mais e mais para a metafísica abstrata, e era sempre mais influenciado pela matemática, particularmente pela geometria. Esse foi o primeiro dos incontáveis episódios, na história da biologia, em que a matemática ou as ciências físicas exerceram um influência prejudicial no desenvolvimento dessa ciência. A preocupação com a geometria conduziu à procura de "realidades imutáveis", *Idealgestalten,* que se ocultavam no fluxo passageiro das aparências. Em outras palavras, o fato levou ao desenvolvimento do essencialismo (veja Capítulo 2), e essa filosofia é, por certo, totalmente incompatível com o pensamento evolutivo.

Uma vez aceito o axioma de que todas as mudanças temporais, observadas pelos sentidos, eram meramente permutas e combinações de "princípios eternos", a sequência histórica dos eventos (que constituíam uma parte do "fluxo") [a variação individual sendo outra parte] perdeu todo sentido fundamental. Seu único interesse residia na medida em que pudesse oferecer pistas para a natureza das realidades duradouras … os filósofos se preocupavam muito mais com assuntos relativos ao *princípio geral – o* plano geométrico do firmamento, as formas matemáticas associadas aos diferentes elementos materiais … Tomavam-se cada vez mais obsessivos com a idéia de uma ordem universal imutável, ou o "cosmos": o eterno e infinito esquema da Natureza – a sociedade inclusive – cujos princípios básicos eles tinham a particular incumbência de descobrir. (Toulmin e Goodfield, 1965: 40.)

Esses novos conceitos encontraram seu mais brilhante porta-voz em Platão, o grande anti-herói do evolucionismo. O pensamento de Platão era o de um geômetra, e evidentemente entendia muito pouco dos fenômenos biológicos. Quatro dogmas de Platão exerceram um impacto particularmente deletério na biologia, ao longo dos dois mil anos seguintes. Um deles, como já dito, foi o essencialismo, a crença em *eidos* constantes, idéias fixas, separadas e independentes dos fenômenos da aparência.

O segundo era o conceito de um cosmo animado, um todo vivo e harmonioso (Hall, 1969: 93), o que tornou tão difícil, nos períodos posteriores, explicar como a evolução poderia ocorrer, pois qualquer mudança seria uma perturbação da harmonia. Em terceiro lugar, ele substituiu a geração espontânea por um poder criativo, um demiurgo. Considerando que Platão era um politeísta e pagão,

o seu demiurgo era algo como uma pessoa^menos concreta do que o deus-criador das grandes religiões monoteísta. Todavia, esse demiurgo, o artífice que construiu o mundo, foi mais tarde interpretado em termos do monoteísmo. E foi essa interpretação que conduziu à posterior tradição cristã de que "é tarefa do filósofo revelar o plano original do criador", tradição essa ainda poderosa até a metade do século XIX (teologia natural, Louis Agassiz). O quarto dogma influente de Platão foi o seu grande acento na "alma". Referências a princípios não-corporais podem também ser encontradas nos filósofos pré-socráticos, mas em parte alguma tão específicas, detalhadas e onipresentes como em Platão. Quando isso mais tarde coincidiu com os conceitos cristãos, a crença na alma criou enormes dificuldades para o devoto em aceitar a evolução, ou pelo menos em incluir o homem e sua alma no esquema evolutivo. Muitas vezes foi posto em relevo o desastre que os escritos de Platão significaram para a biologia, mas em parte alguma ele foi tão grande como para o pensamento evolucionista. [1]

Aristóteles

O primeiro grande naturalista de que temos notícia, Aristóteles, parecia ter sido a pessoa ideal para tornar-se o primeiro pensador a desenvolver a teoria da evolução.' Ele era um excelente observador, e foi o \ primeiro a descobrir uma graduação na natureza viva. De fato, ele pensava que "a natureza passa dos objetos inanimados, por meio das plantas, para os animais, numa sequência ininterrupta". Muitos animais marinhos, disse ele, como esponjas, ascídios e anêmonas do mar, se parecem mais com plantas do que com animais. Outros escritores mais tarde converteram isso no grandioso conceito de *scala naturae* ou Grande Corrente do Ser (Lovejoy, 1936), que, no século XVIII, facilitou a emergência do pensamento evolucionista, entre os seguidores de Leibniz.

Mas não foi assim com Aristóteles. Ele conservava demasiados outros conceitos, irreconciliáveis com a evolução. O movimento no mundo orgânico, da concepção ao nascimento e à morte, não leva à mudança permanente, mas apenas a uma continuidade estática-constante. A constância e a perpetuidade, dessa forma, são compatíveis com o movimento e com a evanescência dos indivíduos e dos fenômenos individuais.

Na qualidade de naturalista, ele encontrava por toda parte espécies bem definidas, fixas e imutáveis, e a despeito de toda a sua insistência na continuidade da natureza, essa fixidez das espécies e de suas formas *(eidos)* devia ser eterna. Aristóteles não era apenas um evolucionista; de fato, tinha grandes dificuldades em imaginar quaisquer tipos de começos. Para ele, a ordem natural era eterna e imutável, e teria endossado de boa mente a máxima de Hutton, "Nenhum Vestígio de um Começo – Nenhuma Prospecção de um Fim!"

É preciso salientar que a graduação unilinear que Aristóteles enxergava no mundo era um conceito estritamente estático. Ele rejeitava seguidamente a teoria da "evolução" de Empédocles. Existe ordem na natureza, e nela cada coisa tem o seu objetivo. Ele afirmou claramente (Gen. An. 2.1.731 b35) que o homem e os gêneros de animais e plantas são eternos; não podem nem desaparecer, nem foram eles criados. A idéia de que o universo podia ter-se desenvolvido a partir de um caos originário, ou que organismos superiores pudessem ter evoluído de outros inferiores, era algo totalmente alheio ao pensamento de Aristóteles. Repetindo, Aristóteles era contrário a qualquer tipo de evolução. Os biólogos, inclusive o próprio Charles Darwin, sempre tiveram grande admiração por Aristóteles, mas, lamentavelmente, foram obrigados a admitir que não podiam contá-

lo entre os evolucionistas. Esta posição antievolucionista de Aristóteles foi de uma importância decisiva para os desenvolvimentos verificados nos dois mil anos seguintes, tendo em vista a sua enorme influência nesse período.

Dentre os pensadores pós-aristotélicos, os epicuristas são às vezes mencionados como evolucionistas potenciais. Isso é uma interpretação equivocada. Pode-se admitir que, em contraste com Aristóteles, eles se interessavam pelas origens. No poema de Lucrécio, "Da Natureza das Coisas", postula-se, numa idade de ouro passada, a origem espontânea de todos os tipos de criaturas, inclusive do homem (Bailey, 1928; De Witt, 1954). Todavia, ele afasta resolutamente toda mudança evolutiva:

> Mas cada coisa tem o seu próprio processo de crescimento;
> Todas as coisas devem preservar as suas diferenças mútuas,
> Governadas pela lei irreversível da Natureza.

Ele imaginava que a terra era tão prodigiosa, na sua criatividade, que produzia não apenas criaturas viáveis, mas também monstros e fracóides, que não tinham condições de sobreviver e eram eliminados. Tal processo de eliminação foi por vezes designado como sendo uma primitiva teoria da seleção natural, interpretação essa que, como veremos, é completamente falsa.

Dessa forma, ao final do período clássico, os pensadores ainda não tinham conseguido emancipar-se do conceito ou de um mundo inteiramente estático, ou de regime de constância. No máximo, preocupavam-se com as origens. Uma mudança histórica no mundo orgânico – evolução orgânica – era algo absolutamente estranho ao arcabouço conceitual do período.

Muitos historiadores especularam sobre a razão por que os gregos foram tão malsucedidos quanto ao fundar o evolucionismo. Todas essas razões já foram por nós afloradas: Havia a ausência de um conceito de tempo, e se tem havido uma idéia de tempo, era a de uma eternidade imutável, ou a de uma mudança cíclica constante-contínua, retomando sempre ao mesmo princípio. Existia o conceito de um *Kosmos* perfeito. Existia o essencialismo, que é completamente incompatível com o conceito da variação ou mudança. Tudo isso teve que ser abalado e demolido, antes que se pudesse pensar na evolução. E, no entanto, de certa maneira, os gregos lançaram um fundamento para a biologia evolutiva, e Cristóteles, mais do que qualquer outro, foi o responsável por isso. A evolução, como hoje o sabemos, só pode ser inferida por evidência indireta, suprida pela história natural, e foi Aristóteles que fundou a história natural.

O impacto do cristianismo

Durante a queda do Império Romano, uma nova ideologia, o cristianismo, se impunha no pensamento ocidental. Sua influência e também a da toda-poderosa hierarquia da Igreja não podem ser exageradas. Elas introduziram uma forma de conceitualização drasticamente diferente, e aboliram a liberdade de pensamento. O homem já não era mais capaz de pensar e de especular como bem quisesse. Agora, a palavra de Deus era a medida de todas as coisas, e esta palavra era revelada nas sagradas escrituras; dessa forma, a Bíblia tornou-se a medida de todas as coisas. Em vez de uma eternidade atemporal, as religiões cristã e judaica acreditavam em um todo-poderoso autor de todas

as coisas, que criou o mundo do nada, e que algum dia, no juízo final, poria abruptamente fim a tudo. Sua criação da terra levou seis dias, suficientes para todo tipo de origens, mas insuficientes para qualquer evolução. E nem havia tempo para a evolução desde a criação, isto é, desde que, com base nas genealogias registradas na Bíblia, foi calculado que o mundo tinha sido criado há não mais do que 4.000 a. C. E, no entanto, no Antigo Testamento existem muitas alusões a sequências lineares (como nos próprios seis dias da criação), que eram muito mais adequadas como base de um pensamento evolutivo do que o mundo constante, ou cíclico, dos gregos.

Os antigos padres da Igreja puderam permitir-se uma interpretação bastante liberal da Bíblia, porque, sendo todo mundo um cristão convicto, as heresias não representavam um perigo. E nem existia qualquer ciência que pudesse exigir um maior rigor. Santo Agostinho (Gilson, 1960), por exemplo, mesmo reconhecendo as Sagradas Escrituras como a única autoridade, adotou uma interpretação um tanto alegórica da Criação. No princípio não foram criados apenas produtos acabados, mas grande parte da criação de Deus, segundo ele, consistiu em conferir à natureza o potencial de produzir organismos. Suas essências, suas "naturezas", foram por certo criadas no início, mas elas, em muitos casos, emergiram, ou foram ativadas, só muito mais tarde. Todas as partes da natureza, terras ou águas, têm a capacidade de gerar algo de novo, inanimado ou vivo. Assim, a geração espontânea não representaria nenhum problema para o crente; ela pode acontecer a qualquer dia.

Os mil anos posteriores à fundação do cristianismo foram um período de uma deprimente estagnação intelectual. Característico das universidades escolásticas foram as suas tentativas de estabelecer a verdade por argumentos legalísticos e dedutivos, mas as longas e intermináveis controvérsias resultantes dessa aproximação foram condenadas ao fracasso. Um novo despertar proveio de uma direção inteiramente diferente, de uma revitalização do interesse pela natureza, de um renascimento da história natural, como se evidencia nas atividades de Frederico II e de Alberto Magno (veja Capítulo 4). Aristotélicos ou não, os escolásticos católicos da Idade Média, a despeito das frequentes referências a uma corrente do ser, ou a uma grandiosa hierarquia dos fenômenos do mundo, conservavam a crença numa fixidez estreita de todas as espécies.

Talvez o acontecimento mais importante, durante o período escolástico, tenha sido uma revolução no campo dos próprios filósofos escolásticos. Desenvolveu-se uma facção, mais tarde chamada *nominalistas,* que rejeitava os dogmas fundamentais do essencialismo. [3] Não existem as essências, diziam eles, e tudo o que de fato temos são nomes, que se referem a grupos de objetos. Uma vez que temos o nome "cadeira", podemos juntar todos os objetos que incidem sob a definição de cadeira, sejam eles cadeiras de copa, cadeiras de jardim, ou cadeiras de estofado. Os ataques ao essencialismo (chamado *realismo),* promovidos pelos nominalistas, assinalaram o primeiro enfraquecimento do essencialismo. Certos aspectos do pensamento indutivo dos filósofos empiristas ingleses, a partir de Bacon, tinham ressonâncias nominalistas, e aí estava a possibilidade de uma continuidade ideológica. De fato, o nominalismo talvez tenha sido uma antecipação do pensamento de população (veja Capítulo 2).

A Reforma representou um definido revés para o evolucionismo, porque o advento do protestantismo reforçou a autoridade da Bíblia. Efetivamente, o protestantismo conduziu a uma interpretação completamente literal da "Palavra", isto é, ao fundamentalismo. Interpretações liberais, como a de Santo Agostinho, eram agora totalmente rejeitadas.

Curiosamente, a assim chamada revolução científica dos séculos XVI e XVII, movimento quase

exclusivamente confinado às ciências físicas, não provocou mudança alguma nessa atitude em relação ao criacionismo. Todos os mais proeminentes cientistas físicos e matemáticos – Descartes, Huyghens, Boyle e Newton – eram crentes em um deus pessoal, e criacionistas estritos. A mecanização da imagem do mundo (Dijksterhuis, 1961), revolução conceitual dominante no período, não requeria, e, a bem dizer, nem poderia tolerar o pensamento da evolução. Um mundo estável, criado de uma só vez, mantido por leis gerais, fazia perfeito sentido para alguém que se apoiava no essencialismo e que acreditava num universo perfeito.

A filosofia tinha igualmente uma postura reacionária. Não se encontrava nenhum vestígio de genuíno pensamento evolucionista nos escritos de Bacon, Descartes ou Spinoza. Descartes enfatizava que, considerando a onipotência de Deus, ele só pôde ter criado a perfeição, e nada daquilo que foi perfeito desde o princípio pode evoluir. [4] Curiosamente, foi a teologia, na forma da teologia natural, que preparou o caminho para o pensamento evolucionista, num grau muito maior que a filosofia.

O advento do evolucionismo

A evolução, de uma certa maneira, contradiz o senso comum. A progênie de qualquer organismo sempre se reproduz repetindo o tipo parental. Um gato sempre produz apenas gatos. E certo que, antes da aceitação da evolução, tem havido teorias de mudanças súbitas. Por exemplo, havia a crença na geração espontânea, bem como a da *heterogonia,* uma crença de que as sementes de uma espécie de plantas, digamos o trigo, podiam ocasionalmente produzir plantas de espécie diferente, como o centeio. [5] Mas ambas eram teorias sobre a origem, e nenhuma delas tinha algo a ver com a evolução. Foi necessária uma verdadeira revolução intelectual, antes que se pudesse mesmo conceber a idéia da evolução.

O maior obstáculo para o estabelecimento da teoria da evolução residia no fato de que ela não pode ser observada diretamente, como os fenômenos físicos, tais como o cair de uma pedra, ou água fervente, ou qualquer outro processo que acontece em segundos, minutos ou horas, onde as mudanças em curso podem ser meticulosamente registradas. A evolução, em vez disso, só pode ser inferida. Mas, a fim de podermos configurar as inferências, devemos primeiro dispor de um arcabouço conceitual apropriado. Os fósseis, os fatos da variação e da hereditariedade, e a existência de uma hierarquia natural dos organismos só servem como evidência após haver postulado a ocorrência da evolução. De qualquer maneira, as *Weltcinschauungen* consecutivas, que prevaleceram desde os gregos até o século XVIII, eram incompatíveis com o pensamento evolucionista, ou pelo menos hostis a ele. Um pré-requisito indispensável para a proposição de uma teoria da evolução era, portanto, a erosão da visão do mundo que prevalecia na cultura ocidental, anteriormente à aceitação do pensamento evolucionista. Aquela visão se apoiava em duas teses maiores. A primeira era a crença de que o universo, em cada um de seus detalhes, foi concebido por um criador inteligente. Isto, a par de uma outra, ou seja, a idéia de um mundo estático, imutável, de duração limitada, constituía algo tão firmemente arraigado na mente ocidental, pelo fim da Idade Média, que parecia simplesmente inconcebível pudesse ser jamais desalojado. Contudo, foi isso mesmo que aconteceu, gradualmente, durante os séculos XVII, XVIII e começo do XIX. Quais foram as causas dessa espantosa revolução intelectual? Teria sido o resultado da pesquisa científica, ou uma absorvente mudança do meio cultural e intelectual? A resposta correta para isso parece ser que ambas as coisas foram importantes.

A começar do século XIV, um novo espírito parece ter despertado no Ocidente. A época das viagens, a redescoberta do pensamento dos antigos, a Reforma, as novas filosofias de Bacon e Descartes, o desabrochar da literatura secular, e finalmente a revolução científica, tudo isso debilitou as crenças anteriormente aceitas. Quanto mais a revolução científica nas ciências físicas acentuava a necessidade de um tratamento racional dos fenômenos da natureza, tanto menos aceitáveis se revelavam as explicações sobrenaturais.

As mudanças não se restringiam à ciência. O fermento encontrava-se por toda a parte. Uma idéia de história começou a tomar corpo ao final do século XVII e no século XVIII, estimulada, sem dúvida, pela retomada da tradição grega, pelo estudo dos clássicos gregos e por um novo interesse pela sua arquitetura e cultura clássicas. As viagens familiarizaram o mundo ocidental com a existência do homem primitivo, e subitamente surgiu a pergunta: "Como se desenvolveu o homem civilizado, a partir de um estágio primitivo anterior?" Isso conduziu, pela primeira vez, às questões que hoje ocupam as ciências sociais. O italiano Giarnbatista Vico escreveu o grande texto pioneiro *Scienza Nuova* (1725), tratando da filosofia da história (Croce, 1913; Berlin, 1960). Para ele, os vários períodos da história humana não eram os aspectos diferentes de uma história essencialmente igual; eram muito mais os estágios sucessivos de um processo contínuo, um processo de evolução necessária.

A emancipação gradual da camisa-de-força espiritual e intelectual da Igreja foi acompanhada do desenvolvimento da literatura profana. Pensamentos proibidos se introduziram nos trabalhos de ficção, e teorias novas, relativas à origem da terra, do homem, ou da sociedade humana, insinuavam-se em várias obras de utopia, muitas das quais publicadas nos séculos XVI, XVII e XVIII.

Duas dessas obras de ficção são particularmente importantes, como indicadoras dessa novidade. Uma delas é a *Conversações sobre a pluralidade dos mundos* (1686), de Bemard de Fontenelle, na qual a teoria dos vórtices de Descartes é utilizada, de maneira consistente e radical, no desenvolvimento de uma teoria da origem do mundo. Ela postula a existência de seres vivos em outros planetas e na lua, e infere as suas prováveis características, com base nas presumíveis condições de temperatura e atmosfera desses corpos celestes. A par do nosso sistema solar, vem postulada uma infinidade de outros sistemas solares, bem como uma infinidade do espaço. E embora isso não tivesse sido explicitado-se o espaço é infinito, por que não também o tempo?

A *Pluralidade dos mundos,* de Fontenelle, era estritamente um trabalho de ficção, com fortes ressonâncias metafísicas. Em contraste, *Telliamed,* uma obra de ficção de Maillet (1748), tinha um sólido fundamento nos diutumos estudos geológicos de seu autor. Como expresso no subtítulo, essa obra se propõe a registrar as "Conversações entre um Filósofo Indu e um Missionário Francês sobre a Diminuição do Mar". Trata-se de uma peça extraordinariamente imaginativa, em que as idéias mais ousadas e heterodoxas são atribuídas ao filósofo indu (e postas na sua boca). A obra é composta de três conversações, tratando as duas primeiras quase exclusivamente de assuntos geológicos, em muitos aspectos notavelmente avançados para o período, e talvez por demais negligenciados na história da geologia. A terceira conversação, a mais extensa das três, fala muitas coisas sobre a origem da vida e a metamorfose dos seres vivos.

A tese geológica mais importante de de Maillet é a de que a terra era uma vez inteiramente coberta pelo mar, do qual agora está emergindo gradativamente. Esse processo levou milhões de anos. Originalmente, havia apenas plantas e animais aquáticos, alguns dos quais, ao passarem para a terra, transformaram-se nos seus equivalentes terrestres. A terra, como sabemos agora, não é o

produto de uma criação instantânea, mas foi formada aos poucos, por um processo natural. O ar está sempre cheio de "sementes" de todos os tipos de organismos, que adquirem a existência sempre que as condições ambientais forem favoráveis. As espécies existentes transformam-se, sempre que uma mudança é exigida pelo surgimento de condições novas. Por exemplo, peixes voadores podem converter-se em pássaros; e os seres humanos existiram previamente nos mares, na forma de sereias e tritões. Com certeza, todos os organismos terrestres não são outra coisa que organismos aquáticos transformados. Desde que sempre existe mera transformação de um organismo previamente existente numa nova forma, não há, em de Maillet, um conceito genuíno de evolução. No entanto, *Telliamed* é algo de importante, por mostrar até que ponto os pensadores do século XVIII haviam-se emancipado das restrições dos séculos precedentes.

Embora o *Telliamed* só tenha sido publicado em 1748, ele de fato foi escrito pelos anos 1715, uns trinta anos depois do livro de Fontenelle (1686). Ambas as obras refletiam a profunda impressão causada nos intelectuais do período pelos escritos de Descartes, Newton e Leibniz, e por descobertas como as de Leeuwenhoek e outros naturalistas. O impacto maciço da ciência sobre o pensamento da época é evidente.

Tentemos agora estudar com maior detalhe os avanços científicos que foram responsáveis por essa profunda mudança na mente ocidental. Houve três vertentes de avanço científico, bem diversas, nos séculos XVII, XVIII e XIX, que contribuíram para a preparação do terreno da teoria evolucionista, mas cada qual por vias muito diferentes: a filosofia da natureza (ciências físicas), a geologia, e a história natural (concebida de modo amplo).

O papel da cosmologia

A revolução científica das ciências físicas (de Copérnico e Galileu a Newton e Laplace) deu particular ênfase a leis básicas e gerais, como a lei da gravidade, que governa todos os fenômenos físicos. Elas explicam não apenas os movimentos dos corpos, inclusive os sóis e os planetas, mas também os fenômenos funcionais dos organismos vivos. Como afirmou Boyle:

> Essa filosofia … ensina que Deus, com certeza, deu o movimento à matéria. Mas que, no começo, ele orientou de tal maneira os vários movimentos das suas partes, de sorte que eles se adaptassem ao mundo que ele determinou elas deviam compor, e estabeleceu aquelas regras de movimento, e aquela ordem entre as coisas corporais, a que chamamos as leis da natureza. Assim, o universo uma vez tendo sido formado por Deus, e estabelecidas as leis do movimento, tudo se sustentou pelo seu perpétuo concurso, pela geral providência. A mesma filosofia ensina que os fenômenos do mundo são produzidos fisicamente pelas propriedades mecânicas das partes constituintes da matéria; e que eles agem uns sobre os outros de acordo com as leis mecânicas. (Boyle, 1738: 187.)

O conceito largamente difundido dos gregos sobre o universo como um organismo (com uma alma) estava sendo substituído pelo de um universo como uma máquina, posta em movimento por um conjunto de leis. A aceitação gradual da nova maneira de pensar, chamada mecanização da imagem do mundo (Dijksterhuis, 1961), invadiu não apenas as ciências físicas, mas também a fisiologia e outros ramos da biologia. A nova interpretação exigia uma explicação mecânica para todos os

fenômenos naturais. Se, por exemplo, os planetas se moviam em suas órbitas, como ditado pelas leis do movimento planetário, então não havia mais necessidade de uma intervenção constante do Criador. Ele continuava a ser a causa primeira de todas as coisas que existem, mas, depois da criação, todos os processos naturais eram regulados por "causas segundas", a exemplo das leis gerais das ciências físicas. A explicação de todos os fenômenos naturais por tais leis e a busca de leis ainda desconhecidas tomaram-se o objetivo da ciência.

Essa nova maneira de pensar foi particularmente bem-sucedida na cosmologia. O universo da Bíblia, e mesmo dos astrônomos gregos, como Ptolomeu, era de um tamanho muito limitado. A descoberta do telescópio acabou com isso. Quanto mais poderosos se tomavam os telescópios, tanto maior parecia ser a expansão do mundo, não se descobrindo inclusive qualquer limite. O conceito da infinitude do universo passou a ser cada vez mais aceito, e esse processo continuou até na astronomia moderna. Quanto mais o homem se acostumava com o conceito da infinitude do espaço, com tanto maior frequência se apresentava a ele a questão da eventual infinitude também do tempo.

Não surgiu apenas o conceito de que o universo era infinito, no espaço e no tempo, mas de fato também se apresentou a idéia de que ele não era constante, mas em perpétua mudança. No entanto, tudo o que acontecia devia ser coerente com os relatos da Bíblia. Na realidade, qualquer nova descoberta da filosofia da natureza devia reconciliar-se com os relatos do Deuteronômio. Na Grã-Bretanha, o primeiro a publicar uma geologia revolucionária foi o reverendo Thomas Bumet, com a sua *Teoria sagrada da terra* (1681), explicando toda a história da terra, desde a criação até o presente. O grande evento foi o Dilúvio, causado por uma fenda da crosta exterior e a erupção das águas subterrâneas para a superfície. Todos esses eventos, inclusive a conflagração final, no Dia do Juízo, eram devidos a causas naturais, que Deus colocou em curso no momento da criação. John Woodward, no seu *Ensaio para uma história natural da terra* (1695), era mais tradicional. O Dilúvio se deveu a uma intervenção direta do Senhor, mas desde então o mundo ficou de novo mais ou menos estacionário. Todos os fósseis são o produto do Dilúvio, e provam a sua efetiva ocorrência, confirmando assim o relato da Bíblia. Tratava-se de uma interpretação muito confortadora. Um terceiro escritor da história da terra, William Whiston, tentou interpretar a história da Bíblia em termos da física newtoniana. A especulação mais interessante da sua *Nova teoria da terra* (1696) é que o Dilúvio de Noé teria sido o resultado da aproximação de um cometa.

O que era importante nas três explicações foi a urgência de encontrar uma explicação "natural" para os vários acontecimentos da história da terra, sem se afastar muito dos relatos literais da Bíblia (Greene, 1959: 15, 39). Isso foi o pontapé inicial, e desde então os filósofos e os cosmólogos especulavam de forma cada vez mais livre e ousada sobre a história da terra, do sol e das estrelas. De qualquer maneira, a idéia de que o universo como um todo tinha evoluído apareceu surpreendentemente tarde. Ela foi desenvolvida pela primeira vez, de maneira lógica e consistente, pelo famoso filósofo alemão, Emmanuel Kant (1724-1804), em uma publicação antiga, intitulada *Uma história geral da natureza e uma teoria do firmamento* (1755). Nessa obra, Kant desenvolveu sistematicamente a idéia, agora familiar, de que o mundo teve o seu início com uma nebulosa universal caótica, que começou a girar, formando finalmente as galáxias, os sóis e os planetas. O que é particularmente marcante em relação à interpretação de Kant é o caráter gradual de todo o processo:

> A sucessão futura do tempo, pelo qual a eternidade é inexaurível, animará completamente todo

> o ordenamento do Espaço, no qual Deus está presente, e o colocará gradativamente dentro daquela ordem regular, que seja de conformidade com a excelência do Seu plano … A criação nunca está acabada ou completa. Certamente uma vez ela teve um início, mas nunca terá fim.

As próprias estrelas novas e as galáxias evoluem.

Já não se tratava mais de um mundo estático, mas de um mundo dinâmico, em evolução contínua, apenas remotamente governado por causas secundárias – um pensamento verdadeiramente herético. Por essa idéia nova e revolucionária,

> Kant, deliberadamente, colocou de lado a cuidadosa distinção de Newton entre a criação da presente Ordem da Natureza e a sua manutenção: a única criação que precisamos inquirir foi a vitória progressiva da ordem sobre o caos, através de um tempo infinito (Toulmin e Goodfield, 1965: 133).

Kant superou de longe as estimativas de Buffon, no sentido de que o mundo teria 168 mil ou mesmo meio milhão de anos. Ele pensava claramente em termos de infinito, e com isso contribuiu para a mudança no pensamento daquele período, refletindo-se mais tarde nos escritos de Hutton e de Lamarck, embora presumivelmente nenhum dos dois tenha tido conhecimento direto daquela publicação de Kant.

O papel da geologia

Mudanças de pensamento ainda mais profundas do que as da cosmologia aconteceram na geologia. [6] No século XVIII, os estudiosos da natureza pela primeira vez se deram perfeitamente conta das mudanças constantes que a superfície da terra sofre e sofreu. Uma nova ciência veio à luz – a geologia cuja tarefa mais importante era o aspecto histórico, a reconstrução da sequência de eventos que ocorreram sobre a terra, ao longo do tempo. A evidência que conduziu à descoberta de que a superfície da terra não foi sempre como é hoje – vale dizer, que a terra tem uma história – proveio de diversas fontes.

Uma delas foi a descoberta de vulcões extintos na França central (distrito de Puy de Dôme). Isso contribuiu para a certeza de que o basalto, uma rocha vastamente ocorrente, nada mais é do que lava antiga, um remanescente de antigas erupções vulcâncias, que os depósitos dessa lava são muito vastos, e que os mais profundos devem ser muito velhos.

Quase no mesmo período, foi entendido pela primeira vez que muitos, em realidade a maioria, dos estratos geológicos são depósitos sedimentares. [7] E mais do que isso, quando esses depósitos sedimentares foram cuidadosamente estudados, descobriu-se que eles ocupam uma enorme coluna, muitas vezes de dez mil pés de profundidade, às vezes de mais de cem mil. O choque causado por essa descoberta foi tão profundo porque fez com que fosse inevitável a grande idade da terra, uma vez que ela deve ter levado uma imensa quantidade de tempo para o depósito de estratos sedimentares de tal espessura. Descobriu-se, além disso, que nem os depósitos vulcânicos, nem os sedimentares permaneceram inviolados, depois de assentados. Eles foram subsequentemente erodidos pela água, por vales cavados através deles, algumas vezes muito profundos. Mais do que

isso, muitos depósitos sedimentares foram dobrados em seguida, muitas vezes de modo muito violento; em alguns casos, eles foram completamente revertidos. Tudo isso é hoje ponto tão pacífico, que dificilmente se pode imaginar o quanto tais interpretações eram revolucionárias nos séculos XVII e XVIII, e quanta oposição lhes foi feita no princípio.

Por algum tempo, grassou uma áspera controvérsia entre diferentes escolas de geólogos sobre se foram as forças da água (netunismo) ou as do fogo (vulcanismo) que deram a contribuição maior para a presente configuração da crosta terrestre. A seu tempo, os respectivos papéis do vulcanismo, da erosão (e sedimentação) e da formação das montanhas foram colocados nos devidos lugares. Mas o entendimento das forças que atuam sobre a crosta terrestre continuou a crescer, com contribuições altamente importantes (como as das placas tectônicas) tendo sido feitas em época tão recente como nos anos 1960. Quaisquer que fossem as diversas descorbertas, todas elas tinham algo em comum: reforçavam entre si a certeza da imensa idade da terra (Albritton, 1980). Inevitavelmente, isso devia conduzir a um colapso para todo aquele que aceitava a interpretação literal da Bíblia.

A Igreja, que havia adotado mais ou menos oficialmente os 4.000 anos a. C. como a data da criação, considerava qualquer afastamento substancial dessa data uma heresia. Não obstante, Buffon, no seu *Les époques de la nature* (1779), teve a coragem de calcular a idade da terra como sendo pelo menos 168 mil anos (Roger, 1962). (A sua estimativa privada, não publicada, era de meio milhão de anos, um bocado maior.) Buffon dedicou grande atenção a esses problemas, e parece ter sido o primeiro pensador que teve um conceito racional e internamente consistente da história da terra. Na sua publicação de 1779, que foi uma versão grandemente ampliada de um ensaio que ele havia divulgado uns 25 anos antes, Buffon reconhece sete "épocas", por ele assim chamadas: a primeira, quando a terra e os planetas foram formados; a segunda, quando se originaram as grandes cordilheiras das montanhas; a terceira, quando as águas cobriram os continentes; a quarta, quando as águas se afastaram e os vulcões começaram a sua atividade; a quinta (muito interessante), quando os elefantes e outros animais tropicais habitaram o Norte (os seus fósseis foram encontrados no Norte, e Buffon não podia imaginar que esses animais tropicais possam ter vivido em alguma outra zona climática que não fosse tropical); a sexta, quando os continentes se separaram uns dos outros (Buffon postulava isso por reconhecer claramente a semelhança das faunas da América do Norte, da Europa e da Ásia; considerando que esses continentes são agora separados pelas águas, ele concluiu que em tempos remotos eles eram conectados); por fim, a sétima época, quando apareceu o homem. Esse foi o último período, com certeza tão recente que o homem não aparece nas relíquias fósseis. Os fatos biológicos desempenharam um grande papel na reconstrução buffoniana da história da terra, e precisamos agora volver às descobertas biológicas, que prepararam o caminho para o pensamento evolucionista.

O papel da história natural

Aqueles que se fixam nas descobertas das ciências físicas tendem a atribuir as mudanças intelectuais, nos séculos XVII e XVIII, inteiramente à mecanização da imagem do inundo. Tal fato ignora o importante papel desempenhado pelos desdobramentos verificados nas várias áreas da história natural. Eles produziram uma abundância de fatos novos, que acabaram por revelar-se incompatíveis com a história de uma criação única. Dessa forma, tudo o que contribuiu para o florescimento da história natural faz parte da história da biologia evolutiva.

Talvez o mais importante foi o simples fato de que a natureza estava sendo redescoberta, depois da Idade Média. Cada vez mais, os autores manifestavam um interesse pelos pássaros e flores. A partir dos anos 1520, uma série de obras magnificamente ilustradas, sobre plantas nativas do sul da Alemanha e de outras partes da Europa, começou a aparecer (veja o Capítulo 4). Isso estimulou o desejo de sair à procura dessas plantas, e mesmo a descobir novas, não ainda descritas e ilustradas. Igual interesse desenvolveu-se também pelas aves, peixes e outras produções da natureza. Isso levou a descobrir que a maioria dessas espécies da Europa ocidental não foi mencionada de forma alguma pela Bíblia, nem nos escritos de Theofrasto, Aristóteles, ou Plínio. Os homens começaram a surpreender-se, e surgiu a pergunta, "O que conhecemos realmente sobre o mundo em que vivemos"?

A Bíblia conhecia apenas a fauna e a flora do Oriente Próximo, e o salvamento dessa fauna muito limitada, na Arca de Noé, era concebível. Todavia, quando tiveram início as grandes viagens, nos séculos XIV e

resultando em descobertas cada vez mais espantosas nos séculos

XVII e XVIII, a credibilidade da história bíblica foi fatalmente solapada, pela descrição de faunas inteiramente novas da África, das índias Orientais, da América e da Austrália. Como poderiam todas essas ricas faunas ser acomodadas na Arca? Se todos os animais se espalharam a partir do monte Ararat (Armênia) – o lugar presumido da aterrissagem da Arca-, por que a fauna do mundo inteiro não é uniforme? Como foram colonizados os continentes isolados da América e da Austrália? [8] Os fatos da biogeografia levantaram alguns dos dilemas mais insolúveis para os criacionistas, e foram efetivamente utilizados por Darwin, como a evidência mais convincente em favor da evolução (veja Capítulo 10).

Novas dúvidas em tomo da credibilidade do relato bíblico foram provocadas pelo sempre maior conhecimento dos fósseis. E certo que os fósseis já eram conhecidos dos antigos. Xenófanes de Colophon (cerca de 500 a. C.) encontrou peixes fósseis em pedreiras do Terciário, em Siracusa da Sicília, e fósseis de moluscos marinhos na ilha de Malta. Notável o fato de que ele não os interpretou como a comprovação de catástrofes passadas, mas antes como o resultado de um gradual afastamento dos níveis do mar, algo na linha de idéias expressas por Anaximandro. Aristóteles manifestou pontos de vista semelhantes, no seu *Meteorologia.*

Sendo vigorosamente anticatastrófico, também ele explicava os fósseis como sendo o resultado de mudanças lentas do nível do mar. Todavia, duas interpretações errôneas sobre os fósseis chegaram a predominar até o século XVIII (em parte remontando também a Aristóteles).

Primeiramente, era muito difundida a crença de que os fósseis "nasciam das rochas", como os cristais e os minérios metálicos, e outra coisa não eram que um *lusus naturae,* um acidente da natureza. Ou a natureza era dotada de uma *vis plastica,* capaz de moldar toda sorte de figuras nas rochas; ou os fósseis eram atribuídos a uma ocorrência universal de "germes" na natureza, manifestando-se seja em forma de gerações espontâneas, seja como fósseis nas rochas. Muitos autores de renome, como Alberto Magno, Mattioli, Fallopio, Agrícola, Kircher, Gesner, Camerarius e Toumefort, sem mencionar quantidade de escritores menores, sustentavam tais opiniões.

Ao tempo em que, finalmente, alcançou reconhecimento geral a idéia de que os fósseis são as relíquias de organismos vivos remotos, instalou-se a prática dominante de uma interpretação literal da Bíblia, segundo a qual os fósseis eram os restos das criaturas que pereceram na inundação de Noé (interpretação, em particular, de Steno, Woodward e Scheuchzer). Embora Leonardo da Vinci, Fracastoro e outros pioneiros tivessem avançado muitas evidências contra a simultaneidade de todos

os fósseis, o dogma da jovem idade da terra foi por muito tempo demasiadamente poderoso para permitir a adoção da teoria de uma sequência de faunas de fósseis distintos.

Dois desdobramentos abalaram definitivamente a explicação simplista dos fósseis como sendo os remanescentes do dilúvio de Noé. Um foi a descoberta, entre os fósseis, de animais e plantas desconhecidos, por isso presumivelmente extintos; o outro foi o desenvolvimento da estratigrafia. A descoberta de animais extintos não conflitava tão diretamente com a Bíblia, mas muito mais com um conceito um tanto peculiar de Deus, adotado nos séculos XVII e XVIII. Segundo o princípio da plenitude, admitido pela maioria dos melhores pensadores do período, mas particularmente por Leibniz, Deus, na amplitude da sua mente, criou certamente todas as criaturas possíveis. Mas Deus, na sua benevolência, não poderia permitir que alguma das suas criaturas fosse extinta. Dessa forma, os restos fósseis de organismos aparentemente extintos colocavam um real dilema, para o qual várias soluções foram propostas (veja o Capítulo 8, a propósito de Lamarck).

A segunda dificuldade foi levantada pela descoberta de que os leitos fósseis são estratificados, e que cada um dos estratos tem uma fauna e uma flora distintas. A consciência plena dessa situação aconteceu notavelmente tarde, tendo em vista que os fósseis já eram conhecidos há mais de dois mil anos. Xenófanes já havia notado que se podem encontrar fósseis diferentes em diferentes minas, isto é, que rochas diferentes podem conter fósseis diferentes. Outros autores fizeram iguais observações. Contudo, essa evidência foi ignorada por todo o tempo em que os fósseis eram considerados artefatos da natureza, ou remanescentes do Dilúvio. O rápido progresso das pesquisas geológicas, no século XVIII, tomou impossível ignorar isso por mais tempo. Numerosos autores, em parte trabalhando independentemente, em parte estimulando-se uns aos outros, começaram a entender que as rochas aconteceram numa sequência definida, que a maioria delas era estratificada, e que certos estratos tinham uma distribuição vasta. De início, os estratos eram identificados principalmente por características petrográficas (xistos, ardósias, calcáreos, gredas, etc.), mas alguns pioneiros perspicazes descobriram que certos fósseis estavam associados a certos estratos. Várias histórias da geologia tentaram dar o devido valor ao trabalho de autores como Steno, Strachey, Arduino, Lehmann, Füchsel, Wemer, Michell, Bergmann, Soulavie, Walch, e outros. [9] Infelizmente, não dispomos de nenhuma boa história comparativa daquela primeira fase da estratigrafia. As observações publicadas por esses autores são fragmentárias e não sistemáticas. Não obstante isso, hoje existe o consenso em que houve dois homens que converteram as informações esparsas sobre os fósseis e sua ocorrência numa ciência da estratigrafia: o agrimensor inglês William Smith, e o zoólogo francês Georges Cuvier.

Smith, de profissão agrimensor e engenheiro, enquanto ajudava a construir canais e tentava seguir o veio de estratos portadores de carvão e de minério, nas minas, descobriu que se podem identificar estratos geológicos pelos fósseis que eles contêm. Às vezes foi possível seguir tais estratos por centenas de milhas, mesmo quando a litologia (formação das rochas) estava mudando. Smith desenvolveu esses princípios entre 1791 e 1799, mas só veio a publicar o seu famoso mapa dos estratos da Inglaterra e País de Gales em 1815 (Eyles, 1969). Nesse meio tempo, os naturalistas franceses coletavam ativamente fósseis nas minas de calcáreo da bacia de Paris, e Cuvier e seus colaboradores elaboraram a sexta estratigrafia desses fósseis (principalmente mamíferos), e caracterizaram cada uma das faunas com detalhe admirável. [10] Schlotheim, na Alemanha (1804; 1813), chegava às mesmas conclusões.

Os achados, tanto na França como na Inglaterra, não deixaram nenhuma dúvida – por mais que

as conclusões desgostassem a muitos geólogos – no sentido de que uma sequência de tempo estava envolvida, e que os estratos mais baixos eram os mais antigos. Finalmente, foi feita também a descoberta adicional de que muitas vezes é possível correlacionar os estratos não apenas pela da Inglaterra e Europa continental, mas por grandes partes do mundo, se fizermos concessão aos mesmos tipos de diferenças regionais, que ainda hoje em dia se encontraram entre as faunas, digamos, da Europa e da Austrália, ou as faunas marinhas dos oceanos Atlântico e Pacífico. Todavia, as diferenças entre as faunas contemporâneas, nas diversas partes do mundo, não são nem de longe tão grande quanto as diferenças das faunas de períodos geológicos diferentes, digamos, entre os organismos recentes e os do Terciário Médio, sem falar dos do Mesozóico ou do Paleozóico.

Nem Cuvier, nem os grandes geológos britânicos (inclusive Lyell) da primeira metade do século XIX tiraram a conclusão dessa evidência, que para nós parece inescapável, de que houve uma mudança evolutiva contínua dessas faunas. Em vez disso, eles sustentaram, por mais cinquenta anos, ou que cada fauna de fósseis era varrida por uma catástrofe, para ser substituída por uma inteiramente nova, mediante criação especial, ou então que a extinção se deu aos poucos, mas a substituição sendo devida a criações individuais especiais (veja Capítulo 8). As origens, em vez da evolução, permaneceram o conceito explicativo.

Ulteriores desdobramentos na biologia

Uma descoberta após a outra, na história natural, abalou os fundamentos das crenças anteriores. A invenção do microscópio, por exemplo, levou Leeuwenhoek a descobrir todo um conjunto de organismos anteriormente desconhecidos. [11] Tal descoberta acrescentou uma dimensão inteiramente nova à diversidade do mundo vivo, e parecia fornecer a ponte, longamente procurada, entre os organismos visíveis e a natureza inanimada. Acima de tudo, ela parecia trazer um suporte poderoso para a hipótese de geração espontânea (Farley, 1977). A despeito da demonstração de Redi e Spallanzani de que não se desenvolvem vermes na carne quando é evitada a postura de ovos das moscas varejeiras, espalhou-se vastamente a crença de que os organismos microscópicos, particularmente os infusórios, podiam ser gerados da matéria inanimada. Em pouco tempo, todo mundo conhecia a fórmula para produzir tais organismos: Coloque-se uma porção de feno seco na água, e depois de um par de dias essa água estará cheia de organismos microscópicos. Tal demonstração de uma "geração espontânea" estava evidentemente em tal conflito com o dogma de uma criação no começo do mundo. Mais tarde, a geração espontânea tomou-se um componente-chave da teoria da evolução de Lamarck.

Por fim, houve um outro desenvolvimento da biologia que, a seu tempo, afetou significativamente o pensamento evolucionista: o surgimento da sistemática. Desde Cesalpino e Gesner, houve um constante avanço no inventário de plantas e de animais (veja Capítulo 4). Por longo tempo, pareceu possível ordenar esses organismos numa única *scala naturae,* dos mais simples aos mais perfeitos, e tal escala da perfeição parecia ajustar-se bem ao conceito oitocentista do criador. Todavia, quanto mais avançava o conhecimento das plantas e dos animais, tanto mais difícil ficava o seu ordenamento numa mesma linha. Em vez disso, eles incidiam em grupos bem definidos e muitas vezes perfeitamente isolados, como os mamíferos, os pássaros e os répteis, com as suas respectivas subdivisões, e estas se encaixavam de modo bem mais conveniente em uma hierarquia inclusiva de categorias. Cuvier proclamava que os animais pertencem a nada mais e nada

menos que quatro grupos ("ramificações"): Vertebrados, Moluscos, Articulados e Radiados. Ele insistia em que esses quatro filos não eram absolutamente relacionados uns com os outros, admitindo, contudo, a existência de um sistema de afinidades muito bem elaborado no seio de cada um desses quatro ramos. Cuvier concordava com Lamarck quanto à negação de qualquer conexão entre a matéria inanimada e as plantas e animais, mas foi mais além, negando a existência de uma linhagem única de animais. Sua decisiva destruição da *scala naturae* levou à formulação de questões inteiramente novas, e abriu o caminho para o estabelecimento de classificações evolutivas (veja o Capítulo 4), embora ele mesmo tenha deixado de dar esse passo.

O Iluminismo francês

A gradual emancipação das influências tradicionais da religião, da filosofia e da política constituiu verdadeiro movimento revolucionário, durante o Iluminismo. [12] Conquanto esse movimento tenha começado na Grã-Bretanha (particularmente na Escócia), no final do século XVII e início do XVIII, foi a França que liderou o desenvolvimento de novos conceitos relativos ao mundo da vida. Por isso, não foi por acaso ter sido um francês a desenvolver de fato, pela primeira vez, uma genuína teoria da evolução.

O século XVIII foi um período de tensões intelectuais particularmente fortes e insolúveis. Em filosofia, caracterizou-se pelas tentativas de reconciliar os pensamentos opostos de Descartes, Newton e Leibniz. Uma crença na revelação tomava-se mais e mais fora de moda, à medida que cada vez mais contradições se descobriam na Bíblia, e que a mecanização da imagem do mundo deixava sempre menos espaço para fenômenos sobrenaturais. O *teísmo,* uma crença num deus pessoal da revelação, que intervinha constantemente nos processos naturais, e operava milagres, passou a ser inaceitável para a maioria dos filósofos e cientistas. Mesmo o próprio *deísmo,* a crença em um deus que no princípio criou o mundo, e com ele as leis ("causas segundas") que desde então o governavam, caiu em dificuldades formidáveis. Poderia o seu "plano" ter sido tão detalhado, a ponto de incluir cada estrutura particular e funcionamento das incontáveis espécies de animais e de plantas e suas igualmente incontáveis interações mútuas? E como poderia um tão original desígnio ser compatível com as mudanças que pareciam tão evidentes, por toda parte, sobre a terra? Mais especificamente, conforme agora podemos perceber, como poderiam, seja um desígnio, sejam leis gerais, explicar fenômenos tais como a extinção ou órgãos vestigiais? Ao longo do século XVIII e a primeira metade do XIX, naturalistas e filósofos, uns após outros, tentavam o compromisso entre as interpretações criacionista e deísta do mundo vivo. Enquanto isso, outros autores abertamente se tomaram ateístas, negando não apenas um plano, mas a própria existência de um criador. Para eles, o mundo não passava de uma máquina. Mas como podia isso explicar os atributos do homem e as adaptações harmoniosas de todos os organismos ao meio em que viviam? Havia perguntas aparentemente irresponsáveis, tanto para um teísta, como para um deísta, ou um ateu. O imbróglio intelectual produzido pelo colidir dessas ideologias, a par do contínuo avanço do nosso conhecimento sobre o mundo vivo, culminou no pensamento de Darwin.

Os cem anos, entre 1740 a 1840, foram cruciais para a história do evolucionismo, pois foi nesse período que o conceito de evolução irrompeu na mente dos pensadores mais avançados. Foi um período de mudanças, não apenas na geologia e na história natural, mas também no pensamento

político e social. A erosão, nas ciências naturais, da crença num mundo estável-contínuo era acompanha, nas ciências políticas, e mesmo no mundo prático dos governos e da sociedade, por um questionamento da crença nas dinastias de direito divino e nas hierarquias feudais, com sua ênfase no *status quo*. Tudo isso era ameaçado pelo conceito de "progresso", tema dominante, ao que parece, nos escritos dos filósofos do Iluminismo. É óbvia a correlação entre os dois temas – a evolução no mundo natural e o progresso no mundo social. O que é muito menos evidente é a questão sobre onde, nesses dois campos, tais idéias se originaram, e quais foram as contribuições relativas das ciências naturais e das ciências sociais para essa tendência de pensamento.

Uma resposta a essa questão adquire importância, em conexão com a controvérsia entre externalismo e internalismo, na ciência. Teria o conceito de progresso se originado na área política, e assim, como diriam os extemalistas, reaparecido nas ciências naturais, na forma do conceito de evolução? Uma análise do conceito de evolução será indispensável para uma resposta a essa pergunta.

As idéias de progresso e de evolução

O progresso sempre significa crescimento e desenvolvimento, mesmo quando envolve apenas potencialidades imanentes. No que concerne à humanidade, ele foi proclamado por Fontenelle (1688): "Não haverá um termo para o crescimento e o desenvolvimento da sabedoria humana". De certa forma, tratava-se de um conceito novo, mas, de outra, era uma idéia muito antiga, pois todos os componentes do conceito de progresso, tais como crescimento e desenvolvimento (desde Aristóteles), continuidade, necessidade, objetivos que se alcançam, fim último, e assim por diante, eram vastamente difundidos, não apenas entre os antigos, mas também na concepção do mundo de Santo Agostinho. Da mesma forma, pouco tempo antes de Fontenelle, Pascal (1647) comparava o desenvolvimento da humanidade com o crescimento do indivíduo.

O desenvolvimento era também aspecto importante no pensamento de Leibniz, com sua ênfase na continuidade e plenitude. Em muitos poucos, isso contrastava com os ensinamentos de Descartes, no seu acento na uniformidade e na constância matemática. Ninguém sublinhou mais enfaticamente que Leibniz a importância da potencialidade:

> Embora muitas substâncias já tenham alcançado uma grande perfeição, nem por isso, tendo em conta a infinita diversidade do contínuo, deixam de existir sempre, no abismo das coisas, partes dormentes que devem ser despertadas, para crescerem em tamanho e em valor, numa palavra, para avançarem na direção de um estágio mais perfeito … existe um progresso perpétuo e perfeitamente livre de todo o universo para o cumprimento da beleza universal e da perfeição das obras de Deus, de tal sorte que ele está em constante avanço na direção de um maior desenvolvimento (Nisbet, 1969: 115). [13]

O século XVIII, no seu otimismo, acentuou definitivamente o progresso no contínuo melhoramento do homem. Herder, Kant e outros filósofos proeminentes do período expressaram essa convicção e empenharam-se na procura daquilo que se pode chamar uma lei do progresso (Nisbet, 1969: 104-136). Tal progresso não caracteriza apenas a natureza, mas também todas as instituições humanas, e foi certamente essa ênfase que adquiriu importância na formulação da Constituição dos

Estados Unidos e na inspiração da Revolução Francesa.

O apogeu dessa tendência de pensamento foi alcançado em Condorcet, com a sua obra *O progresso da mente humana* (1795), onde ele afirma que

> a natureza não estabeleceu nenhum termo para a perfeição das faculdades humanas, e que a perfectibilidade do homem é verdadeiramente indefinida; e que o progresso dessa perfectibilidade, de agora em diante independente de qualquer poder que possa detê-lo, não tem outro limite do que a duração do globo sobre o qual a natureza nos colocou.

Se tivesse havido uma passagem necessária do conceito de um progresso contínuo e ilimitado para uma teoria da evolução, os grandes naturalistas do século XVIII teriam dado rapidamente esse passo. Mas isso não aconteceu. Nem Buffon, nem Needham, Robinet, Diderot, Bonnet, ou Haller converteram o conceito político-filosófico do progresso numa teoria científica da evolução. Efetivamente, só após instalada a reação ao Iluminismo, com a usurpação do poder na França por Napoleão, é que Lamarck desenvolveu a sua teoria da evolução.

Há diversas razões para pôr em dúvida o conceito de uma conversão inevitável da teoria política do progresso para uma teoria biológica da evolução. Por exemplo, os naturalistas consideravam a idéia do progresso bastante incompatível com os incontáveis fatos indicadores de uma evolução regressiva (como o parasitismo e os órgãos vestigiais). Talvez o maior fator restritivo tenha sido o poder do essencialismo. Por acaso não era todo o progresso apenas o desdobramento de potencialidades já existentes, sem qualquer mudança na essência subjacente, isto é, sem qualquer evolução efetiva? Fontenelle, por exemplo, rejeitava qualquer idéia de mudança que fosse além do crescimento, pois não foi demonstrado por Descartes e outros, dizia, que a natureza é uniforme nas suas obras; que ela não varia as suas prescrições de geração em geração? Tudo o que ele podia aceitar era o desdobramento de um potencial existente. Existe uma diferença considerável entre crescimento e história. O crescimento nada mais é que a manifestação de um potencial imanente, enquanto a história é uma mudança real.

Leibniz, em contraste, vai além de tais desdobramentos essencialistas. Para ele, a potencialidade da natureza era ilimitada, "e por isso nunca o fim do progresso será alcançado". Esse otimismo era a consequência lógica dos princípios da plenitude, imanência e continuidade, embora ridicularizados por Voltaire. A despeito dessas críticas, os pensamentos de Leibniz foram adotados pela maioria dos filósofos sociais do século XIX, como Marx, Comte e Spencer, dizendo este último que o progresso "não é um acidente, mas uma necessidade benéfica".

Havia dois elementos na filosofia de Leibniz que afetaram a futura história da biologia evolutiva. O conceito de continuidade e gradualismo ("Tudo na natureza avança gradualmente, e não faz saltos, e essa regra controladora das mudanças faz parte da minha lei da continuidade"; 1712: 376), com sua explícita rejeição do platonismo, era uma contribuição importante e positiva, e pré-requisito indispensável para o moderno pensamento evolucionista. Foi uma das pedras fundamentais para a explicação da evolução de Darwin. O outro conceito, o de uma orientação interna para o progresso, senão para a perfeição, constituiu apenas um estorvo. Ele forçou aqueles que, como Spencer, chegaram à evolução da crença no progresso a adotar teorias completamente errôneas em relação ao mecanismo da evolução (veja o Capítulo 11). Aqueles que rejeitavam um progresso inevitável, como a escola dos filósofos escoceses, estavam na realidade mais próximos do

pensamento de Darwin do que os apóstolos franceses do progresso. Hoje é amplamente aceito que uma crença num progresso inevitável e contínuo é desastrosa para qualquer ideologia que venha a incorporá-la (Monod, 1970).

A idéia de progresso relaciona-se estreitamente, dele em parte se originando, com o conceito da *scala naturae*, ou a grande corrente do ser (Lovejoy, 1936), um conceito que remonta a Platão, mas que adquiriu novas formas entre os escolásticos da Idade Média, e depois de novo nos séculos XVII e XVIII. Ele se baseia na crença em uma continuidade linear (mas ao mesmo tempo escalar), do mundo dos objetos inanimados, por meio das plantas, aos animais inferiores, aos superiores, ao homem (e idealmente, por meio dos anjos, até Deus). O conceito adicional de *plenitude,* postulando que todas as coisas possíveis existem de fato, era normalmente associado ao da *scala naturae.* Não podia haver vácuos, e os intervalos entre os elos vizinhos da cadeia eram tão infinitesimalmente pequenos que a corrente era praticamente contínua. Em Leibniz, que acentuava particularmente essa continuidade, a influência dos seus interesses matemáticos é muito evidente. Com efeito, ele muitas vezes exprime os seus pensamentos sobre esse assunto em termos matemáticos. Antes de Leibniz, a grande corrente do ser era um conceito estritamente estático, pois quando ela foi criada era perfeita, e porque, sendo impossível um movimento em direção à maior perfeição, qualquer mudança só poderia ser uma deterioração, uma degradação.

A perfeição crescente em que se baseava a *scala naturae* podia ser expressa de muitas maneiras, por "mais alma" (no sentido aristotélico), mais consciência, mais razão, maior avanço na direção de Deus, e outras ainda. Profundamente, tratava-se em larga medida de um ideal postulado, porque a observação não confirmava de forma alguma a existência de uma tal cadeia perfeita, contínua e estritamente linear. Ao contrário, constatavam-se por toda parte hiatos marcantes, como entre mamíferos e aves, peixes e invertebrados, samambaias e musgos. Daí a satisfação quando se descobriam corais e outros organismos (como os zoófitos), que pareciam fazer a ligação entre plantas e animais de modo bastante feliz. Postulava-se entusiasticamente que outras lacunas seriam da mesma forma preenchidas por descobertas futuras. Entre os numerosos seguidores de Leibniz, ninguém foi mais sério que Charles Bonnet (1720-1793), que estabeleceu uma *échelle des êtres naturais,* onde o esquilo voador, o morcego e a avestruz representavam a continuidade entre mamíferos e aves. [14] Para ele, a "organização" era o critério para determinar a posição na cadeia. Quanto a que as suas afirmações implicam uma evolução, isso é claramente apenas no sentido de uma explicitação de um potencial preexistente.

A existência de fósseis e outras evidências de extinções estavam em aparente conflito com o princípio da plenitude, e exigiam uma explicação. Leibniz, no seu *Protogaea* (1693), admite que muitos tipos de organismos, que existiram em períodos geológicos primitivos, desde então desapareceram, e que muitos dos que hoje vivem aparentemente não existiam naquele tempo. Isso o leva a postular que "as próprias espécies dos animais muitas vezes se transformaram", ao longo das grandes alterações que ocorreram nas condições da crosta terrestre. Todavia, o número das mônadas permaneceu constante, e nenhuma gênese aí estava implicada, tal como a entendemos hoje, mas tão-somente uma evocação de potencialidades preexistentes. Dessa forma, a aparência exterior da corrente do ser sofreu uma mudança no tempo, sem que se alterassem de forma alguma as essências subjacentes. Lovejoy referiu-se a essa nova versão da corrente do ser como sendo uma "temporalização" da mesma. Contudo, não obstante afirmações em contrário, isso não era a proposta de uma teoria da evolução.

Desde que o princípio da plenitude não podia permitir a ocorrência da extinção, os animais extintos deviam ser interpretados como estágios primitivos de organismos ainda existentes. Tal era, por exemplo, com toda clareza a interpretação de Bonnet (*Palingénèse*), enquanto Robinet tinha uma idéia mais fantasiosa sobre a origem de novos tipos, mediante a combinação de protótipos primitivos. De qualquer maneira, nada de novo era criado, porquanto o potencial de cada coisa já preexistia. Para Robinet, "o primeiro axioma da filosofia da natureza" é que

> a Escola do Ser constitui um todo de graduação infinita, sem nenhuma linha real de separação; que existem apenas indivíduos, e nada de reinos, ou classes, ou gêneros, ou espécies (Guyénot, 1941: 386).

Para ele, a corrente era devida a sucessivos atos de criação da natureza, sem contudo haver evolução ou continuidade genética. Curiosamente, encontramos idéias bastante semelhante, embora formuladas em termos mais criacionistas, ainda em 1857, nos escritos de Louis Agassiz.

O conceito de evolução estava por assim dizer "no ar", ao longo da segunda metade do século XVIII, e certos historiadores da ciência designaram três franceses – Maupertius, Buffon e Diderot – como sendo evolucionistas. A mesma honra tem sido concedida por historiadores alemães a Rodig, Herder, Goethe e Kant. Pesquisas posteriores, todavia, não conseguiram confirmar nenhuma dessas atribuições. Todos esses "precursores" eram essencialistas que ou postulavam novas origens (em vez de uma evolução de tipos existentes), ou ainda acreditavam meramente numa explicitação ("evolução" *stricto sensu)* de potencialidades imanentes.

Sem dúvida, os escritos desses autores são altamente interessantes, não apenas porque ilustram a constante aproximação ao pensamento evolucionista, mas também porque testemunham o meio intelectual em que esse pensamento procurava formar-se. Em um certo sentido, todos esses escritores foram precursores de Lamarck; mas, em outro, nenhum deles o foi, porque Lamarck foi de fato o primeiro a operar uma completa ruptura das barreiras essencialistas, contrárias ao evolucionismo.

Maupertius

Pierre Louis Moreau de Maupertius (1698-1759) foi um dos pensadores mais avançados do seu tempo. [15] Foi ele o primeiro a introduzir o pensamento newtoniano na França, onde foi avidamente aproveitado por Voltaire e outros. Todavia, Maupertius foi também a primeira pessoa, na França, a reconhecer que o simples paradigma newtoniano de "forças e movimento" era insuficiente para a biologia, e inclusive para a química, e foi esse o motivo por que incorporou o pensamento leibniziano na sua estrutura conceitual. Por intermédio dele e de Madame Chatelet, Buffon chegou a familiarizar-se com o leibnizianismo, e, consequentemente, as idéias leibnizianas estavam fortemente presentes nos escritos da maioria dos *filósofos* franceses e dos cientistas do século XVIII, entre eles Lamarck.

Embora o interesse maior de Maupertius fossem a matemática e a astronomia, ele tinha um vivo interesse pelos fenômenos biológicos, e foi um dos pioneiros da genética (veja o Capítulo 14). Contudo, não obstante afirmações em contrário, ele não foi nem um evolucionista, nem um dos fundadores da teoria da seleção natural, e suas explicações eram mais as de um cosmólogo < jue de um biólogo. Sua real importância consiste em que fez forte oposição ao componente determinístico e

criacionista do newtonianismo, e reportou-se a Lucrécio e aos epicuristas, ao atribuir as origens largamente ao acaso. Havia demasiada diversidade e heterogeneidade na natureza para que o mundo pudesse ter sido produzido segundo um plano. Ele criticou fortemente os teólogos da natureza, com argumentos tais como, que a existência de plantas venenosas e de animais peçonhentos é incompatível com o conceito de "sabedoria e de bondade do Criador".

Os materialistas (ateus), que negavam a existência de um criador, tinham que dar contas, de alguma forma, da existência dos organismos.

Eles recorriam às idéias de Lucrécio: Os organismos podem originar-se por "geração espontânea". Mas esse processo de um *deus ex machina* deu ocasião a versões diferentes. Podia-se acreditar na existência de germes vivos sempre presentes, ou de moléculas que, por aproximação mútua fortuita, pudessem produzir mesmo o organismo mais elevado. Idéias como essas ainda eram sustentadas, na metade do século XVIII, não apenas por Maupertius, mas também por La Mettrie, Diderot e outros. Outra possibilidade seria a combinação dos conceitos de geração espontânea e da *scala naturae*. Não há germes vivos permeando toda a natureza; por isso, a geração espontânea deve ser capaz de extrair a vida da matéria inanimada. Todavia, esse processo pode gerar da matéria morta apenas os organismos mais simples, e estes se transformam em criaturas mais e mais complexas, pela ação de uma *scala naturae* "temporalizada". Isso, como veremos, era em essência a teoria da evolução de Lamarck.

A explicação de Maupertius sobre a origem do mundo dos organismos envolvia a geração espontânea maciça e novos tipos de animais e de plantas, e uma igualmente maciça eliminação daqueles que eram deficientes. Trata-se aí, com certeza, de uma das teorias sobre as origens, como eram vastamente difundidas entre os gregos, mas não de uma teoria da evolução. É preciso enfatizar, como corretamente salientou Roger (1963), que essa teoria da eliminação de novas variantes nocivas não tem absolutamente nada a ver com a seleção natural.

Não tendo nenhuma formação de base em história natural, Maupertius não achava nada de ridículo na idéia de que qualquer tipo de organismo, mesmo um elefante, pudesse ser o produto de uma combinação fortuita de elementos materiais.

> O acaso, pode-se dizer, produziu um vasto número de indivíduos; uma pequena proporção dentre eles foi se organizando de tal forma que os órgãos dos animais pudessem satisfazer às suas necessidades. Um número muito maior revelou-se como não tendo nem adaptação, nem ordem; estes todos pereceram. Por isso, as espécies que vemos hoje não constituem mais do que uma pequena parte daquelas que foram produzidas por um destino cego *(Essaie de cosmologie,* 1750).

Mas, não obstante, Maupertius não confiava inteiramente na geração espontânea para a origem de novas criaturas. Seus estudos genéticos conduziram-no à teoria daquilo que hoje chamaríamos especiação por mutação. Uma nova espécie, para Maupertius, nada mais era que um indivíduo mutante, e nesse sentido ele foi um precursor de de Vries. As raças, para ele, começaram com indivíduos fortuitos. Maupertius era claramente um essencialista, e mesmo que tenha pensado na produção de novas essências, ele foi incapaz de conceber um melhoramento gradual e contínuo de uma população, pela seleção (isto é, reprodução) dos indivíduos mais bem adaptados. Sem dúvida, o seu mundo não era um mundo estático, mas sim um em que o tempo desempenhava um papel

importante.

Buffon

Os dois maiores naturalistas do século XVIII, Buffon e Lineu, nasceram no mesmo ano, 1707. Porém, exceto pela identidade do ano de nascimento e pelo seu grande interesse em história natural, os dois homens eram quase em tudo tão diferentes quanto dois humanos podem ser. Buffon (1707-1788) era rico, membro de uma família aristocrática, e em condições de assumir o estudo da ciência como um lazer. [16] Lineu era pobre, e teve que lutar arduamente para obter uma posição e ganhar a vida. Na maioria dos seus conceitos científicos, do mesmo modo, eles sustentavam pontos de vista opostos (veja o Capítulo 4).

Quando jovem, Buffon passou um ano na Inglaterra, durante o qual estudou matemática, física e fisiologia das plantas. Depois de voltar para a França, publicou uma tradução do *Fluxions,* de Newton, e do *Vegetable Statics,* de Stephen Hales. Devido ao especial patrocínio do ministro Maurepas, Buffon foi nomeado, em 1739, intendente (diretor) do Jardin du Roi, mesmo não sendo particularmente qualificado para essa posição. De qualquer maneira, lançou-se à nova tarefa com grande entusiasmo, e desenvolveu o plano de escrever uma história natural universal, desde os minerais até o homem. Trinta e cinco grandes volumes *in-quarto* dessa obra foram publicados entre 1749 e a morte de Buffon, em 1788, e mais nove outros volumes foram acrescidos à série, posteriormente. Nessa monumental e fascinante *Histoire naturelle,* Buffon abordou, de modo estimulante, quase a totalidade dos problemas que seriam mais tarde levantados pelos evolucionistas. Escrita num estilo brilhante, essa obra foi lida na França, ou em uma das numerosas traduções, por toda pessoa educada, na Europa. Não há exagero em se afirmar que virtualmente todos os escritores famosos do Iluminismo, e mesmo das gerações posteriores, tanto na França como em outros países europeus, eram buffonianos, de modo direto ou indireto. Na verdade, Buffon era o pai de todo o pensarnento em história natural na segunda metade do século XVIII. [17] Não obstante, como veremos agora, ele mesmo não fosse um evolucionista, nem por isso deixa de ser correto que ele foi o pai do evolucionismo. E, com toda certeza, foi ele o responsável pelo imenso interesse pela história natural, na França (Burkhardt, 1977: 14-17).

Existem poucos autores tão difíceis de interpretar corretamente como Buffon. Há muitas razões para isso. Por exemplo, a grande obra de Buffon é uma enciclopédia literária de história natural, e as referências a um dado tópico geral – digamos, evolução, espécies, ou variação – encontram-se dispersas em muitos volumes diferentes. E mais, as idéias de Buffon evoluíram muito claramente durante a sua vida longa e ativa, porém todas as tentativas para classificar o seu pensamento em períodos bem definidos têm-se mostrado bastante insatisfatórias. Com a sua mente versátil, de fato quase cambiante, Buffon abordava muitos assuntos de lados tão diferentes que não raramente se contradizia. É necessário um estudo da sua obra inteira, antes de se poder afirmar com segurança quais as idéias de Buffon que poderiam ser consideradas as mais típicas. Finalmente, existe a probabilidade de que, nas suas primeiras publicações, Buffon não tenha tido condições de escrever com perfeita franqueza. Nos anos 1740, os teólogos da Sorbonne ainda detinham um grande poder, e certa vez (1751) Buffon de fato teve que se retratar de algumas afirmações que havia feito sobre a história e a idade da terra. É provável que pelo menos algumas das observações de Buffon foram formuladas de maneira tal a apaziguar os teólogos.

Quando em 1749 Buffon publicou os três primeiros volumes da sua história natural, ele era um newtoniano bastante estrito. Em decorrência disso, ele estava impregnado dos conceitos de movimento e continuidade, e as preocupações com os grandes números de entidades estáticas e descontínuas, como espécies, gêneros e famílias, pareciam-lhe como perfeitamente sem sentido. Quando foi nomeado diretor do Jardin du Roi (hoje Jardin des Plantes), sua familiaridade com a sistemática era muito limitada, mas ele converteu essa deficiência em virtude, atacando os "nomencladores" (lineanos) como pedantes livrescos, e pregando em vez disso um estudo dos animais vivos e suas características em vida. No seu discurso introdutório, ele afirma que é totalmente impossível distribuir tipos de organismos em categorias distintas, porque sempre há intermediários entre um gênero e outro. E além disso, se fôssemos adotar alguma classificação, ela deveria basear-se na totalidade dos caracteres, e não numa seleção arbitrária de uns poucos, como foi feito por Lineu. A despeito do acento na continuidade, Buffon não oferece nenhuma sugestão da evolução, nos seus primeiros três volumes. Não propôs uma temporalização da cadeia do ser, e nem insinuou que uma espécie se tenha originado ou desenvolvido a partir de outra. O certo é que, no primeiro volume, vem defendida a idéia de que somente os indivíduos são entidades reais na natureza.

A sequência de espécies que Buffon adota na sua história natural é de natureza puramente utilitária. Ele começa com aquelas que são mais importantes, mais úteis, ou mais familiares aos homens. Daí que as espécies domésticas, como o cavalo, o cão e a vaca, são tratadas antes dos animais selvagens, e os da zona temperada, por sua vez, antes dos animais exóticos. Essa classificação arbitrária era claramente inadequada para servir de base a considerações evolucionistas. No que concerne ao homem, ele é o mais avançado entre os seres vivos. "Tudo, mesmo a sua aparência exterior, demonstra a superioridade do homem sobre todos os outros viventes". Bem no espírito de Descartes, Buffon considera a faculdade de pensar do homem sua característica predominante: "Ser e pensar são para nós a mesma coisa". A partir da sua convicção de que os animais não podem pensar, existe para ele um tremendo fosso entre os animais e o homem. Essa particularidade impossibilitava completamente considerar o homem como tendo evoluído a partir dos animais.

O estilo dos três primeiros volumes da *Histoire naturelle* (1749) indica que, naquele tempo, Buffon pôde ter sido um ateu. Em 1764, ele usa expressamente a linguagem de um deísta. Quando, em 1774, Buffon escreve, "Quanto mais profundamente penetro nos arcamos da natureza, mais admiro e profundamente respeito o seu autor", ele parece exprimir sentimentos genuínos. Chegando a acreditar numa ordem eterna e em leis da natureza, Buffon precisa de um legislador que seja o responsável pelas causas secundárias que se observam. A ciência não teria o menor sentido se o mundo não fosse governado por uma ordem imutável e universal. Nessa conceituação, Buffon está visivelmente próximo de Aristóteles, que, com base na mesma idéia de uma ordem eterna do universo, também chegou a rejeitar a evolução.

Buffon estava plenamente consciente da possibilidade de uma "descendência comum", e talvez tenha sido o primeiro autor a articular claramente esse conceito:

> Não apenas o burro e o cavalo, mas também o homem, os macacos, os quadrúpedes, e os animais todos, poderiam ser encarados como constituindo uma única família … Se fôssemos admitir que o asno é da família do cavalo, dele diferindo apenas por ter variado a sua forma

> original, poder-se-ia da mesma forma dizer que o macaco é da família do homem, que ele é um homem degenerado, que o homem e o macaco possuem uma origem comum; que, na realidade, todas as famílias, tanto plantas como animais, procederam de um único tronco, e que todos os animais são descendentes de um único animal, do qual, no decurso do tempo, e como resultado do progresso ou da degeneração, se originaram todas as outras raças de animais. Pois, se fosse demonstrado que estamos certos ao estabelecer tais famílias; se fosse garantido que entre os animais e as plantas houve (não digo diversas espécies) mas uma só, que tenha sido produzida no curso da descendência direta de uma outra espécie; se, por exemplo, fosse verdadeiro que o asno é apenas uma degeneração do cavalo – então já não haveria qualquer limite para o poder da natureza, e não estaríamos errados ao supor que, com tempo suficiente, ela foi capaz de, a partir de um único ser, fazer derivar todos os outros seres organizados. Mas isso não é de forma alguma uma representação apropriada da natureza. Estamos certificados pela autoridade da revelação que todos os animais participaram igualmente da graça da Criação, e que o primeiro par de cada espécie saiu plenamente formado das mãos do Criador (Buffon, 1766).

Tais afirmações poderiam ser interpretadas, e de fato por vezes o foram, como uma refutação meramente *pró-forma* (em favor dos teólogos) de uma crença genuína de Buffon na evolução. Todos os seus intérpretes mais recentes (Lovejoy, Eilkie, Roger) concordaram, todavia, em que tal proposição, quando examinada no contexto do ensaio em que está inserida, é na realidade uma séria rejeição da possibilidade da descendência comum. A passagem citada é seguida diretamente por grande número de diferentes argumentos contra a possibilidade da descendência de uma espécie genuína a partir de uma outra. Em particular, Buffon apresenta três argumentos. Primeiro, na história documentada, não se tem conhecimento do aparecimento de nenhuma espécie nova. Segundo, a infertilidade dos híbridos estabelece uma barreira insuperável entre as espécies. E terceiro, se uma espécie fosse originada de outra, "por exemplo, se a espécie do asno procedesse do cavalo", o resultado só poderia ter sido efetuado vagarosamente e por gradações. Deveria existir, por isso, entre o cavalo e o asno, um grande número de animais intermediários. Por que então, hoje em dia, não vemos os representantes, os descendentes, dessas espécies intermediárias? Como se explica que permanecem apenas os dois extremos? Esses três argumentos levaram Buffon à conclusão seguinte:

> Embora não possa ser demonstrado que a produção de uma espécie, por degeneração de outra, seja uma impossibilidade da natureza, o número de probabilidade em contrário é tão enorme que, mesmo em bases filosóficas, sobram poucas dúvidas sobre esse ponto.

Mas então, como se originam as espécies? A matéria viva (as moléculas orgânicas) está em contínuo processo de formação, como resultado da combinação química espontânea. As moléculas orgânicas, por sua vez, combinam-se espontaneamente, para formar o primeiro indivíduo de todas as espécies fundamentais. Esse ser primitivo, assim formado, passa a ser o protótipo de uma espécie. Ele se toma o *moule intérieur* (forma epigênica interior) para os seus descendentes, e assim garante a permanência da espécie. Essa permanência é constantemente ameaçada pelas "circunstâncias" que induzem à produção de variedades. De qualquer maneira, a permanência do *moule intérieur* impede que as variações transgridam certos limites. Sob esse aspectos, o *moule intérieur* desempenha um

papel semelhante ao *eidos* (forma) de Aristóteles. Muitos organismos inferiores são constantemente produzidos a partir das moléculas orgânicas, por geração espontânea. Existem tantos tipos de animais e de plantas quantas são as combinações viáveis de moléculas orgânicas. As combinações inviáveis perecem.

Há um perfeito contraste entre os primeiros três volumes da *Histoire naturelle* (publicados em 1749) e o quarto (1753) e os seguintes. Uma das razões é que Buffon, no início dos anos 1750, passou a familiarizar-se com a obra de Leibniz, com sua ênfase na corrente do ser, plenitude, a perfeição do universo, e seus indícios de uma evolução. A partir desse momento, os escritos de Buffon contêm um misto dos pensamentos de Newton e de Leibniz. De um lado, ele continuava a acreditar na plenitude, e afirmava: "Parece que todas as coisas que podem existir, existem". De outro lado, ele rejeita as causas finais, e sua atitude é de ponta a ponta antiteleológica. O mundo foi criado perfeito, no princípio, e não havia nada que necessitasse do seu movimento no sentido da sua maior perfeição. Ocasionalmente, ele rejeita de modo claro o essencialismo de Platão, por exemplo, quando, ao afirmar que devemos fazer abstração da diversidade dos fenômenos, diz que essas abstrações são o produto da nossa própria inteligência, e não reais. Entretanto, muitas das suas interpretações são tipológicas, como se depreende com toda evidência do seu tratamento das espécies.

No primeiro volume da *Histoire naturelle,* Buffon negava a existência das espécies, afirmando que só os indivíduos existem. Esse ponto de vista é abandonado completamente no segundo volume, onde ele define a espécie como segue:

> Podemos considerar dois animais como pertencentes à mesma espécie quando, mediante cópula, eles se perpetuam e preservam a identidade da espécie; e podemos considerá-los como pertencendo a espécies diferentes, quando forem incapazes de produzir descendência, por igual meio. Assim sendo, a raposa deve ser reconhecida como uma espécie diferente do cão, se ficar provado o fato de que do cruzamento de um macho e de uma fêmea desses dois tipos de animais não resulta nenhuma progênie. E mesmo no caso que viesse a produzir-se uma cria híbrida, uma espécie de mulo, isto seria suficiente para provar que a raposa e o cão não são da mesma espécie, porquanto, como esse mulo, o híbrido seria estéril.

A produção de um híbrido estéril comprova o envolvimento de espécies diferentes, pois, para a manutenção de uma espécie, "é necessária uma reprodução contínua, perpétua e invariável". Como Lovejoy observou corretamente, essa linguagem implica não apenas que as espécies são reais, mas também que são entidades constantes e invariáveis. As espécies, para Buffon, são tipos e não populações. O fato de adotar um conceito tão rígido da espécie, a par do fenômeno da esterilidade dos híbridos, excluía a idéia de uma derivação evolutiva de uma espécie a partir de outra. A definição de espécie de Buffon tem a desvantagem adicional que, na realidade, não define um conceito, mas sempre fornece um método para testar se dois indivíduos pertencem a uma mesma espécie ou a espécies diferentes. Trata-se apenas de uma função discriminante.

A discussão mais importante de Buffon, relativa ao tipo de questões que hoje consideraríamos incidente no tema da "biologia evolutiva", encontra-se no seu ensaio sobre a degenerescência dos animais (1766). Aqui ele exprime vigorosamente o seu conceito de que a maioria das variações não é genética, mas sim provocada pelo ambiente. Isso é indicado pelo fato de que os animais domésticos

são os mais variáveis de todos os animais, porque o homem os transportou para todos os climas e os expôs a uma grande variedade de alimentos, opinião essa mais tarde endossada por Darwin.

A formação em ciências físicas, de Buffon, é particularmente evidente nas. suas discussões sobre a variação. A partir da sua convicção de que causas iguais devem produzir efeitos iguais, ele defende a idéia de que os animais que vivem nos mesmos lugares devem assemelhar-se entre si, porque o mesmo clima produz os mesmos animais e as mesmas plantas. Devido à sua crença na primazia das causas físicas, ele está perfeitamente convencido da existência de vida nos outros planetas, e calcula, com base em estimativas da sua velocidade de esfriamento, em que tempo a vida poderia ter-se originado nesses planetas. O conceito de Buffon sobre os organismos, como sendo o "produto" do lugar em que vivem, desempenhou importante papel no pensamento dos biogeógrafos dos cem anos seguintes.

Essas discussões devem ter deixado bastante claro por que não há contradição entre as afirmações de que Buffon não era um evolucionista, e que todavia foi o pai do evolucionismo. Ele foi a primeira pessoa a discutir um vasto número de problemas evolucionistas, problemas esses que antes dele não haviam sido levantados por quem quer que seja. Mesmo que muitas vezes tenha chegado a conclusões erradas, a ele se deve o mérito de ter acrescentado esses tópicos ao repertório dos problemas científicos. Embora o próprio Buffon rejeitasse explicações evolucionistas, ele as apresentou à atenção do mundo científico. A ele devemos extensas discussões sobre a origem da terra em geral, e em particular das rochas sedimentares; ele estabeleceu a importância do problema da extinção das espécies animais; levantou a questão sobre se espécies proximamente relacionadas, como o cavalo e o jumento, podiam ser os descendentes de um ancestral comum; e, finalmente, foi ele quem pela primeira vez chamou a plena atenção para o problema dos problemas, que é o estabelecimento do isolamento reprodutivo (como hoje o chamamos) entre duas espécies incipientes.

Qual foi, em resumo, o efeito líquido do pensamento de Buffon sobre o futuro desenvolvimento da idéia do evolucionismo? Ele ocupa claramente a posição ambígua de haver atrasado e estimulado, ao mesmo tempo, o evolucionismo. Atrasou-o, por seus frequentes endossos da doutrina da imutabilidade das espécies. Atrasou-o, também, por haver proposto um critério de espécie – a fertilidade entre os membros de uma espécie – que os seus contemporâneos consideravam perfeitamente incompatível com a mudança evolutiva. Efetivamente, o problema de como uma espécie poderia dar origem a uma outra, da qual está separada pela barreira da esterilidade, colocava ainda embaraços a alguns geneticistas em época tão recente como a primeira metade do presente século (Bateson, 1922; Goldschmidt, 1940). Tais reservas de Buffon sobre o assunto, compartilhadas pela maioria dos seus contemporâneos eruditos, constituíram o motivo por que a mera demonstração da mudança evolutiva não era suficiente para estabelecer o evolucionismo. O que faltava, e isso foi em seguida proporcionado pelos defensores da especiação geográfica, era a demonstração de como o fosso entre as espécies podia ser transposto.

De muito maior importância são as contribuições positivas de Buffon para o evolucionismo.

1. Por meio de suas análises detalhadas, ele trouxe a idéia da evolução para o reino da ciência, a ser tratada daí por diante como um objeto próprio de pesquisa.
2. Ele generalizou os resultados das suas dissecações (como o seu colaborador Daubenton), desenvolvendo o conceito da "unidade do tipo". Isso deu origem primeiro à escola da morfologia idealística, e depois à anatomia comparada, que tantas evidências produziu em favor da evolução.

3. Ele, mais do que qualquer outro, foi responsável por uma nova cronologia da terra, isto é, pela aceitação de uma vasta escala de tempo.
4. Ele foi o fundador da biogeografia. Quando, sem fazer oposição a Lineu, arranjou as espécies de acordo com a sua região de origem, ele as agrupou em faunas. A compilação de listas de faunas, por Buffon e seus seguidores, serviu de base para generalizações de grande alcance. Darwin, de fato, extraiu mais evidências para a evolução do fato da distribuição do que de qualquer outro fenômeno biológico (veja o Capítulo 10).

A história natural, antes de Buffon, tinha todas as características de um passatempo, de um *hobby*. Buffon foi aquele que a promoveu ao *status* de ciência. Grande parte da *Histoire naturelle* consistia naquilo que hoje chamaríamos de "ecologia"; outras passagens eram dedicadas ao estudo do comportamento. Estava aí uma esplêndida reafirmação do estudo do animal como um todo, fazendo um contrapeso às influências atomizantes da época, tendo em conta, particularmente, o fato de que o próprio Buffon se interessava igualmente por fisiologia, desenvolvimento e moléculas orgânicas. Quaisquer que sejam os autores da segunda metade do século XVIII que venhamos a ler, suas discussões, em última análise, reduzem-se a comentários da obra de Buffon. Exceto no tocante a Aristóteles e Darwin, não houve nenhum outro estudioso dos organismos que tenha tido tão abrangente influência.

Diderot

Dentre os líderes do Iluminismo, Denis Diderot (1713-1784) foi o que revelou maior interesse pelos organismos vivos. Em vários artigos da *Encyclopédie,* e particularmente numa série de ensaios imaginativos, ele debateu reiteradamente a origem e a natureza da vida, acidente ou determinismo, as interações das moléculas, a geração espontânea, o papel do meio ambiente e problemas similares. [19] Diderot, com toda evidência, era um leitor ávido, e calcava livremente suas especulações em Buffon, Leibniz, Maupertius, Condillac, Bordeu, Haller, e outros contemporâneos. Poucos são os pensamentos originais por ele produzidos, se é que de fato os houve, mas a maneira brilhante com que sabia refundir as especulações correntes num trama explicativa teve um grande impacto sobre os intelectuais franceses. Talvez, o seu ensaio mais audaciosos tenha sido *Le rêve de D'Alembert (O sonho de D'Alembert)*. Embora escrito em 1769, foi oficialmente publicado apenas em 1830. Contudo, uma versão clandestina começou a circular em Paris logo depois de produzido. Daí que o seu conteúdo era evidentemente bem conhecido nos salões parisienses, e é quase certo também que tenha sido familiar a Lamarck. O tom do trabalho vem bem expresso nos delírios do febricitante D'Alembert:

> As criaturas estão envolvidas na vida de todas as outras … Toda a natureza está num perpétuo estado de fluxo. Todo animal é mais ou menos um ser humano, todo mineral mais ou menos uma planta, toda planta mais ou menos um animal … Não há nada claramente definido na natureza … Existe na natureza um átomo exatamente igual a outro? Não … Por acaso tendes dúvida de que na natureza cada coisa está interligada com todas as outras, e que não pode haver um lapso na corrente? … Existe apenas um único grande indivíduo, e este é o todo … Ó vós pobres filósofos, e estais a falar de essências! Renunciai à vossa idéia de essências … e

> sobre as espécies? As espécies são meras tendências para um fim comum que lhes é peculiar … E a vida? Uma série de ações e reações … A molécula viva é a origem de tudo, não há em toda a natureza um ponto sequer que não sinta dor ou prazer.

Esse breve monólogo contém um catálogo de praticamente todas as idéias sobre a vida e a matéria, sustentadas desde os antigos até os então modernos filósofos, como Leibniz e Buffon. Não obstante alguns elementos do pensamento posterior de Diderot tenham tido influência nas teorias evolucionistas, o próprio Diderot não era de forma alguma um evolucionista. Não há indícios nos seus escritos de que a vida sobre a terra mude com o tempo. Ao tempo em que Diderot escreveu o *Sonho,* ele havia-se tomado um ateu irredutível. Seu mundo não foi "criado"; não possuía nenhuma das propriedades "designadas" do mundo dos teólogos da natureza. Era um mundo de moléculas completamente materialista. Talvez a máxima mais célebre do *Sonho* seja: "Os órgãos produzem as necessidades, e reciprocamente as necessidades produzem os órgãos". Esse pensamento, que aparentemente se deve a Condillac, passou de fato a constituir uma das pedras angulares da teoria lamarckiana da evolução.

Desenvolvimento em outras partes da Europa

A maioria dos escritores tão amplamente mencionados eram franceses, e a Europa, sem dúvida, detinha a liderança intelectual da Europa no século XVIII. Mas havia muita fermentação também na Grã-Bretanha (particularmente na Escócia), Alemanha, Holanda e Escandinávia. Efetivamente, a Grã-Bretanha e a Alemanha tomaram conta do campo, depois da morte de Lamarck e Cuvier. Na Alemanha, as coisas têm andado bastante calmas depois de Leibniz, com sua extraordinária originalidade. De qualquer maneira, espalhavam-se por toda parte os indícios do enfraquecimento do teísmo rígido. Um deísmo liberal, vale dizer, uma rejeição de toda revelação, inclusive da Bíblia, alcançou o seu mais refinado florescimento nos escritos de Reimarus.[20] Seu maior impacto, na biologia, foi na interpretação do comportamento animal. O pensador mais influente do período, no entanto, era o historiador Johann Gottfried Herder,[21] cuja maior contribuição foi a ênfase no pensamento histórico e na diversidade. Na sua obra de quatro volumes, *Idéias sobre uma filosofia da história do homem* (1784-1791), ele trata não apenas da "origem do homem", mas finalmente também do universo e do mundo dos animais e das plantas. Herder exerceu grande influência no pensamento de Goethe, Kant e dos *Naturphilosophen,* por sua pertinente aproximação histórica de todas as questões. Porém, como todos os outros alemães, ele era um essencialista, para quem a transformação de uma espécie em outra estava simplesmente fora de cogitação. O conceito básico de Herder em relação ao mundo vivo era o de uma *scala naturae* temporalizada, mas ele jamais chegou a defrontar o problema de como se podia chegar das plantas aos animais, ou de animais simples a animais superiores. Todavia, ele insistia em que

> nós vemos elevar-se a forma da organização, e com ela os poderes e as propensões das criaturas tomarem-se mais variados, até que finalmente, todas elas, tanto possível, se unem na forma do homem.

Muitos dos pensamentos de Herder são colhidos de Buffon, embora muitas vezes os estenda consideravelmente, como na sua abordagem da luta pela existência.

Kant foi muitas vezes chamado precursor de Darwin, mas sem fundamento, como claramente demonstrado por diversos escritores, de modo particularmente feliz por Lovejoy (1959d). Embora Kant tenha tido um discernimento bem claro dos problemas, como evidencia pela sua discussão sobre a adaptação, na *Crítica do juízo* (1970), sendo radicalmente essencialista, ele simplesmente não podia ter a idéia da evolução. Ele ficou muito impressionado com o argumento de Buffon de que a barreira da esterilidade mantinha a nítida delimitação das espécies umas com as outras, e aceitou isso como prova decisiva da impossibilidade da passagem de uma espécie para outra, por meio de algo como a evolução. Ele nunca resolveu o conflito entre a descontinuidade das espécies e a continuidade do universo, expressa na sua cosmologia e na sua adesão à Grande Corrente do Ser. O aparente conflito entre as leis puramente mecânicas da física e da química e a perfeita adaptação de todos os organismos, que parecia reclamar uma criação *ad hoc,* armou para Kant um dilema que ele não foi capaz de resolver (Mayr, 1974d: 383-404; Lovejoy, 1959d: 173-206).

Ninguém reflete melhor do que J. F. Blumenbach o pensamento do final do século XVIII, na Alemanha. Na sua influente história natural, ele escreveu alentadamente sobre a mutabilidade, a extinção, a geração espontânea, a degeneração, as causas finais, a criação, as catástrofes, e *Bildungstrieb*. Blumenbach era notavelmente erudito, mas incapaz de emancipar-se das idéias dominantes do seu tempo.

A Inglaterra, que no século XVII e começo do XVIII exerceu tanta liderança em filosofia (Locke, Berkeley, Hume), em física e em fisiologia, praticamente não trouxe nenhuma contribuição para o pensamento evolucionista, no século XVIII. A única exceção é Erasmus Darwin, [22] avô de Charles Darwin, que no seu *Zoonomia* (1794) fez concessão a algumas especulações evolucionistas causais. Mas depois nunca chegou a aprofundá-las, de sorte que tiveram um impacto muito modesto nos desdobramentos posteriores. Não há justificativa para uma apresentação mais detalhada do seu pensamento, além de enfatizar o caráter errôneo de três suposições relativas às idéias de Erasmus Darwin:

Que ele tenha antecipado Lamarck, ou mesmo que Lamarck tenha colhido dele as suas idéias. A crença numa herança dos caracteres adquiridos e outras idéias que se encontram em ambos os autores eram largamente difundidas naquele período. Larmack evidentemente não era familiarizado com Erasmus Darwin. (2) Que ele teve grande influência sobre o seu neto. Dificilmente se encontra algum traço das idéias de Erasmus Darwin no *Origin,* e Charles Darwin negou explicitamente tal influência, embora os seus cadernos de notas reflitam a leitura do *Zoonomia* (Hodge, 1981). (3) Que ele foi um pensador altamente original. Ele era antes de tudo um sintetizador e um popularizador; virtualmente, todas as suas idéias individuais podem ser identificadas em autores precedentes, com os quais Erasmus Darwin estava familiarizado, devido às suas vastas leituras. As suas assim chamadas idéias evolucionistas eram amplamente sustentadas pelos teólogos naturais e pelos criadores de animais ingleses.

A falta de interesse acerca da evolução na Inglaterra, durante o século XVIII, tinha diversas razões. A grande pujança do empirismo, que ocorreu no período, resultou numa superênfase nas ciências físicas e experimentais. As preocupações com a história natural estavam inteiramente nas mãos de ministros ordenados, e conduziam inevitavelmente a uma crença no desígnio perfeito de um mundo criado, crença totalmente incompatível com o conceito da evolução.

Lineu

À primeira vista, poderia parecer completamente impróprio mencionar Carl Lineu (1707-1778), muitas vezes considerado o arquiinimigo do evolucionismo, numa discussão sobre a história do pensamento evolutivo. Sem dúvida, ele desempenhou um importante papel (veja o Capítulo 4). Embora partindo de uma teoria da classificação baseada na teoria escolástica da divisão lógica, Lineu lançou os fundamentos para a elaboração de uma classificação natural e hierárquica, que no correr do tempo virtualmente forçou à aceitação do conceito da descendência comum. Ele teve a intuição do relacionamento entre as ordens e classes, como indicado por sua bem conhecida afirmação: "Todos os grupos de plantas revelam parentescos de todos os lados, como os países de um mapa do mundo" *(Philosophia Botanica,* 1750: 77). E, no entanto, ao reconhecer gêneros, ordens e classes, Lineu destruiu a "continuidade da vida", substituindo-a por uma hierarquia de descontinuidades. Isso se ajustava perfeitamente ao pensamento essencialista, mas criou um conflito com o continuísmo pregado pelo pensamento evolutivo. Reconciliar continuidade e descontinuidade tomou-se, por isso, um dos grandes desafios da biologia evolutiva.

Por sua insistência na constância e fixidez das espécies, em contraste com o caráter vago e de conotação nominalista da escola francesa, Lineu promoveu a origem das espécies a um problema científico (Poultou, 1903; Mayr, 1957). O problema relacionava-se com a sua teoria de uma origem das espécies por hibridação, proposta mais tarde em sua vida. Assim como Ray, Lineu rejeitava decisivamente a heterogenia. Na realidade, ele negava, pelo menos nos seus escritos mais relevantes, toda e qualquer transmissão de uma espécie a outra.

Seu vivo interesse no equilíbrio da natureza e na luta pela existência foi importante para o desenvolvimento das idéias dos teólogos naturais que vivem depois, bem como de de Candolle e outros pré-darwinianos (Hofsten, 1958; Limoges, 1970). Ele integrou um importante elemento do arcabouço conceitual da teoria da seleção natural. Com efeito, boa parte da argumentação de Darwin remonta a Lineu, mesmo quando consiste em uma refutação de suas idéias. Em suma, Lineu trouxe uma contribuição maior para o meio conceitual que deu origem às posteriores teorias evolucionistas. [23]

A herança do período pré-lamarckiano

Os séculos XVII e XVIII, como vimos, experimentaram uma quase total revolução no conceito do homem sobre a natureza. Em uma "idade da razão", a revelação já não podia ser aceita como a autoridade final na explicação dos fenômenos naturais. O teísmo era largamente substituído pelo deísmo, ou mesmo pelo ateísmo. As descobertas em todos os campos descreditavam a Bíblia como fonte de explicação científica. O Deus das intervenções e dos milagres era substituído pela imagem de um Deus como autor de leis gerais, que funcionavam como causas secundárias na produção de todos os fenômenos concretos. Essa interpretação era consistente com a descorberta das grandes leis físicas, que colocavam automaticamente os sóis e os planetas em movimento, sem intervenção divina. A infinitude do tempo, a infinitude do espaço e a evolução cosmológica (Kant, Laplace) estavam sendo aceitas. As descobertas nas ciências biológicas suscitavam desafios particularmente sérios

para a interpretação criacionista-intervencionista. Elas incluíam a heterogeneidade das faunas e floras, a crescente diversidade dos fósseis nos estratos inferiores, a crescente frequência das extinções, a hierarquia inclusiva de Lineu, a descoberta de tipos morfológicos, a descoberta de organismos microscópicos, o reconhecimento da incrível adaptabilidade dos organismos, o início de uma substituição do pensamento tipológico por um pensamento populacional.

Ao final do século, havia-se tomado evidente que dois problemas maiores estavam a demandar uma solução: a origem da diversidade, com o seu aparente e ordenado arranjo em um sistema natural, e a soberba adaptação de todos os organismos, tanto entre si como ao seu meio ambiente. Para o essencialista, colocava-se o problema adicional de como reconciliar a descontinuidade, representada pelas espécies e pelas categorias superiores, com a continuidade geral de todos os fenômenos da vida. Finalmente, havia um bom número de problemas especiais bastante embaraçosos, que pareciam estar em conflito com o conceito da sabedoria e benevolência do Criador, tais como os problemas da extinção e da existência de órgãos vestigiais. O criacionismo tomou-se uma solução cada vez menos satisfatória. A situação, dessa forma, estava armada para um novo e revolucionário ponto de partida, e era apenas questão de tempo para que algum naturalista tivesse a coragem e a originalidade de propor uma solução claramente conflitante com o dogma aceito. Essa pessoa foi o biólogo francês Lamarck.

8. A EVOLUÇÃO ANTES DE DARWIN

Para um biólogo moderno, o espaço de tempo entre as primeiras intimações provocativas do evolucionismo, por Leibniz, no seu *Protogaea* (1694) e a proposta definida de Lamarck (1800) parece um retardo extraordinariamente longo. Buffon hesitou no limiar do evolucionismo durante toda a sua vida, e numerosos outros pensadores haviam adotado uma versão temporalizada da corrente do ser, mas nenhum deles deu o passo decisivo de converter a cadeia ininterrupta de uma sequência de sempre crescente perfeição em uma linha de descendência.

Lamarck

Jean Baptiste Pierre Antoine de Monet, Chevalier de Lamarck (1744-1829), nasceu em uma família pobre de nobres do Norte da França. [1] Ele entrou para o exército com a idade de dezessete anos, lutou com grande bravura em numerosas batalhas da Guerra dos Sete Anos, deu baixa aos dezenove, e a partir de então passou a viver em Paris de pequena pensão e de tudo quanto pudesse ganhar com escritos de biscate para dicionários e outros semelhantes. Finalmente, veio a interessar-se muito pela história natural, em particular pela botânica, acabando por escrever uma flora da França, em quatro volumes, que foi justificadamente enaltecida pela excelência das suas descrições. Pouco tempo depois, foi escolhido por Buffon para ser o tutor e companheiro de viagem de seu filho. Isso lhe deu a oportunidade de visitar a Itália e outros países da Europa, única viagem que Lamarck jamais fez em sua vida. Em 1788, Buffon assegurou-lhe uma posição como assistente no Departamento de Botânica do Museu de História Natural, posto que ele ocupou durante os cinco anos seguintes. Lamarck publicou prodigiosamente durante os quase trinta anos em que se interessava por plantas, e não há nenhuma dúvida que ao tempo ele acreditava em espécies bem delimitadas, "criadas no princípio", e que subsequentemente, naquele período, o seu pensamento era o de um essencialista.

Em 1793, em correlação com a reorganização das instituições científicas da França, Lamarck foi indicado professor de "animais inferiores", ou invertebrados, como os chamamos hoje, nome que lhes foi dado pelo próprio Lamarck. Essa recente nomeação foi o evento decisivo da sua vida. Com enorme energia, familiarizou-se com a diversificada multidão de animais que Lineu havia ajuntado, sob o nome de "vermes". Embora Lineu já tivesse 49 anos de idade quando começou esses novos estudos, é evidente que eles exerceram um impacto revolucionário sobre os seus conceitos. Naqueles anos, ele chegou a aderir a uma mistura, típica do século XVIII, de deísmo e de uma síntese das idéias newtonianas e leibnizianas. De Newton ele adotou a crença em um universo regido por leis e a convicção de que todos os fenômenos, não apenas da natureza inanimada, mas também dos "corpos organizados", podiam ser explicados em termos de movimentos e forças que agiam sobre a matéria. De Leibniz ele adquiriu a convicção otimista da perfeita harmonia do universo, da plenitude e da continuidade. Tal síntese levou a numerosas contradições, e parece evidente que a adoção do evolucionismo foi a consequência da tentativa de resolver pelo menos algumas dessas contradições.

Lamarck tinha planos grandiosos para um "física terrestre" universal (inclusive a biologia) e, na

persecução desses objetivos, ele foi respigar em quase todos os ramos da ciência. Ele se expôs ao ridículo por fazer oposição às novas e brilhantes descobertas da química do oxigênio, de Lavoisier, e por suas predições meteorológicas. Ele também escreveu uma geologia (Lamarck, 1802a), que foi virtualmente ignorada por seus contemporâneos, e traduzida para o inglês apenas uma década atrás.

Um dos deveres do seu novo cargo de professor era dar anualmente um curso sobre os invertebrados. Por diversos anos, Lamarck dedicou a primeira preleção a um *Discours d'ouverture.* Os manuscritos dessas lições (ou pelo menos de algumas delas) foram preservados, tendo merecido publicação, em parte, nos anos recentes (Lamarck, 1907). O *Discours* do ano 1799 ainda reflete o pensamento de Lamarck, tal como o colheu do botânico A. L. de Jusieu e da escola lineana: as espécies eram imutáveis, e não continham nenhum aceno para a possibilidade da evolução. O *Discours* do ano seguinte, apresentado em 11 de maio de 1800, revela as novas teorias evolucionistas de Lamarck, já contendo os pontos essenciais da sua *Philosophie zoologique* (1809). É evidente que entre 1799 e 1800 Lamarck passou por uma "conversão", como seria chamada na literatura religiosa. O que poderia ter induzido um homem de quase 55 anos a abandonar a sua visão do mundo anterior, substituindo-a por uma outra, a tal ponto revolucionária que ninguém antes dele a havia sustentado?

Os passados esforços para explicar o evolucionismo de Lamarck, quase sem exceção, têm sido insatisfatórios, devido ao insucesso das tentativas de separar as idéias de Lamarck sobre as mudanças evolutivas, como tais, dos seus esforços por explicar os mecanismos fisiológicos e genéticos, responsáveis por elas. Na exposição a seguir, tentaremos separar cuidadosamente esses dois aspectos da teoria evolucionista de Lamarck.

Faremos também um determinado esforço para interpretar Lamarck no contexto do seu meio intelectual contemporâneo. Poucos autores, no passado, foram sujeitos de uma historiografia tão "liberal" como Lamarck (veja o Capítulo 1). Com certeza, ele é uma das figuras mais difíceis de serem discutidas na história da biologia. É esta a razão por que provavelmente existe maior número de interpretações diferentes, e mesmo de descrições, do pensamento de Lamarck do que em relação a qualquer outro autor. Sem contar com os comentários obsoletos, basta apenas comparar as apresentações recentes de Mayr, Hodge e Burckhardt, para se ter uma idéia desse ponto. Lamarck tinha uma profunda ligação intelectual com Descartes, Newton, Leibniz e Buffon. Sem dúvida, ele era também profundamente influenciado no seu pensamento pelo material zoológico de que dispunha, particularmente pela variação fóssil dos moluscos. Hodge (1971a, b) acentua corretamente que não se pode, e não se deve, interpretar Lamarck em termos da teoria evolucionista de Darwin. Lamarck não tinha nenhuma teoria da origem das espécies, nem levou em consideração a descendência comum. Fato muito notável em relação a um naturalista do começo do século XIX, ele negligenciou completamente a distribuição geográfica, um corpo de informações que constituiu uma das fontes mais poderosas da teoria darwiniana da descendência comum.

O novo paradigma de Lamarck

Lamarck afirma que a sua nova teoria é necessária para explicar dois fenômenos bem conhecidos no mundo dos organismos. O primeiro é que os animais revelam uma série graduada de "perfeição". Por perfeição crescente, Lamarck entendia o aumento gradual em "animalidade", dos animais mais simples aos que possuíam a mais complexa organização, culminando com o homem. Ele

não encarava a perfeição em termos de adaptabilidade ao meio ambiente, ou pela função que um organismo desempenha na economia da natureza, mas simplesmente em termos de complexidade. O outro fenômeno que necessita de uma explicação é a espantosa diversidade dos organismos, o que sugere "que tudo o que é possível imaginar efetivamente ocorreu". Aparentemente, ele está se referindo ao princípio da plenitude.

Um outro ingrediente acrescentado por Lamarck é a efetiva transformação das espécies em uma linha filética. "Após uma longa sucessão de gerações … os indivíduos, originalmente pertencentes a uma espécie, transformam-se, por fim, numa nova espécie, distinta da primeira" (1809: 38-39). Por toda parte, em suas discussões, Lamarck reitera a lentidão e a gradatividade da mudança evolutiva. "Com referência aos seres vivos, já não é mais possível duvidar que a natureza tudo tem feito aos poucos, e sucessivamente" (p. ll). Em uma discussão sobre animais originalmente aquáticos, ele afirma: "A natureza os conduziu pouco a pouco ao hábito de viver ao ar, começando pela beira das águas, etc." (p. 70).

"Tais mudanças só se deram com extremo vagar, e isso faz com que sejam sempre imperceptíveis" (p. 30).

> Dificilmente se pode negar que a forma, ou os caracteres exteriores, de todo ser vivo, seja ele qual for, deve variar imperceptivelmente, conquanto tal variação apenas se tome visível após um tempo considerável (p. 45).
>
> Foram necessários, indubitavelmente, um tempo enorme e uma variação extensa, em condições sucessivas, para permitir à natureza trazer a organização animal ao grau de complexidade e desenvolvimento, como a vemos em sua perfeição (p. 50).

Isso não representa problema algum, porque, para a natureza, "o tempo não tem limites, e pode ser estendido em qualquer proporção" (P-H4).

Muitos estudiosos da obra de Lamarck perguntaram-se sobre quais novas observações, ou quais novos conceitos, induziram Lamarck a adotar esse novo ponto de vista, em 1800. Aparentemente, o que aconteceu (Burckhardt, 1977) foi que, nos fins de 1790, Lamarck assumiu a coleção de moluscos do Museu de Paris, após a morte do seu amigo Bruguière. Quando ele começou a estudar essas coleções, que continham tanto moluscos fósseis como recentes, descobriu que muitas espécies vivas de mexilhões e outros moluscos marinhos tinham análogos entre as espécies fósseis. Realmente, mostrou-se possível, em muitos casos, ordenar os fósseis dos estratos primitivos e mais recentes do Terciário numa série cronológica, terminando numa série recente. Em alguns casos, em que o material era suficientemente completo, foi possível estabelecer virtualmente séries filéticas sem interrupções. Em outros casos, descobriu que espécies recentes remontavam profundamente aos estratos do Terciário. Era inevitável a conclusão de que muitas séries filéticas sofreram uma alteração lenta e gradual, ao longo do tempo. Provavelmente nenhum outro grupo de animais se prestava tão bem como os moluscos marinhos para conduzir a tal conclusão. Cuvier, que no mesmo tempo estudava os mamíferos fósseis, os quais em média evoluem muito mais rapidamente do que os moluscos marinhos, descobriu que nenhum dos elefantes fósseis, ou outros tipos fósseis, tinha um análogo vivo, e com isso chegou à conclusão de que as espécies primitivas se extinguiram, e que foram substituídas por espécies inteiramente novas. O reconhecimento de séries filéticas foi de particular importância para Lamarck, porque isso lhe fornecia a solução de um problema que

aparentemente o perturbava há muito tempo, o problema da extinção.

As espécies extintas

Desde que o estudo dos fósseis se tomou mais intenso, ficou evidente que muitas das espécies fósseis são bem diferentes das espécies vivas. Os amonites, tão abundantes em muitos depósitos mesozóicos, constituem um exemplo notável. A situação tomou-se mais aguda quando foram descobertos fósseis de mamíferos, no século XVIII, como os mastodontes na América do Norte e os mamutes na Sibéria. Por fim, Cuvier descreveu faunas inteiras de mamíferos fósseis de diversos horizontes da bacia de Paris. Os naturalistas e estudiosos de fósseis mais moderados admitiram de fato que a terra era habitada, em pristimas eras, por criaturas que desde então deiraram de existir, e não todas ao mesmo tempo. Blumenbach, por exemplo, reconheceu um período mais antigo de extinção, principalmente em relação a organismos marinhos, como bivalves, amonites e terebrátulas, e uma extinção mais recente, concernente aos organismos semelhantes que ainda sobrevivem, como o urso de caverna e o mamute. Herder já falava de múltiplas convulsões da terra, e outros autores referiam-se a catástrofes, todas elas resultando em extinções. Para outros naturalistas, o conceito de extinção era inaceitável, por diversas razões ideológicas. Ela era inconcebível tanto para o teólogo natural como para os newtonianos, para os quais todas as coisas no universo eram governadas por leis. Ela também violava o princípio da plenitude, pois a extinção de uma espécie teria um vazio na plenitude da natureza. Finalmente, ela violava os conceitos do equilíbrio da natureza, que de forma alguma poderia oferecer as causas da ocorrência da extinção. (Lovejoy, 1936: esp. 243, 256.)

O ponto de vista de que a extinção era incompatível com a onipotência e a benevolência de Deus era muito difundido ao longo do século

Durante uma discussão sobre fósseis, em 1703, John Ray afirmou:

> A consequência disso seria que muitas espécies de mariscos se perderam do mundo, o que os filósofos até agora se recusaram a admitir, considerando que a destruição de qualquer uma das espécies seria um desmembramento do Universo, tomando-o imperfeito; enquanto pensam que a Divina Providência está especialmente preocupada em assegurar e preservar as Obras da Criação (*Physico-Theological Discourses,* 35 ed., 1713:149).

A maior parte dos filósofos do Iluminismo e da primeira metade do século XIX era deísta. Ao Deus deles não era permitido interferir no universo, a partir do momento que ele o criou. Qualquer interferência teria sido um milagre, e qual era o filósofo que podia admitir milagres, depois do que Hume e Voltaire disseram sobre eles? Isso criou um dilema formidável. Ou se devia negar a ocorrência da extinção, o que Lamarck (mais ou menos) fez, ou então era preciso postular uma lei, estabelecida no tempo original da criação, que desse contas do constante desaparecimento de novas espécies, ao longo do tempo geológico. Mas como poderia funcionar uma tal lei "de introdução de novas espécies", sem que isso significasse "criação especial"? Essa foi a objeção de Darwin (nunca plenamente articulada) levantada contra Lyell, que postulava tal lei. Mas tomemos aos esforços de "dar uma explicação" para a extinção.

No decurso dos séculos XVII e XVIII, quatro explicações foram aventadas para esse desaparecimento de espécies fósseis, nenhuma delas implicando "extinção natural".

Uma era a de que os animais extintos representavam aqueles que foram mortos pelo Dilúvio de Noé, ou por alguma grande catástrofe. Tal explicação, que se tomou bastante popular na primeira metade do século

era totalmente incompatível com o gradualismo de Lamarck. Além disso, considerando que tão grande número de "espécies perdidas" eram aquáticas, uma destruição pelo dilúvio parecia perfeitamente irracional.

Uma segunda explicação era que as espécies extintas poderiam muito bem estar sobrevivendo em partes do globo ainda não exploradas:

> Existem muitas regiões na superfície da terra em que jamais penetramos, muitas outras em que os homens capazes de observação estiveram apenas de passagem, e muitas ainda, como as várias partes do fundo do mar, onde dispomos de escassos meios de descobrir os animais que ali vivem. As espécies que não conhecemos podem muito bem permanecer escondidas nesses vários lugares (Lamarck, 1809: 44).

Por fim, alguns explicavam a extinção dizendo que se tratou de obra do homem. E essa explicação era particularmente preferida em relação aos grandes mamíferos, como os mamutes e mastodontes.

Essas três explicações ainda deixavam muitos, senão a maioria, dos problemas da extinção insolúveis. A descoberta de espécies fósseis, análogas às ainda existentes, por isso, permitiu a Lamarck a solução longamente procurada de uma charada maior:

> Não seria possível … que os fósseis em questão pertenciam a espécies ainda vivas, mas que se alteraram desde aquele tempo, e se converteram nas espécies que hoje vemos efetivamente? (1809: 45).

Em outras palavras, a extinção é apenas um pseudoproblema. A plenitude em parte alguma é interrompida, e as espécies estranhas, que só encontramos como fósseis, ainda existem, mas mudaram a tal ponto que já não são reconhecíveis, exceto onde dispomos de uma continuidade de horizontes fósseis e, como diríamos hoje, de um seguimento evolutivo lento. A mudança evolutiva, dessa forma, era a solução para o problema da extinção. E além do mais, um estudo da evolução se apresentava como um outro caminho para demonstrar a harmonia da natureza e a sabedoria do Criador.

Ao formular essas conclusões, Lamarck de repente se deu conta de que essa explicação era eminentemente lógica por outro motivo. A terra sempre esteve em processo de mudança, ao longo do imenso período de tempo em que existia. Desde que uma espécie deve estar em completa harmonia com o seu ambiente, e desde que o meio ambiente está em constante mudança, uma espécie, da mesma forma, deve mudar constantemente, de modo a permanecer em harmonioso equilíbrio com o seu meio. Se isso não viesse a ocorrer, ela enfrentaria o perigo da extinção. Ao introduzir o fator tempo, Lamarck descobriu o calcanhar de aquiles da teologia natural. Seria possível para um criador moldar um organismo perfeito, num mundo estático e de curta duração. Porém, como poderiam as espécies ter permanecido perfeitamente adaptadas ao seu ambiente, quando esse ambiente estava em constante mudança, e por vezes de modo drástico? Como poderia o plano ter previsto todas as mudanças de clima, da estrutura física da superfície da terra, e da composição cambiante dos

ecossistemas (predadores e competidores), quando a terra tinha centenas de milhões de anos? Nessas circunstâncias, as adaptações só podem ser mantidas se os organismos se ajustarem constantemente às novas condições, isto é, se eles evoluírem. Embora os teólogos naturais, bons naturalistas que eram, tivessem reconhecido claramente a importância do meio e as adaptações dos organismos ao mesmo, falharam ao deixarem de levar em consideração o fator tempo. Lamarck foi o primeiro a haver reconhecido com toda clareza a importância crucial desse fator.

O novo evolucionismo de Lamarck apoiava-se fortemente nos seus antigos estudos geológicos (Lamarck, 1802a). Da mesma forma como todos os leibnizianos, Lamarck era um uniformitarista, como o era de resto a maioria dos naturalistas do século XVIII. Ele postulava uma imensa idade da terra e, como Buffon, visualizava mudanças contínuas operando-se durante esse imenso espaço de tempo. As coisas mudavam constantemente, mas de modo extremamente lento. Essa imagem de um mundo em mudança gradual adaptava-se muitíssimo bem a uma interpretação evolucionista. Contudo, ela constituía completo contraste com o mundo de regime estável de Hutton, que não incluía qualquer mudança direcional, não sendo por isso receptivo a explicações evolucionistas.

O evolucionismo, evidentemente, era menos compatível ainda com o pensamento essencialista, isto é, com a crença em tipos imutáveis e descontínuos. Para um essencialista, as mudanças das faunas terrestres só podiam ser explicadas por extinções catastróficas e criações novas, ponto de vista expresso nos escritos de Cuvier e de seus discípulos. Lamarck era inflexivelmente contrário a qualquer catrastrofismo, como claramente transparece dos seus escritos zoológicos, bem como do seu *Hydrogéologie* (1802a: 103).

Embora a sua nova teoria da transformação tivesse resolvido diversos problemas, ela ainda enfrentava alguns enigmas formidáveis. Se Lamarck tivesse sido um adepto não-crítico da corrente do ser de Bonnet, com a sua transição gradual e ininterrupta da matéria inanimada para o ser mais perfeito, tudo o que Lamarck precisava fazer era aplicar o seu princípio da transição das espécies à *scala naturae*. Mas Lamarck não era de forma alguma um discípulo estrito de Bonnet, conquanto admitisse uma gradação da perfeição. [2] Mesmo nos seus escritos mais antigos, ele enfatizava que não existe transição entre a natureza inanimada e os seres vivos. Embora Lamarck, o criador do conceito de biologia, tivesse sido um forte defensor da unidade entre animais e plantas, nem por isso deixou de negar qualquer gradação entre dois reinos.

Mas de qualquer maneira, a diferença entre Lamarck e Bonnet era ainda mais profunda. As pesquisas em anatomia comparada, no Museu de Paris, particularmente nos anos 1790, revelaram cada vez mais descontinuidades entre os vários tipos morfológicos, os vertebrados, moluscos, aranhas, insetos, vermes, medusas, infusórios, e assim por diante. Contrariando Bonnet, eles não formam uma série gradual de espécies.

> Tal série não existe; mas falo de uma série por assim dizer graduada irregularmente dos grupos principais [*massas*], como as grandes famílias; uma série que seguramente existe entre os animais, bem como entre as plantas; mas que, quando se consideram os gêneros e particularmente as espécies, formam em muitos pontos ramificações laterais, cujas extremidades são na verdade isoladas *(Discours* XIII: 29).

A imagem de uma cadeia linear é progressivamente substituída, nos escritos de Lamarck, pela de uma árvore que se ramifica. Em 1809, ele reconhecia duas linhagens completamente separadas de

animais, uma conduzindo dos infusórios aos pólipos e radiados, e a outra englobando a maioria dos animais, originando-se dos vermes que se produziram por geração espontânea. Em 1815, Lamarck reconhecia um número ainda maior de linhagens separadas.

O processo da ramificação era visto por Lamarck como um processo de adaptação e não, como no caso de Darwin e evolucionistas posteriores, um processo capaz de produzir a diversidade das espécies. Ocorre que a diversidade da vida orgânica tomara-se um problema científico perturbador para os que já não acreditavam num mundo planejado e criado. A geração espontânea parecia ser a única alternativa concebível para a criação especial, a fim de explicar a origem de novas linhas filéticas (Farley, 1977). Para que "os seres vivos sejam verdadeiramente produto da natureza, esta deve ter tido, e ainda ter, a capacidade de produzir alguns deles diretamente", disse Lamarck (1802b: 103). Embora conhecendo as obras de Redi e Spallanzani, e em contraste com Maupertius, La Mettrie e Diderot, Lamarck negava que as moléculas orgânicas pudessem combinar-se em animais complexos, como os elefantes, mesmo sob as condições de grande calor nos períodos passados da terra.

> É exclusivamente entre os infusórios que a natureza se apresenta como realizadora de gerações diretas ou espontâneas, que incessantemente se renovam, toda vez que haja condições favoráveis; e a nós compete o esforço de mostrar que é por esse meio que ela adquiriu o poder, após um enorme lapso de tempo, de produzir indiretamente todas as outras raças de animais que conhecemos.
>
> Uma vez formados esses organismos inferiores, os conhecidos processos da evolução encarregam-se do seu ulterior desenvolvimento na direção de uma perfeição sempre maior.
>
> A natureza começou, e ainda começa, por moldar os mais simples dos corpos organizados, e por serem apenas esses que ela molda imediatamente, isto representa tão-somente os rudimentos da organização indicada pelo termo geração espontânea (1809: 40).

De qualquer maneira, Lamarck, sem dúvida, aceitava também a geração espontânea dos vermes intestinais, e pensava que eles eram a base da evolução de muitos organismos superiores. Essa passagem de um tipo de organismo para outro mais complexo, assim pensava, era cumprida pela aquisição de uma nova faculdade, sendo esta, por sua vez, devida à aquisição de uma nova estrutura ou órgão (veja adiante).

Foi Lamarck o primeiro evolucionista consistente?

Algumas histórias da biologia mencionam longas listas de "primitivos evolucionistas". Com efeito, H. F. Osbom, no seu *From the Greeks to Darwin* (1894), preenche um livro inteiro de relatos sobre tais precursores de Darwin. Como vimos no Capítulo 7, uma análise mais aproximada não dá sustentação a tais afirmações. Os ditos precursores ou tinham teorias sobre "origens", ou sobre desdobramento de potencialidades imanentes do tipo. Uma verdadeira teoria da evolução deve postular a transformação gradual de uma espécie para outra, e isso ao infinito. Tais idéias não se encontram nos escritos de de Maillet, Robinet, Diderot e outros, que supostamente influenciaram

Lamarck. Diversos antecessores de Lamarck, como por exemplo Maupertius, postularam uma origem espontânea de novas espécies. Lineu, nos seus últimos escritos, mostrava-se muito impressionado com a possibilidade de uma produção ilimitada de novas espécies, por hibridação. Buffon havia considerado a possibilidade da transformação de uma espécie em uma aparentada próxima, mas rejeitava enfaticamente aplicar a mesma conclusão a uma possível transformação de famílias inteiras. Para todos esses precursores, a natureza era basicamente estática. Lamarck substituiu essa imagem de um mundo estático pela de um mundo dinâmico, onde não apenas as espécies mas toda a corrente do ser e o inteiro equilíbrio de natureza estavam em fluxo constante.

Buffon ainda afirmava o imenso fosso entre os animais e o homem. Lamarck decididamente faz a ponte sobre esse valo, considerando o homem o produto final da evolução. De fato, a sua descrição da forma como o nosso ancestral antropóide se humanizou é profundamente moderna:

> Se alguma raça de animais quadrúmanos, especialmente uma das mais perfeitas dentre elas, por força de circunstâncias ou por qualquer outra razão, tivesse que perder o hábito de trepar em árvores e agarrar os galhos com os seus pés, da mesma forma como se fossem mãos, para assim se sustentar, e se os indivíduos dessa raça fossem forçados, por uma série de gerações, a usar os seus pés unicamente para caminhar, e deixassem de usar as suas mãos como se fossem pés, não há dúvida … que esses animais quadrúmanos se transformaram, com o tempo, em bímanos, e que os polegares dos seus pés deixariam de ficar separados dos outros dedos, se viessem a usar os seus pés somente para caminhar, e que eles assumiriam uma postura ereta, para dominar uma visão ampla e distante (1809: 170).

Lamarck aqui apresentou a sua versão da origem do homem com muito maior coragem do que Darwin cinquenta anos mais tarde, no *Origin*. O homem "seguramente representa o tipo da perfeição mais elevada que a natureza pôde alcançar: daí que quanto mais uma organização animal se aproxima da do homem, tanto mais perfeita ela é" (p. 71). Desde que a evolução é um processo contínuo, o homem continuará a evoluir.

> Essa raça predominante, tendo alcançado uma supremacia absoluta sobre todo o resto, estabelecerá finalmente uma diferença entre ela e os animais perfeitos, e com certeza os deixará muito para trás (p. 171).

Embora o homem tenha agora adquirido certas características que não se encontram em qualquer outro animal, ou pelo menos não em semelhante grau de perfeição, ele nem por isso deixa de partilhar a maioria das suas características fisiológicas com os animais. Tais características, com muita frequência, são mais facilmente estudadas nos animais que no homem, e para se conseguir uma plena compreensão do homem, é "necessário o esforço para conhecer a organização dos outros animais" (p. 11). Aristóteles havia justificado o seu estudo da história natural dos animais com igual argumento.

Os mecanismos lamarckianos da mudança evolutiva

Lamarck reconhecia duas causas separadas como sendo responsáveis pela mudança evolutiva.

A primeira era uma capacidade que providencia a aquisição de sempre maior complexidade (perfeição).

> A natureza, produzindo sucessivamente toda espécie de animais, começando com os mais imperfeitos ou mais simples, e terminando a sua obra com os mais perfeitos, fez com que a organização dos mesmos se tomasse gradualmente mais complexa.

A causa dessa tendência para uma sempre maior complexidade procede "dos poderes conferidos pelo supremo autor a todas as coisas" (1809: 60, 130). "Não poderia o Seu infinito poder criar uma ordem de coisas que desse existência sucessivamente a tudo o que podemos ver, tanto quanto a tudo o que existe, mas que não vemos?" Ou, como afirmou em 1815, a natureza "confere à vida animal o poder de uma organização cada vez mais complexa". Com absoluta clareza, o poder de adquirir uma organização progressivamente mais complexa era considerado por Lamarck um potencial inato da vida animal. Trata-se de uma lei da natureza, que dispensava explicação especial.

A segunda causa da mudança evolutiva era a capacidade de reagir a condições especiais do meio ambiente. Se a tendência intrínseca para a perfeição fosse a única causa da evolução, diz Lamarck, encontraríamos uma única sequência linear e sem desvios para a perfeição. Entretanto, em vez de tal sequência, deparamo-nos, na natureza, com toda sorte de adaptações especiais, nas espécies e nos gêneros. Isso, como diz Lamarck, se deve ao fato de que os animais devem estar constantemente em harmonia com o seu meio, e é o comportamento dos animais que restabelece essa harmonia, quando perturbada. A necessidade de responder a circunstâncias especiais do entorno suscita, consequentemente, a seguinte cadeia de eventos: (1) Qualquer mudança considerável e contínua das circunstâncias de alguma raça de animais provoca uma mudança real nas suas necessidades (*besoins*); (2) qualquer mudança nas necessidades dos animais requer um ajuste do seu comportamento aos diferentes hábitos; toda nova necessidade requer novas ações para satisfazê-la, exige do animal que ele ou use certas partes com mais frequência do que antes, por isso desenvolvendo-as e ampliando-as consideravelmente, ou use partes novas, nele desenvolvidas imperceptivelmente por suas necessidades, "em virtude de operações do seu próprio senso interno" ("par *des efforts de sentiments intérieures")*.

Lamarck não era nem um vitalista nem teleologista. A própria tendência para "a organização progressivamente complexa ou perfeita" não se devia a algum princípio ortogenético misterioso, mas era o subproduto contingente do comportamento, atividades requeridas para fazer face às novas necessidades. Daí que a perfeição crescente e a resposta às novas exigências do meio eram apenas os dois lados de uma única moeda.

A diferença crucial entre Darwin e Lamarck, relativamente aos mecanismos da evolução, consiste em que, para Lamarck, o ambiente e suas mudanças detinham a prioridade. O ambiente produzia necessidades e atividades no organismo, e estas, por sua vez, operavam variações adaptativas. Para Darwin, a variação casual apresentava-se em primeiro lugar, e a atividade ordenada do ambiente ("seleção natural") vinha depois. Consequentemente, a variação não era causada pelo meio, nem direta nem indiretamente.

No intuito de fornecer uma explicação puramente mecanicista para a mudança evolutiva, Lamarck desenvolveu uma teoria fisiológica elaborada, baseada nas idéias de Cabanis e outros fisiologistas do século XVIII, invocando a ação de estímulos extrínsecos e a movimentação, no

corpo, de "fluidos sutis", causados pelo esforço de satisfazer às novas necessidades. Em última instância, essas explicações fisiológicas revelavam-se mecanismos cartesianos, e eram, por certo, totalmente impróprias.

Relativamente poucas idéias de Lamarck eram inteiramente novas; o que a ele se deve é tê-las ordenado em novas sequências causais, e tê-las aplicado à evolução. Ninguém, até agora, fez um verdadeiro esforço para localizar as suas fontes originais. Um dos elementos-chave da teoria de Lamarck – a afirmação de que os esforços para satisfazer às necessidades desempenham um papel importante na modificação de um indivíduo – pode ser identificado em Condillac e Diderot. O comportamento que resulta das necessidades constitui um fator-chave na aplicação de Condillac do comportamento animal (1755); e Diderot, no *Le rêve de D'Alembert* (escrito em 1769), disse simplesmente que "os órgãos produzem as necessidades, e reciprocamente as necessidades produzem os órgãos" (p. 180). É tudo o que Lamarck precisou para explicar a ascensão de um tipo de organismo para outro mais perfeito. Ele considerava esse mecanismo tão poderoso, a ponto de imaginá-lo capaz de produzir órgãos novos: "As novas necessidades, que estabelecem a precisão de alguma parte nova, fazem com que se produza efetivamente essa parte, como resultado de esforços".

Mesmo que os *taxa* superiores possam aparecer como sendo separados uns dos outros por grandes intervalos, isso é meramente questão de aparência, porque "a natureza não passa abruptamente de um sistema de organização a outro". Ao discutir as dez classes de invertebrados por ele reconhecidos (1809: 66), Lamarck insiste dogmaticamente em que "raças podem, não devem, existir próximas às extremidades, a meio caminho entre duas classes". Se não conseguimos encontrar esses postulados intermediários, isto se deve a que eles ainda não foram descobertos, seja porque vivem em alguma parte remota do mundo, seja por ser incompleto o nosso conhecimento "dos animais do passado" (p. 23). Pela referência aos "animais passados", e pela afirmação de que "os animais existentes … formam séries ramificadas" (p. 37), parecia que Lamarck estivesse bem perto do conceito de descendência comum, mas jamais chegou a desenvolvê-lo. Ele se deu por satisfeito ao desenvolver um mecanismo que pudesse explicar a superação do hiato entre os *taxa* superiores.

A idéia de que um órgão se fortalece pelo uso, e enfraquece pelo desuso, era por certo uma idéia antiga, à qual Lamarck emprestou o que ele considerava uma interpretação fisiológica mais rigorosa. E mais, ele considerava isso uma das pedras angulares da sua teoria, dignificando-o como a sua "Lei Primeira". Em qualquer animal, que ainda não tenha passado do limite do seu desenvolvimento, o uso mais frequente e sustentado de um órgão fortalece-o gradativamente, desenvolve-o, aumenta-o, e confere-lhe uma força proporcional ao tempo de duração em que for usado; enquanto o constante desuso de tal órgão imperceptivelmente o enfraquece e o deteriora, reduzindo aos poucos as suas faculdades, até finalmente desaparecer" (p. 113). Esse princípio do uso e desuso, por certo, ainda está mais difundido no folclore e, como veremos mais tarde, desempenhou um certo papel mesmo no pensamento de Darwin.

O segundo princípio auxiliar da adaptação evolutiva é a crença numa herança dos caracteres adquiridos. Isso vem formulado por Lamarck na sua "Segunda Lei":

> Tudo o que a natureza levou os indivíduos a adquirir ou a perder, como resultado da influência das condições ambientais, a que a sua raça foi exposta por um longo período de tempo – e consequentemente, como um resultado dos efeitos causados, seja pelo uso extensivo (ou desuso) de um órgão particular – [tudo isso] é transmitido por geração aos novos

> indivíduos que a partir disso se originam, desde que as alterações adquiridas sejam comuns a ambos os sexos, ou àqueles que produzem a cria (p. 113).

Lamarck não diz em parte alguma por qual mecanismo (pangênese?) se efetuava a herança dos caracteres recém-adquiridos. Como foi mostrado por Zirkle (1946), esse conceito era tão universalmente admitido, desde os antigos até o século XIX, que não havia necessidade de Lamarck estender-se sobre isso. Ele simplesmente colocou esse princípio a serviço da evolução. Curiosamente, quando o lamarckismo conheceu uma revitalização, pelo fim do século XIX, muitos dos que nunca haviam lido Lamarck no original admitiam que o lamarckismo simplesmente significava a crença na hereditariedade dos caracteres adquiridos. Dessa forma, Lamarck foi ao mesmo tempo enaltecido e condenado, por ter dado origem a um conceito que era universalmente adotado no seu tempo.

Antes de encerrar a explicação do paradigma de Lamarck, permito-me sublinhar que ele não contém duas crenças que frequentemente lhe são atribuídas. A primeira é uma indução direta dos novos caracteres pelo meio ambiente. O próprio Lamarck rejeitou essa interpretação, ao dizer:

> Devo agora explicar o que eu entendo pela expressão: *O ambiente afeta a forma e a organização dos animais,* vale dizer, que quando o meio se toma muito diferente, ele produz, no decurso do tempo, correspondentes modificações na forma e na organização dos animais. Seguramente, se essa afirmação tivesse que ser tomada ao pé da letra, eu seria arguído de erro; pois, qualquer coisa que o ambiente possa fazer, ele não produz modificação direta alguma na forma e na organização dos animais (p. 107).

Mesmo no caso das plantas, desprovidas de atividades de comportamento como as dos animais, e consequentemente não têm hábitos *per se,* grandes alterações das circunstâncias ambientais não deixam de conduzir a grandes diferenças no desenvolvimento das suas partes; de tal modo que essas diferenças produzem e desenvolvem algumas dessas partes, enquanto reduzem outras e causam o seu desaparecimento. Mas tudo isso é provocado pelas mudanças ocorridas na nutrição da planta, na sua absorção e transpiração, na quantidade de calor, luz e umidade que ela habitualmente recebe.

Em outras palavras, essas alterações na estrutura são produzidas pelas atividades internas da planta, em correlação com a sua resposta ao meio, como numa planta que cresce em direção à luz.

A segunda crença erroneamente atribuída a Lamarck tem a ver com o efeito da volição. Leitores apressados da obra de Lamarck imputaram-lhe, de modo mais ou menos compatível, uma teoria da volição. Assim, Darwin fala do "absurdo lamarckiano de … adaptações a partir da obscura vontade dos animais" (carta de 11 de janeiro, de 1844, a J. D. Hooker). Em parte, o mal-entendido foi causado pela má tradução da palavra *besoin* por "desejo", em vez de "necessidade", e por um descaso da corrente de causalidades de Lamarck, cuidadosamente elaborada, das necessidades aos esforços, às excitações fisiológicas, à estimulação do crescimento, à produção de estruturas. Lamarck não era ingênuo a ponto de pensar que um pensamento volitivo fosse capaz de produzir novas estruturas. Para uma compreensão plena do pensamento de Lamarck, é importante saber que ele não era um vitalista, e que só admitia explicações mecanicistas. Ele não era um dualista, e não existe na sua obra referência alguma a qualquer dualidade de matéria e espírito. Por fim, ele não era um teleologista, pois não reconhecia qualquer orientação da evolução para um objetivo,

predeterminado por um ser supremo.

Uma análise detalhada do modelo explicativo de Lamarck mostra que ele era notavelmente complexo. Serviu-se de crenças tão universais e aceitas, como o efeito do uso e do desuso e a herança dos caracteres adquiridos, admitiu a geração espontânea em relação aos organismos mais simples, como qualquer um algum dia podia demonstrar com respeito à produção de infusórios, a partir de feno mergulhado em água (aceitando plenamente a demonstração de Spallanzani e Redi, de que a geração espontânea era impossível nos organismos superiores), e usou as idéias fisiológicas de Cabanis, e de outros, sobre a interação entre a excitação de fluidos sutis, pelo esforço, e os consequentes efeitos sobre as estruturas. O paradigma de Lamarck era altamente persuasivo para o leigo, que aceitava a maioria das crenças de que ele se compunha. Essa é a razão por que algumas das idéias de Lamarck continuaram a ser admitidas tão amplamente por quase uma centena de anos após a publicação do *Origin*.

A diferença entre as teorias de Lamarck e de Darwin

Houve por muito tempo uma controvérsia fútil sobre se Lamarck era ou não um "precursor" de Darwin (Barthélémy-Madaule, 1979). [3] O próprio Darwin foi bastante explícito ao negar qualquer aproveitamento do livro de Lamarck, "que é um verdadeiro lixo … Dele não tomei sequer um fato ou uma idéia". Num momento mais caritativo, afirmou: "Mas as conclusões a que cheguei não são muito diferentes das dele, embora completamente diferentes os meios por que se opera a mudança" (Rousseau, 1969). A exposição de alguns dos componentes da teoria evolutiva ajudará a compreender a teoria de Darwin.

O fato da evolução. A questão simples aqui é se o mundo é estático ou evolutivo. Mesmo aqueles que postulavam um desdobramento das potencialidades imanentes das essências, em última instância, acreditavam na natureza imutável dessas essências. A teoria de Lamarck estava em frisante contraste com essas teorias estáticas, ou de regime constante. Não há dúvida que ele é digno de mérito por ter sido o primeiro a adotar uma teoria consistente de genuína mudança evolutiva. Lamarck, além disso, postulava uma evolução gradual, e baseou a sua teoria na dimensão de um uniformitarismo progressivo. Em todos esses aspectos ele foi claramente um precursor de Darwin.

O mecanismo da evolução. Aqui Lamarck e Darwin não poderiam ter sido mais diferentes. O único componente (não original em Lamarck) que esses autores tinham em comum foi que ambos acreditavam – embora Darwin menos – no efeito do uso e do desuso (hereditariedade tênue).

Um interesse primário na diversidade ou na adaptação. Existe uma diferença fundamental entre os evolucionistas, e raramente enfatizada como se deve, relativa à questão se é a diversidade (especiação) ou a adaptação (evolução filética) que assume o primeiro lugar no seu interesse. Darwin chegou ao estudo da evolução por meio do problema da multiplicação das espécies (como as encontrou nas Galápagos!). A origem da diversidade era, pelo menos no começo, o seu interesse primário. A evolução era a descendência comum. Isso conduz a uma forma de encarar a evolução completamente diferente daquela de um estudioso da evolução filética (Mayr, 1977b).

As mudanças no tempo (dimensão vertical) são usualmente adaptativas, segundo o ponto de vista de Darwin. Lamarck nunca articulou explicitamente um conceito de adaptação, mas toda a corrente causai da evolução, que ele postulava, fatalmente devia resultar na adaptação. Desde que a força evolutiva por ele descrita não era teleológica, mas materialista, ela produzia a adaptação por

meios naturais. Para o darwiniano, a adaptação é o resultado da seleção natural. Para Lamarck, a adaptação era o inevitável produto final dos processos fisiológicos (combinados com a herança dos caracteres adquiridos), requeridos pelas necessidades de os organismos fazerem face às mudanças do seu meio ambiente. Não encontro outro meio de designar a sua teoria da evolução, senão como sendo uma evolução adaptativa. A aquisição de novos órgãos e de novas faculdades era claramente um processo de adaptação. Aceitas essas premissas, a teoria de Lamarck era uma teoria da adaptação tão legítima quanto a de Darwin. Infelizmente, tais premissas revelaram-se inválidas.

Retrospecto de Lamarck

Quando, depois de 1859, Lamarck foi redescoberto, após longo período de olvido, o termo "lamarckismo" era geralmente empregado para designar uma hereditariedade tênue (a dos caracteres adquiridos). E quanto mais essa hereditariedade era decisivamente refutada, tanto mais o "lamarckismo" se tomava uma palavra obscena. Em consequência, a contribuição de Lamarck, como um proeminente zoólogo dos invertebrados e sistematizador pioneiro, foi inteiramente ignorada. Igualmente ignorado foi o seu importante acento no comportamento, no ambiente e na adaptação, aspectos da biologia que eram quase totalmente negligenciados pela maioria dos zoologistas e botânicos da época, cuja taxionomia era puramente descritiva. Nenhuma escritor antes de Lamarck soube apreciar de modo tão claro a natureza adaptativa de muitas estruturas dos animais, particularmente nas características das famílias e classes. Mais do que ninguém, antes dele, Lamarck fez do tempo uma das dimensões do mundo da vida.

Durante o período mais liberal da literatura da história da biologia, Lamarck era mencionado apenas por suas idéias erradas, por sua crença na hereditariedade tênue, na perfectibilidade inata e na especiação por geração espontânea. E tempo de prestar-lhe o reconhecimento por suas contribuições intelectuais maiores: o seu evolucionismo genuíno, fazendo proceder inclusive os mais complexos organismos a partir de ancestrais infusórios ou vermiformes, seu inabalável uniformitarismo, seu acento na grande idade da terra, sua ênfase na gradatividade da evolução, seu reconhecimento da importância do comportamento e do meio ambiente e sua coragem de incluir o homem na torrente evolutiva.

Determinar qual foi o real impacto de Lamarck sobre o subsequente desenvolvimento do pensamento evolucionista é tarefa muito difícil (Kohlbrugge, 1914). Ele foi quase totalmente ignorado na França, admirado por Grant, em Edimburgo, e se tomou amplamente conhecido na Inglaterra, pelas críticas de Lyell (que fizeram de Chambers um evolucionista!), mas parece que ele era lido mais na Alemanha do que em qualquer outra parte. Ele era citado e vastamente utilizado por Meckel, e também por Haeckel, a despeito da sua insistência simultânea na seleção natural. Tudo isso favoreceu a aceitação do evolucionismo. Todavia, a popularidade das idéias lamarckianas eventualmente constituiu também um impedimento. Ela contribuiu para atrasar, por uns 75 anos após 1859, a aceitação geral do modelo explicativo de Darwin e da hereditariedade sólida.

De Lamarck a Darwin

O *Philosophie zoologique* (1809), de Lamarck, significa o primeiro estalo do evolucionismo. Contudo, foram necessários outros cinquenta anos, antes que a teoria da evolução fosse amplamente

aceita. É preciso concluir que a imagem criacionista-essencialista do mundo era por demais poderosa para fazer concessões às idéias imaginativas, mas pobremente consubstanciadas, de Lamarck. Mas, apesar disso, era ineludível a existência de uma grande onda de pensamento evolutivo. A gradativa melhoria dos registros fósseis, os resultados da anatomia comparada, o surgimento da biogeografia científica, e muitos outros desdobramentos na ciência biológica, contribuíram para tomar o pensamento evolucionista cada vez mais palatável. Mas isso não significou que as teorias explicativas lamarckianas, do século XVIII, se tenham tomado mais aceitáveis.

Daí ser preciso fazer uma nítida distinção entre a aceitação da evolução e a adoção de uma particular teoria explicativa do seu mecanismo. Isso é decisivamente necessário, na medida em que nos deparamos com explicações da evolução cada vez mais numerosas, quanto mais avançarmos no século XIX. Nem sempre é fácil entender as diferenças entre essas várias teorias, pois alguns autores combinavam diversas delas, ou pelo menos diversos dos seus componentes. Nesta altura, poderia ser de boa ajuda listar as teorias evolutivas mais importantes, e especificar como elas diferem entre si. Cada uma delas era sustentada por numerosos defensores, desde os tempos de Darwin (ou Lamarck) até a síntese evolucionista.

Talvez seis teorias maiores possam ser reconhecidas (algumas com diversas subdivisões):

1. Uma capacidade estrutural, ou pendor intrínseco, para uma crescente perfeição (teorias autogenéticas). Isso fazia parte da teoria de Lamarck. Era proposição amplamente sustentada, por exemplo, por Chambers, Nägeli, Eimer (ortogênese), Osbom (aristogênese) e Teilhard de Chardin (princípio de ômega).
2. O efeito do uso e desuso, combinado com uma herança dos caracteres adquiridos.
3. Indução direta pelo meio ambiente (rejeitada por Lamarck, mas adotada por E. Geoffrey Saint-Hilaire).
4. Saltacionismo (mutacionismo). A origem súbita de novas espécies, ou mesmo de tipos mais distintos (Maupertius, Kölliker, Galton, Bateson, de Vries, Willis, Goldschmidt, Schindewolf).
5. Diferenciação casual (estocástica), onde nem o meio (diretamente, ou por seleção), nem fatores internos influenciam a direção da variação e da evolução (Gulick, Hagedoom, "evolução não-darwiniana").
6. Orientação (ordem) imposta à variação casual pela seleção natural (darwinismo em parte, neodarwinismo).

As teorias sob (1), (2) e (3) tinham substancial sustentação, por bem mais de cem anos depois de Lamarck. O saltacionismo (4) é hoje em dia refutado como modo normal de especiação, ou de origem de quaisquer outros tipos novos. Contudo, se mostrou válido em casos especiais (poliploidicidade e certos rearranjos cromossômicos). A extensão da ocorrência da diferenciação casual (5) é hoje assunto altamente controvertido. Sem dúvida, é quase universalmente aceito que muitos fenômenos evolutivos e de variação podem ser explicados pela teoria (6), conjuntamente com a (5).

As controvérsias entre os defensores dessas seis teorias muitas vezes têm sido interpretadas, pelos não-biologistas, como sendo controvérsias sobre a validade da teoria da evolução como tal. É por esse motivo que chamo a atenção desde logo para a existência dessas diferentes teorias

explicativas, mesmo que no imediato período pós-lamarckiano a discussão principal tenha sido sobre a evolução em si mesma. Na realidade, num primeiro momento, muitas das novas evidências em favor da evolução, que começaram a acumular-se ao longo da primeira metade do século XIX, eram simplesmente ignoradas. Mas de qualquer maneira, a reação a esses fatos novos era bastante diferente na França, na Alemanha e na Inglaterra, os três mais importantes países europeus em que se cultivava a pesquisa biológica.

O estudo dos desdobramentos nesses países adquire particular relevância em termos de uma refutação da idéia de que o evolucionismo não passava de uma continuação direta do pensamento do Iluminismo, liberal, materialista e muitas vezes ateu. Os fatos não dão suporte a tal interpretação. O Iluminismo, pode-se dizer, encerrou-se com a Revolução Francesa (1789), e os próximos setenta anos foram marcados não apenas por uma considerável reação, particularmente na Inglaterra e na França, mas também por novos desenvolvimentos, que foram tão importantes para o surgimento do pensamento evolutivo como foram as filosofias do Iluminismo.

França

Na França, no quarto de século posterior a Lamarck, a cena foi claramente dominada por Cuvier, embora tenha sobrevivido a Lamarck por apenas três anos. A única tentativa de exprimir idéias menos ortodoxas foi feita por Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844), o grande especialista de anatomia comparada. Havia total ausência de uma interpretação evolutiva em toda a primitiva obra anatômica de Geoffroy. [4] Todavia, ao estudar certos répteis jurássicos, de Caen, ao norte da França, ao final dos anos 1820, Geoffroy surpreendeu-se ao descobrir que eles não eram membros das formas tão típicas do Plesiosaurus do Mesozóico, como ele esperava, mas sim parentes muito próximos dos gaviais vivos (crocodilianos). Isso lhe sugeriu a possibilidade de uma real transformação dos crocodilos jurássicos, porque "o ambiente é exatamente poderoso na modificação dos corpos organizados". A seguir, ele desenvolveu essa idéia num ensaio, publicado em 1833, no qual aparentemente tentava explicar por que os animais diferem uns dos outros, a despeito da sua unidade de plano. Aqui ele tentou dar uma explicação fisiológica, invocando um efeito do ambiente sobre a respiração que, por sua vez, necessita de uma mudança drástica no meio dos "fluidos respiratórios", resultando num profundo impacto sobre a estrutura do organismo. Em contraste com Lamarck, Geoffroy não invoca uma mudança de hábitos, como o fator intermediário que altera a fisiologia. Para ele, o ambiente causa uma indução direta da mudança orgânica, possibilidade essa que foi definitivamente rejeitada por Lamarck. Embora os neolamarckianos, ao final do século, tivessem em grande conta uma indução direta, seria mais apropriado designar tal hipótese "geoffroysmo", como de fato alguns autores o fizeram. A influência do ambiente, segundo Geoffroy, efetuava-se durante o estágio embrionário, e para comprovar essa tese, Geoffroy realizou extensos experimentos com embriões de pintos.

A tese de que Geoffroy, nos seus últimos anos, se tenha tomado um evolucionista é ainda controvertida. Isso foi discutido competentemente por Bourdier (1969). Geoffroy não acreditava na descendência comum, mas admitia que as espécies vivas, que procederam de espécies anteriores ao dilúvio, por geração ininterrupta, ficaram, durante esse período, consideravelmente modificadas, por força de influências externas.

Geoffroy tinha também muitas outras idéias de interesse para um evolucionista. Ele admitia que algumas das modificações induzidas pelo ambiente eram mais úteis do que outras. Os animais que sofreram modificações deletérias "cessarão de existir, e serão substituídos por outros, cujas formas se alteraram para corresponderem às novas circunstâncias". Ele expressa aqui uma típica teoria pré-darwiniana da eliminação (veja mais adiante).

Há diversas razões pelas quais as especulações evolucionistas de Geoffroy tiveram um impacto pouco duradouro. Geoffroy, um deísta, era religiosamente conservador, e a sua teoria não era uma teoria da descendência comum, mas muito mais a de uma ativação do potencial existente num determinado tipo. Algumas das suas afirmações eram bastante contraditórias, e a súbita transformação por saltos, segundo propunha, de vertebrados ovíparos inferiores em pássaros, era antes de tudo um empecilho para a teoria da emergência de potenciais evolutivos. Seu esforço de tomar isso plausível, dizendo que tal mudança drástica podia ser causada por uma mudança súbita e igualmente drástica do meio ambiente, não era de forma alguma convincente.

Provavelmente, mais prejudicial ainda foi o completo fracasso experimentado pela principal tese anatômica de Geoffroy, a da extensão da unidade de plano ao reino animal inteiro (Capítulo 10).

Cuvier

Ninguém mais do que Georges Cuvier (1769-1831) [5] produziu tantos conhecimentos novos, que, em última instância, deram suporte à teoria da evolução. Foi ele quem assentou o estudo dos invertebrados em nova base, ao descobrir, por assim dizer, a sua anatomia interna. A ele se devem a criação da paleontologia, bem como a clara demonstração, com respeito aos estratos terciários da bacia de Paris, de que cada horizonte tinha a sua particular fauna de mamíferos. Mais importante ainda, ele demonstrou que quanto mais baixo o estrato, tanto mais a sua fauna diferia da atual. Foi ele quem provou decisivamente o fato da extinção, uma vez que os extintos proboscídeos (elefantes), por ele descritos, possivelmente não poderiam ter permanecido sem vestígios em alguma região remota do mundo, como se postulava para os organismos marinhos. Mais do que qualquer outro, ele merece ser considerado o fundador da anatomia comparada, pouco tendo sido acrescentado aos métodos e princípios, por ele elaborados, até após a publicação do *Origin*. Dados esses conhecimentos e experiência, poder-se-ia ter esperado que ele se tomasse o primeiro proponente de uma teoria evolucionista perfeitamente consolidada. Na realidade, Cuvier, ao longo de toda a sua vida, era inteiramente oposto à idéia da evolução, e os seus argumentos eram de tal modo convincentes para os seus contemporâneos que, mesmo após a sua morte bastante prematura, o evolucionista foi incapaz de afirmar-se, na França, no meio século seguinte.

Quais fatos ou idéias foram responsáveis pela obstinada oposição de Cuvier? Muitas vezes se tem afirmado que a sua firme adesão ao cristianismo excluía uma crença na evolução; contudo, um estudo cuidadoso da sua obra não dá suporte a tal interpretação (Coleman, 1964). Em parte alguma ele se refere à Bíblia como argumento científico, e a sua pessoal interpretação do passado da história está frequentemente em conflito com a Escritura. Tanto isso é verdade que ele admite diversos dilúvios, anteriores ao de que fala Moisés, e afirma que não havia vida animal na história primitiva da terra. Cuvier jamais usou as maravilhas do mundo para demonstrar a existência e a benevolência do Criador, como faziam os teólogos naturais; efetivamente, de maneira deliberada, ele nunca misturou ciência e religião. Seu teísmo jamais se intromete nos seus escritos, exceto talvez no debate

da Academia, de 5 de abril de 1832.

Um compromisso ideológico diferente parece ter sido muito mais importante. Cuvier passou os mais receptivos anos da sua juventude na Karlsschule, em Stuttgart, e lá ficou embebido de essencialismo. E isto se corroborou nos seus estudos posteriores da classificação animal. Em total contraste com Buffon, Lamarck e outros discípulos de Leibniz, Cuvier sempre afirmou a descontinuidade. Seu desmembramento da *scala naturae* em quatro "ramificações" é característico da sua atitude (veja o Capítulo 4). Ele insistia inclusive na impossibilidade de estabelecer qualquer gradação dentro das ramificações. Cada uma delas contém quatro classes, "sem formar uma série ou gozar de qualquer escalonamento" (1812). Mesmo que alguns membros de um grupo possam ostentar uma complexidade maior, isso não era necessariamente verdadeiro para toda estrutura; e organismos que, em média, eram muito simples podiam ser altamente complexos em certas estruturas. Cuvier, com toda razão, não conseguia ver evidência alguma do "constante aumento da complexidade ou perfeição", proclamado pelos adeptos da *scala naturae*. Pelo contrário, ele via por toda parte descontinuidade e especialização irregular.

Seu essencialismo se reflete no seu conceito de espécie (veja o Capítulo 6). Antes de mais nada, a sua definição da espécie coincide com uma definição estritamente biológica:

> Uma espécie compreende todos os indivíduos que descendem uns dos outros, ou de uma parentagem comum, e aqueles que a eles se assemelham tanto quanto se assemelham entre si.

Mas então ele acentua constantemente que apenas os caracteres superficiais são variáveis.

> Existem [outros] caracteres entre os animais, que resistem a todas as influências, sejam elas naturais ou humanas, e nada indica que o tempo tenha maior efeito sobre eles do que o clima ou a domesticação.

Ele chama a atenção, triunfantemente, para o fato de que os animais mumificados das tumbas egípcias, velhos de muitos milhares de anos, eram perfeitamente indistinguíveis dos representantes atuais dessas espécies. [6] Embora Cuvier esteja consciente da variação geográfica, ele afirma que isso não afeta os caracteres básicos da espécie: se estudarmos uma espécie vastamente difundida de herbívoros selvagens, e compararmos os indivíduos de *habitais* pobres ou ricos, ou de climas quentes ou frios, veremos que só variam aspectos não-essenciais, como tamanho e cor, enquanto a conformação essencial dos órgãos importantes e das relações corporais permanece inteiramente a mesma.

Na realidade, como todos os outros membros da escola parisiense, Cuvier mostrava um interesse mínimo pela espécie. Ele, o paleontólogo e cientista da anatomia comparada, estava interessado nos tipos maiores, mas, na sua obra, jamais entrou realmente em contato com o problema da espécie. Mesmo no seu último trabalho sobre peixes, nunca os encarou sob o ponto de vista populacional. Ele simplesmente jamais se debruçou sobre o tipo de evidência que mais tarde converteu Darwin e Wallace ao evolucionismo.

Cuvier foi o primeiro geólogo a afirmar a natureza drástica de muitas das rupturas, na sequência dos estratos geológicos. Ele descobriu que faunas sucessivas podem ter sido primeiramente marinhas, depois terrestres, depois de novo marinhas, e talvez de novo terrestres. Houve

evidentemente repetidas invasões do oceano, que não foram meramente inundações temporárias.

> Somos forçados, por isso, a admitir não apenas que o mar, num período ou noutro, cobriu todas as nossas planícies, mas deve ter permanecido ali por um longo tempo, e num estado de tranquilidade … Essas repetidas irrupções e afastamentos do mar não foram nem lentas, nem graduais; a maioria das catástrofes [o próprio Cuvier, em muitos casos, usou a palavra mais suave "revoluções", enquanto a maioria das traduções inglesas dizem "catástrofes"] que as ocasionaram foi súbita; e isso é facilmente comprovado, em particular com respeito à última delas.

Ele cita, nesta altura, o caso dos mamutes que foram descobertos congelados nos gelos siberianos. "Preservados com sua pele, cabelos e carne, até os nossos tempos. Se não tivessem sido congelados tão logo mortos, a putrefação teria decomposto as carcaças". E além disso, tais congelamentos ocorreram em áreas anteriormente não-árticas. Em todo caso, não é só a fauna que demonstra a natureza cataclísmica dessas mudanças, mas também a geologia;

> A ruptura em pedaços e as reversões dos estratos, que aconteceram nas catástrofes primitivas, mostram com suficiente evidência que elas foram repentinas e violentas, como a última.

Os limitados documentos fósseis disponíveis no tempo de Cuvier amparavam, antes de tudo, a conclusão de que cada uma daquelas catástrofes envolveu a destruição total da fauna existente na área em que ocorreram. Não se conhecia nenhuma espécie que tivesse continuidade, através dos diversos horizontes geológicos, pelo menos nenhum dos mamíferos que eram mais familiares a Cuvier. Mais tarde, foi descoberto por Cuvier e Brongniart (1808) que a alteração das faunas, nos horizontes sucessivos da mesma formação, era gradual, e que a diferença mais notável consistia em que as espécies mais abundantes, num horizonte particular, eram menos comuns, ou mais raras, nos dois horizontes adjacentes. A descoberta permitiu a demarcação dos horizontes sobre consideráveis distâncias geográficas. Existem claras indicações nos escritos de Cuvier, no sentido de que ele considerava as catástrofes eventos mais ou menos localizados, permitindo a repopulação, a partir de áreas não afetadas. A recente descoberta da fauna australiana, extraordinariamente diferente, corroborou a crença de Cuvier de que faunas inteiramente diferentes podiam ter existido simultaneamente em diversas partes do globo. Ele jamais especulou sobre as causas das catástrofes, mas implicitamente as considerava resultantes de eventos naturais, como terremotos, erupções vulcânicas, inundações maciças, drásticas mudanças de clima, formação de montanhas (que começava a ser encarada pelos geólogos). Pode-se ver que o catastrofismo de Cuvier era bastante "suave", quando comparado com o dos seus seguidores, como Buckland, d'Orbigny e Agassiz.

As manifestações universais da descontinuidade afiguravam-se a Cuvier como perfeitamente incompatíveis com uma interpretação evolucionista. Lamarck e Geoffroy haviam invocado uma constante ocorrência da geração, para explicar as descontinuidades. Isso, segundo o pensamento de Cuvier, violava toda a evidência disponível. Tudo estava a indicar que os seres vivos só podem provir de outros seres vivos. O *"Omne vivum ex ovo",* de Harvey ("toda a vida a partir do ovo"), também era uma das suas máximas.

Mais importante ainda, um conceito de evolução era completamente incompatível com a idéia

cuvieriana da estrutura harmoniosa de cada organismo. Todas as espécies foram criadas por ato da vontade divina, e a cada uma foi destinado, desde o princípio, o seu lugar especial na economia da natureza, do qual podia afastar-se. Os peixes, por exemplo, foram designados para um meio aquático: "Esse é o lugar na criação. Ali eles permanecerão, até a destruição da presente ordem de coisas" (*Histoire naturelle poissons,* I, 543). Para Cuvier, não existia a escala da perfeição, pois cada animal estava perfeitamente adaptado no seu sítio da natureza. Ele teria endossado prazerosamente a advertência de Darwin: "Não diga jamais mais alto ou mais baixo!" Tais considerações inspiraram Cuvier a estabelecer o seu famoso princípio da correlação (veja Capítulo 10), que o levou a generalizações, tais como, que os herbívoros sempre tinham cascos, e que nenhum carnívoro teria chifres. Somente são possíveis certas combinações de forma e de função, e apenas estas acontecem na natureza. Era impensável, para ele, que um novo hábito pudesse induzir a mudanças estruturais. Em particular, ele rejeitava a idéia de que os hábitos alterados pudessem afetar a simultânea mudança de muitas partes do corpo, e ao mesmo tempo manter as inter-relações complexas e harmoniosas de todos os órgãos. Além disso, Cuvier sustentava a idéia de que a estrutura tem primazia sobre a função e o hábito, e que somente uma mudança da estrutura poderia exigir uma mudança de função.

Cuvier e a variação

Cuvier era um naturalista bom demais para não estar consciente do fenômeno da variação, e isso lhe criava o problema de reconciliá-lo com o seu essencialismo. Ele o fez, reconhecendo dois níveis de variabilidade. Um deles se manifesta na reação efêmera de um organismo em face de fatores ambientais, como a temperatura e os suprimentos nutritivos. Tal variação não afeta os caracteres essenciais, e Cuvier entendia por isso, se quisermos exprimi-lo em termos modernos, que tal variação era não – genética, vale dizer, ela não afetava a essência da espécie. Na sua maneira de ver, os caracteres mais superficiais eram os mais variáveis.

De natureza inteiramente diferente seria a variação dos órgãos essenciais, como o sistema nervoso, o coração, os pulmões e as vísceras. Tais órgãos, segundo ele, eram completamente estáveis na sua configuração, no seio das classes e das ramificações. Eles deviam ser estáveis, porque qualquer variação em algum órgão mais importante produziria desequilíbrios, com efeitos desastrosos. Entre os caracteres estáveis se inscreviam também aqueles que distinguiam as espécies, particularmente as fósseis e vivas:

> E como a diferença entre essas espécies [fósseis] e as espécies ainda existentes é demarcada por certos limites, devo demonstrar que tais limites são muito mais extensos do que os que hoje distinguem as variedades da mesma espécie; assinalarei então em que medida tais variedades podem ser devidas à influência do tempo, do clima, ou da domesticação (Essay, 1811: 5-6).

As afirmações de Cuvier relativas à total constância dos órgãos e das suas funções, nos *taxa* superiores dos animais, eram completamente desmentidas por qualquer análise mais próxima. Se tais estudos tivessem sido empreendidos por Cuvier, ele teria descoberto que, contrariamente às suas asserções, existem diferenças consideráveis no tamanho relativo e na configuração dos órgãos vitais

das espécies correlatas, dos gêneros e das famílias. Mas mesmo que ele tivesse deparado tais diferenças, como de fato deve ter acontecido nas suas dissecações, com toda probabilidade ele apenas retomaria a seu princípio básico, o de que todo animal foi criado para preencher o lugar que lhe foi destinado na natureza.

Grande parte das argumentações de Cuvier é dirigida especificamente contra as teorias evolucionistas de Lamarck e Geoffroy, muito mais do que contra o evolucionismo em geral. Em particular, ele faz objeções contra a vaga afirmação de uma continuidade evolutiva, tantas vezes proferida por Lamarck. Dizer que

> esse [espécie de] animal do mundo de hoje descende, em linha direta, daquele animal antidiluviano, e provar isso com fatos ou por induções legítimas é o que se precisa fazer e que, no presente estágio dos conhecimentos, ninguém se arriscaria a tentar (Cuvier e Dumeril, 1829).

Em outra ocasião, ele disse:

> Se as espécies se modificaram gradualmente, deveríamos encontrar alguns vestígios dessas mudanças graduais; entre o paleotério e as espécies atuais, encontraríamos algumas formas intermediárias: isso ainda não aconteceu.

Se Lamarck tivesse sido um adversário mais esperto, provavelmente poderia ter apontado uma série de moluscos do Terciário, que teriam respondido à sua exigência. No que tange aos mamíferos fossilizados de Cuvier, os registros dos mesmos eram por certo excessivamente incompletos para a demonstração de uma série, e além disso, muitos fósseis representam ramos filéticos laterais, que desde então se extinguiram. Tal argumentação, evidentemente, não poderia ter sido utilizada por Lamarck, porque ele não reconhecia a extinção.

Na sua controvérsia com Geoffroy e com os *Naturphilosophen,* Cuvier foi vitorioso, porque percebia muito bem que existem dois tipos de similaridade. De um lado, há uma similaridade devida à unidade de tipo (hoje mencionada como homologias), e, de outro lado, há a similaridade de função, muito bem ilustrada pelas asas dos morcegos, pássaros, pterodáctilos e peixes voadores. "Concluamos então que, se existem algumas semelhanças entre os órgãos dos peixes e os de outras classes, é unicamente na medida em que existem semelhanças entre as suas funções", dizia Cuvier. Curiosamente, quando se tratava de animais pertencentes aos mesmo tipo anatômico, digamos diferentes espécies de peixes, Cuvier enfatizava apenas as suas diferenças, e ignorava completamente qualquer semelhança que não fosse nítida similaridade de função. Jamais indagou por que as várias espécies de um mesmo tipo eram tão parecidas na sua estrutura básica. Dessa forma, Cuvier ignorou a poderosa evidência da evolução, baseada na anatomia comparada.

Mais notável ainda é a sua falha em extrair as conclusões dos registros fósseis, que hoje parecem tão óbvias. Isso é o que mais causa surpresa, porque Cuvier tinha uma excelente compreensão dos documentos fósseis, e formulou questões muito perspicazes. Ele era insistente em dizer que os fósseis não podiam ser o produto espontâneo das rochas, mas sim os restos de organismos que existiram em tempos remotos. Em contraste com Lamarck, ele considerou plenamente a importância da extinção:

> Inumeráveis seres vivos foram vítimas daquelas catástrofes … As suas raças foram extintas, e não deixaram traço após si, exceto alguns fragmentos que o naturalista a custo reconhece.

Ele se dava conta da grande importância dos fósseis, para o entendimento da história da terra.

> Como se pôde deixar de ver que unicamente aos fósseis é devido o nascimento da teoria da terra; que, sem eles, talvez nunca se teria sonhado que existiram períodos sucessivos na formação do globo, bem como uma série de operações diferentes.

Ele não invocou quaisquer processos sobrenaturais para dar contas da substituição dessas faunas.

> Não pretendo ter sido necessária uma nova criação, para trazer à existência as nossas presentes raças de animais. Eu apenas insisto em dizer que elas antigamente não ocupavam os mesmos lugares, e que elas devem ter vindo de alguma outra parte do globo.

Os fósseis levantam muitos problemas para o estudioso:

> Existem animais e plantas peculiares de certos leitos, não se encontrando em nenhum outro? Quais espécies aparecem primeiro, e quais vêm depois? Esses dois tipos de espécies acompanham, por vezes, uma a outra? Existe uma relação constante entre a antiguidade dos leitos, e a semelhança ou dissemelhança dos fósseis com as criaturas vivas? Existe uma relação climática semelhante entre os fósseis e as formas vivas que mais se lhes aproximam? Viveram esses animais e plantas nos lugares em que foram localizados os seus restos, ou foram transportados ali de alguma outra parte? Vivem eles ainda hoje em dia em algum lugar, ou foram total ou parcialmente destruídos?

O próprio Cuvier forneceu respostas, parciais ou completas, para a maioria dessas perguntas. No entanto, ele finalmente negou que houvesse qualquer progressão evolutiva de uma determinada fauna para a do próximo estrato superior, ou mais genericamente, que existia uma progressão ao longo das séries dos estratos. Tal negação era possível enquanto era desconhecida a estratigrafia de outras regiões ou continentes, e se podia postular que as novas faunas se deviam à imigração de outras áreas. Mas explorações geológicas posteriores mostraram que a sequência fóssil era perfeitamente semelhante em todas as partes do mundo. Havia faunas características, paleozóicas, mesozóicas, bem como terciárias primitivas e posteriores (para usar a terminologia estratigráfica moderna). Como vimos, foi o próprio Cuvier a demonstrar que os fósseis que ocorreram nos estratos mais elevados pertenciam a espécies, ou gêneros, que ainda possuem representantes vivos, mas que os fósseis se afastam cada vez mais das formas modernas, à medida que penetrarmos mais profundamente nas sequências geológicas. Nos estratos mesozóicos, encontra-se uma representação rica de répteis peculiares, sem parentes modernos (como os dinossauros, plesiossauros, ou pterodáctilos), enquanto os mamíferos só aparecem numa fase mais elevada da sequência. Quando isso ocorre, os primeiros tipos são inteiramente diferentes das espécies vivas. Todavia, Cuvier se

recusava tão firmemente a reconhecer quaisquer *taxa* de animais, como superiores ou inferiores, a ponto de a sequência fóssil não lhe transmitir qualquer mensagem evolutiva.

Cuvier simplesmente se opunha a encarar a conclusão. A progressão das faunas, ao longo do tempo geológico, ficou tão bem estabelecida, que uma explicação causai devia ter sido proposta. Só duas alternativas aparentemente eram possíveis: ou as faunas mais antigas evoluíram para as mais novas – opção que Cuvier se recusava terminantemente a aceitar-, ou então, novas faunas eram criadas após cada catástrofe. Admitir isso equivaleria a introduzir a teologia na ciência, o que Cuvier igualmente rejeitava. Então Cuvier optou pela política do avestruz, e ignorou o perturbador problema.

No que concerne ao homem, Cuvier aceitava a doutrina cartesiana de que o homem era qualitativamente diferente de todos os animais. Em contraste com Aristóteles e os primitivos anatomistas, ele rejeitava a idéia de que a zoologia consistia numa comparação dos animais ("degradados") com o homem ("perfeito"). O estudo do homem era algo completamente à parte do estudo das quatro ramificações dos animais. O homem era tão único, que não se poderia esperar encontrá-lo nos registros fósseis. De fato, quando Cuvier morreu (1832), nenhum fóssil hominídeo ainda havia sido encontrado, nem mesmo qualquer fóssil de primata, tendo sido o primeiro deles (*Pliopithecus*) descoberto apenas em 1837.

O conceito de Cuvier sobre o mundo vivo era, no seu conjunto, intrinsecamente consistente, a despeito de algumas contradições e de alguns notáveis pontos obscuros. Teria sido verdadeiramente necessário um espírito inovador, para abandonar o paradigma essencialista e aproveitar os novos fatos para promover uma substituição. Cuvier não foi essa pessoa. Como Coleman afirmou, Cuvier era por natureza um conservador bem informado, industrioso, lúcido no pensamento e na expressão, ele não era um intelectual revolucionário. Depois da sua morte, os fatos se acumularam em rápida sucessão, fazendo com que a interpretação não-evolutiva se tomasse cada vez mais improvável. Todavia, aqueles que seguiram os passos de Cuvier, por exemplo, Agassiz, Owen, Flourens e d'Orbigny, foram menos precavidos e mais dogmáticos do que ele. Isso os induziu a defender uma verdadeira orgia de catastrofismo. Com respeito ao próprio Cuvier, ele venceu todas as batalhas contra os seus adversários evolucionistas, mas não viveu o bastante para saber que havia perdido a guerra.

Inglaterra

A situação na Inglaterra, durante a primeira metade do século XIX, era sob muitos aspectos fundamentalmente diferente daquela da França ou da Alemanha. A ciência natural, por exemplo, era totalmente dominada pela geologia; entre 1790 e 1850, nenhum outro país do mundo ofereceu uma tão esplêndida contribuição para a geologia como a Grã-Bretanha. A par disso, era o único país a conservar uma estreita aliança entre a ciência e o dogma cristão. Grande parte do ensino de assuntos científicos, nas universidades inglesas, estava nas mãos de ministros ordenados, e cientistas famosos continuavam a tradição estabelecida por Newton, Boyle e Ray de ocupar-se ao mesmo tempo com a ciência e com estudos teológicos.

A piedade levava o físico a uma ênfase diferente da do biólogo, em relação às manifestações da mão do Criador. A ordem e a harmonia do universo faziam o cientista físico procurar por leis, por

ordenamentos sábios no andamento do universo, instituídos pelo Criador. Tudo na natureza tinha a sua causa, mas as causas eram secundárias, reguladas pelas leis estabelecidas pela causa primeira, o Criador. Para servir melhor ao seu Criador, o físico estudava as suas leis e o seu funcionamento. [7]

O biólogo naturalista também estudava as obras do Criador, mas a sua ênfase não se apoiava em algo tão mecânico como o movimento da queda dos corpos, ou dos planetas girando ao redor do Sol. Ao contrário, ele se concentrava nas admiráveis adaptações das criaturas vivas. Estas não podiam ser explicadas tão facilmente na forma das leis gerais, como a gravidade, o calor, a luz, ou os movimentos. Quase todas as maravilhosas adaptações das criaturas vivas são tão únicas, a ponto de parecer sem sentido dizer-se que eram devidas a "leis". Mas qual poderia ser então a explicação para essas adaptações admiráveis? Parecia muito mais que esses aspectos da natureza eram de tal maneira especiais e únicos, que só podiam ser interpretados como sendo causados pela intervenção direta do Criador. Em consequência, o funcionamento dos organismos, os seus instintos e suas múltiplas interações proporcionavam-lhe uma abundante evidência para o desígnio, e pareciam constituir prova irrefutável da existência do Criador. De que outra forma poderiam todas as admiráveis adaptações do mundo vivo ter chegado à existência?

Os objetos de estudo dos dois grupos de pesquisadores levavam-nos a aproximações muito diferentes. O Deus que fez as leis, ao tempo da criação, e abdicou de sua autoridade, por assim dizer, em favor das leis secundárias, era um Deus muito mais remoto que o dos naturalistas, que deixava a marca do seu desígnio em cada detalhe da natureza viva. O deísmo, uma crença num deus mais impessoal, de leis e não de revelações, era – pode-se dizer – quase uma consequência lógica dos desenvolvimentos da física. Os naturalistas, por outro lado, adotavam uma espécie de fé, geralmente chamada "teológica natural". [8] Ela considerava a aparente perfeição das adaptações de todas as estruturas e interações orgânicas como evidência do desígnio. Tudo na natureza era o produto acabado, e insuscetível de melhoramento, da sabedoria, onipotência e benevolência divinas. Haverία outra maneira melhor de prestar homenagem ao seu Criador do que estudar as suas obras? Para John Ray, o estudo da natureza era a verdadeira "preparação para a Divindade". Efetivamente, o estudo das maravilhas da natureza era a preocupação favorita de numerosos párocos do interior, por toda a Inglaterra.

A teologia natural britânica distinguia-se em muitos pontos da do continente. A teologia física alemã era centrada no homem. Deus criou o mundo para o benefício do homem, e o papel de todas as criaturas consistia em serem úteis ao homem. O homem não podia ter aparecido sobre a terra, antes que a criação estivesse preparada para ele. A teologia natural britânica acentuava muito mais a harmonia de toda a natureza, e isso conduzia ao estudo do plano, em todas as adaptações mútuas. A grande longevidade da teologia natural britânica talvez possa ser explicada por sua conceituação mais atraente. Enquanto a onda de deísmo e de iluminismo varreu a teologia física do continente, a teologia manteve na Inglaterra o seu pleno vigor, no século XVIII (a despeito das críticas de Hume), e adquiriu um novo crescendo, na primeira metade do século XIX, com a *Natural Theology: Or, Evidences of the Existence and Attributes of the Deity Collected from the Appearances of Nature,* de Paley (1802), e com os oito *Bridgewater Treatises* (1833-1836). Os oito autores utilizaram vários temas científicos, com louvável erudição^perfeita seriedade, para demonstrar "o Poder, a Sabedoria e a Bondade de Deus, como manifesto na Criação". A ciência e a teologia eram de tal maneira um único objeto, para muitos cientistas do período como, os geólogos Sedgwick, Buckland e Murchison, ou o naturalista Agassiz, que mesmo os seus tratados científicos eram exercícios de

teologia natural. Isso é válido inclusive para os *Principies of Geology,* de Lyell.

Motivo de particular surpresa para um cientista do século XX é a prontidão com que o teólogo natural aceitava a "evidência sobrenatural", *pari passu* com a evidência natural. Não apenas a criação era aceita como um fato, mas admitia-se também como fato a subsequente intervenção de Deus no seu mundo, como lhe aprouvesse.

De qualquer maneira, a aliança entre a teologia natural e a ciência levou, por fim, a dificuldades e contradições. Os cânones da ciência objetiva chegavam cada vez mais em conflito com as tentativas de invocar a intervenção sobrenatural. Mais especificamente, o argumento do desígnio viu-se cada vez mais em dificuldades para conciliar a ocorrência de órgãos vestigiais, de parasitas e de pestes, e de catástrofes devastadoras como o terremoto de Lisboa, com o desígnio de um criador benevolente. Como veremos adiante, grande parte da argumentação de Darwin, no *Origin,* faz uso dessas contradições. Várias hipóteses auxiliares, propostas para explicar a sequência fóssil e os padrões da sua distribuição geográfica por toda a terra, puderam adiar temporariamente o declínio da teologia natural, mas não conseguiram finalmente evitar a sua morte.

A crítica não provinha apenas da ciência, mas também da filosofia. Hume, no seu *Dialogues Conceming Natural Religiott* (1779), mostrou claramente que não existia uma base nem científica, nem filosófica, para a teologia natural, e Kant, na sua *Crítica do juízo* (1790), rejeitava uma teleologia ingênua. Mas isso deixou um vazio, em termos de explicação, porquanto a ciência, antes da seleção natural, não tinha forma de explicar satisfatoriamente a adaptação, considerando que as especulações de Lamarck não eram de forma alguma convincentes. Na realidade, muitos cientistas e filósofos piedosos, como Lyell, Whewell, Herschel e Sedgwick, pareciam estar positivamente assustados com uma explicação natural, temendo que isso destruiria a base da moralidade. Isso talvez constitua a razão mais importante para a prolongada sobrevivência da teologia natural na Inglaterra, até a publicação do *Origin.* A teologia natural desempenhou um papel peculiarmente ambíguo na história do evolucionismo. Os adversários mais ferrenhos de Darwin foram os teólogos naturais, e, contudo, as adaptações biológicas, tão carinhosamente descritas por eles, forneceram algumas das evidências mais convincentes para a evolução, tão logo se substituísse o desígnio pela seleção natural.

O progressionismo

A inclusão da geologia na teologia natural foi um peculiar desdobramento britânico (Gillespie, 1951). Tentou-se com isso compatibilizar as mais recentes descobertas da geologia e da paleontologia com a história do Gênese e o conceito de plano. As duas peças de evidência, sempre citadas, para demonstrar a conciliação dos eventos geológicos com o relato bíblico eram, em primeiro lugar, a ausência do homem (o último ato da criação) nos registros fósseis; em segundo lugar, a evidência do Grande Dilúvio, "um dilúvio universal", de toda a terra.

Que tenha havido um único dilúvio, começou a ser questionado já no século XVIII (por Blumenbach). Isto se tomou cada vez mais implausível, a partir do fato de que os documentos fósseis estabeleciam uma fauna fóssil após a outra, quase sempre separadas da anterior por um hiato completo. Na explicação de Cuvier, bastante suave (veja anteriormente), a destruição dessas faunas vem referida como sendo "evoluções", mas, entre os seus seguidores, o conceito de catástrofes sucessivas passou a ser dominante. Embora Cuvier tenha passado ao largo do fato da substituição das

faunas, alguns dos seus discípulos afirmavam enfaticamente que, após cada catástrofe, ocorreu nitidamente uma nova criação, e que toda nova criação subsequente refletia as condições alteradas do mundo. Tal concepção foi designada *progressionismo* (Rudwick, 1972; Bowler, de certa forma, trata-se de uma reformulação criacionista da *scala naturae*.

A natureza da progressão das faunas, ao longo do tempo, foi só entendida aos poucos. As descobertas de Cuvier tratavam primariamente de alterações de faunas mamíferas do Terciário. Quando foram descobertos os grandes répteis (primeiro principalmente formas marinhas), percebeu-se que eles viveram num período mais antigo (hoje chamado Mesozóido) em relação aos mamíferos (a descoberta de um mamífero jurássico perto de Oxford, Inglaterra, causou por isso grande consternação). As rochas anteriores, do Paleozóico tardio, continham os fósseis de peixes, enquanto os depósitos mais antigos encerravam apenas invertebrados. As controvérsias acaloradas do período tratavam das causas (em termos criacionistas) da progressão, com acento na questão sobre quais tipos eram "inferiores" e quais "superiores", e se o homem era ou não o ponto terminal da progressão. Cada autor tinha as suas próprias idéias. Louis Agassiz e alguns dos seus seguidores defendiam a idéia peculiar de que cada nova criação (após a catástrofe anterior) refletia o conceito atual de Deus sobre a sua criação, e que a sucessão das faunas representava a maturação gradual do plano da criação na mente de Deus. Não lhe ocorreu o tamanho da blasfêmia que isso significava. Insinuava-se que Deus, em oportunidades sucessivas, criara um mundo imperfeito, que depois destruiu completamente para realizar uma obra melhor, da próxima vez, mas que fracassou de novo, até a sua mais recente criação.

Lyell e o uniformitarismo

Durante gerações, entre os historiadores britânicos, era dogma aceito o enunciado, pela primeira vez proferido por T. H. Huxley, de que "a doutrina do uniformitarismo, quando aplicada à biologia, levava necessariamente à Evolução". Desde que Charles Lyell era o grande campeão do uniformitarismo, [9] concluía-se que o pensamento evolucionista de Darwin era derivado diretamente de Lyell. O caráter altamente duvidoso dessa afirmação fica evidente quando nos damos conta do quanto o uniformitarismo de Lyell era contrário à evolução. Só em anos recentes, a debilidade do argumento huxleyiano foi posta em relevo, por Hooykaas, Cannon, Rudwick, Mayr, Simpson e outros. Não obstante, os argumentos geológicos dos anos 1820 e 1830 foram de fundamental importância na formação da mente daqueles biólogos, para os quais a história da vida sobre a terra constituía um problema. A discussão do uniformitarismo, embora sendo originariamente uma preocupação da geologia, constitui pré-requisito indispensável para uma análise do nascimento das idéias evolucionistas de Darwin.

Os termos "uniformitarismo" e "catastrofismo" foram cunhados pelo filósofo britânico William Whewell, em 1832, em um comentário do *Principies of Geology,* de Lyell. Os termos faziam referência a duas escolas opostas de geólogos. Na realidade, eles conduziam a equívocos, porque o problema principal não era a ocorrência (ou não) de catástrofes, mas muito mais a questão de saber se as descobertas da geologia davam suporte à teoria de um mundo de regime estável, de Hutton e Lyell, ou à teoria direcionalista de muitos outros geólogos, inclusive progressionistas e catastrofistas. A tese mais importante dos direcionalistas consistia em que a vida sobre a terra foi se modificando ao longo do tempo geológico. Tratava-se de um conceito novo, resultante das

descobertas fósseis de Cuvier, na bacia de Paris, e de outras revelações recentes de que os sucessivos horizontes geológicos possuem faunas muitas vezes drasticamente diferentes; que, com mais frequência do que o contrário, elas eram separadas umas das outras por rupturas nítidas, e que as faunas inferiores (mais antigas) consistem, vasta ou inteiramente, em tipos extintos. Além do mais, isso estava a demonstrar que aquelas mudanças eram progressivas, segundo indicado pela sequência invertebrados-peixes-répteis – mamíferos. A presença de uma sequência progressiva também era confirmada pela estratigrafia botânica de Adolphe Brongniart, que distinguia três períodos: o primeiro (Carbonífero), sendo caracterizado por criptógamos primitivos; o segundo (Mesozóico), por gimnospermas (e reduzido número de criptógamos), e o terceiro (Terciário), pelo incipiente predomínio dos angiospermas. Os tipos "mais elevados", tanto de animais como de plantas, aparecem por último, na história da terra. A existência de tal progressão era negada por Lyell, ou, quando a admitia, explicava-a como sendo parte de um ciclo, eventualmente destinado a reverter-se (Ospovat, 1977).

O termo "uniformitarismo" designa um conjunto de teorias ainda mais complexo do que o termo "catastrofismo". Com efeito, o termo encerra um pacote de pelo menos seis conceitos, ou causalidades.

A tabela 1 tenta colocar em evidência as diferenças mais manifestas entre os campos opostos. Segundo mostra a tabela 2, Lyell defendia a alternativa *a* em todos os casos, menos um; mas entre os catastrofistas, encontramos diversas combinações das várias alternativas. Curiosamente, segundo me parece, Darwin, no seu paradigma, estava mais próximo de Lamarck que de Lyell. Devo, porém, advertir o leitor de que a minha classificação é um tanto subjetiva, e que outras distribuições são possíveis.

Conquanto a maioria dos seis componentes do uniformitarismo, que aqui vêm distinguidos, seja primariamente só do interesse dos geólogos, algumas poucas palavras podem ser ditas sobre eles, a título de explicação das categorias adotadas na tabela 1.

1. *Naturalismo.* Sem exceção, todos os protagonistas da controvérsia eram cristãos convictos, e o único ponto em que discordavam era quanto à extensão da intervenção de Deus nas obras do seu mundo. Nos dois campos havia quem defendesse a idéia de que, depois da criação, só agiam as causas secundárias. Evidentemente, todas as criações, tanto uma única original, quanto as diversas que sucederam após cada catástrofe, eram obra direta do Criador. Para Lyell, todos os processos geológicos do mundo foram o resultado de causas secundárias, não sendo necessário invocar intervenções sobrenaturais. Os adversários de Lyell criticavam-no por não aplicar coerentemente esse princípio à introdução de espécies novas, processo que, não obstante as afirmações em contrário do próprio Lyell, tinha todas as características de uma criação especial, *ad hoc*.
2. *Atualismo.* Esse princípio estabelece que foram as mesmas causas (leis físicas) que estiveram em ação, ao longo do tempo geológico, pois as características imanentes do mundo permaneceram sempre as mesmas. A consequência mais importante desse postulado é que, segundo afirmou Lyell no subtítulo do *Principies,* se toma legítimo "tentar explicar as mudanças mais remotas da superfície da terra, com apoio nas causas atualmente em ação".
3. *Intensidade das forças causais.* Lyell e outros uniformitaristas radicais postulavam

que a intensidade das forças geológicas foi a mesma em todos os tempos, e que o fator tempo devia ser levado em consideração, em certos períodos em que houve aparente acréscimo dessa intensidade. Alguns dos seus adversários eram de opinião que, devido ao esfriamento da terra, houve um declínio constante da intensidade dos fenômenos geológicos, como o vulcanismo e a orogenia. Não há mais clareza sobre a questão se certos autores defendiam uma terceira alternativa, a saber, um acréscimo ou um declínio irregular da intensidade dos fenômenos geológicos.

4. *Causas configuracionais*. Esse termo, introduzido por Simpson, refere-se à possibilidade de que constelações diferentes dos mesmos fatores possam produzir resultados drasticamente diversos, possibilidade essa inteiramente esquecida pelos uniformitaristas estritos. Incidem nessa categoria a mudança da atmosfera terrestre, por redução a uma atmosfera oxidante, também a ocorrência irregular de idades glaciais, bem como todos os efeitos das placas tectônicas sobre o volume das massas terrestres e sobre a extensão das plataformas marítimas rasas e, finalmente, o grau da atividade vulcânica. Em consequência, as condições físicas que atualmente prevalecem sobre a terra não refletem necessariamente as condições exatas que prevaleceram nos estágios mais antigos da história do globo. Um problema como o da origem da vida permanecia insolúvel, enquanto se ignorassem as causas configuracionais. Uma causa configuracional era admitida por Lyell, a saber, o efeito sobre o clima, provocado pela mudança de posição das massas terrestres. (Ospovat, 1977.)
5. *Gradualismo*. A maioria dos autores, antes do surgimento do catastrofismo, compartilhava a crença de que as mudanças históricas sobre a face da terra deviam ter sido graduais. Essa era a opinião de Leibniz, Buffon (em parte), Lamarck, e da maior parte dos assim chamados precursores de Darwin. Ficou mais difícil sustentar o gradualismo após a descoberta da frequência das rupturas estratigráficas. O mérito maior do uniformitarismo de Lyell foi ter continuado a enfatizar a gradualidade das mudanças geológicas, a despeito das novas descobertas. Tanto Lyell como depois Darwin estavam plenamente conscientes do fato de que os terremotos e as erupções vulcânicas podiam produzir efeitos muito drásticos, mas que, não obstante, eram menores, em muitas ordens de grandeza, do que as catástrofes postuladas por alguns geólogos. Todavia, a moderna pesquisa geológica demonstrou que certos eventos, no passado da história da terra, efetivamente se qualificam como catástrofes (Baker, 1978; Alvarez *et alii,* 1980).

Tabela 1. Componentes do uniformitarismo

FENÔMENO OU PROCESSO	VISÃO UNIFORMITARISTA	VISÃO CATASTROFISTA OU DIRECIONALISTA
(1) Aspectos teológicos das causas (*naturalismo* ou sobrenaturalismo)	(a) Naturalístico (mesmo que originalmente divino, hoje sempre devido a causas secundárias)	(a) Invocando sempre a intervenção divina direta
	(b) No conjunto, naturalístico, mas permitindo intervenções divinas causais	
(2) Causas ao longo do tempo geológico (*atualismo*)	(a) As mesmas causas (leis físicas) operando em todos os tempos	(b) Causas diferentes operando na história primitiva da terra
(3) Intensidade das forças causais	(a) Sempre com a mesma intensidade de hoje	(b) Irregular, variando no tempo geológico
		(c) Sempre declinante com o tempo geológico
(4) Causas configuracionais	(a) Idênticas em todos os tempos	(b) Diferentes em certos períodos geológicos primitivos
(5) Taxas de mudança (*gradualismo*)	(a) Muitas graduais, mas algumas mais drásticas (saltos)	(b) Muitas mudanças realmente cataclísmicas
(6) Mudança direcional do mundo	(a) Rejeitada; o mundo sempre em estado de regime constante, mudando no máximo ciclicamente	(b) Sim; o mundo em mudança ao longo da história de modo mais ou menos direcional

6. *Direcionalismo.* Lyell tinha adotado de Hutton o conceito de um mundo de regime constante, tão popular entre os filósofos pré-socráticos: "Nenhum vestígio de um começo, nenhum prospecto de um fim", como Hutton o havia formulado. Os adversários de Lyell chegaram à conclusão de que todas as evidências indicavam um componente direcional, quando não progressional, na história da terra. Este, bem mais do que qualquer outro dos cinco pontos, constituía a diferença de opinião básica entre Lyell e os assim chamados catastrofistas (Rudwick, 1971; mas veja Wilson, 1980).

Tabela 2. Defensores e adversários do evolucionismo e sua adoção dos vários componentes do uniformitarismo

	COMPONENTES DO UNIFORMITARISMO					
AUTOR	1	2	3	4	5	6
Lyell	b	a	a	a	a	a
Darwin	a	a	a	?b	a	b
Lamarck	a	a	?b	b	a	b
Agassiz	c	a	?b	b	b	b

Linhas contínuas: Darwin concordando com Lamarck, contra Lyell. *Linhas descontínuas*: Darwin concordando com Lyell, contra Lamarck.

O que Darwin deve ao uniformitarismo?

Os diversos estudos mais recentes estão a indicar que, independentemente da dívida intelectual que Darwin tenha para com Lyell, o uniformitarismo (no sentido lyelliano) foi, na realidade, mais um empecilho do que uma ajuda, no desenvolvimento do evolucionismo de Darwin. [10] O gradualismo, o naturalismo e o atualismo foram os conceitos predominantes, desde Buffon até Kant e Lamarck. O lado mais característico do uniformitarismo específico de Lyell foi a sua teoria do regime constante (e cíclico), e isso era definitivamente incompatível com uma teoria da evolução.

Lyell não era um mero geólogo; uma leitura atenta do *Principies of Geology* mostra como ele era bem informado em assuntos biológicos, inclusive em biogeografia e ecologia ("luta pela existência"). Em se tratando de matéria biológica, ele falava com autoridade; porém, em contrapartida, é bem evidente que o seu criacionismo e essencialismo o levaram a conflitos e incoerências.

A formação principal de Lyell era em direito, e nas suas controvérsias científicas ele tendia a formular uma imagem exagerada, para não dizer caricatural, dos pontos de vistas opostos. Dessa forma, ele se fixava no ataque a erros individuais dos catastrofistas, e ignorava as evidências, por sinal substanciais, que eles levantavam em favor das mudanças direcionais, como o conteúdo fóssil na sequência dos estratos geológicos.

Ao que tudo indica, ele imaginava que os seus adversários postulavam uma sequência fóssil nos estritos termos da *scala naturae,* e considerava triunfantemente que isso era refutado pela descoberta de mamíferos fósseis (em Stonesfield), em estratos jurássicos ("na era dos répteis"), sem perceber que esses eram triconodontes (mamíferos ancestrais), por isso enquadrando-se muito bem numa série direcional. Refutou, com razão, a teoria lamarckiana de uma tendência inerente para a perfeição, mas menosprezou o fato de que Lamarck também postulava um segundo tipo de evolução, um ajustamento constante ao meio ambiente ("circunstâncias") em contínua mudança, o que evidentemente resultaria, de modo inevitável, numa contínua mudança evolutiva. Para Lyell, um essencialista, tal evolução

continuada não fazia sentido algum.

Durante muito tempo, os escritos de Lyell foram completamente mal-interpretados, devido à afirmação errônea de T. H. Huxley de que o seu uniformitarismo conduziria inexoravelmente ao darwinismo, e devido também aos rótulos enganosos "uniformitarismo" e "catastrofismo", de Whewell. O mundo de regime constante de Lyell não era um mundo completamente estático, mas sim sujeito a eternos ciclos, em correlação com os movimentos e as mudanças climáticas dos continentes. A extinção era uma consequência necessária de um mundo em mudança, tomando-se inadequado para certas espécies. E, evidentemente, num mundo de regime constante, as espécies perdidas deviam ser repostas pela "introdução" de espécies novas. Ao considerar que a perda das espécies, por extinção, e sua substituição por novas introduções aconteciam numa proporção constante, Lyell insistia em que ele estava seguindo os princípios estritamente uniformitaristas.

O que foi de longe mais importante para a história do evolucionismo não foi o uniformitarismo de Lyell, mas o fato de que ele transferiu a ênfase das vagas especulações de Lamarck sobre progressão, perfeição crescente e outros aspectos da "evolução vertical", para o fenômeno concreto das espécies. A pergunta "quais são as causas da extinção das espécies?" conduziu a todo tipo de questões ecológicas. Com estas, bem como com a indagação "de que forma são introduzidas as espécies de reposição?", se deparou Darwin quando lia o *Principies of Geology,* durante e depois da viagem do *Beagle.* Como resultado dos escritos de Lyell, tais questões se tomaram o centro do programa de pesquisa de Darwin.

Esse relacionamento, Lyell-Darwin, ilustra de maneira por assim dizer clássica uma relação frequente entre cientistas. É a contrapartida do "precursor". Muitas vezes tem sido afirmado, e com razão, que Lamarck, embora evolucionista genuíno, não foi realmente o precursor de Darwin. Darwin não edificou de forma alguma sobre os fundamentos lamarckianos; mas, positivamente, edificou sobre os fundamentos lyellianos. E, no entanto, dificilmente se poderá chamar Lyell um precursor de Darwin, porque ele era um adversário intransigente da evolução, era um essencialista, um criacionista, e todo o seu arcabouço conceitual era incompatível com o de Darwin. Mas não obstante isso, ele foi o primeiro a focalizar claramente o papel crucial das espécies na evolução, o que estimulou Darwin a escolher esse caminho para resolver o problema da evolução, conquanto o fizesse mostrando que as propostas de solução de Lyell estavam erradas. Como chamar uma pessoa que mostra o caminho, sem ser por isso um precursor no sentido convencional? De maneira análoga, o meu próprio trabalho sobre a especiação geográfica e as espécies biológicas foi estimulado pela oposição à solução proposta por Goldschmidt (1940), de uma especiação mediane mutações sistêmicas. Existem literalmente casos incontáveis, na história da ciência, em que um pioneiro na formulação de um problema chegou à solução errada, enquanto a posição contrária a tal solução conduziu à solução certa.

Tenho analisado, em oportunidade anterior (Mayr, 1972), o conjunto de idéias e de crenças que impediram uma aceitação mais imediata da evolução. Elas se resumiam na teologia natural e num criacionismo muito literal, conjuntamente com o essencialismo. Paradoxalmente, no seio dessa concepção, o avanço do conhecimento científico necessitava, de modo crescente, recorrer ao sobrenatural, em busca de explicação. Por exemplo, a sucessão das faunas, descobertas pelos estratígrafos, impôs o abandono da idéia de uma criação única. Agassiz, sem espanto algum, postulava de cinquenta a oitenta extinções totais da vida sobre a terra, e outras tantas novas criações. Mesmo uma pessoa tão sóbria e cautelosa como Charles Lyell muitas vezes explicava fenômenos

naturais como sendo devidos à criação. E isso removia os fatos da evolução do reino da análise científica. Na criação, evidentemente, nada é impossível. "A criação – dizia Lyell – parece requerer a onipotência, por isso não podemos avaliá-la". [11]

Os vestígios de Chambers

Depois que Lyell, no seu *Principies,* demoliu Lamarck, parecia que o evolucionismo foi completamente banido do pensamento dos cientistas britânicos. A rejeição era universal, indo de filósofos, como Whewell e Herschel, aos geólogos, anatomistas e botânicos. Parecia haver um feliz apaziguamento com a visão da teologia natural, de um mundo criado por um planejador habilidoso. Neste pacífico cenário victoriano explodiu uma bomba, em 1844, que sacudiu pela base o educado mundo britânico – a população do *Vestiges of the Natural History of Creation.* [12] O conteúdo desse volume era tão herético, que o autor se cercou de todas as precauções possíveis, para permanecer no anonimato. Todo o mundo especulava sobre quem podia ser ele, e os palpites alinhavam-se desde Lyell e Darwin ao Príncipe Consorte! A reação foi algo de colossal. O professor de ciência de Cambridge, e presidente da Geological Society, Adam Sedgwick, ficou profundamente ultrajado. Ele precisou de nada menos que quatrocentas páginas impressas para registrar todas as suas objeções, cujo tempero pode ser amostrado pelas seguintes sentenças:

> O mundo não pode tolerar ser virado de cima para baixo, e estamos prontos para travar uma guerra de morte contra qualquer violação dos nossos princípios e maneiras sociais … é nossa máxima que as coisas devem permanecer nos seus lugares próprios, para poderem agir em conjunto para todo efeito bom … para que as nossas gloriosas donzelas e matronas possam eximir-se de sujar os seus dedos com a faca imunda do anatomista, e de envenenar as vibrações do seu pensamento radioso e discreto sentir, dando ouvidos às seduções desse autor, que se apresenta diante delas como … uma filosofia falsa.

Com uma tal publicidade, não surpreende que o *Vestiges* tenha tido vendas magníficas, sendo necessárias nada menos que onze edições, entre 1844 a 1860. A vendagem, nos primeiros dez anos (24 mil cópias), superou de muito à do *Principies of Geology,* de Lyell, ou à do *Origin of Species* (9.500), de Darwin, no correspondente período de dez anos após a publicação.

A identidade do autor só foi revelada depois da sua morte, em 1871. Apareceu como sendo Robert Chambers o bem conhecido editor da *Chambers Encyclopedia,* um autor de muitos livros populares e ensaios. Embora Chambers fosse um homem muito lido e bem informado, ele tinha muito de um leigo, com todas as deficiências implicadas nessa conotação. Sem dúvida, ele foi o primeiro que enxergou a floresta, quando todos os grandes cientistas britânicos do período (exceto Darwin, que se abstinha de publicar) viam apenas as árvores. Curiosamente, foi o deísmo, e não o ateísmo, que levou Chambers a postular a evolução. Se houver uma escolha, dizia ele, entre uma criação especial e a operação de leis gerais, por ele instituídas, "Eu diria que a última é altamente preferível, enquanto ela implica uma visão muito mais grandiosa do poder e dignidade divinos do que a outra". Uma vez que nada há, na natureza inorgânica, "que não possa ser atribuído à ação das forças ordinárias da natureza", por que não considerar "a possibilidade de que as plantas e os animais foram da mesma forma produzidos por via natural". Ele rejeita a sugestão de que a origem e o

desenvolvimento da vida estejam além do nosso poder de inquirição.

> Sou extremamente avesso ao pensamento de que exista qualquer coisa na natureza que, por alguma razão, devemos abster-nos de exame e estou convencido de que a nossa concepção do autor divino da natureza jamais poderia ficar injuriada por algum conhecimento adicional e mais próximo que venhamos a obter das suas obras e dos seus caminhos.

Suas análises levaram-no, por fim, a adiantar

> o Princípio do Desenvolvimento Progressivo, como a explicação mais simples – explicação que envolvia o movimento lento e gradual, como normalmente vemos na natureza – que apelava para a ciência, a ela se aliando, em vez de permanecer numa aceitação dogmática da ignorância.

Duas coisas Chambers percebeu com toda clareza, a partir das evidências de que dispunha: (1) que a fauna do mundo evoluiu, ao longo do tempo geológico, e (2) que as mudanças eram lentas e graduais, e de maneira nenhuma correlacionadas com quaisquer eventos catastróficos no meio ambiente.

Embora Chambers tivesse feito algumas observações desabonadoras a respeito de Lamarck, a sua tese era, sob muitos aspectos, a mesma da teoria original de Lamarck, um aperfeiçoamento gradual das linhas evolutivas. Exceto, por também postular a evolução, ele não era de forma alguma um precursor de Darwin.

Chambers ordenou as suas evidências da forma seguinte:

1. Os registros fósseis manifestam que os estratos mais antigos não contêm restos orgânicos; sucede então uma era de animais invertebrados; vem um próximo período, durante o qual os peixes eram as únicas formas vertebradas a existir; a seguir, um tempo em que aparecem os répteis, mas ainda não qualquer pássaro ou mamífero, e assim por diante.
2. Em todas as ordens maiores dos animais, houve uma progressão do simples ao complexo, onde "as formas superiores e mais típicas sempre são atingidas por último".
3. A unidade fundamental da organização é revelada em cada grupo maior de animais, como transparece do estudo da anatomia comparada.
4. Os fatos da embriologia, da forma como foi elaborada por von Baer, mostram que os embriões tendem a passar por estágios que se assemelham aos seus ancestrais mais primitivos.

Embora as discussões de Chambers estejam repletas de erros e de concepções falsas, ele exibe um notável bom-senso ao encarar as evidências, algo que infelizmente faltava nos escritos dos antievolucionistas contemporâneos. Ao analisar os argumentos do paleontólogo Pictet, ao tempo ainda combatendo a evolução, Chambers exclama: "Só podemos ficar admirados que um homem, versado no assunto, possa ter tanta dificuldade em aceitar a mudança das faunas por força das leis naturais".

O que Chambers fez na realidade foi aplicar os princípios do uniformitarismo à natureza

orgânica. A hierarquia dos animais, tal como refletida no sistema natural, não fazia sentido para ele, a menos que se admitisse a evolução. Aqui, bem como na discussão dos documentos fósseis, os seus argumentos eram notavelmente semelhantes aos do *Origin,* de Darwin. Como Darwin, ele reiterava constantemente que muitos fenômenos, por exemplo os órgãos rudimentares, podiam ser explicados como o produto da evolução, mas não tinham sentido algum em termos de criação especial. Em face de todas essas evidências, "o autor esposou a doutrina do Desenvolvimento Progressivo, como uma história hipotética da criação orgânica".

Tudo isto soava de modo perfeitamente razoável, e, no entanto, Chambers foi feito em pedaços por seus críticos, entre os quais se contavam alguns dos mais eminentes cientistas britânicos da época. T. H. Huxley, por exemplo, escreveu um comentário tão encarniçado que, aparentemente, mais tarde se arrependeu por isso. Os críticos não tinham dificuldade em destacar que os mecanismos evolutivos sugeridos por Chambers eram simplesmente absurdos. Ele se apoiava na ocorrência frequente e universal da geração espontânea. A recapitulação era uma das pedras de toque da sua teoria, e todo o seu conceito de desenvolvimento progressivo estava baseado em uma analogia com a "geração", isto é, com a ontogenia de um indivíduo. Como muitos diletantes, Chambers era incrivelmente ingênuo, e apoiava sua crença na geração espontânea em toda sorte de mitos folclóricos. Mas nem por isso, de tanto em tanto, deixa de dar alguns palpites extremamente perspicazes. Admite, por exemplo, que a geração espontânea pode não mais acontecer. Uma das razões para tanto poderia ser que ela é "um fenômeno … a tal ponto consequência expressa e total das condições que, sendo temporárias, também eram temporários os resultados". Isso, evidentemente, é a explicação hoje admitida em relação às condições existentes ao tempo da origem da vida.

Embora Chambers tenha sido o único evolucionista britânico pré-darwiniano do século XIX, ele é bastante desimportante para merecer ulteriores comentários. Todavia, a ele se deve o haver convertido alguns poucos ao pensamento evolutivo. O mais importante deles foi A. R. Wallace; mas, ao que parece, também Herbert Spencer foi influenciado. Na Alemanha, ele fez o filósofo Arthur Schopenhauer acreditar na evolução, o mesmo acontecendo também, nos Estados Unidos, com o poeta e ensaísta Ralph Waldo Emerson. Não resta dúvida que foi por intermédio de Chambers que muitas pessoas se habituaram ao pensamento da evolução. O próprio Darwin admitiu: "Na minha opinião [a publicação do *Vestiges*] prestou excelente serviço, chamando neste país a atenção para o assunto, e removendo preconceitos". O fato foi de muita valia para Darwin, pelo motivo adicional de que as críticas ao *Vestiges* lhe forneceram o catálogo-padrão das objeções contra o evolucionismo, objeções essas que Darwin teve todo o cuidado em responder, no *Origin.*

O historiador da ciência pode extrair do *Vestiges* duas generalizações de grande alcance: Em primeiro lugar, Chambers, um leigo ignorante, viu um fenômeno complexo de uma maneira muito lúcida, enquanto os especialistas contemporâneos, muito mais bem qualificados, ficavam distraídos com discrepâncias aparentes (exceto Darwin, que, como sabido, reteve as suas descobertas por vinte anos). Em segundo lugar, Chambers viu e descreveu muito bem o processo evolutivo, embora suas explicações tenham sido não apenas erradas, mas muitas vezes positivamente infantis. A afirmação, muitas vezes repetida, de que não se pode desenvolver uma teoria científica, a menos que se tenha elaborado também a explicação, é claramente inválida. Darwin, sabidamente, é um outro exemplo. Ele postulava uma variabilidade genética ilimitada, e fez disso a base da sua teoria da seleção natural, embora todos os seus pensamentos relativos à teoria da hereditariedade fossem gravemente equivocados e insuficientes.

Talvez o fato mais surpreendente em relação a Chambers tenha sido a sua unicidade, no cenário inglês. Ele quase não teve defensores, conquanto apenas Owen não lhe fosse totalmente contrário (Milhauser, 1959: 202). O certo é que todos os mais renomados cientistas britânicos do período eram inimigos declarados da evolução; e não apenas os teólogos naturais, como Buckland, Sedgwick e Whewell, mas também os amigos de Darwin, Lyell, Hooker e Huxley. Embora, naquela quadra, se acumulassem sempre mais evidências em favor da evolução, como Lovejoy acentuou de maneira persuasiva, o clima de opinião na Inglaterra era tão fortemente oposto à evolução que nenhum naturalista a levava realmente a sério. Fazia-se necessário um esforço substancial para mudar o clima da opinião, não os salpicos de um diletante como Chambers. E esse esforço não se apresentou antes de 1859.

Spencer

Spencer é muitas vezes citado como aquele que se antecipou a Darwin na proposição de uma teoria da evolução, mas essa afirmação é pouco válida. A evolução, para Spencer, era um princípio metafísico. A vacuidade da teoria de Spencer fica evidente pela sua definição:

> A evolução é uma integração da matéria e concomitante dissipação de movimento; durante ela, a matéria passa de uma homogeneidade indefinida e incoerente para uma heterogeneidade definida e coerente; e durante a qual o movimento retido sofre uma transformação paralela (1870: 396).

O acento na matéria, movimento e forças, nessa e em outras discussões sobre a evolução, é um exemplo típico oitocentista de uma interpretação fisicalista imprópria das causas últimas, nos sistemas biológicos, e nada tem a ver com a biologia real. O pouco que Spencer conhecia sobre biologia, em 1852, quando publicou o seu primeiro ensaio sobre a evolução, baseava-se no *Vestiges,* de Chambers, e na refutação de Lamarck, feita por Lyell. Como Chambers, Spencer extraiu seu conceito de evolução de uma analogia com o desenvolvimento ontogenético – o crescimento do organismo individual. Desses fenômenos teleonômicos, ele transferiu para um princípio teleológico, relacionado com os princípios de progresso, adotados por Condorcet e outros filósofos do Iluminismo.

As idéias de Spencer não trouxeram nenhuma contribuição positiva para o pensamento de Darwin; ao contrário, elas se tomaram fonte de uma considerável confusão subsequente. Foi Spencer quem sugeriu a substituição da seleção natural pela expressão "sobrevivência dos mais aptos", tão facilmente considerada tautológica; foi ele também quem se tomou o principal proponente, na Inglaterra, da importância da hereditariedade dos caracteres adquiridos (na sua famosa controvérsia com Weismann). [14] Pior de tudo, foi ele quem passou a ser o mais importante porta-voz de uma teoria social, baseada numa luta brutal pela existência, equivocadamente denominada darwinismo social (Hofstadter, 1955).

Seria justificável ignorar completamente Spencer numa história das idéias biológicas, porque as suas contribuições positivas foram nulas. Seja como for, tendo em conta que as idéias de Spencer, muito mais do que as de Darwin, estavam próximas de vários conceitos populares errados, elas exerceram um impacto decisivo na antropologia, na psicologia e nas ciências sociais. Para muitos

autores, nessas áreas, por mais de um século depois de Darwin, a palavra "evolução" significava uma progressão necessária a um nível superior e a uma maior complexidade, sendo isso que ela realmente representava para ele, não para Darwin. Isso deve ser dito com todo vigor, para acabar com um mito persistente. Infelizmente, ainda há alguns cientistas sociais que atribuem a Darwin esse tipo spenceriano de pensamento.

Alemanha

O surgimento do evolucionismo na Alemanha partiu de linhas fundamentalmente diferentes das da França e da Inglaterra, e isso por várias razões. A teologia natural alcançou o seu apogeu, na Alemanha, já no século XVIII, sob a influência de Christian Wolff e Hermann Samuel Reimarus, e ela foi muito mais deísta do que a teologia natural "intervencionista" dos britânicos. A partir de Herder aos anos 1840, a Alemanha, em vez de cultivar a teologia natural, passava por um exuberante período de romantismo. Tratava-se de um movimento otimista, que via desenvolvimento e melhoria por toda parte, uma força em direção a níveis mais elevados de perfeição, fortalecendo assim idéias procedentes da *scala naturae* e do conceito de progresso, tão popular entre os filósofos do Iluminismo. Esse movimento deu origem a um ramo especial da filosofia, a *Naturphilosophie*. Talvez ainda não tenha sido apreciada plenamente a medida exata em que diversos movimentos românticos, a *Naturphilosophie* em particular, significaram uma rebelião contra o reducionismo e a mecanização, do pensamento newtoniano. Ninguém ilustra isso mais claramente que Goethe, nos seus numerosos escritos, particularmente no *Farbenlehre*. Reduzir todos os fenômenos e processos do mundo orgânico a movimentos e forças, ou ao calor e à gravidade, era logo perfeitamente inaceitável para a maioria dos naturalistas, que apresentavam numerosas outras alternativas. Por exemplo, eles podiam volver à teologia natural, e explicar tudo em termos de criação e plano. Aqueles que não desejavam invocar a Deus para explicar todas as coisas da natureza elaboravam dela uma nova imagem, fortemente influenciados por Leibniz, que acentuava a qualidade, o desenvolvimento, a unicidade e, em geral, também um componente finalístico. Os excessos de Schelling e Oken não teriam sido acolhidos com tamanho entusiasmo, não fosse a aversão prevalente ao mecanicismo "sem coração" de Newton. A *Naturphilosophie* foi em larga medida um freio contra a interpretação mecanicista ingênua dos complexos fenômenos orgânicos, totalmente inacessíveis a uma explicação fisicalista tão simplória. Considerando que todos os mais bem conhecidos representantes da *Naturphilosophie* – Schelling, Oken e Carus – eram em última instância essencialistas, eles foram simplesmente incapazes de desenvolver uma teoria da descendência comum. Todavia, todos eles falavam extensamente sobre o desenvolvimento, significando ora um, ora outro, de dois processos muito diferentes: ou um desdobramento de potencialidades preexistentes (mais do que uma modificação do tipo em si mesmo); ou, então, uma origem saltacional de tipos novos, seja por geração espontânea a partir da matéria inanimada, seja a partir de tipos existentes. Muita dessa literatura, particularmente a obra de Oken, é fantasiosa, quando não hilariante. A maioria das conclusões é baseada em analogias, muitas vezes ridiculamente artificiais.

É extremamente difícil avaliar essa literatura e seu impacto duradouro. Alguns historiadores chegaram à conclusão de que ela retardou a chegada do evolucionismo na Alemanha; outros, que ela preparou o caminho para o mesmo, e que foi responsável pelo fato de que Darwin e o evolucionismo

foram aceitos mais rapidamente na Alemanha do que em qualquer outro país. O certo é que existe um notável contraste entre a Alemanha e a Inglaterra pré-darwiniana. Enquanto na Inglaterra sequer um cientista de reputação acreditava na evolução, na Alemanha essa crença era aparentemente muito difundida. O embriologista von Baer afirmou, em 1876, que na sua obra de 1828 "Eu me havia expressado enfaticamente contra a então dominante teoria da transmutação" (p. 241). Em 1834, ele repetiu que não conseguia "encontrar qualquer probabilidade de que todos os animais se tenham desenvolvido uns dos outros, por meio de transformações", embora em outros passos do mesmo pronunciamento ele assinale e aprove a idéia, anteriormente formulada por Buffon e Lineu, de que as espécies de um gênero "podem ter-se desenvolvido a partir de uma forma original comum". [15]

No grande manual de anatomia comparada (1821: pp. 329-350), de J. F. Meckel (1781-1833), um número considerável de páginas é dedicado ao assunto da evolução, em particular à origem de novas espécies. Ele lista quatro mecanismos possíveis: (1) uma ocorrência frequente da geração espontânea; (2) uma inclinação interna a mudanças; (3) um efeito direto do meio ambiente; e (4) a hibridação. O mais notável na sua exposição é que Meckel aceita como fato consumado que a evolução é devida a processos naturais, tanto que em lugar nenhum menciona Deus ou a criação. A natureza suplantou o papel de Deus. Que drástica diferença com a atmosfera contemporânea na Inglaterra!

Vários historiadores (como Potonié, Schindewolf e Temkin) [16] resgataram do esquecimento os nomes de muitos primitivos evolucionistas germânicos. A falar com franqueza, é difícil avaliar honestamente os escritos de Kielmeyer, Tiedemann, Reinecke, Voight, Tauscher, Ballenstedt, e de outros autores que publicaram entre 1793 (Kielmeyer) e 1852 (Unger). Eles constituem uma mistura peculiar de idéias válidas e absurdas. Muitas vezes parecem refletir os escritos de Buffon, Herder, Lamarck, Geoffroy e Cuvier, mas nunca são mencionadas as fontes. Seria necessária uma cuidadosa análise comparativa para determinar o que é válido e original nos escritos desses autores. Tendo em vista que, segundo parece, nenhum deles teve qualquer influência conhecida, nas décadas seguintes, afigura-se discutível se vale a pena empreender uma tal análise. De qualquer maneira, é evidente que esses autores se inscrevem mais no gênero de Chambers que de Darwin.

Considerando a aparente universalidade do pensamento evolutivo na Alemanha, durante a primeira metade do século XIX, é muito intrigante o fato de que, com esse pano de fundo, não tenha sido elaborada, por sequer um biólogo germânico, uma teoria substancial da evolução. O mistério se avoluma, levando-se em conta que, naquela época, nenhum outro país europeu dispunha de um grupo mais competente de zoólogos e anatomistas comparativos do que a Alemanha, neles se incluindo Authenrieth, von Baer, Blumenbach, Burdach, Döllinger, Ehrenberg, Emmert, Heusinger, Kielmeyer, J. Müller, Pander, Rathke, Reichert, Rudolphi, Siebold, Tiedemann e Wiedemann. As razões dessa falha são múltiplas. A mais importante delas é que a filosofia alemã, naquele período, era fortemente dominada pelo essencialismo, e isso afetava o pensamento de todos. O pensamento tipológico era corroborado por uma admiração a Cuvier, o que transparece com toda evidência dos escritos de alguns dos mais proeminentes anatomistas comparativos daquela quadra.

Uma segunda razão é que o evolucionismo dos *Naturphilosophen* era tão especulativo, e ao mesmo tempo tão estéril, que produziu uma reação violenta, induzindo os melhores zoólogos a se concentrarem num trabalho estritamente descritivo, como bem ilustrado pelas obras de Leuckart, Ehrenberg, Müller e Tiedemann. A tal ponto chegou essa reação que, quando Weismann era estudante, pelos anos 1850, a evolução nunca foi mencionada na sua universidade. A grande

excitação em tomo da evolução, dos anos 1820, havia sido completamente esquecida.

Esse repúdio da especulação foi reforçado por duas considerações adicionais. Quanto mais os naturalistas estudavam a natureza, tanto mais ficavam impressionados com a universalidade de magníficas adaptações. Desde que o espírito mecanicista do período não permitia a aceitação de explicações teleológicas ou sobrenaturais, era-se forçado, segundo o exemplo da *Crítica do juízo,* de Kant, a adotar uma atitude agnóstica. Por fim, os anos 1830 a 1850 representaram um período de avanços na biologia experimental sem precedentes, envolvendo a fisiologia, a citologia e a embriologia. Em consequência, os mais destacados biólogos germânicos do período consagraram todos os seus esforços ao estudo de processos funcionais. Neste campo, eles conseguiram aplicar com sucesso modelos explicativos, tornados populares pelas ciências físicas, modelos esses que teriam sido totalmente impróprios, se aplicados à evolução. Uma revitalização do evolucionismo não poderia provir dó laboratório; deveria ser iniciado por estudiosos das populações naturais e das espécies, como ocorreu na Inglaterra. Por desgraça, os jovens líderes naturalistas da Alemanha, Kuhl e Boie, sucumbiram a doenças tropicais, nas índias Orientais, ou, como Illiger, morreram de tuberculose em idade prematura (Stresemann, 1975).

A despeito da afirmação de Weismann, o evolucionismo não estava completamente morto na Alemanha, nos anos 1850. Bronn (Schumacher, 1975) escreveu diversos ensaios sobre a evolução, embora para finalmente rejeitá-la. Hermann Schaaffhausen (1816-1893), o co-descobridor do crânio de Neanderthal (Temkin, 1959), afirmou claramente:

> A imutabilidade das espécies, que muitos cientistas encaram como uma lei natural, não está provada, pois não existem características definidas e imutáveis das espécies, e as linhas limítrofes entre as espécies e as sub-espécies são flutuantes e incertas. Toda a criação aparece como sendo uma série contínua de organismos, afetada pela geração e o desenvolvimento.

Especificamente, ele rejeitava o argumento de que os animais vivos não podiam descender dos espécimes de períodos mais antigos, só por não vermos no presente qualquer transformação das espécies. Desde que qualquer transformação requeira "centenas de milhares de anos", Shaaffhausen acentua que seria totalmente irreal a esperança de observá-la diretamente.

Unger

Entre os muitos precursores de Darwin, poucos merecem maior atenção que o botânico vienense Franz Unger (1800-1870). No seu *Ensaio de uma história do mundo das plantas*[{†††††††}] (1852), ele dedica um capítulo especial à evolução, sob o título "A origem das plantas; sua multiplicação e a origem dos diferentes tipos". Ele afirma (p. 340) que as plantas aquáticas e marinhas mais simples antecederam às plantas mais complexas:

> É nessa vegetação marinha, constituída de talófitos, particularmente algas, que devemos procurar o germe original de todos os tipos de plantas que se originaram depois. Não há dúvida que esse caminho, reconstruído empiricamente, pode em teoria ser seguido ainda mais longe no passado, até chegarmos finalmente a uma *Urpflanze,* de fato a uma célula originária,

> que deu início a todo o mundo vegetal. Como essa planta, ou melhor célula, em última instância se originou é algo que para nós permanece mais oculto que o fato da sua existência. De qualquer maneira, o certo é que … ela deve ter determinado a origem de toda a vida orgânica, sendo assim o protótipo de todo o desenvolvimento superior.

Ele continua dizendo que, à primeira vista, se poderia esperar a constância das espécies, pois os genitores sempre produzem rebentos do seu próprio tipo. No entanto, isso exigiria que todas as espécies novas tivessem que originar-se de algum processo de geração espontânea, como a *Urpflanze*. Dado que toda a evidência está a contradizer tal eventualidade, "não resta outra alternativa do que procurar pela fonte de toda diversidade no próprio mundo das plantas, não só das espécies, mas também dos gêneros e categorias superiores". Ele acrescenta, com grande perspicácia, que existem demasiadas regularidades no parentesco das espécies para admitirmos que a origem de espécies novas possa ser devida puramente a influências externas.

> Isso indica claramente que a causa da diversidade da vida das plantas não pode ser externa, mas deve ser interna … numa palavra, cada nova espécie de planta que surge … deve originar-se de outra espécie.

A partir do momento em que se admite isso, todo o reino das plantas passa a ser uma só unidade orgânica. "Tanto os *taxa* inferiores como os superiores aparecem então não como um agregado acidental, uma construção mental arbitrária, mas sim unidos uns aos outros de forma genética, constituindo assim uma verdadeira unidade intrínseca" (p. 345). Em seguida, ele levanta várias outras questões evolutivas, tais como: se as espécies como um todo passam por uma metamorfose, para se tomarem uma espécie nova, ou se apenas um, ou uns poucos indivíduos, se altera, para se converter na cepa ancestral de uma nova espécie. Na realidade, a fonte da variação, que dá origem à nova espécie, constituía evidentemente grande preocupação para ele. Gregor Mendel foi aluno de Unger, e relatou que foram as ponderações do mestre sobre a natureza e a fonte da variação, conducente à origem de novas espécies, que o estimularam aos seus experimentos genéticos (Olby, 1967).

A estagnação pré-darwiniana

Desde a data da publicação (1809) do *Philosophie zoologique,* de Lamarck, ninguém que estudasse as espécies, faunas, distribuições, fósseis, extinção, ou qualquer outro aspecto da diversidade orgânica, podia permitir-se continuar ignorando a possibilidade da evolução. E não foi ignorada, como o atestam claramente as frequentes referências a Lamarck e ao "desenvolvimento". Por estar consciente da "ameaça" do evolucionismo, Lyell dedicou tantos capítulos do *Principies of Geology* à sua refutação. Na realidade, os anos entre 1809 a 1859 são de um interesse fascinante para o historiador das idéias. Estava aí uma teoria legítima, a de um mundo dinâmico e evolutivo; estava aí um acúmulo sempre maior de evidências em favor dessa nova teoria heterodoxa; e aí estava um número sempre crescente de autores que, embora hesitando, se referiam à possibilidade de uma mudança evolutiva. Em face desses desdobramentos, Arthur Lovejoy levantou a pergunta intrigante:

"Em que data poderia a evidência em favor da teoria da evolução orgânica … ser considerada francamente consumada?" (1959a: 356). A resposta, evidentemente, depende da força da resistência. Poder-se-ia chegar ao ponto de dizer que as descobertas de Cuvier (1812), relativas à crescente diferenciação taxionômica dos mamíferos fósseis, na bacia de Paris, segundo o aumento da idade geológica, poderiam ter sido prova irrefutável da evolução para qualquer um, menos para um criacionista especial. Lovejoy (1959a) e Mayr (1972b) mostraram que, por volta de 1830 a 1840, havia outras evidências, que poderiam ter levado à mesma conclusão. Aí se incluem os fatos da variação geográfica (por exemplo, Gloger, 1833), que refutam a constância das espécies (mais tarde, uma das maiores peças de evidências, de Darwin). Cada novo fato biogeográfico descoberto apontava para a mesma direção. A persistência de certos tipos de animais, como os braquiópodes *Lingula,* e certos moluscos, através de muitos períodos geológicos, até o remoto Siluriano, contradizia a ocorrência de catástrofes universais. A descoberta de que nem todas as espécies híbridas eram estéreis ajudou a refutar a afirmação do completo isolamento das espécies. A existência de órgãos rudimentares, ou abortivos, estava em conflito com uma explicação criacionista de um plano perfeito, como Chambers muito bem salientou. A "unidade de tipo" (descoberta pela anatomia comparada), a homologia dos ossos auriculares médios dos mamíferos (Reichert, 1837), a par de outras homologias entre classes de vertebrados, a presença de arcadas de guelras em embriões de vertebrados terrestres (e outros fatos da embriologia comparada), e bem assim muitas outras evidências, tão convincentemente utilizadas por Darwin, em 1859, mas descobertas bem antes dessa data, tudo isso dava suporte à teoria evolutiva. Referindo-se a essa evidência, em pelo menos vinte passagens do *Origin,* Darwin usa exatamente esse argumento. Tais evidências, diz ele, fazem perfeito sentido somente se adotarmos a evolução, mas indicariam a existência de um criador extraordinariamente caprichoso, caso aderirmos à explicação criacionista.

Na realidade, como vimos, um número considerável de autores chegou a essa conclusão, antes de Darwin. Todavia, as autoridades mais

destacadas em zoologia, botânica e geologia continuavam a rejeitar a evolução. Tendo em conta que Lyell, Bentham, Hooker, Sedgwich e Wollaston, na Inglaterra, e seus pares na França e na Alemanha, eram cientistas altamente inteligentes e bem informados, não se pode atribuir a sua resistência à estupidez ou ignorância. A crescente evidência da evolução, provinda dos campos de biogeografia, sistemática, estratigrafia e anatomia comparada, não "reduziu [a sua própria] hipótese a um absurdo grotesco", como Lovejoy pensava podia bem ter acontecido, mas foi por eles compatibilizada, de alguma forma, seja com um mundo estável e recentemente criado, seja com um mundo cíclico e de regime constante, seja com uma série de catástrofes. Tal atitude só se explica, se admitirmos – e toda evidência parece levar a isso – que os adversários da evolução achavam mais cômodo conciliar os fatos novos com o seu arcabouço conceitual estabelecido, do que adotar o novo conceito da evolução. O que a vitória das novas idéias necessitava era de um evento cataclísmico, que varresse por completo o entulho. E esse evento foi a publicação, em 24 de novembro de 1859, do *Origin of Species,* por Charles Darwin.

9. CHARLES DARWIN

A despeito dos valentes esforços de vários filósofos e biólogos, tão preparados quanto Lamarck, o conceito de um mundo criado e essencialmente estável continuava a reinar soberano, até que um homem, Charles Darwin (1809-1882), o destruísse de uma vez por todas. Quem foi este homem extraordinário, e como chegou às suas idéias? O seu êxito deveu-se mais ao seu treinamento, à sua personalidade, à sua inventividade, ou ao seu gênio? Tais questões têm sido debatidas com vigor, desde que começou a surgir uma literatura histórica sobre Darwin. [1]

Charles Darwin nasceu em 12 de fevereiro de 1809, em Shrewsbury, Shropshire, na Inglaterra, segundo filho de sexo masculino, e o quinto dos seis filhos do Dr. Robert Darwin, um médico eminentemente bem sucedido, que, por sua vez, era filho de Erasmus Darwin, o autor do *Zoonomia.* Sua mãe, filha de Josiah Wedgwood, o célebre oleiro, morreu quando Charles tinha apenas oito anos de idade, e as irmãs mais velhas de Darwin tentaram preencher a sua ausência. Nossa compreensão da juventude e do amadurecimento de Darwin é gravemente prejudicada pelo fato de que quase tudo o que sabemos a respeito nos vem de sua *Autobiografia* (1958), um conjunto de reminiscências dedicadas aos seus filhos e netos, escrita quando ele contava 67 anos de idade. Infelizmente, tal documento não é de forma alguma confiável, não somente porque a sua memória ocasionalmente o traía, mas também porque foi escrito com aquela modéstia vitoriana exagerada, que induziu Darwin a subestimar as suas próprias realizações e o valor da sua formação. Seus biógrafos tenderam, com excessiva facilidade, a aceitar suas palavras ao pé da letra, particularmente onde ele faz observações depreciativas em relação a suas próprias qualidades, e então se admiravam de como um homem tão simplório e sem instrução pôde ter-se tomado, talvez, o arquiteto da maior revolução intelectual de todos os tempos.

Nunca poderemos entender Darwin, a menos que se avalie a verdade da sua afirmação: “Eu sou um naturalista nato”. Cada aspecto da natureza intrigava Darwin. Ele amava fazer coleções, pescar e caçar, e ler livros sobre a história natural, como por exemplo a *História Natural de Selbome,* de Gilbert White. Como é o caso de tantos outros naturalistas jovens, a escola não passava de um peso para ele, e em grande parte continuou sendo assim no decorrer dos seus anos de universidade. Tendo em vista que a história natural, como era o caso de qualquer outra ciência, não era um objeto legítimo de estudo na Inglaterra da juventude de Darwin (de fato, não antes dos anos 1850), seu pai enviou o jovem Charles à universidade de Edimburgo, quando este contava apenas dezesseis anos e oito meses de idade, a fim de estudar medicina, como fizera um ano antes o seu irmão mais velho, Erasmus. A medicina o aborrecia e o desencorajava, e o mesmo ocorria com as aulas de outras matérias, como geologia, ministrada pelo famoso Robert Jameson. Muito embora aborrecendo-se profundamente com a maioria das disciplinas (e isso é igualmente válido para os seus anos de Cambridge), Darwin era consciencioso o bastante para obter aprovação em seus vários exames, com notas razoavelmente boas.

Repete-se eternamente o mito de que Darwin se tomou um naturalista por suas experiências no *Beagle.* Os fatos contradizem essas afirmações. O Darwin que se juntou ao *Beagle,* 1831, já era um naturalista extraordinariamente experimentado. Desconfio, inclusive, que ele teria ultrapassado

qualquer PhD em biologia do seu tempo, por seu conhecimento de todos os tipos de organismos. Ele detinha um grande volume de conhecimentos, não apenas sobre insetos, que eram o seu grupo favorito, mas também sobre mamíferos, aves, répteis, anfíbios, invertebrados marinhos, mamíferos fósseis e plantas. Tal perícia é evidente não apenas nas cartas pr*é-Beagle,* mas na sua correspondência com J. S. Henslow, durante os primeiros meses de bordo. A facilidade com que manipula os nomes dos gêneros e famílias de organismos que ele coletava é positivamente estonteante. É certo que ele fez algumas poucas identificações inexatas, mas isso era perfeitamente desculpável, considerando os limitados conhecimentos do período e a falta de uma biblioteca adequada e de uma coleção de referência, no *Beagle*.

Onde Darwin teria adquirido esse notável preparo que mostrava ter? A importância de escrever diários e notas extensas, sobre suas observações e coletas, é algo que deve ter aprendido já na escola de gramática de Shrewsbury, ou mais tarde com Grant, em Edimburgo, ou com Henslow e Sedgwick, em Cambridge. Sua leitura voraz de livros sobre história natural, bem como os seus contatos com geólogos, botânicos, entomologistas e outros naturalistas, durante os seus anos de universidade, foram de longe uma preparação muito melhor para sua futura carreira, do que teria sido uma formação completa em anatomia e outras matérias afins da medicina, o que constituiu, por exemplo, a formação de T. H. Huxley. Durante sua permanência em Edimburgo, Darwin participou ativamente de uma sociedade local de história natural (Plinian Society), onde ele próprio apresentou algumas idéias e descobertas; colecionava e estudava a vida marinha, em lagoas de maré, sob a orientação do zoólogo Robert Grant; visitava o museu local, e encontrava-se com o seu diretor; tomava lições de esfolamento de pássaros; em suma, levava sua história natural bastante a sério. Apenas um pequeno número de profissões era condizente com um rapaz de classe média-alta, e a família viu-se num dilema quando a total falta de interesse de Darwin pela medicina ficou evidente.

Era a época de Paley, e da teologia natural, a época em que os professores de botânica e geologia, em Oxford e Cambridge, eram teólogos. Por conseguinte, sua família decidiu, logicamente, que Charles devia preparar-se para as ordens. Ele concordou, com a condição de que viesse a ser um pároco do interior, presumivelmente tendo como ideal tomar-se vigário de Selbome.

Darwin chegou a Cambridge em janeiro de 1828, e recebeu seu diploma de Licenciatura (B. A.) em abril de 1831. Suportou um currículo de humanidades, matemática e teologia, o que para ele deve ter sido intoleravelmente enfadonho, com aplicação suficiente para colocar-se em décimo lugar entre aqueles que não estavam lá apenas para obterem honrarias. Isso lhe proporcionou tempo bastante para os seus passatempos favoritos: andar a cavalo, caçar, coletar materiais *in natura,* e passar noites animadas com amigos de temperamento semelhante ao seu, o que o fazia sempre se lembrar da vida de Cambridge com muito prazer. "Mas nenhuma ocupação em Cambridge foi exercida, nem de longe, com tanta avidez, ou deu-me tanto prazer, quanto colecionar besouros" (1958: 62). Tal *hobby,* iniciado em Shrewsbury, tomou-se uma paixão consumidora. Isto cimentou a sua amizade com W. Darwin Fox, um primo de segundo grau, naquele tempo também estudante do Christ College. Fox iniciou-o em entomologia, no mais amplo sentido da palavra, e veio a ser um dos correspondentes favoritos de Darwin, anos mais tarde.

O acontecimento mais importante de sua vida em Cambridge foi a amizade com o professor de botânica, o reverendo John Stevens Henslow. Henslow, além de ser profundamente religioso, e totalmente ortodoxo, era um naturalista ardente. Ele não só abria as portas da sua casa, nas tardes de sexta-feira, para os acadêmicos interessados em história natural, mas "durante a outra metade do meu

tempo disponível", diz Darwin, "eu fazia longas caminhadas com ele, na maior parte dos dias, de sorte que eu era chamado por alguns dos reverendos 'o homem que passeia com Henslow'". Dele Darwin absorveu grande volume de conhecimentos sobre botânica, entomologia, química, mineralogia e geologia. Na casa de Henslow ele conheceu William Whewell, Leonard Jenyns, e outros, com os quais manteve correspondência mais tarde.

Muitas pessoas pertencem a uma de duas classes extremas de aprendizes, o visual e o auditivo. Na sua autobiografia (pp. 63-64), Darwin relata diversas experiências que atestam que ele possuía a soberba memória visual de um bom naturalista e taxionomista. Considerando que Darwin era claramente do tipo visual, ele nunca tirou grande proveito das aulas. "Não há vantagens, mas muitas desvantagens, nas aulas, em comparação com a leitura" (p. 47). Não é sem justificativa, portanto, que Darwin mais tarde afirmava que ele era um "autodidata", pois colheu a sua verdadeira educação pela observação e da leitura. Mencionar os livros que o impressionaram como jovem é, portanto, tão importante, ou mais, do que a referência aos seus professores, cujas aulas assistiu em Edimburgo e Cambridge. Depois de ler a *História Natural de Selborne,* de White, Darwin "tomou imenso gosto pela observação dos hábitos dos pássaros, e escreveu notas a respeito". "Na minha simplicidade relembro, com surpresa, por que todo homem esclarecido não se tomava um ornitologista?" (p. 45). Em Cambridge, ele ficou grandemente impressionado pela lógica e clareza dos escritos de Paley sobre a teologia cristã, mas leu também sua *Natural Teology,* que é uma excelente introdução à história natural e ao estudo da adaptação. Dois livros influenciaram-no particularmente durante o seu último ano em Cambridge, o *Personal Narrative,* de Humboldt, e o *Introduction to the Study of Natural Philosophy,* de Herschel. Darwin leu-os avidamente, e "nenhum livro ou uns doze outros me influenciaram tanto como esses dois" (p. 68). De Herschel ele aprendeu muito sobre a metodologia da ciência, e ambos os livros "suscitaram em mim um desejo ardente de acrescentar, pelo menos, a mais humilde contribuição à nobre estrutura da ciência natural" (p. 68). A leitura de Humboldt despertou nele a ambição de tomar-se um explorador, de preferência na América do Sul, uma ambição que, inesperadamente, bem depressa teria condições de satisfazer.

Tendo em vista que Darwin só entrou em Cambridge depois do Natal, ele tinha que cumprir mais dois períodos, após a sua B. A., e Henslow aconselhou-o a dedicá-los ao estudo da geologia. Ele também conseguiu para Darwin que acompanhasse Adam Sedgwick, o professor de geologia, numa excursão geológica de campo, em Gales, na qual Darwin aprendeu muito acerca de mapeamento geológico. Quando voltou para casa, encontrou um convite para acompanhar a próxima viagem do *Beagle*, na qualidade de naturalista. As objeções do pai de Charles foram vencidas pelos contra-argumentos de Josiah Wedgwood, seu tio, que ponderava ser "o aprofundamento em história natural, conquanto certamente não – profissional, muito adequado para um reverendo".

Todos os biógrafos de Darwin concordam em que a sua participação na viagem do *Beagle* foi um evento crucial na sua vida. Quando o *Beagle* zarpou de Plymouth, nos 27 de dezembro de 1831, Darwin tinha 22 anos de idade, e quando do seu retorno à Inglaterra, em 2 de outubro de 1836, cinco anos mais tarde, ele era um naturalista maduro. Ao desembarcar do *Beagle,* ele estava mais bem treinado e melhor experimentado do que, a bem dizer, qualquer outro dos seus contemporâneos. A viagem proporcionou-lhe uma experiência muito mais completa e diversificada do que pudesse ter adquirido por qualquer outra forma. [2] Contudo, convém lembrar que foi preciso ter sido uma pessoa do caráter e das qualidades de Darwin para tirar tamanho proveito da oportunidade que teve. Isso pressupunha uma pessoa com imenso entusiasmo, uma habilidade soberba para fazer observações,

grande persistência, resistência para horas de trabalho a fio, diligência para manter um conjunto ordenado e metódico de anotações, e talvez acima de tudo, uma insaciável curiosidade a respeito de todo fenômeno natural com que se deparava. Mas tudo isso custou um alto preço. A vida a bordo do *Beagle* era desconfortável em extremo, tendo em conta, particularmente, que Darwin era por demais suscetível ao mal-de-mar. Passou as três primeiras semanas da viagem deitado, bastante doente. Quando divisou a primeira terra, sentiu o forte impulso de empacotar suas coisas e tomar à terra firme, mas venceu essa tentação, e permaneceu á bordo, mesmo que durante toda a viagem (programada para durar dois anos, mas que, na realidade, durou cinco) passasse intoleravelmente mal, toda vez que o tempo piorava.

Embora Darwin tivesse integrado a tripulação do *Beagle* na qualidade de naturalista, era como geólogo que ele tinha mais preparo, e foi na geologia que se concentrou durante grande parte do tempo. Ele levou consigo o primeiro volume do *Principies of Geology,* de Lyell, que acabava de vir a lume; o segundo volume, contendo os argumentos de Lyell contra Lamarck e a evolução, alcançou-o em Montevidéu, em outubro de 1832. Os dois volumes proporcionaram a Darwin uma sólida iniciação no uniformitarismo, mas também suscitaram numerosas dúvidas na sua mente, como ficou claro nos anos posteriores. No *Beagle,* Darwin sentia diariamente o desafio de fazer observações, e de ordená-las no quadro de uma interpretação significativa. Ele, que na sua autobiografia descreve a si próprio como um ocioso incorrigível, era justamente o membro da tripulação que mais trabalhava duro. Suas acomodações apertadas forçaram-no a uma extrema meticulosidade, e ele mesmo atribui à disciplina do *Beagle* o seu sistema metódico de preencher as suas notas. Sua intenção de tomar-se um ministro religioso, ele mesmo disse, "morreu de morte natural quando, ao deixar Cambridge, eu me juntei ao *Beagle* como naturalista" *{Auto.:* 57). O certo é que as cartas que Darwin mandava para Henslow e para sua família, bem como as partes dos seus diários e os espécimens que embarcava para casa, haviam causado uma agitação suficiente para que o jovem Darwin já fosse famoso, ao voltar para a Inglaterra. Já não havia qualquer objeção para a sua escolha formal da carreira de naturalista. [3]

Depois de deixar o *Beagle,* em outubro de 1836, Darwin dirigiu-se primeiro para Cambridge, para ordenar e distribuir as suas coletas, mas aos 7 de março de 1837, ele se transferiu para Londres. Em janeiro de 1839, ele se casou com sua prima Emma Wegdwood, e, em setembro de 1842, o jovem casal mudou-se para uma casa de campo, na pequena vila de Down (Kent), a 16 milhas ao sul de Londres, onde Darwin viveu até a sua morte (em 19 de abril de 1882). Eram pouco frequentes as suas idas a Londres, e pela Inglaterra viajou apenas para uns poucos encontros científicos e para visitar estações termais. Depois de 1827, ele nunca mais atravessou o canal para visitar o continente.

A mudança para o campo foi imposta pelo estado de saúde de Darwin, que começou a deteriorar-se logo depois que se estabeleceu em Londres. Os sintomas eram fortes dores de cabeça, acessos de náuseas quase diários, distúrbios intestinais, insônia, irregularidade do ritmo cardíaco, e períodos de extremo cansaço. Depois que Darwin passou dos seus trinta anos, ocorriam com frequência longos períodos em que não era capaz de trabalhar mais do que duas ou três horas por dia e, no final, ficava por vezes incapacitado durante meses. A exata etiologia do seu mal ainda é assunto controverso (Colp, 1977), mas todos os sintomas indicam um mau funcionamento do sistema nervoso autônomo. Muitos desses fenômenos, senão todos, são muito comuns entre intelectuais extremamente ativos. É quase inacreditável que, a despeito da sua constante enfermidade, Darwin tenha sido capaz de produzir um tão grande volume de trabalho. Conseguiu levar isso a cabo, adotando uma

extraordinária disciplina de trabalho, refugiando-se num retiro campestre, onde estava ao abrigo de ocupações em comitês, funções em sociedades e obrigações de magistério, e por último, embora não menos importante, por contar com uma esposa dedicada que lhe prestava toda assistência.

Até há algumas poucos anos, tudo o que sabíamos sobre Darwin eram as suas obras publicadas, uma autobiografia bastante expurgada, e duas coletâneas cuidadosamente selecionadas de suas cartas. [4] A partir do seu jubileu, em 1959, começou a desenvolver-se uma verdadeira "indústria darwiniana". Todos os anos são publicados dois ou três volumes sobre Darwin e sobre alguns aspectos da sua obra, além de numerosos artigos em periódicos. Continua a garimpagem do rico tesouro das notas inéditas de Darwin, seus manuscritos e suas cartas (principalmente na biblioteca da universidade de Cambridge), e a literatura total sobre ele já não pode mais ser dominada por uma única pessoa. E, além do mais, o novo material não ajudou de forma alguma a dissipar diferenças de interpretação; com efeito, ele provavelmente levantou mais questões novas do que resolveu antigas. A falta de espaço nos tira a possibilidade seja de uma análise judiciosa de tais controvérsias, seja de tentar uma resolução equilibrada. Em face disso, o meu tratamento pessoal será, por necessidade, eclético e subjetivo. Tentarei, em todo caso, apresentar numa *sequência* lógica a minha própria interpretação das principais questões relativas à literatura darwiniana. Mas antes de atacar o problema do desenvolvimento conceitual de Darwin, é necessário o conceito de evolução. Nunca haveremos de entender como Darwin se tomou um evolucionista, nem a natureza da oposição que lhe foi movida, enquanto não destrincharmos os múltiplos fios que se entrelaçam na sua teoria da evolução.

Darwin e a evolução

Uma análise retrospectiva dos vários termos e definições da evolução, propostos desde 1800, revela de modo muito claro as ambiguidades e incertezas que infernizaram a vida dos evolucionistas, a bem dizer até hoje (Bowler, 1975). Valeria dizer que "A evolução é a história do mundo vivo"? Particularmente não, porque a criação especial descontínua também estaria abrangida por essa definição, e ainda mais importante, porque a definição deixa de especificar que a evolução orgânica envolve dois processos essencialmente independentes, que poderíamos chamar de transformação e diversificação. A definição amplamente adotada nas décadas recentes – "A evolução é a alteração das frequências gênicas das populações" – se refere apenas ao componente de transformação. Ela não nos diz nada sobre a multiplicação das espécies, e, de modo mais amplo, nada sobre a origem da diversidade orgânica. É necessária uma definição mais abrangente, que venha a incluir tanto a transformação como a diversificação. A transformação trata do componente "vertical" (usualmente adaptativa) da mudança no tempo. A diversificação trata de processos que ocorrem simultaneamente, como a multiplicação das espécies, e pode também ser chamada o componente "horizontal" da mudança, manifestada por diferentes populações e espécies incipientes. Embora Darwin estivesse consciente dessa diferença (Caderno Vermelho, p. 130; Herbert, 1979), infelizmente, a seguir, não acentuou de modo suficiente a independência de largo alcance desses dois componentes da evolução, e isso foi o motivo de muitas controvérsias pós-darwinianas. Mas de qualquer maneira, houve dois autores pós-darwinianos que fizeram clara distinção entre esses dois modos. Gulick (1888) usou o termo *evolução monotípica* para a transformação, e *evolução politípica* para a diversificação.

Romanes (1897: 21), que adotou a terminologia de Gulick, também se referia à transformação como "transformação no tempo", e à diversificação como "transformação no espaço". Gulick, e particularmente Romanes, considerava que se tratava de dois componentes muito diversos da evolução, um ponto de vista que foi de novo largamente esquecido após 1897, até que Mayr (1942) e outros o tenham reavido, durante a síntese evolucionista.

Lamarck interessou-se quase exclusivamente pela evolução como transformação (vertical). Ele acentuava a mudança no tempo, bem como o desenvolvimento dos grupos inferiores para os mais perfeitos. Darwin, ao contrário, interessava-se muito mais pela diversificação (evolução horizontal), em particular durante os primeiros anos de sua carreira. Os dois fundadores do evolucionismo estabeleceram, dessa forma, uma dupla tradição, que ainda hoje permanece (Mayr, 1977b). Muitos evolucionistas concentraram-se apenas em um dos dois componentes, mostrando pouca compreensão em relação ao outro. Os líderes da nova sistemática, por exemplo, preocupavam-se quase inteiramente com a origem da diversidade, enquanto os paleontólogos, até bem recentemente, preocupavam-se de modo quase exclusivo com os aspectos da evolução vertical, isto é, com a evolução filética, com o avanço evolutivo, com as mudanças de adaptação e aquisição de novidade evolutiva. Os anatomistas comparativos e muitos biólogos experimentais tinham igualmente interesses restritos. Não inquiriam a natureza das espécies, como populações reprodutivamente isoladas, nem os mecanismos pelos quais esse isolamento reprodutivo era adquirido; em outras palavras, eles ignoravam completamente o evolucionismo populacional e o problema da multiplicação das espécies.

O desenvolvimento conceitual de Darwin

A questão sobre quando e como Darwin se tomou um evolucionista tem sido muito debatida. Tendo em vista que a passagem de uma crença estrita na criação para uma crença na evolução requer uma reorientação profunda – ideológica com certeza precisamos considerar a atitude de Darwin em relação ao cristianismo. Nenhum fundamentalismo consegue desenvolver uma teoria da evolução, e as mudanças na natureza da fé de Darwin são, por isso, muito relevantes para podermos compreender a sua conversão ao evolucionismo.

É evidente que Darwin cresceu com convicções ortodoxas; somente muito mais tarde em sua vida ele descobriu que seu pai tinha sido um agnóstico, ou, como Darwin o chamou, um cético. A leitura favorita de Darwin era o *Paradise Lost,* de Milton, que levou consigo em todas as suas excursões, durante a viagem do *Beagle.* Antes de ir para Cambridge para estudar religião, ele leu diversos tratados teológicos.

> E como naquela época eu não tinha a mínima dúvida sobre a verdade estrita e literal de cada palavra da Bíblia, eu estava persuadido de que o nosso credo [Igreja Anglicana] devia ser plenamente aceito.

Entre as suas leituras favoritas, naquele tempo, estavam também diversos volumes de teologia natural, de Paley. "E tomando [as premissas de Paley] em plena confiança, eu me encantava e me convencia do longo nexo da argumentação". Quando no *Beagle,* diz ele:

> Eu era perfeitamente ortodoxo, e lembro que fui sinceramente ridicularizado por diversos oficiais (conquanto eles mesmos ortodoxos) por citar a Bíblia como uma autoridade inquestionável em alguns pontos da moralidade *(Auto.:* 85).

Nisso estava implicado que a sua ortodoxia encerrava a crença em um mundo criado, habitado por espécies constantes. Os cientistas e filósofos com quem Darwin mantinha maior contato, em Cambridge e Londres – Henslow, Sedgwick, Lyell e Whewell-, defendiam pontos de vista essencialmente semelhantes. Antes de 1859, nenhum deles reafirmava de modo mais frequente, e positivamente, a constância das espécies do que Lyell (embora rejeitasse a idade recente da terra).

Darwin abandonou o cristianismo nos dois anos que se seguiram ao seu retorno à Inglaterra. Em parte, isso foi devido a uma atitude mais crítica em relação à Bíblia (particularmente o Velho Testamento), e, em parte, à sua descoberta da invalidade do argumento do plano. Pois, quando Darwin encontrou um mecanismo – a seleção natural – que conseguia explicar a evolução gradual da adaptação e diversidade, não necessitou mais de acreditar num "relojoeiro" sobrenatural. Embora sua mulher e muitos dos seus melhores amigos permanecessem teístas devotos, Darwin se expressou com muita circunspeção na sua autobiografia, mas finalmente concluiu: "O mistério do começo de todas as coisas é insolúvel para nós, e eu de minha parte devo contentar-me em permanecer um agnóstico" *(Auto.:* 94). [5]

Nos seus escritos científicos, Darwin aborda o problema uma única vez, nas sentenças finais do *A variação dos animais e das plantas pela domesticação,* publicado em 1868. Aí ele afirma, de modo quase abrupto, que temos uma escolha a fazer: ou acreditamos numa seleção natural, ou admitimos que "um criador onipotente e onisciente ordena e prevê todas a coisas. Assim, somos trazidos face a face diante de um problema tão insolúvel como o livre-arbítrio e a predestinação" (p. 432; veja também Gruber, 1974). O certo é que, ao tempo em que Darwin começou a organizar as suas coleções, sua fé cristã estava suficientemente abalada, o que permitiu que ele abandonasse a crença na fixidez das espécies.

E nessa altura, o problema das espécies tomou-se o ponto focal dos interesses biológicos de Darwin.

A origem de novas espécies

Darwin chamou a sua grande obra *On the Origin of Species,* porque ele tinha plena consciência do fato de que a mudança de uma espécie para outra era o problema mais fundamental da evolução. A espécie fixa, essencialista, era a fortaleza a ser atacada e destruída; uma vez feito isso, o pensamento evolucionista se precipitaria pela brecha como uma represa pela racha de um dique.

Curiosamente, a origem das espécies não havia sido um problema científico antes do século XVIII. Enquanto não se fazia uma distinção real entre espécies e variedades, e enquanto era vastamente difundida a idéia de que as sementes de uma planta podiam produzir plantas de outra espécie – vale dizer, enquanto permanecia vago todo o conceito de "tipos" de organismos-, a especiação não constituía um problema sério. Somente começou a sê-lo depois que os taxionomistas, particularmente

Ray e Lineu, haviam insistido em que a diversidade da natureza consistia nas espécies fixas e bem delimitadas. Desde que as espécies, naquele tempo, eram definidas essencialisticamente, elas só

poderiam originar-se por um evento súbito, um salto ou uma "mutação" (como depois designado por de Vries). Essa era, por exemplo, a explicação antecipada por Maupertius:

> Não se poderia explicar por essa forma como, a partir de somente dois indivíduos, tenha resultado a multiplicação das mais variadas espécies? Seu primeiro aparecimento poderia simplesmente ser devido a algumas produções casuais, em que as partículas elementares não teriam conservado a ordem dos animais paternos e matemos: cada grau de erro teria resultado em uma nova espécie; e por desvios repetidos, ter-se-ía produzido a infinita diversidade de animais que conhecemos hoje. (1756: 150-151.)

Darwin não foi o primeiro a se preocupar com a origem da diversidade, mas as soluções pré-darwinianas eram não-evolucionistas. De acordo com os teólogos naturais e outros teístas, todas as espécies e os *taxa* superiores foram criados por Deus, enquanto Lamarck atribuía isso à geração espontânea, um *deus ex machina.* Toda linha evolutiva, segundo ele, era o produto de uma geração espontânea, em separado, de formas simples, que a seguir evoluíram para organismos mais perfeitos. Tal postulado simplesmente não explicava nada.

O que todos os essencialistas consideravam, desde Maupertius a Bateson, era particularidade que se a espécie é tipologicamente definida, então a especiação instantânea, por mutação, é um dos dois únicos métodos concebíveis de especiação. Que tal especiação espontânea podia efetivamente acontecer (por poliploidicidade) foi um fato que só veio a ser provado na segunda década do século XX. A outra única forma possível de especiação, no seio do paradigma essencialista, é por hibridação, como proposto por Lineu (Larson, 1971: 102). Depois que Lineu havia descoberto três ou quatro híbridos naturais, e os chamou de espécies novas, deixou-se dominar pela idéia de que todas as espécies resultavam da hibridação. No decurso dos anos 1760 e 1770, seus pontos de vista começaram a ficar cada vez mais bizarros, e ao final ele admitia que Deus havia criado somente as ordens das plantas, e que todos os *taxa* das categorias abaixo da ordem, descendo até as espécies, eram o resultado de uma "mistura", isto é, da hibridação.

Tal conclusão foi vigorosamente combatida pelos contemporâneos de Lineu. O produtor de plantas híbridas, Kölreuter, realizou diversas espécies híbridas nos anos 1760, mas demonstrou que, contrariamente às afirmações de Lineu, tais híbridos não eram estáveis (Capítulo 14). Em gerações híbridas posteriores, ele observou grande segregação e uma gradual, mas inevitável, diluição das espécies supostamente novas. Isso foi um grande alívio para os essencialistas, pois era simplesmente fora de cogitação que alguém pudesse produzir um novo *eidos,* misturando ou fundindo dois outros anteriores.

Para um moderno, é difícil imaginar que antes de Darwin todo o mundo era virtualmente um essencialista. Cada espécie possuía a sua essência específica, e por isso era impossível que pudesse mudar ou evoluir. Era a pedra angular do pensamento, como de um Lyell. A natureza toda, segundo ele, consistia em tipos constantes, cada um deles tendo sido criado num tempo definido. "Existem limites fixos, além dos quais os descendentes de progenitores comuns nunca poderão afastar-se de um certo tipo". E afirmava enfaticamente:

> É completamente ocioso … discutir sobre a hipotética possibilidade da conversão de uma espécie em outra, quando existem causas conhecidas, bem mais ativas em sua natureza, que

intervirão sempre para impedir a efetiva realização de tais conversões (1835, II: 162).

Todavia, é debalde que se procura no *Principies* de Lyell alguma indicação dessas causas. Era simplesmente impossível a adoção do pensamento evolutivo, antes que fosse destruído o dogma da constância das espécies. Lyell e seus adversários "catastrofistas" mostravam que é perfeitamente concebível compatibilizar os documentos fósseis com um conceito essencialmente não-evolucionista da história da terra.

Ao nos darmos conta da dominação do pensamento essencialista, outro enigma facilmente se dissolve. Por que todas as tentativas dos 150 anos precedentes, de desenvolver uma teoria substancial da evolução, de Leibniz a Lamarck e Chambers, foram tão fracassadas? Tais fracassos são usualmente atribuídos à falta de um mecanismo razoável de explicação. Isso em parte é verdade, mas não é a verdade toda, como indicado pelo fato de que a maioria dos biólogos que aceitavam a teoria da evolução, depois de 1859, ao mesmo tempo rejeitava o mecanismo explicativo proposto por Darwin, a seleção natural. O que os converteu ao evolucionismo não foi a particularidade de que agora dispunham de um mecanismo, mas sim que Darwin havia demonstrado o potencial evolutivo das espécies, tomando dessa forma possível a teoria da descendência comum, que explicava com tão grande sucesso quase todos os aspectos relativos à diversidade orgânica, que antes constituía um enigma. A destruição do conceito das espécies constantes, bem como a formulação e a solução do problema da multiplicação das mesmas foram as bases indispensáveis para uma sólida teoria da evolução.

Essa nova maneira de encarar o problema da evolução Darwin não a deveu a Lamarck ou a qualquer outro dos seus assim chamados precursores. Todos eles se preocupavam com a evolução vertical, com a perfeição ascendente, com a evolução em grande estilo. Foi muito mais Lyell, o antievolucionista, que deu a contribuição crucial, operando a ação reducionista de dissecar o movimento evolutivo em seus elementos, as espécies. [6] Lyell sentia que nunca se haveria de chegar a conclusões firmes em relação à história da vida orgânica, enquanto se formulasse o argumento em termos daquelas generalidades, como a progressão e tendências para a perfeição, como o fez Lamarck. A vida orgânica, dizia Lyell, consiste nas espécies. Se existe a evolução, como proclamava Lamarck, as espécies devem ser os seus agentes. Portanto, o problema da evolução não pode ser resolvido por meio de vagas generalidades, mas somente pelo estudo das espécies concretas, sua origem, e sua extinção. Isso o levou a formular algumas questões muito específicas: As espécies são constantes ou mutáveis? Se constantes, pode cada uma delas ser erguida retrogressivamente até sua origem única no tempo e no espaço? Desde que as espécies se extinguem, o que limita o seu período de vida? Podem a extinção e a introdução de espécies novas ser atualmente observadas, e atribuídas a fatores ambientais atualmente observáveis?

Admiravelmente, Lyell dessa forma armou as questões certas, questões sobre as quais Darwin e Wallace se debruçaram nas décadas seguintes. O próprio Lyell, sendo um essencialista irredutível, chegou logicamente a respostas erradas para essas perguntas. Para ele, eram tipos que se originavam e tipos que desapareciam. A extinção e o nascimento da espécie eram os dois lados da mesma moeda. Ele nunca entendeu, pelo menos não até que Darwin e Wallace lhe tenham apontado isso, que a evolução de um população de espécie nova é um processo totalmente diferente da extinção dos últimos sobreviventes de uma espécie que definha.

Por volta de 1820, quase todos os geólogos concordavam em que muitas espécies se

extinguiram ao longo do tempo, e que foram substituídas por espécies novas. Diversas teorias concorrentes foram propostas para explicar tanto a extinção como a introdução das novas espécies.

Alguns geólogos acreditavam que as extinções foram catastróficas, chegando em alguns casos extremos, como Agassiz, a admitir um Deus que repetidamente destruía toda a sua criação anterior. Ou seria que as espécies individualmente desaparecem, seja porque o seu tempo de vida se esgotou, seja porque as condições se lhes tomaram inadequadas? Foi muito importante para o desenvolvimento das teorias de Darwin que Lyell tenha optado pela última dessas alternativas, chamando assim a atenção para a ecologia e a geografia, e o papel que desempenham na história das faunas e das floras.

O *Principies of Geology,* de Lyell, era a "bíblia" de Darwin no que concernia à evolução. Há muitas evidências de que, durante a maior parte da viagem do *Beagle,* Darwin aceitava as conclusões de Lyell sem reservas. Lyell partia das mesmas duas observações de Lamarck: as espécies vivem num mundo constantemente (embora lentamente) em mudança, e são extremamente bem adaptadas à sua circunstância enquanto existem. Considerando que Lamarck acreditava que as espécies não podiam se extinguir, ele concluía que elas devem submeter-se a constantes mudanças evolutivas, para permanecerem adaptadas às alterações do seu meio. Lyell, na qualidade de essencialista e teísta, acreditava que as espécies são constantes e não podem mudar, e que por isso não se adaptam às mudanças do ambiente, devendo então perecer.

A explicação de Lyell para a extinção é razoavelmente plausível. Ele contribuiu também para um pensamento importante, depois desenvolvido, em particular, por Darwin: Não são apenas os fatores físicos do meio ambiente que podem causar a extinção, mas também a competição com outras espécies mais bem adaptadas. Tal explicação estava evidentemente em acordo com o conceito da luta pela existência, como amplamente admitido, antes mesmo que Darwin tivesse lido Malthus.

Lyell foi muito menos bem sucedido nas suas tentativas de explicar a substituição das espécies extintas. No intuito de dar suporte ao seu princípio do uniformitarismo, ele postulava que as espécies novas eram introduzidas numa proporção essencialmente constante, mas falhou completamente, seja em mostrar qualquer evidência para tal introdução, seja na sugestão de algum mecanismo. Dessa forma, ele se expôs às críticas de um comentador alemão do *Principies* – Bronn – , que acusou Lyell de haver abandonado o princípio da uniformidade com respeito à vida orgânica. Lyell tentou defender-se (1881), numa carta ao seu amigo Herschel, dizendo que algumas causas intermediárias desconhecidas podiam ser responsáveis pela introdução das novas espécies. Todavia, a descrição do processo pelo qual as novas espécies são introduzidas não é compatível com quaisquer causas secundárias concebíveis:

> As espécies podem ter sido criadas sucessivamente em tais tempos e em tais lugares, de sorte a tomá-las aptas a se multiplicarem, a durarem por um determinado período e a ocuparem um determinado espaço no globo.

A reiterada escolha da palavra "determinado" está a indicar que, para Lyell, cada criação era um evento cuidadosamente planejado (Mayr, 1972b). Tão franco apelo ao sobrenatural preocupava um pouco o próprio Lyell, e ficou então bastante consolado com as palavras de Herschel:

> Por toda espécie de analogias, somos levados a supor que [o criador] opera por meio de uma

série de causas intermediárias e que, em decorrência disso, a instalação das espécies novas, se jamais chegaremos a conhecê-la, revelar-se-ia como sendo um processo natural, em vez de miraculoso.

Na qualidade de matemático e astrônomo, Herschel não se dava conta de que, a não ser para a evolução (e, como hoje sabemos, para alguns processos cromossômicos), não existem causas intermináveis que possam produzir espécies constantes, no tempo certo e no lugar certo. Fica bem claro que aquilo que Herschel e Lyell postulavam era exatamente o tipo de milagre que abertamente repudiavam. Em outras passagens, é certo, Lyell admitia francamente que era adepto da "hipótese da intervenção perpétua", com respeito ao conceito da criação (Lyell, 1970: 89). Nenhuma surpresa que Darwin tenha dado tanto espaço, no *Origin,* à rejeição da hipótese da criação especial (Gillespie, 1979).

É simplesmente impossível desenvolver uma teoria evolutiva com base no essencialismo. As essências, sendo invariáveis no espaço e no tempo, são fenômenos não-dimensionais. Desde que desprovidas de variação, elas não podem evoluir, ou fazer brotar espécies incipientes. Lyell imaginava que havia resolvido o problema da introdução das espécies novas, destacando que elas ocupariam estações vacantes (nichos). Como um essencialista (e exatamente como Lineu), ele pensava na especiação em termos da introdução de um único par, que seria o progenitor da nova espécie. Há razões para acreditar que Darwin, antes de março de 1837, tenha tido semelhantes idéias tipológicas. Isso vem indicado pela sua descrição da origem da segunda espécie de *Rhea,* na América do Sul. Não se fez nenhum progresso no problema da especiação, até que os naturalistas não descobrissem que os *taxa* da espécie são fenômenos dimensionais. As espécies possuem uma extensão no espaço e no tempo; elas são estruturadas, e consistem em populações que, pelo menos em parte (quando isoladas), são independentes umas das outras. Por isso, contrariando a insistência de Lyell, as espécies variam, e cada população isolada de espécie é uma espécie incipiente, e fonte potencial da origem da diversidade. Segundo a tese de Lyell, o nicho vacante do pássaro canoro imitador das Galápagos teria sido preenchido (por que meio que fosse) pela espécie do pássaro canoro imitador nas Galápagos. Em todo caso, que cada ilha tivesse a sua própria espécie era algo que não se explicava pelo mecanismo lyelliano. O isolamento e a evolução gradual haveriam de explicar isso. Essa é a lição que Darwin aprendeu da avifauna das Galápagos.

Darwin se torna um evolucionista

Longas pesquisas foram efetuadas nos anos recentes, com o objetivo de reconstruir, passo a passo, a "conversão" de Darwin. O que o próprio Darwin diz a respeito do tempo em que se tomou um evolucionista não é muito confiável. Ele abre a introdução do *Origin of Species* com as seguintes frases:

> Quando a bordo do H. M. S. *Beagle,* na qualidade de naturalista, fiquei muito impressionado com certos fatos relativos à distribuição dos seres vivos da América do Sul, e às relações geológicas dos seus habitantes atuais com os do passado desse continente. Tais fatos pareceram-me lançar alguma luz sobre a origem das espécies – esse mistério dos mistérios, como foi chamado por um dos nossos maiores filósofos.

Isso implica que, como também confirmado por asserção semelhante na sua autobiografia, ele se tomara um evolucionista durante a fase sul-americana da viagem do *Beagle*. Todavia, isso não se comprova pelos seus diários. Com efeito, ao fazer suas coletas nas Galápagos, rotulava os seus espécimes das diferentes ilhas como simplesmente "Galápagos", completamente alheio ao fenômeno da variação geográfica. [7] Ele deveria ter percebido a verdade, quando o governador das Galápagos lhe disse que as tartarugas de cada ilha eram reconhecidamente diferentes das de outras ilhas, mas essa observação não foi bastante. Contudo, o que Darwin viu nas Galápagos intrigou-o o suficiente para assentar estes comentários proféticos, por ocasião da viagem de retorno do *Beagle* (junho? de 1836):

> Quando vejo essas ilhas, confrontando-as umas com as outras, e habitadas por um reduzido estoque de animais, ocupadas por esses pássaros que diferem apenas ligeiramente na sua estrutura, e que ocupam o mesmo espaço na natureza, devo suspeitar que sejam variedades … Se existir um mínimo fundamento para essas observações, a zoologia dos Arquipélagos bem que merece ser examinada: pois esses fatos solapariam a estabilidade das espécies (Barlow, 1963).

Foi só em março de 1837, quando o célebre ornitologista John Gould, que ordenava as coleções de pássaros de Darwin, lhe disse que a diferença específica dos pássaros canoros imitadores *Mimus,* por ele coletados em três ilhas diferentes das Galápagos, que Darwin reconheceu finalmente o processo da especiação geográfica. Aparentemente, só bom tempo depois ele percebeu que alguns dos tentilhões também eram exclusivos de certas ilhas. Em consequência disso, como Darwin afirmou no *Origin,*

> ao comparar … os pássaros das ilhas separadas do arquipélago de Galápagos uns com os outros, e com os do continente americano, fiquei chocado com o caráter perfeitamente vago e arbitrário da distinção entre espécies e variedades (p. 48).

Ficou claro para Darwin que muitas populações (como as chamaríamos hoje) eram intermediárias entre a espécie e a variedade, e que particularmente as espécies de ilhas, quando estudadas geograficamente, se revelavam como desprovidas da constância e da nítida delimitação apregoadas pelos criacionistas e essencialistas. O conceito de espécie de Darwin foi, assim, sacudido nos seus fundamentos.

A primavera de 1837 foi uma das mais ativas na vida de Darwin, e no verão voltou a dar prosseguimento à sua conversão ao evolucionismo. No seu diário, ele escreveu:

> Em julho [1837], aberto o primeiro caderno sobre 'Transmutação das Espécies" – Grandemente impressionado, desde mais ou menos o mês de março anterior, com o caráter dos fósseis da América do Sul – e das espécies do arquipélago de Galápagos. Esses fatos (especialmente os últimos), origem de todos os meus pontos de vista.

Seu encontro com Gould, em março de 1837, foi o divisor de águas no pensamento de Darwin. [8]

A destruição do conceito de espécie constante teve um efeito dominó. Subitamente, tudo apareceu sob uma nova luz. O que parecia tão enigmático a respeito das suas observações no *Beagle,* agora parecia acessível a uma explicação:

> Durante a viagem do *Beagle,* fiquei profundamente impressionado com a descoberta, na formação pampeana, de grandes animais fósseis, cobertos com uma armadura semelhante à dos atuais tatus; em segundo lugar, com a maneira como animais estreitamente aparentados se substituem entre si, a partir do sul do continente; em terceiro lugar, com o caráter sul-americano da maioria das produções do arquipélago de Galápagos, e mais especificamente com a diferença ligeira que mostram entre si, em cada ilha do grupo; e nenhuma dessas ilhas parece ser muito antiga, num sentido geológico. Era evidente que fatos como esses, assim como muitos outros, podiam ser explicados com base na suposição de que as espécies se modificam gradualmente; e o assunto me assombrou (*Auto:* 118-119).

O aspecto da evolução que era claramente do interesse maior de Darwin foi a questão das espécies, e de modo mais amplo as questões relativas à origem da diversidade: a comparação dos fósseis com as faunas vivas, as faunas tropicais e das zonas temperadas, faunas de ilhas e faunas continentais. Evidentemente, Darwin abordou o problema da evolução de maneira totalmente diferente de Lamarck, e os problemas da evolução da diversidade continuaram a dominar o seu pensamento e os seus interesses.

Seria enganadora a afirmação de que a partir desse momento Darwin tinha uma idéia clara da especiação. Como foi mostrado por Kottler (1978) e Sulloway (1979), ele vacilou bastante sobre a especiação ao longo da sua vida. Em particular, há indicações de que ele podia ter pensado que a especiação nas ilhas é diferente da dos continentes. Da mesma forma como certos biólogos ainda hoje em dia, Darwin parecia ter considerável dificuldade em visualizar barreiras no continente que pudessem isolar espécies incipientes, e acreditava que o seu princípio da "divergência de caracteres" poderia superar essa dificuldade.

Encontram-se na literatura duas interpretações extremas, relativas ao desenvolvimento da teoria darwiniana da evolução, ambas claramente equivocadas. Segundo uma, Darwin desenvolveu a sua teoria na sua integridade, tão logo ocorreu a sua conversão ao evolucionismo. O outro extremo é dizer que Darwin mudava constantemente as suas idéias, e que nos últimos anos abandonou completamente seus primitivos pontos de vista. A verdade, que parece emergir de pesquisas recentes e do estudo das suas anotações e manuscritos, é que no início (em 1837 e 1838) Darwin adotou e rejeitou, em rápida sucessão, uma série de teorias, mas que, pelo resto da sua vida, mais ou menos manteve a substância da teoria por ele desenvolvida nos anos 1840, conquanto em certa medida tenha mudado de idéia em relação à importância de certos fatores (como o isolamento geográfico e a hereditariedade tênue), sem contudo entrar em contradição consigo mesmo. De fato, suas afirmações sobre a evolução, na sexta edição do *Origin* (1872) e no *Descent of Man* (1871), são notavelmente semelhantes aos enunciados do ensaio de 1844 e da primeira edição (1859) do *Origin,* apesar de todas as afirmações em contrário.

A especiação geográfica

Darwin e Wallace inauguraram uma aproximação do problema da origem das espécies inteiramente diferente do que fizeram os seus "precursores". Em vez de comparar os *taxa* na dimensão temporal, eles compararam os *taxa* contemporâneos na dimensão geográfica, vale dizer, eles compararam populações e espécies que se substituem geograficamente. Na realidade, o conceito de especiação geográfica não era de forma alguma inteiramente novo em 1837, quando ocorreu a Darwin. Buffon talvez tenha sido o primeiro a chamar a atenção para o fato de que, ao passarmos de um país para outro muito distante, descobrimos que muitas espécies do primeiro são representadas no país distante por espécies semelhantes. Por exemplo, quando se comparam os mamíferos da Europa com os da América do Norte, é realmente difícil decidir se o castor, o bisão, o cervo vermelho, o lince, a lebre da neve, para só mencionar alguns exemplos, pertencem a uma mesma espécie, nos dois países, ou a espécies diferentes. O mesmo problema se põe para as espécies de pássaros, insetos, e muitas plantas.

Poucas décadas depois de Buffon, o grande zoólogo Peter Simon Palias (1741-1811) descobriu semelhantes duplas de formas vicárias, ao comparar as faunas européias com as siberianas. Um estudo mais atento revelou que as formas mais distantes eram muitas vezes correlacionadas entre si por uma corrente gradual de intermediários. O princípio da variação geográfica foi descoberto por esses e outros estudos semelhantes, princípio esse que ajudou grandemente a destruir o conceito essencialista da espécie. Todavia, só em 1825 Leopold von Buch formulou o que parecia ser a conclusão lógica dessas observações:

> Os indivíduos de um gênero se espalham pelos continentes, migram para regiões distantes, formam variedades (por diferenças de locais, de alimentação e de solo) que, devido à sua segregação [isolamento geográfico], já não podem cruzar-se com outras variedades, e assim tomar ao tipo original. Finalmente, essas variedades se consolidam e passam a ser espécies separadas. Mais tarde podem de novo ocupar a área de outras variedades, que da mesma forma se alteraram, mas as duas já não cruzam, e dessa maneira se comportam como "duas espécies muito diferentes" (pp. 132-133).

Von Buch apontou com muito discernimento para os aspectos cruciais da especiação geográfica: a segregação espacial das populações, a sua gradual mudança durante o isolamento e a concomitante aquisição de características específicas de espécie (principalmente mecanismos de isolamento), que fazem com que essa espécie nova possa voltar ao espaço da espécie genitora, sem misturar-se com ela. No começo, era assim que se apresentava a teoria darwiniana, como transparece das suas anotações e dos seus primeiros ensaios. [9] E é certo que durante toda a sua vida Darwin considerava o isolamento geográfico um componente muito importante da especiação. Isto se comprova por algumas afirmações no *Origin:*

> O isolamento, por impedir a imigração, e consequentemente a competição [sem falar da suplantação!], dará tempo a qualquer nova espécie para aperfeiçoar-se lentamente; e isso por vezes pode ser de importância na produção de novas espécies (p. 105).

Ao falar das espécies nas ilhas oceânicas, Darwin diz:

> Uma proporção muito grande delas é endêmica, isto é, foi produzida ali, e em nenhuma outra parte. Daí que, à primeira vista, uma ilha oceânica parece ter sido altamente favorável à produção de uma nova espécie (p. 105).

Evidentemente, a nova espécie que dessa forma se desenvolveu numa ilha deve ter descendido de imigrantes: "É uma regra quase universal que as produções endêmicas das ilhas são aparentadas com as do continente mais próximo, ou de outras ilhas vizinhas" (p. 399). E falando de arquipélagos, diz:

> O fato realmente surpreendente, neste caso do arquipélago das Galápagos, e em menor grau em algumas situações análogas, é que as novas espécies que se formaram nas ilhas separadas não se espalharam muito depressa para as outras (p. 401).

A origem das espécies – ou seja, a multiplicação das espécies – é um problema-chave de tal ordem, na teoria darwiniana da evolução, que se esperaria com certeza fosse objeto exclusivo de um dos quarenta capítulos do *Origin.* Mas isso não acontece. A discussão da especiação constitui uma parte do Capítulo IV ("Natural Selection"; pp. 80-130), um capítulo que trata principalmente das causas da mudança evolutiva e da divergência. Ao ler esse capítulo, fica-se atônito com a insuficiência da análise. Embora Darwin não o diga com tantas palavras, ele virtualmente implica que o isolamento geográfico e a seleção natural são mecanismos alternativos para a produção das espécies. Curiosamente, essa aparente confusão nunca foi analisada com propriedade por um historiador moderno. Nenhuma surpresa, portanto, que isso tenha confundido muitos leitores do *Origin,* inclusive Moritz Wagner; e a confusão continua até o presente. Assim, um autor como Vorzimmer chegou a dizer (1965: 148): "Seleção natural é o nome que Darwin deu ao processo de especiação, tal como por ele descrito". O que mais espanta é a ambiguidade de Darwin, pois a especiação é o fenômeno mais característico da evolução "horizontal", enquanto a seleção natural é a força motriz da evolução "vertical". Seu livro das espécies aparentemente devia ter por título *Seleção Natural,* e foi sob esse título que o manuscrito foi efetivamente publicado (em 1975), enquanto o resumo de 1859 se intitulou (sumariamente) *On the Origin of Species,* implicando ainda a equivalência dos dois termos. A especiação, para Darwin, segundo parece, sempre era antes de tudo um aspecto da seleção natural, como também transparece claramente de algumas das suas réplicas a Wagner.

Antes de tomar-se um evolucionista, enquanto ainda adepto do conceito de Lyell de um tempo de vida determinado para cada espécie (com súbito aparecimento e súbita morte), Darwin mostrava-se bastante intrigado com a "introdução" de novas espécies nos continentes. Assim, quando descobriu uma segunda espécie de *Rhea* (avestruz sul-americana) nas planuras monótonas da Patagônia, ele pensava que a sua origem devia ter sido provocada por uma "mudança não-progressiva [isto é, não-gradual]: resultado brusco da alteração de uma espécie" (Darwin, 1980: 63).

Nos anos imediatamente posteriores à sua conversão ao evolucionismo, ele explicava a especiação, não apenas nas ilhas mas também nos continentes, como sendo ocasionada por barreiras geográficas, como oceanos, rios, cordilheiras de montanhas e desertos (cf. Essay, 1844). Além disso, ele postulava que partes de continentes (por exemplo, a África do Sul) podiam ter experimentado rápidos períodos de afundamento, durante os quais eles se converteram temporariamente em

arquipélagos, proporcionando assim o necessário isolamento (*Origin*: 107-108), até que depois de novo vieram à tona. Das suas anotações, sabemos hoje o quanto Darwin, ao tempo, aceitava a necessidade do isolamento geográfico para a especiação.

Fica-se, portanto, bastante surpreso, quando se descobre até que ponto Darwin mais tarde reviu as suas posições, no *Natural Selection* (escrito nos anos 1856-1858) e no *Origin* (1858-1859). Ele se mostra agora perfeitamente pronto a aceitar a especiação simpátrica em relação a muitas espécies continentais, devida a algum tipo de especialização ecológica, de *habitat,* sazonal ou comportamental. Ele aplicou esse mecanismo particularmente a espécies cujas áreas eram ligeiramente sobrepostas, ou simplesmente que tinham contato umas com as outras ("osculando-se"). Tais distribuições são hoje chamadas parapátricas. Elas são comuns, particularmente nos trópicos, e são interpretadas como zonas de contato secundário de espécies anteriormente isoladas, ou de espécies incipientes. Darwin, por outro lado, tinha como certo que esses padrões de distribuição se desenvolveram *in loco*.

> Não tenho dúvidas de que muitas espécies se formaram em pontos diferentes de uma área absolutamente contínua, onde as condições físicas se alteram de um ponto a outro, do modo mais imperceptível *(Nat. Sel.:* 266).

Como explica alhures, ele admitia que uma variedade podia desenvolver-se num extremo da corrente das populações, outra no outro extremo, e finalmente, uma variedade intermediária, na zona estreita onde as duas maiores se encontram. Uma vez que as duas maiores ocupariam uma área maior que a variedade intermediária, elas a dominariam bem depressa e, de um modo estritamente tipológico, determinariam a sua extinção. Isso haveria de causar uma nítida descontinuidade entre as duas variedades maiores, completando-se dessa forma a especiação. Como ele disse no *Origin* (p. 111): "As diferenças menores entre as variedades passaram a avolumar-se em grandes diferenças entre as espécies" (veja também pp. 51-52, 114, 128).

Darwin incorreu numa omissão básica, não dividindo o isolamento no seus dois componentes: barreiras geográfico-ecológicas extrínsecas e mecanismos de isolamento intrínsecos. Isto vem comprovado por uma afirmação no *Variation* (1868, II: 185).

> Segundo o princípio de que o homem, ao selecionar e melhorar as suas variedades domésticas, necessita de separá-las, seria claramente vantajoso para as variedades no estado natural, isto é, as espécies incipientes, que pudessem ser impedidas de se misturarem, seja por meio da aversão sexual, seja tomando-se mutuamente estéreis.

Ele perdeu completamente de vista que aqui estava tratando de dois princípios completamente diferentes. As raças de animais domésticos são desenvolvidas estritamente por isolamento espacial (mini-geográfico), enquanto Darwin não explica de forma alguma a maneira como na natureza podem se estabelecer diferenças genéticas, que levam à aversão sexual ou à esterilidade mútua.

Darwin ignora essa mesma dificuldade quando enumera casos em que os membros de uma mesma variedade cruzam de preferência entre si (i*homogamia*), ao se colocarem em contato duas "variedades" diferentes. Ele cita treze casos (Ato. *Sei.*: 258) em que pensa que esse cruzamento preferencial tem sido observado. Na realidade, quando examinados mais de perto, nenhum desses casos comprova aquela argumentação. Omitindo-se os casos impróprios (como a aproximação fora do tempo do acasalamento), cada uma daquelas "variedades", hoje parcialmente separadas por isolamento comportamental, se originou claramente durante um período precedente de isolamento espacial, em que o isolamento genético pôde se estabelecer. Isso Darwin não viu, porque naquela época ele não levava em consideração as barreiras ecológicas (vegetais), inclusive as causadas pelos avanços das geleiras do Pleistoceno.

O certo é que, entre os anos 1844 e 1856, aconteceu uma mudança bastante drástica no pensamento de Darwin, quando começou a escrever o seu *Natural Selection.* Na época em que tentei identificar as razões da posterior degradação, feita por Darwin, do papel do isolamento (Mayr, 1959b), ainda não tinha sido descoberto o *Notebooks oti Transmutation,* assim a minha análise foi unilateral e incompleta. Eu atribuía as incertezas de Darwin a quatro fatores: (1) o seu uso ambíguo do termo "variedade", tanto para variantes individuais, como para subespécies (populações). Das 24 vezes que emprega o termo, no *Origin,* oito se referem a variantes individuais, seis a populações geográficas, e dez a ambas (ou são ambíguas); (2) o seu conceito morfológico da espécie (em contraste com o seu conceito anterior, biológico); (3) a sua frequente confusão do processo de multiplicação das espécies com o da evolução filética; e (4) o seu desejo de encontrar uma explicação com base no fator único (encarando, curiosamente, a seleção natural de alguma forma como uma alternativa do isolamento, em vez de como sua acompanhante).

Sulloway (1979) aceita a importância desses fatores, mas aponta quatro outros desdobramentos adicionais, no período de 1844 a 1869, que influenciaram o pensamento de Darwin: (1) o seu trabalho taxionômico sobre as cracas, em que descobriu que um conceito morfológico da espécie é mais prático do que o conceito biológico; (2) uma certa consideração de ordem tática, visando tomar as suas conclusões mais palatáveis aos seus pares, incluindo a conceituação de espécie (incipiente) como competidora, em vez de como isolado reprodutivo; (3) a transposição das suas idéias sobre pássaros e mamíferos para os invertebrados (inclusive os uniparentais) e para as plantas; e (4) a sua crescente atenção ao *princípio da divergência,* que ele reputava responsável pela origem da

diversidade nos níveis taxionômicos mais elevados.

Os quatro fatores tenderam a fortalecer a inclinação de Darwin a considerar a espécie como algo *diferente* (em vez de reprodutivamente isolada), e de não ver nenhuma necessidade de isolamento para que essa diferença se complete. Daí que o genuíno isolamento geográfico não seria indispensável. De qualquer maneira,

> certo grau de separação deve ser … vantajoso. Isso pode ocorrer com um indivíduo que, com os seus descendentes, começa a se distinguir, tão logo se caracterize como uma variedade diferente, mesmo que de modo muito ligeiro, tendendo a ocupar uma área um tanto diversa, a acasalar-se numa estação algo diferente, e preferindo o cruzamento entre si, em vez de com as variedades semelhantes *(Nat. Sel*.: 257; *Origin*: 103).

A conceituação tipológica do seu pensamento é demonstrada pela seguinte afirmação:

> Se uma espécie vier a se expandir ao ponto de exceder em número a espécie originária, então ela toma o lugar da espécie, e esta passa a ser a variedade; ou ela pode chegar a suplantar e exterminar a espécie originária; ou ambas podem coexistir, e ambas constituírem-se como espécies independentes (*Origin*: 52).

Diversas afirmações de Darwin, envolvendo a especiação simpátrica, parecem paráfrases de afirmações semelhantes que se encontram na literatura botânica daquele tempo (por exemplo, Herbert, 1837). A influência dos botânicos não é totalmente surpreendente, tendo em vista que pelos anos 1840 e 1850 Darwin tinha provavelmente maior contato com eles do que com os zoólogos.

É evidente que Darwin estava bastante inseguro quanto ao verdadeiro papel do isolamento durante o processo da especiação. E nisso ele não estava só. Owen, num comentário do *Origin,* afirmou: "O isolamento, diz o senhor Darwin, é um elemento importante no processo da seleção natural, mas como se pode falar de seleção relativamente a algo que está isolado?" Darwin, evidentemente, não disse, de fato, algo assim, mas é verdade que ele tratou da especiação geográfica no seu capítulo sobre a seleção natural. Hopkins, outro crítico, propõe um processo de especiação simpátrica, por homogamia:

> Se pudesse ser provado que existe, nas espécies mais perfeitas e mais fortes, uma tendência predominante ao cruzamento com indivíduos iguais a eles mesmos, para a transmissão do seu tipo, então deve ser admitida a necessária existência da seleção natural, como uma causa operante.

O que intrigava com toda razão os críticos de Darwin, e neste particular o próprio Huxley e outros amigos dele, era como podia a interfertilidade dos membros de uma espécie, inclusive a de variedades intra-específicas, converter-se em esterilidade. Darwin se expunha a essa crítica, afirmando constantemente que as variedades se convertem gradualmente em espécies, mas não fornecendo em parte alguma uma ilustração convincente do processo gradual da especiação geográfica.

Embora Darwin jamais tivesse abandonado completamente o conceito de especiação

geográfica, este vem referido com menos ênfase na sexta edição do *Origin* (1872) do que na primeira. O enfraquecimento da sua confiança no isolamento geográfico é indicado também por sua correspondência com Wagner, Weismann e Semper. Darwin tratou cada vez mais a especiação como um processo de adaptação, um aspecto do princípio da divergência, omitindo completamente qualquer referência à necessidade da aquisição do isolamento reprodutivo. Como Ghiselin (1969: 101) disse, com razão: "Não há uma evidência sólida de que [ao escrever o *Origin]* ele tenha concebido as espécies como populações reprodutivamente isoladas". Suas observações empíricas mostravam-lhe vezes seguidas como as ilhas eram o lugar privilegiado para o aparecimento de novas espécies, mas ele já não considerava a importância do isolamento espacial para o estabelecimento dos mecanismos de isolamento. Foi efetivamente isso que o levou a uma prolongada controvérsia com Moritz Wagner (veja o Capítulo 11).

As idéias principais de Darwin sobre especiação e evolução consolidaram-se no curso de uns poucos anos (1837-1839), embora seguisse modificando-as. Mais ou menos em 1844, ele havia concluído a composição de um importante ensaio, de 230 páginas manuscritas, que continha a essência do que efetivamente apareceu no *Origin.* [10] O próprio Darwin estava tão convencido da importância desse manuscrito, que deu instruções à sua mulher para fazê-lo publicar no caso de sua morte. Entretanto, a única pessoa a quem ousou mostrar esse documento subversivo foi o botânico Joseph D. Hooker. Quinze outros anos se passaram antes que Darwin finalmente publicasse suas teorias, e sem dúvida a demora poderia ter sido ainda maior, não fosse um evento que passamos agora a descrever. Imaginando que todo o mundo era antievolucionista, Darwin não sentia urgência em publicar os seus pontos de vista. Mas ele avaliou mal a situação. O enorme sucesso do *Vestiges,* de Chambers, deveria tê-lo advertido de que existia em tomo da evolução um interesse muito maior do que ele imaginava, e que alguém poderia, independentemente, chegar a idéias semelhantes. E efetivamente essa pessoa existia – Alfred Russel Wallace (1823-1913).

Alfred Russel Wallace

A extraordinária coincidência de que um outro naturalista chegava a uma interpretação da evolução, notavelmente semelhante à de Darwin, foi motivo de pasmo, já em 1858. Sob quase todos os aspecto, os dois homens eram tão diferentes entre si quanto o podem ser duas pessoas: Darwin, um senhor rico, com muitos anos de estudos superiores, um erudito independente, que podia dedicar seu tempo integral à pesquisa; Wallace, filho de um homem pobre, apenas com uma educação de classe média-baixa (um fator muito importante na Inglaterra vitoriana), sem qualquer formação superior, nunca particularmente bem de vida, sempre tendo que trabalhar para a sua subsistência, e isso na maior parte do tempo em uma profissão muito perigosa, como coletor de pássaros e insetos em países tropicais, infestados de febres. Mas eles coincidiam em alguns pontos decisivos. Ambos eram britânicos, ambos haviam lido Lyell e Malthus, ambos eram naturalistas, e ambos fizeram coleções de história natural em arquipélagos tropicais. Outras coisas sobre Wallace serão ditas mais adiante, ao mencionarmos, a descrição da sua descoberta independente do princípio da seleção natural, mas o papel que desempenhou ao forçar Darwin a apressar a publicação do seu livro sobre espécies deve ser relatado aqui. [11]

Wallace abandonou a escola aos 13 anos de idade, passando a ser o assistente de seu irmão, um

agrimensor, pelo período dos sete anos seguintes. Perambulando por pântanos e montes, no seu trabalho de agrimensor, Wallace tomou-se um naturalista entusiasta. Primeiramente, ele colecionava plantas, mas depois de tomar-se amigo de um dedicado entomologista. Henrv Walter Bates, ele acrescentou borboletas e besouros ao seu objeto de interesse. Em medida ainda maior do que Darwin, Wallace colheu o seu mais importante estímulo dos livros. [12] O *Journal of Researches,* de Darwin, e o *Personal Narrative,* de Humboldt, inspiraram os "dois jovens naturalistas a partir, em abril de 1848, para; a bacia amazônica, com o objetivo bem definido de "registrar fatos, como o sr. Wallace expressou em uma de suas cartas, visando resolver o problema da origem das espécies, assunto sobre o qual muito conversamos e nos correspondemos", após termos lido o *Vestiges,* no outono de 1845 (Bates, 1863; VII). Os poderosos tributários do rio Amazonas recortam toda a bacia em ilhas florestas, de tal sorte que muitos grupos de espécies são distribuídos parapatricamente, como um arquipélago. Relembrando isso, passados mais de cinquenta anos, Wallace escreveu:

> Depois de ter lido o *Vestiges of Creation,* antes da partida para a Amazônia, eu continuava a ponderar, a intervalos frequentes, o grande segredo dos passos reais por que cada espécie passou para vir a formar-se, com todas as suas especiais adaptações às condições da sua existência … Pessoalmente, eu acreditava que [cada espécie] era uma modificação direta da espécie preexistente, mediante o processo ordinário da geração, como foi argumentado no *Vestiges of Creation.*

Desde que Wallace não era um cristão ortodoxo, ele tinha menos escrúpulos em aceitar a evolução que Lyell ou Agassiz..

Em que medida os fatos da distribuição amazônica das espécies ajudaram Wallace a consolidar suas idéias é algo que nunca poderemos saber. Deixando Bates para trás, quatro anos depois, Wallace, retomando à Inglaterra, foi colhido por uma catástrofe. O navio em que viajava pegou fogo (6 de agosto, 1852) e afundou, levando consigo toda a sua magnífica coleta e a maioria dos seus diários, notas e esboços. Todavia, Wallace registrou de memória (1853) que cada uma das numerosas espécies de macacos estreitamente aparentados, pássaros de vôo curto e borboletas era confinada pelo rio Amazonas e seus tributários. Sem deixar-se abater pela desastrosa experiência da perda de quase todo o fruto dos seus quatro anos na América do Sul, Wallace planejou logo uma nova expedição, escolhendo desta vez cuidadosamente o arquipélago da Malásia, como o lugar mais apropriado para o estudo da origem das espécies (McKinney, 1972: 27). Deixou a Inglaterra no princípio de março de 1854, e menos de um ano depois (fevereiro de 1855) ele escrevia o seu célebre artigo, "Sobre a lei que regulou a introdução das novas espécies". Ao seu amigo Bates, com quem evidentemente ele havia discutido a evolução, antes e durante a sua estadia no Amazonas, escreveu o seguinte:

> Para as pessoas que não refletiram bastante sobre o assunto, pressinto que o meu artigo, sobre a sucessão das espécies, não aparecerá tão claro como o é para ti. Essas páginas, evidentemente, são apenas o anúncio da teoria, não o seu desenvolvimento.

O que Wallace realmente havia tentado fazer era resolver o problema da "introdução de novas espécies", de Lyell. Hoje sabemos, por seus cadernos de notas ainda inéditos (McKinney, 1972), que

já pelo ano de 1854 Wallace havia rejeitado a asserção lyelliana de que as espécies só variam dentro de certos limites, e que chegou à conclusão de que existe uma mudança lenta e contínua do mundo orgânico, no decurso de períodos de tempo extremamente longos. Todavia, embora a rejeição da constância das espécies lhe tivesse permitido adotar a evolução vertical lamarkiana, isso não resolvia o problema da substituição dás espécies extintas. A introdução de espécies novas continuava a ser um enigma, e foi sobre esse enigma que Wallace se debruçou. Como afirmou claramente, no seu artigo de 1855, foi a geografia, isto é, as suas observações sobre a distribuição na Amazônia e no arquipélogo malaio, que lhe forneceu a resposta:

> As espécies mais estreitamente aparentadas encontram-se nos mesmos locais, ou em áreas muito próximas e … por isso, a sequência natural das espécies, por afinidade, também é geográfica.

E essa observação o conduziu a formular a lei: *Toda espécie começou a existir coincidindo tanto no espaço como no tempo com uma espécie preexistente e estreitamente aparentada.* Ao dizer "na mesma localidade, ou em localidades bem próximas", Wallace obscurecia um pouco a localização estritamente geográfica das espécies incipientes, algo que Wagner percebeu com muito maior clareza. Sem dúvida, o processo da divisão de uma espécie parental em duas ou mais espécies-filhas, quando considerado no sentido retrogressivo, conduz automaticamente ao conceito da descendência comum e às árvores filogenéticas. Em resumo, Wallace esboçou corajosamente uma teoria da evolução, sobre uma base empírica, a saber, o padrão de distribuição de espécies estreitamente relacionadas.

Dessa forma, Wallace e Darwin introduziram uma aproximação inteiramente nova do evolucionismo (conquanto inspirados nas idéias de Lyelí) – o evolucionismo geográfico. Em vez de tentar resolver o problema da origem da diversidade via origem de novos tipos maiores de organismos, ou por meio da comparação dos *taxa* na dimensão tempo (vertical), eles compararam os *taxa* contemporâneos nas dimensões geográficas, isto é, compararam populações e espécies que se substituem geograficamente.

Como a publicação de Wallace, de 1855, afetou o pensamento e as atividades de Darwin?

A procrastinação de Darwin

Durante os vinte anos posteriores a 1837, Darwin jamais falou sobre a evolução. O interesse dele se concentrava no problema das espécies, e nas suas cartas aos amigos ele se referia à obra que estava preparando como "o livro das espécies". As espécies podem alterar-se, e pode uma espécie transformar-se em outra? Eram estas as indagações concretas de Darwin, e, no intuito de responder a tais questões de maneira convincente, ele sentia a necessidade de reunir um grande volume de evidências. Não tinham também Lamarck e Chambers proposto o fato da evolução, sem contudo angariar adeptos.

Considerando o fato de que Darwin se tomou um evolucionista em 1837, e que concedeu a sua teoria da seleção natural em setembro de 1838, seria de esperar que ele se apressasse em mandar o quanto antes para a imprensa aquilo que era a mais importante teoria biológica. Em vez disso, ele

protelou a publicação por vinte anos, e só foi levado a agir por força das circunstâncias. Por que essa incrível procrastinação? Há diversas razões para isso. Em primeiro lugar, Darwin se havia comprometido a dar prioridade às suas pesquisas geológicas, que já andavam bem avançadas e se reportavam aos relatórios do *Beagle*. Mas em 1846, quando completou suas tarefas geológicas, ele começou a se ocupar com as cracas (Cirrípedes), e dedicou os próximos oito anos da sua vida a esse assunto, em vez de ir em frente com o seu livro das espécies. Esse fato requer que se façam algumas perguntas. Em primeiro lugar, estava Darwin realmente pronto, em 1846, para começar a escrever o seu livro das espécies? A resposta é claramente não, como ele mesmo reiteradamente afirmava nas suas cartas, e como transparece com toda evidência do fato de que ele continuava aplicadamente a juntar mais fatos. Inclusive algumas das suas idéias básicas ainda não estavam inteiramente maduras – como, por exemplo, o seu "princípio da divergência", que aparentemente só lhe ocorreu pelo ano 1850.

A segunda questão é: "Por que Darwin pelo menos não se concentrou em recolher os dados ainda necessários para o livro das espécies, em vez de empregar um tempo tão desmedido no seu trabalho sobre as cracas?" Um estudo do seu cenário contemporâneo leva-me a suspeitar que Darwin tinha literalmente medo de publicar os seus pontos de vista. O clima intelectual da Inglaterra não era de forma alguma favorável à aceitação da teoria de Darwin. O *Vestiges* de Chambers, publicado em 1844, foi brutalmente feito em pedaços por todos os comentadores, a despeito dos seus sentimentos deístas. Os cientistas mais influentes, da Inglaterra, inclusive os melhores amigos de Darwin, Lyell, Hooker, e (ao tempo) também Huxley, opunham-se quase unanimemente, à evolução. Mas não era a evolução como tal que constituía algo tão difícil de ser defendido, mas muito mais a sua explicação puramente materialista, por meio da seleção natural. Gruber (1974: 35-45) descreveu muito bem o quanto Darwin se dava conta do vendaval de protestos que a sua teoria haveria de provocar; e, com efeito, como hoje sabemos, virtualmente ninguém na Inglaterra aceitou a seleção natural, após a publicação do *Origin,* exceto Wallace, Hooker, e pequeno número de outros naturalistas.

A terceira pergunta é: "Por que Darwin dedicou tanto tempo a um grupo aparentemente de tão pouca significação, como os Cirrípedes?" A resposta para isso, segundo presumo, pode ser tríplice. Antes de mais nada, é perfeitamente óbvio que ele não tinha a mínima intenção de investir oito anos nesse grupo, quando começou a ocupar-se com um gênero peculiar de cracas, que havia coletado no Chile. Todavia, desde que não estava comprometido com nenhum outro projeto, ele julgou conveniente, para a plena compreensão desse gênero chileno, estudar os seus parentes próximos e distantes, para, finalmente, preparar uma monografia sobre todo o grupo. Darwin intuía também que, se pudesse firmar a sua reputação como um sistematizador, isso daria mais peso às suas opiniões. A subsequente outorga da medalha Copley da Royal Society, por esse trabalho, constitui a evidência da correção do seu raciocínio. Por fim, ele se convenceu de que o seu trabalho com as cracas ajudava-o a entender a variação, a morfologia comparativa, o conceito da espécie e a insuficiência dos registros geológicos. Não resta dúvida que os estudos de Darwin sobre as cracas contribuíram grandemente para a sua sofisticação e competência, e, como disse Ghiselin, "o estudo realizado era nada menos que um teste crítico, rigoroso e cabal, para uma teoria abrangente da biologia evolucionista" (1969:129). Contudo, isso ainda não explica por que Darwin dedicou a esse assunto o enorme período de oito anos. Aqui só nos resta suspeitar que Darwin tinha o sentimento de estar segurando um tigre pelo rabo. Era incapaz de encontrar um ponto final adequado; e estando aparentemente sempre próximo da conclusão das suas monografias, parar mais cedo significaria

jogar fora todo um investimento prévio em dados e observações. Em todo caso, está claro que Darwin não começou o seu estudo sobre as cracas com a idéia de que isso seria excelente caminho para adquirir experiência, embora, *postfactum,* fosse isso mesmo que lhe proporcionaram os estudos sobre esse grupo.

Embora Darwin nada tivesse publicado sobre as espécies e a especiação, durante os 21 anos entre março de 1937 (quando entendeu pela primeira vez a especiação) e agosto de 1858 (quando foi publicado o artigo da Sociedade Lineana), sabemos pelos seus cadernos de notas e por sua correspondência que o problema das espécies sempre estava presente no seu pensamento. Ele sabia que a origem das espécies constituía a chave do problema da evolução, mas hesitava sempre em relação ao significado da espécie e ao processo da especiação.

Por volta de 1854, Darwin tinha essencialmente concluído o seu trabalho sobre as cracas, e começou a concentrar-se na organização das suas notas sobre a espécie. Poder-se-ia pensar que a publicação do artigo de Wallace (1855), "Introdução de novas espécies", o tenha estimulado à ação; mas isso não aconteceu. Darwin só reagiu a esse artigo pioneiro dois anos depois, e isso apenas porque o próprio Wallace lhe escreveu bastante intrigado com a exígua repercussão. Em maio de 1857, Darwin respondeu:

> Posso ver claramente que nós pensamos dentro da mesma linha e que, até certo ponto, chegamos a conclusões semelhantes … Concordo com a verdade de quase todas as palavras do seu artigo … Estou presentemente preparando o meu trabalho para a publicação, mas acho que a matéria é tão vasta … que não creio poder publicá-la antes de dois anos. (L. *L. D.:* 95-96.)

Havia, em todo caso, uma pessoa que ficou profundamente chocada com a leitura do artigo de Wallace – Charles Lyell. Ainda em 1851, em um importante pronunciamento, Lyell havia rejeitado com vigor qualquer concessão ao pensamento evolucionista. Mas no período entre dezembro de 1853 e março de 1854, ele visitou as ilhas Madeira e Canárias, principalmente para estudar o vulcanismo, mas ali constatou pessoalmente o que Buch, Darwin e outros naturalistas haviam anteriormente descrito – a extrema localização das espécies animais de cada ilha: "As Madeiras são semelhantes às Galápagos, sendo cada ilha e penhasco habitados por uma espécie distinta", escreveu ele no seu diário (Wilson, 1970). Ao trabalhar sobre as suas observações e coletas, depois do seu retorno à Inglaterra, Lyell, em 26 de novembro de 1855, leu o artigo de Wallace, e é evidente que a teoria aí contida o excitou grandemente. Começou de imediato uma série de cadernos sobre a questão das espécies, anotando o resultado das suas leituras e as suas dúvidas. Decidiu efetivamente visitar Darwin na Down House, para saber da história completa das suas pesquisas. Darwin, dando-se conta do quanto as suas idéias estavam em conflito com as de Lyell, não discutiu com ele o problema da origem das espécies, como o fizera com Hooker. Em 16 de abril de 1856, Darwin passou a Lyell um relatório completo das suas idéias. Embora Lyell aparentemente ainda não estivesse convencido, pressionou fortemente a Darwin, para que publicasse as suas idéias, antes de ser atropelado por algum outro. Estando agora removida a principal razão das suas hesitações, Darwin, um mês depois, em maio de 1856, começou a escrever o seu grande livro das espécies.

Dois anos mais tarde, em junho de 1858, quando Darwin havia completado o primeiro esboço de dez capítulos e meio, caiu-lhe o telhado sobre a cabeça. Ele recebeu uma carta de Wallace,

acompanhada de um manuscrito intitulado "Sobre a tendência de as variedades se afastarem indefinidamente do tipo original". Na sua carta, Wallace dizia a Darwin que, se julgasse o seu artigo suficientemente original e interessante, poderia encaminhá-lo a Lyell e, presumivelmente, prepará-lo para a publicação (o original da carta de Wallace não existe mais). Darwin enviou o artigo de Wallace a Lyell, em 18 de junho, com uma carta dizendo:

> Suas palavras se concretizaram furiosamente – que eu seria atropelado … Nunca vi coincidência tão marcante; se Wallace tivesse em mãos o meu esboço manuscrito, assentado em 1842, não poderia ter feito dele um melhor resumo!.. assim, toda a minha originalidade, em qualquer nível que for, será liquidada.

É bem conhecida a história como Lyell e Hooker apresentaram o artigo de Wallace na Linnean Society of London, no dia lº de julho de 1858, juntamente com extratos do *Essay* de Darwin, de 1844, e de uma carta sua a Asa Gray, de 5 de setembro de 1857. O número do *Proceedings,* contendo esses vários artigos, veio a lume aos 20 de agosto. É interessante e significativo que, nessas matérias, nem Darwin, nem Wallace fizeram qualquer tentativa de demonstrar a evolução. Eles se preocuparam principalmente com o mecanismo da evolução. Darwin principia com uma longa discussão em tomo do equilíbrio da natureza, oriundo da luta pela existência. Neste caso, era perfeitamente lógico, porque o artigo de Wallace de 1858 era claramente uma continuação do seu anterior, de 1855, em que ele concluía firmemente em favor da evolução.

A publicação do Origin

A publicação simultânea dos artigos de Wallace e Darwin, propondo a teoria revolucionária da evolução por seleção natural, teve surpreendentemente um efeito muito reduzido. O presidente da Linnean Society, no seu relatório anual de 1858, afirmava: "O ano … por certo, não foi caracterizado por nenhuma daquelas descobertas marcantes, que revolucionam de pronto, por assim dizer, o departamento da ciência em que são engendradas". O ornitologista Alfred Newton assegurou, trinta anos mais tarde, que ele foi uma exceção, e que encontrou naqueles artigos "uma solução perfeita e simples de todas as dificuldades que, pelo passado, o perturbavam por meses a fio" (Newton, 1888), e efetivamente ele persuadiu H. B. Tristram (1859) a interpretar as adaptações locais das cotovias, como sendo devidas à seleção natural.

Parecendo que não havia previsão possível para a publicação do grande livro, Lyell e Hooker pressionaram a Darwin para que escrevesse um breve resumo para uma das revistas. Para encurtar uma longa história, o "resumo", preparado entre julho de 1858 e março de 1959, resultou no *Origin,* com suas 490 páginas de texto. Embora Darwin insistisse em dizer que aquilo era apenas um extrato, ele finalmente se rendeu aos pedidos do editor, John Murray, para que omitisse do título a palavra "resumo". O volume foi publicado em 24 de novembro de 1959, e a edição inteira, de 1.250 exemplares, foi imediatamente absorvida pelo mercado livreiro. Não houve revisões de monta nas próximas duas edições (1860 e 1866), umas poucas alterações na quinta (1869), e um pouco mais ainda, inclusive um novo capítulo, na última (sexta) edição (1872). Por aquele tempo, Darwin andava tão ocupado com seus outros interesses, particularmente com as suas pesquisas botânicas e seu trabalho sobre o comportamento, que não empreendeu ulteriores revisões do *Origin.* Suas

últimas publicações, particularmente o *The Expression of the Emotions in Man and Animais* (1872) e o *The Effects of Cross and Self -Fertilization in the Vegetable Kingdon* (1876), eram tão pioneiras e eminentes que elas (como foi dito com razão), a par da sua teoria dos recifes de corais e da monografia das cracas, teriam feito de Darwin um homem famoso, mesmo que não tivesse proposto a evolução por seleção natural. A afirmação de um dos seus detratores, no sentido de que Darwin se teria refugiado nessas últimas pesquisas, após ter sido derrotado pelos adversários da sua teoria da evolução, é totalmente absurda.

Muitas vezes se tem observado o quanto foi estranho o fato de que nenhum grande zoólogo – ou fisiologista, ou embriologista, ou citologista – tenha trazido qualquer tipo de contribuição para a teoria evolucionista, e que, pelo menos durante o século XIX, eles entendiam de modo completamente errôneo todo o problema da evolução. Foi dito também como era espantoso o fato de que dois "amadores broncos", como Darwin e Wallace, tenham encontrado a solução!

Há diversas respostas para explicar esse fenômeno peculiar, mas a mais simples, sem dúvida, é que os fisiologistas, os embriologistas, e certamente a maioria dos biólogos experimentais, lidam com fenômenos funcionais, e só de modo muito indireto se encontram com problemas da evolução. O naturalista, porém, se defronta constantemente com problemas evolutivos. Nenhuma surpresa, portanto, que é ali que reside o seu interesse principal; nenhuma surpresa que sua atenção constante, voltada para esse problema, o coloca numa posição privilegiada para formular os problemas certos e encontrar as respostas e as conclusões, muito melhor do que os biólogos experimentais. Finalmente, Darwin e Wallace não eram amadores, mas sim naturalistas, profissionais altamente treinados.

Isso pode explicar por que Bemard, Helmholtz e Hertwig fracassaram tão redondamente no que se referia à evolução. Resta responder ainda, de qualquer maneira, por que Owen, von Baer, Ehrenberg, Leuckart, ou qualquer um dos outros grandes sistematizadores e anatomistas comparativos do século XIX, foram tão cegos. Provavelmente há muitas razões para o seu fracasso. No caso de Owen e de Agassiz, foi inquestionavelmente um compromisso conceitual muito forte com interpretações alternativas; no caso dos mais importantes zoólogos germânicos, como J. Müller, Leuckart, e outros, pode ter havido uma contra-reação às especulações desenfreadas dos *Naturphilosophen.* O pouco que esses zoólogos especulavam a respeito relacionava-se com a teoria morfológica e com o conteúdo informativo do desenvolvimento ontogenético. E, acima de tudo, nenhum deles era verdadeiramente um estudioso das populações naturais.

10. A EVIDÊNCIA DE DARWIN PARA A EVOLUÇÃO E PARA A DESCENDÊNCIA COMUM

Darwin estava plenamente consciente do caráter revolucionário da sua obra. Ele sabia que haveria de encontrar uma resistência maciça, e que, para levar a melhor, teria que submergir os seus adversários. Essa a razão por que se dedicou vinte anos a acumular evidências e a aperfeiçoar a lógica das suas provas. A estratégia por ele adotada, de discutir primeiro o mecanismo da evolução, e só nos últimos capítulos do *Origin* as evidências que sustentavam as mudanças evolutivas, provavelmente não seria a mesma de muitos autores contemporâneos de manuais, mas ela era coerente com a filosofia da ciência que prevalecia naquela época. (Hodge, 1977.)

Nem todos aqueles que estudaram o *Origin,* pelo passado, se deram conta de que ele não trata de uma teoria monolítica da evolução, mas sim de todo um conjunto de teorias mais ou menos independentes, que adiante serão analisadas, uma a uma, em detalhe (veja o Capítulo 11). Elas abrangem as teorias darwinianas da especiação, descendência comum, evolução gradual e seleção natural, acrescentando-se à teoria básica de que o mundo da vida não é estático, mas evolutivo, assim sendo também com as espécies de que se compõe. Darwin devia apresentar evidências para cada uma dessas teorias, e argumentar contra quaisquer alternativas potenciais. Acima de tudo, ele devia empreender a refutação da ideologia do criacionismo, ainda dominante na Grã-Bretanha da metade do século XIX, embora muitas vezes camuflada sob nomes diferentes. Por isso é que Darwin disse do *Origin* (p. 459): "Este volume é uma longa argumentação" (veja também Gillespie, 1979). É impossível fazer um extrato completo de tudo o que Darwin apresenta nas suas 490 páginas do *Origin,* mas tentarei descrever que tipo de evidências ele considerava aptas a apoiar as suas teses, e como isso era consoante com os conhecimentos biológicos dos seus dias. Proponho-me começar pelo problema de um mundo evolutivo. Como vimos, Darwin não foi o primeiro a propor uma teoria da evolução, mas foi o primeiro a propor não apenas um mecanismo exequível, a saber, a seleção natural (veja o Capítulo 11), mas também a reunir evidências tão esmagadoras que, no espaço de dez anos após 1859, dificilmente restou um biólogo competente que não aceitasse o fato da evolução.

A evidência da evolução da vida

As evidências básicas e diretas para a mudança evolutiva são de dupla ordem: para a evolução horizontal, a não-constância das espécies, tal como revelada pelas pesquisas geográficas; para a evolução vertical, os registros fósseis, tais como revelados pelas pesquisas geológicas. Já analisei anteriormente a interpretação darwiniana do problema da inconstância (multiplicação) das espécies, e volto-me agora para os registros fósseis.

As lacunas das séries fósseis

Nos anos do *Beagle,* e *pós-Beagle,* Darwin era antes de tudo um geólogo. Ele havia lido o

Principies of Geology, sistematicamente e com entusiasmo, e dessa forma estava perfeitamente familiarizado com os problemas geológicos da história da terra. Sendo, naquele período, o mais florescente ramo da história natural, a geologia tinha avançado a passos de gigante, na primeira metade do século XIX. Já não havia qualquer dúvida que a terra tinha milhões de anos de idade; mas seria velha o bastante para haver possibilitado o desenvolvimento da enorme diversidade do mundo vivo, por evolução gradual, como requerido pela teoria de Darwin? Não seria necessário postular a ocorrência de uma evolução aos saltos?

Os fósseis eram usados tanto para refutar a teoria da evolução, como o fizeram Cuvier, Agassiz, Bronn, e todos os geólogos britânicos, como para dar-lhe suporte, como o fizeram Chambers e Wallace. Por isso, foi apenas natural que Darwin tenha dedicado dois capítulos, do *Origin,* à evidência em favor da evolução. Desde os seus primeiros escritos, Darwin adotou a estratégia de antecipar-se e responder a todas as possíveis objeções às teorias, antes que estas fossem levantadas. As objeções formuladas pelos geólogos eram tão numerosas e tão formidáveis, que Darwin consagrou todo o capítulo IX à sua refutação.

Comecemos com o problema da idade da terra. Lyell, secundando Hutton, postulava uma terra de idade ilimitada. Darwin raciocinava em termos de diversos milhares de milhões de anos. Para evitar uma argumentação circular, Darwin tentou provar o seu tema recorrendo a dados puramente geológicos. Ele apresenta cifras concretas sobre a enorme espessura dos estratos geológicos, a lentidão com que se sedimentaram, o vagar dos efeitos da erosão, tudo isso fornecendo uma impressionante evidência geológica para a imensa idade do mundo. Darwin mostrava-se satisfeito, porque isso significava um tempo suficiente para poder desconsiderar a efetivação de qualquer fenômeno evolutivo observável, exatamente pela pressuposição de um processo evolutivo lento e gradual. Suas cifras reais podiam ser bastante exageradas, mas não se afastavam de uma verdadeira ordem de grandeza. Por exemplo, ele calculava que a erosão do descampado de Weald, na Inglaterra, podia ter levado trezentos milhões de anos, enquanto a melhor estimativa atual é de 70-140 milhões de anos.

Enquanto Darwin se enganava no máximo de um fator, de dois a quatro, os físicos contemporâneos erravam de diversas ordens de grandeza. William Thonson (mais tarde Lord Kelvin), ao calcular a taxa de esfriamento de um corpo do tamanho da terra (enquanto recebia calor radiante do Sol), estimou que a terra não podia ter mais de cem milhões de anos, e mais provavelmente apenas 24 milhões (Burchfield, 1975). Isso, evidentemente, não teria sido o tempo suficiente para a evolução gradativa de toda a vida conhecida, dos animais e das plantas. As afirmações de Kelvin poderiam ter induzido Darwin a abandonar a evolução gradual, e a adotar, em vez disso, uma evolução por meio de grandes variações (*sports*[†††††††], isto é, macromutações). Na realidade, Darwin estava tão seguro das suas observações que, em resposta às críticas de Jenkins, ele atribuía, nos anos posteriores, ainda menos importância aos *sports* do que em 1859. Aqui havia um confronto claro entre a evidência biológica e a evidência física. Para um físico, era impensável ter deixado de perceber algum fator importante, e assim concluía simplesmente que a teoria biológica estava errada. Darwin, embora grandemente desassossegado com as descobertas dos físicos, seguia convencido da validade das suas próprias descobertas biológicas e inferências, e por fim concluiu: "Eu sinto a certeza de que se deve atribuir ao mundo uma idade muito maior do que a que Thomson lhe deu". O biólogo, evidentemente, estava certo. Considerando o fenômeno da radioatividade, à época, desconhecido, a estimativa do físico sobre a idade da terra teve que ser ampliada de duas

ordens de grandeza, para cerca de 4,5 bilhões de anos, mais do que o suficiente para a evolução biológica. Darwin, por vezes, foi injustamente acusado de haver aceito, como Hutton e Lyell, uma idade infinita da terra.

Isso ele não fez. Ele postulava diversos milhares de milhões de anos, o que se revelou como sendo mais ou menos correto.

Alguns físicos e matemáticos, todavia, ainda continuam não se conformando muito com a cronologia adotada pelos darwinianos. Físicos dos mais famosos do mundo (como Niels Bohr e Wolfgang Pauli) manifestaram-me suas dúvidas de que o processo acidental da variação ao acaso e da seleção pudesse produzir, em menos de quatro bilhões de anos, a grande diversidade do mundo da vida e as maravilhosas adaptações mútuas dos organismos. Quando os argumentos de um grupo representativo de físicos e matemáticos foram cuidadosamente analisados por um grupo de evolucionistas, ficou claro que o cientista físico tinha uma compreensão supersimplificada dos processos biológicos envolvidos na evolução. Sendo tipologistas, deixaram de levar na devida consideração as qualidades da recombinação, produtoras da unicidade. Além disso, eles raciocinavam em termos de uma "evolução conjugada", isto é, o avanço de um genótipo homozigoto para outro, esquecendo que a mudança genética de uma espécie, durante a evolução, pode chegar simultaneamente a milhares, quando não a milhões, de *loci* genéticos. Em suma, as estimativas proféticas de Darwin foram mais uma vez confirmadas, e as críticas movidas pelos cientistas físicos revelaram-se como tendo por base conceitos impróprios para sistemas biológicos (Moorhead e Kaplan, 1967).

Porventura, o maior avanço da geologia, nos cinquenta anos anteriores ao *Origin,* consistiu no reconhecimento, delimitação e denominação das idades geológicas, desde as mais antigas – o Cambriano, de Sedgwick, e o Siluriano, de Murchison – até as Terciárias, para cuja cronologia Lyell forneceu contribuições particularmente importantes. [1] Essas pesquisas demonstraram claramente que cada uma das sucessivas formações é caracterizada por um conjunto distinto de espécies fósseis, e que a história dessa sucessão foi essencialmente a mesma em todas as partes do mundo. Houve uma controvérsia bastante áspera sobre se a sucessão das faunas representava ou não uma progressão, mas a seu tempo ficou claro que os peixes apareceram pela primeira vez no Siluriano, os répteis no Carbonífero, os mamíferos no Triássico, e os mamíferos placentários no mais tardio Cretáceo. Em grandes linhas, isso havia ficado evidente nos anos 1850, embora maior precisão tenha sido acrescentada depois de 1859.

A substituição de floras e de faunas, bem como a aparente progressão, era explicada por catastrofistas, como Agassiz, em termos não-evolutivos. Para um evolucionista, como Wallace (1855), tudo isso indicava uma "gradual … mudança da vida orgânica". Ele ainda ficou impressionado por fatos tais como que

> em cada período, existem grupos peculiares, que não se encontram em nenhuma outra parte, e que se estendem ao longo de uma ou de diversas formações … As espécies de um gênero, ou os gêneros de uma família, que ocorrem no mesmo tempo geológico, são mais estreitamente aparentadas do que aquelas que se separam no tempo … [E todos os fatos geográficos e geológicos] estão a indicar que nenhum grupo ou espécie chegaram a existir duas vezes.

Nada há de puramente casual na história da vida sobre a terra.

Todavia, somente Chambers (em grande parte baseado em informações errôneas), Darwin e Wallace pareciam ter a capacidade de ver a evidência fóssil como prova da evolução. Lovejoy (1959a) censurou os geólogos por serem tão cegos, mas é preciso dar-se conta de que a evolução, antes de 1959, significava evolução à Lamarck e Chambers, isto é, tipo uma *scala naturae,* um avanço constante, vastamente linear, do tipo "primitivo" ao mais complexo. Com apoio no fato de que os peixes conhecidos mais antigos, os Placodermos, eram altamente complexos, ou que alguns mamíferos primitivos (não-placentários) foram descobertos no Jurássico, a Idade dos Répteis, foi isso considerado uma refutação da evolução. Também estratos, bem como organismos, por vezes identificados erroneamente, aumentaram a confusão. Exceto por indicar uma progressão geral das floras (nenhum angiosperma antes do Cretáceo) e das faunas, o registro geológico era, para o evolucionista, quase mais um embaraço que uma ajuda. Se os grupos maiores de animais e de plantas evoluíram lentamente, acreditava-se que se poderiam encontrar os elos de conexão entre eles. Na realidade, nenhum deles era conhecido naquela época. O próprio *Archaeopteryx*, o elo quase perfeito entre répteis e pássaros, foi descoberto depois de dois anos da publicação do *Origin. Os* adversários de Darwin levantavam outras questões embaraçosas: Por que existem rupturas tão nítidas entre os maiores períodos geológicos? Não ilustram elas melhor o catastrofismo que o evolucionismo? Por que a maioria dos filhos mais importantes já está plenamente formada nos mais baixos estratos portadores de fósseis? Por que tantos tipos extintos, como ictiossauros, pterodáctilos e dinossauros, são tipos aberrantes, que não se enquadram em qualquer reconstrução de uma sequência evolutiva?

Não causa surpresa o fato de que todo o Capítulo IX seja defensivo, de começo a fim. Ele se abre de pronto com a pergunta mais séria dos seus adversários: Por que existem "formas específicas … que não se ligam entre si por inumeráveis elos de transição?" (p. 279). A razão, diz Darwin, é que os documentos fósseis são muito imperfeitos para a preservação de tais formas, e fornece então uma peça de evidência atrás da outra, para comprovar a sua afirmação. As pesquisas geológicas dos últimos cem anos ratificaram cabalmente a asserção de Darwin sobre a imperfeição dos registros fósseis. Da forma como estão preservados, eles são uma história da descontinuidade. Nos dias de Darwin, eles davam suporte muito mais àqueles que postulavam uma origem súbita de novos tipos e espécies (saltacionismo) do que para a evolução gradativa, por seleção natural. De fato, os hiatos dos restos fósseis, a despeito da descoberta de numerosos "elos perdidos", desde Darwin, continuam sendo tantos e tão grandes, que uma teoria de tipos novos por salto (macromutação) foi defendida por alguns paleontólogos (como Schindewolf) e geneticistas, até os anos 1940, e por certos paleontólogos ainda hoje.

Apesar da falta de uma evidência decisiva, Darwin encontrou a resposta correta, tratando de modo consistente a origem de novas espécies como a chave para a solução dos problemas evolutivos, uma lição que as ilhas Galápagos lhe ensinaram; ele "reduziu" todos os problemas macro-evolutivos ao nível de espécie, e à variação, também em nível de espécie. Em consequência disso, o capítulo sobre os registros geológicos não deixa de conter, de forma algo inesperada, umas poucas observações astutas sobre a especiação (pp. 297-298).

O que mais impressiona no tratamento que Darwin dá ao registro fóssil é o fato de ocupar-se do assunto com competência, na qualidade de biólogo. Sempre que possível, ele fornece respostas ecológicas para fenômenos intrigantes do registro geológico, seguindo nesse ponto o exemplo de Lyell. Sobre a questão de como grupos ricos e diversificados muitas vezes surgem de repente nos

registros fósseis, ele responde que isso pôde ser devido não apenas à imperfeição dos remanescentes fossilizados, mas também a mudanças de adaptação:

> Pode ter sido necessária uma longa sucessão de idades para que um organismo se adaptasse a alguma linha de vida, nova e peculiar, por exemplo voar pelos ares; mas quando isso ocorreu, e umas poucas espécies dessa forma adquiriram uma grande vantagem sobre outros organismos, um tempo comparativamente curto teria sido necessário para se produzirem muitas formas divergentes, em condições de se espalharem rápida e vastamente por sobre o mundo (p. 303).

As histórias fósseis de pássaros, morcegos e outros organismos, que invadiram violentamente diferentes zonas adaptativas, confirmaram plenamente a tese de Darwin.

Darwin estava particularmente ansioso por encontrar explicações razoáveis para o aparecimento subitâneo daquilo que se afiguravam grupos de organismos inteiramente novos, na sequência geológica, pois esse fenômeno tinha sido citado por Agassiz, Sedgwick, e o paleontólogo suíço Pictet, como argumento contra a teoria da evolução gradual. Além da mudança de zonas adaptativas, Darwin relaciona diversas outras razões para explicar a imperfeição do registro geológico (pp. 287-302); o espaço não me permite mencionar todas elas. Nas florestas tropicais, por exemplo, a imediata decomposição dos animais e plantas mortos impede a fossilização, exceto sob circunstâncias especiais, tais como o soterramento por cinzas ou lavas vulcânicas. Em áreas continentais, com reduzida erosão e sedimentação, há muitas vezes total ausência de depósitos sedimentares portadores de fósseis (por exemplo, em vastas áreas da África, do Terciário, ou em certos estágios do Triássico ou Permiano, em muitos partes do mundo). Outra causa importante para a perda de depósitos fósseis potenciais – evidentemente, desconhecida de Darwin – é o desaparecimento de plataformas continentais na zona frontal do avanço das "placas", como demonstrado pelas placas tectônicas.

A melhor evidência para o fato de que um grupo pode ser existente, sem todavia deixar qualquer traço nos registros fósseis, é fornecida por alguns tipos vivos, quase ou totalmente inexistentes como fósseis; é o caso dos peixes agnatos (lampréias e peixes disformes), que são desconhecidos, do Paleozóico ao presente. Os peixes celacantos, de grande florescimento entre o Devoniano e o Mesozóico primitivo, eram considerados como tendo sido extintos no Cretáceo (há mais de setenta milhões de anos), até que foi redescoberta uma espécie viva (*Latimeria*) em 1937, no oceano Índico.

Entre todas as origens súbitas de faunas, a que mais desconfortava a Darwin era o aparecimento repentino dos mais importantes filos de animais, nas rochas fossilíferas mais profundas. De onde poderiam ter provindo? Nos oitenta anos após 1859, essa dificuldade se tomou ainda mais séria. Onde quer que se explorassem novos estratos, os tipos mais antigos invariavelmente apareciam no Cambriano, enquanto nada se encontrava nos estratos pré-Cambrianos. E, no entanto, o Cambriano tem apenas 600-650 milhões de anos, enquanto a terra como um todo é hoje estimada como tendo a idade de 4,5 bilhões de anos. Com certeza, uma grande parte da coluna geológica é mais antiga, seguramente muito mais velha do que o Cambriano. O fato de que existem ricas faunas de trilobitas, braquiópodes e outros fósseis, nos mais antigos estratos fossilíferos, mas nenhum vestígio dos seus ancestrais comuns em camadas ainda mais profundas, forçou Darwin a admitir que: "O caso, no presente, deve permanecer inexplicável" (p. 308). Aqui, como sempre, Darwin era honesto ao

admitir uma dificuldade; uma dificuldade ainda hoje existe. Certo é que hoje em dia os registros fósseis foram estendidos à idade remota de em tomo de 3,5 bilhões de anos, graças às pesquisas de Barghom, Schopf, Cloud e outros especialistas, mas, na realidade, todos esses fósseis antiquíssimos são microorganismos, e nas camadas com mais de um bilhão de anos, procariotos (Schopf, 1978). Não temos outra escolha a não ser concluir que a maravilhosa irradiação dos invertebrados foi de fato um evento comparativamente "subitâneo", ocorrido no pré-Cambriano tardio, entre setecentos a oitocentos milhões de anos atrás. Presume-se que toda uma série de fatores tenha contribuído para aquela explosão: Pode ter havido uma mudança na química dos oceanos; a diploidicidade e a recombinação genética podem ter-se tomado mais frequentes, e mudanças no ecossistema podem ter acontecido (como a origem de tipos predatórios). Talvez nunca saberemos.

Inferências a partir do registro fóssil

Feita a tentativa de responder, no Capítulo IX, a todas as questões embaraçosas que os seus adversários poderiam levantar, Darwin estava pronto, no Capítulo X, para aplicar ao registro geológico a pergunta que fez em relação a todos os outros aspectos da diversidade e adaptação:

> Os diversos fatos e regras, relativos à sucessão geológica dos seres orgânicos, enquadram-se melhor na visão comum da imutabilidade das espécies, ou na de sua modificação lenta e gradual, por descendência e seleção natural? (p. 312).

Na realidade, Darwin sustenta a sua própria teoria não apenas contra a tese da imutabilidade das espécies, mas também contra teorias ortogenéticas, como a de Lamarck, e contra o catastrofismo (ou teorias saltacionais). O capítulo encerra uma aplicação particularmente magistral do método hipotético-dedutivo. Darwin não só apresenta a evidência geológica, mas desenvolve também alguns princípios evolutivos bastante gerais. Acentua que "a variabilidade de cada espécie é perfeitamente independente da de todas as demais" (p. 314). Em decorrência disso e de alguns fatores, cada espécie tem a sua própria taxa de evolução, e essa proporção pode ser ou muito lenta ou muito rápida. O mesmo se aplica às categorias superiores: "Os gêneros e as famílias seguem as mesmas regras gerais de aparecimento e desaparecimento, como ocorre com as espécies individuais" (p. 316). Essa ênfase na individualidade dos *taxa* e na unicidade do comportamento evolutivo de cada táxon constituía ponto de vista muito heterodoxo, numa época dominada pelo pensamento dos cientistas físicos. Estes acreditavam em regras gerais, que podiam ser expressas com precisão matemática, e supunham que os processos da evolução eram os mesmos em todos os organismos evolutivos. Isso é enfaticamente negado por Darwin: "Eu não acredito em nenhuma lei fixa do desenvolvimento, levando todos os habitantes de uma região a se alterarem, ou abruptamente, ou simultaneamente, ou numa proporção igual" (p. 314).

A extinção. Poucos aspectos do registro geológico adaptavam-se tão bem à teoria de Darwin como a extinção. Lamarck, como lembramos, considerava a extinção uma impossibilidade. A partir de Cuvier, a incessante extinção de espécies e de inteiros *taxa* superiores já não podia mais ser negada, nem mesmo por aqueles geólogos que não admitiam a sua ocorrência por catástrofes. Contudo, se negarmos a evolução, a extinção é um embaraço. Por que teria o Criador produzido tantas espécies vulneráveis? Por que teria Ele que substituí-las? E por quais processos introduziria

Ele as inumeráveis espécies novas, para preencher os espaços vazios na economia da natureza?

Para Darwin, a extinção era um fenômeno concomitante necessário da evolução. Com o mundo em constante mudança, algumas espécies já não encontrariam condições adequadas, tendo como resultado "que espécies e grupos de espécies gradualmente desapareceram, umas após as outras, primeiro de um lugar, depois de outro, e finalmente de todo o mundo" (p. 317). Em todo caso, diz Darwin, os fatores biológicos são sempre mais importantes que os fatores físicos. "Os descendentes melhorados e modificados de uma espécie em geral causam o extermínio das espécies genitoras" (p. 321). Além disso, uma espécie pode também ser eliminada "por uma espécie pertencente a um grupo distinto". Quando todo um grupo maior desaparece, como os trilobitas ou amonitas, a extinção é um processo lento e gradual, selado pelo desaparecimento da última espécie sobrevivente. "Nós não precisamos espantar-nos com a extinção", diz Darwin, "porque ela se enquadra muito bem na teoria da seleção natural" (p. 322). Mas para Lyell, ela se adaptava bem a uma teoria que tinha forte apelo emocional.

Somente nas últimas doze páginas do Capítulo X é que Darwin apresenta a evidência decisiva da evolução, da forma como é revelada pelo estudo dos registros fósseis. Suas conclusões podem ser resumidas em algumas generalizações amplas:

1. Todas as formas fósseis podem ser enquadradas "num grande sistema natural", mesmo os tipos extintos, como os amonitas (que são cefalópodes), ou os trilobitas (que são artrópodes).
2. Como regra geral, quanto mais antiga a forma, tanto mais ela difere das formas existentes.
3. Os fósseis de duas formações consecutivas são muito mais estreitamente aparentados entre si que os de duas formações afastadas.
4. As formas extintas de um determinado continente são estreitamente correlatas com as formas vivas desse continente, como na Austrália, onde os mamíferos extintos do Terciário, da mesma forma como os atualmente existentes, são principalmente marsupiais; e na América do Sul, em que a fauna extinta do Quaternário contém principalmente tatus e preguiças, como a fauna atual. A esse fenômeno Darwin deu o nome de "a lei da sucessão dos tipos".

A evidência apresentada por Darwin, nos capítulos IX e X, vem resumida por ele na seguinte afirmação:

> Dessa forma, na teoria da descendência com modificação, os fatos principais relativos às mútuas afinidades das formas de vida extintas, tanto entre si como com as formas atuais, parecem-me explicar-se de maneira satisfatória, e são totalmente inexplicáveis de qualquer outro ponto de vista (p. 333).

Considerando que a paleontologia é a única ciência biológica que pode estudar diretamente os fenômenos macroevolutivos, a teoria da evolução foi um tremendo presente para ela. Que a evolução aconteceu, e que grupos de *taxa* aparentados derivam de um ancestral comum, era fato quase universalmente aceito pelos paleontólogos, logo após 1859. Em contrapartida, duas outras teorias de Darwin – a evolução gradativa e a seleção natural – eram amplamente, de fato quase universalmente, rejeitadas pelos paleontólogos, como veremos em capítulos posteriores.

A evidência da descendência comum

A partir do momento em que Darwin abandonara o conceito da constância das espécies, não havia mais qualquer obstáculo no caminho da teoria da descendência comum. Se uma espécie ancestral de gatos pôde dar origem a diversas espécies, então era concebível, e mesmo lógico, fazer derivar todos os gatos de um ancestral comum. E desde que gatos, doninhas, cães e ursos têm muitas coisas em comum, constituía hipótese legítima fazer procederem todos eles de um ancestral comum, que deu origem a todos os mamíferos carnívoros. Dessa forma, a descendência comum, quando aplicada coerentemente, conectava entre si todos os elementos do mundo orgânico. A enorme diversidade das plantas e dos animais que, até aquele tempo, parecia tão caótica e totalmente incompreensível para a mente humana subitamente começou a fazer sentido. Esse pensamento era ao mesmo tempo tão excitante e tão satisfatório, que Darwin o expressou como um fecho de ouro, na última sentença do *Origin*:

> Há uma verdadeira grandeza nessa visão da vida, com os seus múltiplos poderes, tendo sido originalmente assoprada em algumas poucas formas, ou talvez numa só; e que … de um tão simples começo, formas infindáveis, mais belas e mais maravilhosas, se desenvolveram, e continuam a desenvolver-se.

A falha de Lamarck, Chambers, e de outros evolucionistas primitivos, de não haverem focalizado a espécie, impediu-os de descobrir a idéia da descendência comum, que, exceto em relação à seleção natural, é talvez o mais heurístico conceito desenvolvido por Darwin. Um grande volume de fenômenos da natureza orgânica, que antes de 1859 pareciam arbitrários e caprichosos, adquiriu um padrão lógico, ao ser explicado como decorrência da descendência comum. A maioria dos argumentos dos capítulos VI e X-XIII, do *Origin,* baseia-se na demonstração de que certos fenômenos são mais facilmente explicados quando devidos à descendência comum, em vez da criação especial. [2]

Darwin era grande admirador dos filósofos John F. W. Herschel e William Whewell, que baseavam em Newton o seu pensamento e metodologia científica. Sempre que possível, procurava aplicar os princípios deles nos seus próprios escritos. Isso incluía a orientação de buscar pelas leis, em todos os fenômenos naturais, em particular a busca dos mecanismos, ou causas, que fossem capazes de explicar os fenômenos em áreas muito diferentes (Ruse, 1975b; Hodge, 1977). Sob esse aspecto, a teoria da descendência comum deve ter deleitado Darwin mais do que qualquer outra coisa que tenha proposto, em vista do grande número de fenômenos que se mostrava apta a explicar. Aí se incluem a hierarquia lineana, os padrões da distribuição, os fatos da anatomia comparada e certamente todos os fatos que hoje são usualmente citados como comprovadores da evolução. A própria citologia adquiriu um novo significado, por explicar por que os animais e as plantas, tão diferentes em outros aspectos, são compostos dos mesmos elementos básicos, as células, herança dos seus ancestrais comuns.

A descendência comum e o sistema natural

Os adeptos do conceito da *scala naturae,* como vimos, acreditavam numa progressão constante,

dos organismos mais simples aos mais perfeitos. A teoria evolutiva de Lamarck baseava-se largamente nesse conceito. Todavia, quanto mais avançava o conhecimento das plantas e dos animais, tanto menos as semelhanças e as diferenças dos organismos se ajustavam a esse modelo. Em vez disso, os organismos normalmente incidiam em grupos bem definidos e muitas vezes claramente isolados, como mamíferos, pássaros e répteis, refratários a um ordenamento em sequência linear, do simples ao perfeito. Por outro lado, quase todos os *taxa* de organismos eram claramente mais parecidos com uns *taxa* do que com outros. Foi com base nesse princípio dos graus de similaridade que os naturalistas, desde Aristóteles, agruparam os organismos, resultando, desde os séculos XVII e XVIII, na hierarquia de Lineu (veja a Parte II). Como disse Darwin:

> Desde a aurora da vida, todos os seres orgânicos se revelam como semelhantes uns aos outros, em graus decrescentes, de tal sorte que podem ser classificados em grupos subordinados. Essa classificação evidentemente não é arbitrária, como o agrupamento de estrelas nas constelações (*Origin:* 411).

Mas qual era a causa da aparente padronização, e qual a natureza dos aparentes impasses? Dizer, como disse Louis Agassiz, que isso refletia os planos do Criador, não explicava nada.

Tudo, no entanto, se tomou claro a partir do momento em que se admitiu que os membros de um táxon são os descendentes de um ancestral comum. Darwin ilustra isso no seu famoso diagrama apenso à p. 116 do *Origin*. Esse princípio da descendência comum explica por que

> as espécies que descendem de um único progenitor [são] arranjadas em gêneros; e que os gêneros se incluem em, ou se subordinam a, subfamílias, famílias e ordens, unindo-se todos numa classe. Por isso, o grande fato na história natural, da subordinação dos grupos … fica, no meu conceito, plenamente explicado (p. 413).

E ficou efetivamente. [3]

Dois assuntos, porém, devem ser postos em relevo neste momento. O primeiro é que Darwin, ao propor a teoria da descendência comum, encontrou a solução para o grande problema do "sistema natural", que assoberbava os sistematizadores durante mais de cem anos. A inclusa hierarquia de grupos subordinados é uma necessidade, se as espécies descenderam de ancestrais comuns. Reciprocamente, como Darwin segue enfatizando, o fato da hierarquia dos organismos constitui evidência extremamente poderosa em favor da sua teoria. Simplesmente, não há outra explicação possível para a hierarquia, a menos que se pretenda postular um Criador extremamente caprichoso. Ao final, Darwin reitera que "a descendência é o elo de conexão escondido, que os naturalistas estavam a procurar, sob o nome de 'Sistema Natural'" (p. 433). Efetivamente, todo sistematizador, desde Darwin, aceitou o fato – ou pelo menos pouco o questionou – de que qualquer sistema de classificação deve ser coerente com a teoria da evolução, vale dizer, que todo táxon reconhecido deve consistir nos descendentes de um ancestral comum.

Por vezes, se faz a pergunta: "Darwin se tomou um evolucionista porque desejava explicar a hierarquia de Lineu?", ou mais em geral, "Qual é a conexão causai entre evolução e classificação?" Um olhar na obra de Lamarck ou Cuvier nos dará uma resposta para essas perguntas. As excelentes classificações de um Palias, Latreille, Ehrenberg ou Leuckart não levaram ao estabelecimento de

teorias evolutivas, como não levaram as de Cuvier ou Agassiz. Todos eles consideravam a hierarquia de Lineu definitiva, mas explicavam-na em termos estáticos, pois é perfeitamente possível explicar a melhor classificação "natural" em termos do essencialismo. E nem a aceitação da evolução conduzia necessariamente a uma explicação causai da hierarquia lineana. A maioria dos evolucionista primitivos, como Lamarck, raciocinava em termos da *scala naturae* e tentava, tanto quanto possível, ordenar os *taxa* superiores numa linhagem ascendente de perfeição crescente. [4] Uma resposta tentativa para as perguntas anteriormente formuladas poderia ser que o conhecimento da hierarquia de Lineu, por si só, não levaria automaticamente ao conceito da teoria da evolução, por descendência comum, mas também que o mero pensamento evolutivo (como o de Lamarck e Meckel), sem uma plena compreensão da hierarquia de Lineu, fracassaria igualmente. Darwin estava de posse dos dois ingredientes.

O homem e a descendência comum

Ordenando todos os animais numa única hierarquia (árvore filogenética) de descendência comum, apresentou-se de imediato o problema da posição do homem. Lineu (1758), sem fazer estardalhaço em tomo do assunto, incluiu o homem na sua ordem de mamíferos Primatas, e deixou muito claro, em vários dos seus escritos, o quanto julgava o homem próximo dos macacos antropóides. Não disponho de espaço para apresentar as evidências que se acumularam desde então, particularmente por meio da anatomia comparada, mostrando a semelhança essencial entre o homem e os antropóides. É bem conhecido o fato de como Goethe ficou orgulhoso por haver descoberto o osso intermaxilar no homem, cuja ausência era considerada, até então, diagnóstico da forma do *Homo*. De qualquer maneira, tudo o que Darwin disse no *Origin* (p. 488) foi o seguinte: "Será lançada uma luz sobre a origem do homem e sua história". Só em 1871 ele se sentiu preparado para afirmar, sem reservas, que o homem era originário de ancestrais simiescos. Isso já havia sido proclamado nos anos 1860 por T. H. Huxley e Emst Haeckel, e foi logo aceito pelos biólogos e antropólogos mais bem informados.

A afirmação – ou mais corretamente, a demonstração científica – de que o homem não era uma criação separada, mas integrante da torrente principal da vida, causou um tremendo choque. Isso entrava em conflito com os ensinamentos recebidos da Igreja cristã, e inclusive com os conceitos da maioria das escolas filosóficas. Isso acabou com o reino de uma visão antropocêntrica do mundo, e impôs uma reorientação da posição do homem em relação à natureza. Pelo menos em princípio, o fato apresentava uma nova base para a ética, em particular para a ética da conservação (White, 1967). As ondas do choque do "destronamento" do homem ainda não se haviam acalmado. Privar o homem de sua posição privilegiada, consequência necessária da teoria da descendência comum, constituiu a primeira revolução darwiniana. Como a maioria das revoluções,

começou por ir longe demais, como reflete na afirmação de alguns extremistas de que o homem não é "nada mais do que" um animal. Isso, evidentemente, não é verdade. Por certo, zoologicamente falando, o homem é um animal. Todavia, ele é um animal único, que difere de todos os outros sem tantos aspectos fundamentais, que uma ciência em separado do homem se justifica plenamente. Ao reconhecer isso, é preciso não esquecer, porém, de quantas maneiras, por vezes insuspeitadas, o homem revela as suas heranças. Ao mesmo tempo, a unicidade do homem, até certo ponto, justifica um sistema de valores voltado para ele e uma ética centrada no homem. Nesse sentido, um

antropocentrismo, conquanto severamente modificado, continua a ser legítimo.

Descendência comum e padrões de distribuição geográfica

Os primeiros períodos do *Origin* começam assim:

> Quando a bordo do H. M. S. *Beagle,* na qualidade de naturalista, fiquei muito impressionado com certos fatos da distribuição dos seres orgânicos da América do Sul … Tais fatos pareceram-me lançar uma luz sobre a origem das espécies – esse mistério dos mistérios.

Nos capítulos XI e XII, Darwin volta a referir-se a esses fatos da distribuição, e assim faz também na sua autobiografia. Dois fenômenos chamaram-lhe particularmente a atenção: primeiro, o fato de que a fauna das regiões temperadas da América do Sul consistia em espécies estreitamente aparentadas com as dos trópicos do mesmo continente, muito mais do que com as espécies de zonas temperadas de outros continentes; e segundo, que as faunas das ilhas (Falklands, Chiloe, Galápagos) se assemelhavam estreitamente com as das áreas adjacentes da América do Sul continental, muito mais do que com as de outras ilhas. Por isso, a história da "introdução" dessas faunas parecia algo mais importante do que a ecologia das áreas em que se produziam. Evidentemente, a distribuição não era um acaso; mas exatamente quais fatores a determinaram?

Essa não era de forma alguma uma questão nova, e é preciso fazer um breve apanhado da história da biogeografia, para entender por que Darwin, no *Origin,* levantou esse tipo de indagação. Amparados pela compreensão moderna desses problemas, podemos formular mais precisamente a questão da distribuição, que particularmente preocupava os naturalistas nos séculos XVIII e XIX: Seria o aparente parentesco das espécies de uma fauna local (macacos nos trópicos, ursos nas zonas temperadas) devido ao meio ambiente, ou a uma história comum? Seriam as distribuições afastadas resultado de criações múltiplas, ou devidas a uma separação secundária de um espaço anteriormente contínuo, ou altemativamente devidas a uma colonização à longa distância?

Os antigos já sabiam que havia diferenças regionais na distribuição dos animais e das plantas, e atribuíam a ocorrência de certas espécies a fatores climáticos, enquanto as descontinuidades, tais como entre elefantes indianos e africanos, eram atribuídas a conexões mais antigas (Hipócrates, Aristóteles, Theofrasto, e outros). Quando começou a difundir-se a idéia de que a terra era um globo, e não um disco plano, novos problemas surgiram, como por exemplo a questão da possível existência de humanos no outro lado do globo (antípodas). A livre especulação sobre tais questões foi eliminada, depois que a Igreja usurpou a total dominação sobre o pensamento ocidental, passando os problemas zoogeográficos a serem formulados em termos bíblicos. Isso tomou muito mais formidável o problema das diferentes faunas e floras. Desde que, segundo a Bíblia, toda a vida procedeu dos habitantes do Jardim do Éden, ou, mais precisamente, dos sobreviventes da Arca de Noé, os seus descendentes devem ter-se espalhado a partir do lugar em que a Arca aterrissou, supostamente sobre o monte Ararat. Tal interpretação excluía uma concepção puramente estática dos padrões de distribuição, por estar baseada na ocorrência da dispersão e migração.

Uma dispersão a partir do monte Ararat aparecia como plausível, numa época em que se conheciam apenas as faunas da Europa e das partes adjacentes da África e da Ásia. A descoberta do inteiramente desconhecido continente americano e a constatação, pelo fim do século XVII, de que ele possuía uma rica fauna, drasticamente diversa de tudo o que se conhecia no Velho Mundo, causaram enorme consternação. A posterior descoberta das faunas da África central e do sul, bem como das

índias Orientais, e finalmente da fauna singular da Austrália, levantou problemas ainda mais formidáveis para os biogeógrafos crentes. A dispersão de uma vida animal imutável sobre o todo o mundo, a partir de um único centro de criação, se tomou mais e mais uma impossibilidade lógica. [5]

O botânico J. G. Gmelin (1747) foi aparentemente o primeiro a sugerir que houve uma criação de espécies por todo o mundo. A história bíblica do Jardin do Éden e da Arca de Noé foi tranquilamente substituída por várias teorias de *centros de criação*. Alguns autores ainda postulavam uma origem a partir de um único par; outros opinavam que cada espécie se originou em número de indivíduos característicos da mesma, no espaço que hoje ocupa.

Ninguém, no século XVIII, teve tão grande influência no desenvolvimento da biogeografia do que Buffon, que por isso foi chamado pai da zoogeografia. No seu antagonismo violento com Lineu, ele se recusava a classificar os animais na base dos caracteres comuns, adotando, em vez disso, o sistema "prático" de ordená-los de acordo com a sua origem regional. Em outras palavras, ele os agrupou *em faunas*. As listas de faunas que ele por essa forma obteve possibilitaram-lhe extrair toda sorte de conclusões – por exemplo, que a fauna da América do Norte procedia da Europa.

Buffon (1779) postulava fatores causais, tanto históricos como ecológicos (Roger, 1962). Quando a terra começou a esfriar, a vida se criou primeiramente no distante Norte, porque as regiões mais tropicais ainda eram muito quentes para a vida animal. Com o gradual esfriamento da terra, as faunas nórdicas, com o declínio da temperatura, começaram a mover-se em direção aos trópicos, e uma nova fauna do Norte se originou, presumivelmente na Sibéria. A fauna que teria podido ocupar a América do Sul foi protegida, pelas montanhas do istmo do Panamá, da invasão das novas faunas nórdicas, e essa é a razão por que "de todos os animais das partes sulinas do nosso continente sequer um único se encontra nas partes meridionais da [América]" (p. 176). No velho mundo, "não se conhece nenhuma espécie grande e proeminente das regiões tropicais *[terres du Midi],* que não tenha anteriormente existido no Norte" (p. 177). Desde que Buffon acreditava que as faunas eram o produto da região, ele ficou simplesmente desnorteado pela enorme diferença das faunas tropicais dos dois continentes, porque "as espécies produzidas pela força criativa *[propre*] das regiões do sul do nosso continente deveriam assemelhar-se [*auroient dü ressembler*] aos animais das regiões sulinas dos outros continentes", mas, como já afirmado, sequer uma única espécie das duas regiões tropicais é a mesma.

O que Buffon propunha era que uma fauna, uma vez "nascida", é o produto da área em que se originou, mas que pode dispersar-se, e de fato se dispersará, quando mudarem as condições climáticas. Quando nascidas, as espécies se criam de acordo com leis definidas, adaptando-se cada uma delas à sua zona climática; e essa é a razão por que podemos observar faunas tropicais, floras desérticas, faunas árticas, e assim por diante. Assim como a natureza fez o clima para as espécies, disse Buffon, assim ela fez as espécies para o clima: "A terra faz as plantas; a terra e as plantas fazem os animais" (Buffon, 1756, VI).

Os proboscídeos fósseis e subfósseis, bem como outros dados da distribuição, tiveram um impacto dominante na componente história das teorias buffonianas. De onde precederam as suas crenças sobre "o produto da região" é assunto menos claro, mas desconfio que a sua filosofia newtoniana tenha sido responsável por isso. As origens deviam ser atribuídas a certas forças.

As dificuldades de explicação reveladas pelos escritos de Buffon continuaram até 1859. Embora todo viajante descrevesse as drásticas diferenças entre faunas e floras, isso era inaceitável, subconscientemente, para aqueles que se apegavam à idéia de que as distribuições realizavam o

plano, exatamente como tudo o mais no mundo criado de Deus. Por isso, as faunas tropicais dos diversos continentes, ou de ilhas diferentes, "devem assemelhar-se" entre si, como diz Buffon. Mas não se assemelhavam. Nos dias pré-evolucionistas, não havia explicação para esse fracasso das expectativas.

Buffon não estava só na sua ênfase sobre os fatores históricos. Lineu (1744) fez procederem todas as plantas de uma ilha tropical montanhosa, a partir da qual se espalharam por sobre todo o mundo (Hofsten, 1916). Idéias notavelmente avançadas foram publicadas pelo zoólogo E. A. W. Zimmermann (1778-1783). A distribuição dos mamíferos, demonstrou ele, não é suficientemente explicada pelo clima, mas com toda clareza sofre a influência da história da terra. Certamente, a distribuição dos animais oferece a evidência de mudanças na superfície da terra. Quando dois países estão hoje separados por um oceano, e possuem diferentes faunas de mamíferos, embora tenham igual clima, então sempre devem ter estado separados. Mas, quando tais países têm espécies semelhantes ou iguais, então é legítimo, diz ele, inferir uma conexão em tempos remotos. Ele cita algumas ilhas, como a Grã-Bretanha, Sicília, Ceilão e as grandes ilhas Sunda, que antigamente devem ter tido conexões continentais, e postula também uma remota conexão da América do Norte com o norte da Ásia. Com alguma justificativa, Zimmermann é considerado por alguns autores o fundador da biogeografia histórica. C. F. Willdenow (1798) foi o primeiro botânico a explicar áreas descontínuas de espécies, como sendo o resultado de interrupção secundária de espaços anteriormente contínuos.

Alexander von Humboldt, nos seus anos de juventude, desejava escrever "uma história e uma geografia das plantas, ou uma informação

histórica sobre a dispersão gradual das plantas sobre todo o globo (1805)". Mas quando finalmente publicou o seu *Idéias sobre uma geografia das plantas, o* seu conteúdo era quase inteiramente dedicado à florística e à ecologia das plantas. Todo o seu interesse se concentrava na distribuição atual das plantas e na sua dependência dos fatores físicos do meio ambiente. Naquela ocasião, ele chegou a considerar insolúveis as questões sobre as origens.

Os rápidos avanços do conhecimento biogeográfico, ao final do século XVIII e começo do XIX, levantaram novas dificuldades. Descobriam-se casos cada vez mais numerosos, em que espécies aparentadas, como o castor, na Eurásia e na América do Norte, ocupavam espaços adjacentes mas separados, ou em que a mesma espécie aparecia em localidades muito distantes, a exemplo de plantas dos Alpes que se encontravam também nos Pireneus, nas montanhas da Escandinávia, ou mesmo nas planícies árticas. A explicação para tais distribuições afastadas constituiu objeto de um dos maiores debates da biogeografia, na primeira metade do século XIX (von Hofsten, 1916).

Quando os dois Forster descobriram plantas européias na Terra do Fogo, na segunda viagem de Cook, concluíram imediatamente que climas semelhantes conduziam à produção de espécies semelhantes (1778). (Em contraste, exatamente a mesma distribuição constituía uma das ilustrações favoritas de Darwin para o extraordinário poder de dispersão das plantas.)

A ênfase nos fatores históricos, que permeia os escritos de Buffon, Zimmermann, Willdenow, e outros autores oitocentistas, já não se encontra nas obras dos biogeógrafos do começo do século XIX. Ao se conhecerem melhor as faunas e as floras, e, em particular, quando foram descobertos os bizarros biotas australianos, a ênfase maior centrava-se na unicidade das biotas das várias regiões (Engler, 1899; 1914). Cada flora e cada fauna foram introduzidas num centro definido, ou foco, da criação. Alphonse de Candolle (1855; 1862) reconheceu vinte regiões botânicas (sem incluir as floras separadas das ilhas), todas elas constituindo presumivelmente um centro separado de criação.

Aqueles que, como Louis Agassiz (1857: 39), acreditavam num mundo totalmente estático não concebiam qualquer limite para o poder criador de Deus, e propunham, por isso, que em cada segmento da área ocupada por uma espécie outras espécies fossem criadas em separado; dessa forma, ele conduziu a teoria dos centros múltiplos de criação ao seu extremo lógico. Quando, em 1850, Agassiz escreveu sobre biogeografia, a sua interpretação fundamentalista inflexível afigurava-se um retrocesso a um longo período do passado.

A ênfase na diferença regional e nos centros de criação domina também os escritos de Lyell, a quem Darwin deve muitas das suas idéias sobre biogeografia (Hodge, 1981). Nenhuma surpresa, portanto, que ele, quando a bordo do *Beagle,* ainda era adepto de uma interpretação criacionista das distribuições. Ao estudar o pauperismo da vida animal em certas plantas, ele afirma: "Parece conjetura não muito improvável que a ausência de animais pode ser devida ao fato que não houve criação, desde que essa terra emergiu do mar" (Darwin, 1933: 236). A criação local, sob a influência do ambiente circunstante (em particular o clima), constituía a interpretação de Darwin, naquela época.

Os fatos acontecidos durante os 23 anos, entre o retorno da viagem do *Beagle* e a publicação do *Origin,* afetaram profundamente a teoria biogeográfica. Os assim chamados catastrofistas, independentemente do quanto estavam errados na maioria das suas demais proposições, chamaram a atenção para um ponto muito importante, o de que a face da terra sofreu mudanças muito drásticas, as quais, admitindo-se que as biotas estão em harmonia com o seu ambiente, inevitavelmente tiveram grande influxo sobre as distribuições. Isso era estrita e inesperadamente confirmado pela teoria de Agassiz, da Era Glacial. Com grande parte do norte da Europa coberta de gelo, e com o clima das demais regiões profundamente influenciado por essa camada fria, foram inevitáveis drásticas alterações das zonas de vegetação e dos seus habitantes. Dois autores, Edward Forbes e Alphonse de Candolle, utilizaram essa nova perspectiva para converter a biogeografia estática numa ciência dinâmica e evolutiva. Em uma importante monografia, Forbes (1846) tentou explicar a distribuição da flora e da fauna das ilhas Britânicas como o produto da recente história geológica. Ele postulava que toda espécie possuía um centro de origem particular, e que todas as áreas descontínuas foram o resultado de rupturas secundárias de uma continuidade anterior. Ele explicava que a composição das biotas britânicas era devida a uma colonização do pós-Pleistoceno, por elementos do sul e do leste. Enfatizava que, além das barreiras puramente físicas, como oceanos e cordilheiras de montanhas, existem também barreiras climáticas e de vegetação, como, por exemplo, as que separam a flora alpina das montanhas européias da flora estreitamente correlata do Ártico. Darwin havia chegado a conclusões semelhantes, assentadas em manuscrito, mas publicou-as apenas trinta anos mais tarde.

Forbes afastava-se de Darwin em dois aspectos importantes. Impressionado com a mudança geológica e subestimando a capacidade de dispersão dos animais e das plantas, ele foi um grande "fazedor de pontes" continentais, e, em particular, dele é a teoria da existência de um antigo continente no meio do Atlântico, hoje submerso, a Atlântida. E mais importante do que isso, Forbes conservava a crença na imutabilidade das espécies, e quando se deparava com espécies correlatas em áreas diferentes, atribuía isso a criações em separado, e não à diferenciação evolutiva durante o isolamento. Esse é um exemplo típico do fenômeno, tão bem descrito por Thomas Kuhn, da relutância dos autores em abandonar um paradigma longamente familiar.

Nenhum outro autor pré-darwiniano deu tanta atenção ao problema das "espécies disjuntas" (terminologia dele) como o botâncio Alphose de Candolle (1806-1893). Ele definia como espécie

disjuntas as plantas que cresciam em áreas separadas, suficientemente isoladas para que possa ter sido possível um efetiva dispersão de uma área para outra. Num escrito antigo (1835), ele ainda admitia a criação múltipla das espécies disjuntas, mas, no seu grande *Géographie botanique raisonnée* (1855), ele passou decididamente para uma explicação histórica das áreas de distribuição fragmentadas, enfatizando que as atuais condições geográficas e de clima desempenham apenas um papel secundário.[6] Aquelas disjunções se devem muito mais a diferentes oportunidades de dispersão, em períodos remotos. Embora a geografia das plantas de de Candolle seja uma análise esplêndida da origem das descontinuidades distributivas, e represente a primeira tentativa plenamente consistente, por parte de um geógrafo vegetal, de explicar as atuais distribuições como um produto da história, ele foi incapaz de fornecer uma explicação abrangente da história das faunas e das floras, por não haver ainda aceito a evolução. Depois da publicação do *Origin,* ele sugere que "a teoria da sucessão das formas por desvios das formas anteriores" podia ser encarada como "a hipótese mais natural" para explicar as disjunções (1862).

A explicação de Darwin para a distribuição geográfica

Darwin deu o passo decisivo para libertar a biogeografia das restrições que lhe eram impostas pelos pressupostos criacionistas.[7] Antes de 1859, havia essencialmente duas teorias em relação à origem das biotas (ignoremos, por ora, as migrações posteriores). Os teístas propunham que

cada espécie tinha sido introduzida separadamente, por criação, e que, em princípio, havia tantos centros de criação quantas eram as espécies, ou áreas de espécies disjuntas. Tal explicação implicava um criador extraordinariamente caprichoso, implicação essa aceitável apenas para um fundamentalista extremo. Os deístas, e os teólogos naturais, que acreditavam num mundo feito por desígnio, admitiam que a criação e a introdução de espécies novas tiveram que obedecer a certas leis, e que foram o produto de forças apropriadas. Consequentemente, eles esperavam encontrar espécies similares ("aparentadas") em todas as regiões quentes dos trópicos, em todas as regiões áridas dos desertos, em todas as montanhas, e em todas as ilhas. Mas isso, evidentemente, não era de forma alguma o que os biogeógrafos encontravam, como Darwin assinalou repetidas vezes. E esse fracasso das duas teorias existentes induziu-o a introduzir um terceira teoria causal – a distribuição como resultado da descendência comum.

Postulando a descendência comum das espécies aparentadas e dos membros do mesmo táxon superior, Darwin estava em condições de tirar conclusões de grande alcance em relação à precedente distribuição e movimento desses *taxa.* Ele apresenta as suas evidências nos capítulos XI e XII do *Orígin,* capítulos esses que são uma delícia de leitura, devido ao seu rigor metodológico e à lógica da argumentação. Darwin já não precisava mais perguntar: "Está esta espécie onde está porque o Criador a colocou aí?" Desvencilhado de tais constrangimentos religiosos, ele estava livre para formular outras perguntas: Por que as faunas e as floras de uma determinada circunscrição têm a sua composição particular? Por que as biotas de certas áreas são semelhantes, e os de outras áreas dissemelhantes? O que determina a composição faunística das ilhas? Ou, quais são as causas dos padrões diversificados da distribuição?

Ao formular tais questões, Darwin tomou-se o fundador da biogeografia causai. Efetivamente, todo o seu interesse estava concentrado nas questões da causalidade, encontrando-se bem pouca biogeografia descritiva nesses capítulos. Conforme a tradição atualista, Darwin insistia em

interpretar as distribuições em termos da presente configuração dos continentes, e se opunha a qualquer lançamento precipitado de pontes continentais, em contraste com Forbes e com a maioria dos biogeógrafos dos oitenta anos seguintes. A esse respeito, como em tantos outros, Darwin estava muito mais próximo do pensamento moderno que os seus contemporâneos e primeiros seguidores.

Sua argumentação apresenta essencialmente duplo aspecto. De um lado, ele procura refutar crenças inválidas, anteriormente sustentadas, e de outro, tenta introduzir novas teorias causais. Ele começa por defender "o ponto de vista de que cada espécie foi introduzida pela primeira vez numa única região … Aquele que rejeita isso … invoca a ação de um milagre" (*Origin:* 352), precisamente o que Asa Gray disse da teoria de Agassiz das criações múltiplas. O fato de que as Ilhas Britânicas e o continente europeu têm tantas espécies em comum, enquanto a Europa não tem nenhuma espécie de mamífero em comum, seja com a América do Sul, seja com a Áustria, argumenta Darwin, se acomoda muito bem às leis da biogeografia dinâmica, mas é inexplicável sob a teoria da criação especial.

De acordo com a teoria das "leis da criação", poder-se-ia esperar que as biotas fossem o produto imediato do clima local. Darwin refuta completamente essa teoria. Quando comparamos extensões climaticamente semelhantes da Europa e da América do Norte, ou,

> no Hemisfério Sul, quando confrontamos vastas regiões da Austrália, da África do Sul e da América do Sul ocidental, entre as latitudes 25° e 35°, deparamo-nos com ambientes extremamente semelhantes em todas as suas condições, e, no entanto, seria impossível encontrar três faunas ou floras mais profundamente dissemelhantes (p. 347).

O mesmo pode ser demonstrado em relação a regiões florestais, a ilhas e a oceanos. Por isso, não existe qualquer indicação para a introdução de espécies constantes, segundo leis apropriadas.

De acordo com a teoria causai darwiniana da biogeografia, os padrões da distribuição, particularmente as descontinuidades, podem ser explicados muito simplesmente por uma de duas hipóteses: Ou (1) o táxon em questão tem a capacidade dispersiva para atravessar barreiras, como uma espécie montanhesca que é capaz de cruzar planícies para ir colonizar outra formação de montanhas; ou (2) as áreas descontínuas são remanescentes (relíquias) de áreas anteriormente contínuas. O postulado da descendência de ancestrais comuns, juntamente com as duas hipóteses referidas, permite a explicação para qualquer padrão distributivo, sem fazer recurso a qualquer instância sobrenatural, Dessa forma, a tarefa principal do biogeógrafo consiste em estudar a natureza das barreiras e as capacidades de dispersão dos animais e das plantas. "As barreiras de qualquer tipo, ou os obstáculos à livre migração, estão relacionadas de modo íntimo e importante com as diferenças entre as produções das variadas regiões" (p. 347). Darwin não considerava as barreiras como sendo unicamente os obstáculos físicos, porque existe uma íntima relação inversa entre a eficácia das barreiras e a capacidade de dispersão da espécie, e além disso porque, segundo ele, os espaços de espécies competidoras também constituíam poderosas barreiras para a dispersão.

Darwin sabia que a avaliação correta da dispersão era o problema – chave na explicação dos padrões da distribuição (pp. 356-365). Ele foi o primeiro a abordar esses problemas, mediante experimentos engenhosos, mostrando que o poder de dispersão dos organismos, particularmente das sementes das plantas, é muito maior do que se acreditava, e que não há particular necessidade de recorrer a pontes continentais para explicar grande parte da dispersão transoceânica. O único fator

por ele estranhamente desconsiderado foi o poder do vento e das correntes de ar, para transportar não apenas sementes, mas também pequenos animais.

Darwin, como Forbes (embora tenha chegado a essa conclusão independentemente), põe grande destaque nos efeitos da Era Glacial sobre a atual distribuição (pp. 365-382). Ele trata do assunto numa escala mundial, tentando explicar a presença de elementos nórdicos no Hemisfério Sul e nas montanhas tropicais. As distribuições dissociadas são de importância crucial na corrente da sua argumentação, quando ele, raciocinando por analogia, passa da distribuição de populações disjuntas, da mesma espécie, para distribuição de espécies aparentadas, do mesmo gênero, e assim por diante, até a hierarquia categorial.

A maior parte do Capítulo XII é consagrada à discussão das populações das ilhas oceânicas (pp. 388-406). Darwin salienta que os criacionistas são completamente incapazes de explicar por que existem tão poucas espécies nas ilhas oceânicas, ou por que certos grupos de animais, como os mamíferos terrestres, os anfíbios urodelos, e verdadeiros peixes de água doce, nelas são sempre ausentes. O estranho desequilíbrio das biotas das ilhas dos oceanos e a marcante diferença entre as faunas das ilhas continentais e as dos mares são inexplicáveis "do ponto de vista de atos independentes de criação:, e "a mim me parece que se acomodam melhor a uma perspectiva de meios ocasionais de transporte" (p. 396). Isso também explica por que, invariavelmente, as populações das ilhas oceânicas são muito estreitamente aparentadas com as do continente mais próximo, o que induz Darwin a perguntar aos criacionistas:

> Por que deveriam as espécies que foram supostamente criadas no arquipélago das Galápagos, e em nenhum outro lugar, ostentar tão clara configuração de afinidade com as que foram criadas na América? (p. 398).

Darwin, que sempre encarava os fenômenos da história natural de um ponto de vista biológico, estava plenamente consciente de que a dispersão bem-sucedida implica duas faculdades: a capacidade de ocupar um novo local, e a capacidade de colonizá-lo com êxito.

> Nunca devemos esquecer que o deslocamento para áreas distantes implica não apenas o poder de cruzar barreiras, mas também a capacidade, mais importante ainda, de ser vitorioso, em terras afastadas, na luta pela vida com parceiros estranhos (p. 405).

Por fim, ele resume os seus pontos de vista de um modo indireto, tipicamente vitoriano, como segue: "Eu penso que as dificuldades em admitir que todos os indivíduos da mesma espécie, onde quer que se localizem, descenderam dos mesmos genitores não são insuperáveis" (p. 407).

Em matéria de biogeografia, como em tantos outros aspectos da sua obra, Darwin esteve muito à frente dos seus contemporâneos, e a ciência biogeográfica só chegou a ultrapassá-lo pelos anos 1940, mesmo que uns poucos autores avançados, nesse meio tempo, tivessem sido estritamente biogeógrafos darwinianos.

A biogeografia depois de 1859

A biogeografia científica, tal como existe hoje, teve o seu início nos capítulos XI e XII do

Orígin of Species. Razões de espaço proíbem-nos de dar um tratamento mais completo à história opulenta que ela conheceu nos 120 anos seguintes. Todavia, deve ser feita uma tentativa, no sentido de mencionar algumas das suas tendências mais importantes. [8]

Biogeografia regional. O interesse pela comparação das faunas e das floras de regiões diferentes remonta ao século XVII. Em Buffon e Lineu, ela constituía importante preocupação, o mesmo acontecendo com vários biogeógrafos, como de Candolle, Swainson e Schmarda, na primeira metade do século XIX. Todavia, a publicação da obra de P. L. Sclater (1858) sobre a classificação do mundo em (seis) regiões zoogeográficas, com base na distribuição dos pássaros, representou o começo de um novo período.

Darwin nunca esteve particularmente interessado na biogeografia regional. Ao que parece, ele considerava esse método de tratar dos fenômenos da distribuições por demais estático, descritivo e taxionômico. Contudo, nos primeiros sessenta anos depois do *Orígin,* a abordagem regional mereceu a atenção da maioria dos biogeógrafos. A bíblia dessa escola era a obra autorizada, em dois volumes, *The Geographical Distribution of Animais* (1876), de A. R. Wallace. Embora todos concordassem em que as mais importantes regiões zoogeográficas mais ou menos coincidiam com as grandes massas continentais, diferentes esquemas foram propostos para combiná-las em "regiões", de acordo com o grupo de organismos em que se baseava a classificação geográfica. Os estudiosos dos mamíferos ficavam impressionados com a similaridade das faunas mamíferas da Eurásia e da América do Norte, ordenando-as em uma Região Holártica. Em contrapartida, aqueles que se dedicavam aos pássaros encontravam muitas semelhanças entre as aves da América do Norte e da América do Sul, e alguns deles propuseram a separação de uma Neogaea do Velho Mundo (Paleogaea) (veja Mayr, 1946a). Para os botânicos, outras delimitações ainda se apresentavam como mais naturais. Por exemplo, as plantas de toda a região, desde a península Malaia até a Nova Guiné e as ilhas do Pacífico, pertencem a uma única flora, enquanto, em relação aos animais, existe uma notável ruptura entre um elemento indo-malaio ocidental e outro australo-papuano oriental, separados um do outro por uma linha norte-sul, entre Nova Guiné e as ilhas Sunda Maiores. A localização exata dessa linha permaneceu controvertida durante três quartos de século, até que se chegou a um consenso em que a "Linha de Wallace", entre Boméo e as Célebes, refletia a borda da plataforma continental asiática, enquanto a "Linha de Weber", entre as Célebes e as Molucas, representava o limite do equilíbrio das faunas (Mayr, 1944b).

Insatisfeitos com essa análise em grandes linhas, os biogeógrafos regionais, a começar por de Candolle, dedicaram grandes esforços na tentativa de produzir, em escala mais fina, uma classificação de sub-regiões e *distritos bióticos,* esforços esses que continuaram até os nossos dias. No seu conjunto, tais estudos permaneceram num nível descritivo, e pouco contribuíram para aplicações mais gerais.

Uma reação contra essa abordagem estática foi iniciada por E. R. Dunn (1922), o qual propunha, em vez disso, uma análise causai das faunas. G. G. Simpson (1940; 1943; 1947) tomou-se o líder desse novo movimento, em particular no tocante aos mamíferos, como Mayr o foi em relação aos pássaros. [9] Simpson demonstrou que existem diversos tipos de pontes, conectando extensões de terras (por exemplo, "corredores", "pontes-filtro"), e acentuou particularmente o elemento estatístico, considerando a probabilidade de dispersão por vias aquáticas. Na realidade, isso era um retorno ao conceito clássico de Darwin de uma biogeografla causai, que foi negligenciada por Wallace e seus seguidores. A dispersão constitui o problema-chave nessa aproximação.

A história dos continentes e os meios da dispersão. Os dois grandes pomos de discórdia, em relação à biogeografla darwiniana, referem-se à história remota dos continentes e suas conexões e, em segundo lugar, aos meios da dispersão ativa e passiva de vários grupos de animais.

Com respeito às conexões continentais, podem-se distinguir três escolas maiores. Uma delas continuava com a inclinação de Forbes de postular pontes terrestres e ilhas antigamente existentes, bem como continentes submersos. As descontinuidades da distribuição eram explicadas pela existência de antigas pontes territoriais, entre a Europa e a América do Norte, entre a África do Sul e a América do Sul, entre a América do Sul e a Austrália, entre Madagascar e a índia, entre o Havaí e Samoa, e assim por diante. No apogeu dessa escola, nenhum oceano deixou de ser atravessado por pontes terrestres. Os autores dessas pontes de terra tinham uma coisa em comum: não davam a devida atenção às capacidades de dispersão dos animais e das plantas. [10]

Todavia, nem todas as pontes terrestres eram desprovidas de sustentação geológica. Todos os biogeógrafos estavam de acordo em que ilhas situadas em plataformas continentais, as assim chamadas ilhas continentais, como a Grã-Bretanha, Ceilão e as ilhas Sundra, tiveram uma vez conexão com o continente, como já havia sido afirmado por Zimmermann e Forbes. Uma ponte terrestre, através do estreito de Bering, entre a América do Norte e o nordeste da Ásia, também era universalmente aceite. Mas de qualquer maneira, esses construtores de pontes terrestres foram – muito além e, menosprezando completamente considerações de ordem geológica, chegaram muitas vezes a propor a existência de pontes terrestres para explicar a ocorrência das espécies em ilhas que nada mais são do que picos de cones vulcânicos, emergindo das profundezas do mar.

As conexões terrestres traçadas levianamente eram vigorosamente combatidas por todos aqueles biogeógrafos que continuavam a tradição lyelliana de Darwin, a qual postulava uma permanência essencial das massas continentais e das bacias oceânicas, admitindo apenas elevações e quedas ocasionais do nível do mar, como ocorreu durante as glaciações do Pleistoceno. A. R. Wallace colocou-se ao lado de Darwin, na oposição às pontes terrestres (Fichman, 1977). Tal reação foi expressa de modo particularmente vigoroso por Matthew (1915) e por Simpson (1940), mas também por Mayr (1941; 1944a), Darlington (1957), e diversos outros geógrafos de plantas (Carlquist, 1974). [11] Os biogeógrafos dessa escola tinham duas coisas em comum. Recusavam-se a aceitar quaisquer mudanças na configuração dos continentes, a menos que fossem convalidadas pela geologia, e tinham uma confiança ainda maior do que a de Darwin na capacidade da maioria dos tipos de plantas e de animais de atravessarem intervalos aquáticos, aparentemente formidáveis.

Uma terceira escola apareceu após a publicação, em 1915, da teoria wegeneriana da flutuação dos continentes. Tal teoria, embora sustentada por bom número de biogeógrafos, não conheceu de saída grande sucesso, por duas razões. Em primeiro lugar, os geofísicos opunham-se a ela unanimemente, porque não conseguiam discernir quaisquer forças que pudessem explicar tais movimentos de grande escala de partes da crosta terrestre, tal como postulava Wegener. Em segundo lugar, aqueles biogeógrafos que adotavam a flutuação continental faziam dela mau uso, invocando-a principalmente para explicar os fenômenos do final do Terciário e do Pleistoceno. A resistência da biogeografia em aceitar a teoria da flutuação continental, como originalmente proposta, não era reacionária, mas solidamente apoiada nas informações então existentes.

Essa teoria, no entanto, conheceu um novo alento, pelos anos 1960, quando se desenvolveu a idéia das placas tectônicas. [12] Esta teoria tem o seu grande sucesso na explicação dos padrões da distribuição que se originaram no Jurássico e no Cretáceo, por exemplo, a distribuição dos grupos

mais importantes de peixes de água doce; mas ela ainda deixa muitas questões em aberto. De conformidade com as placas tectônicas, por exemplo, a Austrália e a Antártica estavam ligadas à América do Sul, até o princípio do Terciário. Mais tarde, a Austrália separou-se da Antártida e deslocou-se para o norte, chegando apenas recentemente em contato com os confins do continente asiático. Por que então a vida ornitológica da Austrália, com a possível exceção de uns poucos grupos, consiste quase inteiramente em elementos asiáticos? A história do Pacífico também ainda continua controvertida. O Madagascar, a índia e o sudeste da Ásia levantam enigmas adicionais.

Os dois maiores equívocos cometidos por alguns biogeógrafos recentes consistem numa dupla falha de reconhecimento. Primeiro, que os *taxa* superiores diferentes estabeleceram o seu atual padrão de distribuição em idades geológicas diferentes (quando a posição e as distâncias das diversas placas eram diferentes das de hoje, e das que existiam durante o período maior da dispersão de outros *taxa* superiores); e em segundo lugar, que o padrão da distribuição de um grupo é profundamente afetado por sua capacidade de dispersão. Grupos com um potencial relativamente baixo de dispersão, como a maioria dos mamíferos terrestres, peixes verdadeiros de água doce, ou minhocas, têm padrões muito diferentes dos de mobilidade mais fácil, como o plâncton de água doce, as aranhas-balão, os pássaros, e alguns grupos de insetos. Um especialista que generaliza sumariamente, baseando-se na sua familiaridade com um único grupo de organismos, corre o risco de chegar a conclusões desequilibradas.

De certa forma, a teoria da flutuação continental é uma síntese entre a teoria da permanência dos oceanos e dos continentes e da teoria das pontes terrestres. Embora as principais massas da terra (placas) ainda sejam consideradas permanentes, suas posições e conexões se alteram no decurso do tempo, mesmo que essas mudanças aconteçam tão lentamente, a ponto de a reconstrução da configuração dos continentes, na metade do Terciário, não ser estritamente diversa da atual. No que tange à reconstrução da história da distribuição dos mamíferos e dos pássaros, admitindo-se a teoria das placas tectônicas, ela requereu menor necessidade de revisão das conclusões da escola da permanência-dos-oceanos do que se podia esperar. Ela afeta principalmente o intercâmbio do elemento holártico mais antigo, entre a Eurásia e a América do Norte (mais pelo Atlântico Norte do que pelo estreito de Bering), e a origem das mais antigas faunas australianas (América do Sul, via Antártida). As placas tectônicas exigiram uma maior revisão da interpretação dos processos distributivos de grupos que tiveram a sua principal dispersão antes da metade do Cretáceo.

Descontinuidades. A explicação da origem das descontinuidades seguiu sendo um dos assuntos mais controvertidos da biogeografia. Podemos distinguir dois tipos de descontinuidade, primária e secundária. Uma descontinuidade primária acontece quando colonos conseguem alcançar uma área isolada e ali estabelecer uma população permanente. Por exemplo, quando insetos e plantas escandinavos se espalham pela Islândia, no período pós-Pleistoceno; tal colonização, como hoje se sabe com certeza, aconteceu mediante um longo percurso aquático. Trata-se de um caso típico de descontinuidade primária.

As descontinuidades secundárias originam-se do fracionamento de uma área originalmente contínua, por meio de um evento geológico, climático, ou biótico. A gralha azul *(Cyanopica cyaneá)* se encontra na Ásia oriental (para além do Baikal, até a China e o Japão), e tem uma colônia completamente isolada na Espanha e em Portugal. É evidente que tal padrão de distribuição não poderia ter-se estabelecido mediante uma dispersão de longa distância, mas sim que resultou da ruptura de uma região originalmente mais ou menos contínua, do Paleoártico, devida à deteriorização

pleistocênica da área entre esses dois isolados. Infelizmente, a situação nem sempre é tão clara, conduzindo a discussões sobre se a dispersão de longa distância podia ou não ser responsável pela descontinuidade, ou se, ao contrário, existe evidência de uma antiga continuidade física.

Quando a exuberância do estabelecimento de pontos terrestres começou a se esvaziar, quando inclusive não era de bom-tom postular qualquer ponte territorial, a menos que fosse geologicamente bem documentada (em particular pelos anos 1940 e 1950), foi descoberta a extraordinária capacidade de muitos grupos de organismos de colonizarem áreas extremamente isoladas. Toda a fauna e a flora das ilhas Havaianas, para mencionar um caso apenas, são o produto da colonização transoceânica, mesmo que isso tenha sido facilitado pela existência, no Pacífico oriental, de algumas rochas de apoio, hoje submersas. Contudo, desenvolveu-se uma reação contra uma excessiva confiança, na esteira da teoria das placas tectônicas, na dispersão de longo curso. Talvez, assim se dizia, tenha existido uma conexão continental onde hoje há um vasto oceano. Efetivamente, sabe-se hoje que a África e a América do Sul estavam ligadas no Cretáceo primitivo, e que a Europa e a América do Norte possuíam conexões transatlânticas até o Eoceno.

Uma teoria biogeográfica um tanto excêntrica apareceu pelo fim dos anos 1950, uma "biogeografia vicária", a qual, até onde posso entendê-la, volta a acentuar continuidades antigas e rebaixa a importância da dispersão de longa distância.[13] De maneira perfeitamente lógica, ela encontrou o seu principal suporte entre os ictiologistas, porque os peixes primários de água doce possuem uma capacidade de dispersão particularmente baixa. Na realidade, parece que a biogeografia vicária não introduziu quaisquer princípios novos, tendo em conta que a ocorrência de descontinuidades secundárias já era bem conhecida de Forbes, Darwin, Wallace e outros pioneiros da biogeografia (von Hofsten, 1916). Darwin, em particular, estava plenamente consciente das duas causas da disjunção.

Os elementos da fauna. As barreiras vêm e vão. A emersão do istmo do Panamá, ligando a América do Norte e a América do Sul, há cerca de cinco milhões de anos, o estabelecimento da ponte do estreito de Bering e, no Pleistoceno, a queda do nível do mar e da temperatura, com o avanço das fronteiras de gelo, constituem uns poucos exemplos da eliminação ou da produção de barreiras. Em consequência disso, áreas de faunas isoladas alternam períodos de grande isolamento, proporcionando a oportunidade de produção de formas endêmicas, com períodos de intercâmbio faunístico. As biotas, por esse motivo, não são homogêneas, mas consistem em vários elementos bióticos, e diferem no seu tempo de imigração. O elemento identificável mais antigo, quando se desconhecem traços do mesmo em época anterior, é usualmente chamado o elemento autóctone da área, querendo dizer, na prática, que simplesmente se desconhece a sua história primitiva. Com base nos diversos modos de irradiação autóctone e na invasão de elementos faunísticos estranhos, Mayr (1965b) distinguiu seis tipos de faunas. Tal classificação acentua que, além do elemento antigo original (geralmente não analisável), existem elementos de faunas que podem ser classificados segundo o tempo da sua chegada. Essa metodologia permite uma interpretação dinâmica, mais realista do que a referência tipológica das faunas com as áreas permanentes da crosta terrestre, reconhecidas pela tectônica das placas.

A biogeografia ecológica. Os fatores do meio ambiente, que influenciam a distribuição, despertam grande interesse em Darwin. Pode-se dizer, de certa forma, que esse interesse significava um retorno às tradições de Buffon, Lineu e Humboldt, exceto quanto a que agora o estudo desses fatores vinha firmemente baseado em princípios evolutivos. Tais fatores constituíam o tema central

do *Island Life* (1880), de Wallace. A ecobiogeografia recente volta a dar particular atenção a um componente do meio, pela primeira vez enfatizado por-Dyell, e considerado por Darwin como tendo maior influência do que qualquer outro elemento na distribuição das espécies: a competição. Ele pressentia que a presença ou a ausência de uma espécie competidora determinava o sucesso de uma colonização, e que, mais do que qualquer outra coisa, era responsável pela extinção. Essa ênfase na competição, nunca completamente esquecida depois de Darwin, e de grande realce nos escritos de Wallace, Simpson e Mayr, conheceu um renascimento na obra de David Lack e na escola de Hutchison-MacArthur, sobre a diversidade das espécies. A obra de MacArthur e Wilson, *Theory of Island Biogeography* (1967), propôs um modelo matemático em que as idéias vagas de Darwin e seus seguidores foram formalizadas e quantificadas. Essa publicação revelou-se como sendo muito estimulante, e teve como resultado numerosas e precisas análises biogeográficas, por obra de autores como Diamond, Cody e Terborgh.[14] A ênfase dessa pesquisa concentra-se nos poderes de colonização das espécies individuais, na interação das espécies para a definição da diversidade em localidades concretas e nas causas da extinção de espécies individuais. Tais estudos representam apenas o começo da comparação dos efeitos que esses fatores exercem sobre grupos de animais e de plantas que diferem nas suas facilidades de dispersão, estratégias reprodutivas, expectativas de vida, tolerâncias fisiológicas, sistemas genéticos e atributos outros suscetíveis de afetar o poder de colonização e a capacidade competitiva. Existem ainda profundas diferenças de interpretação na avaliação desses fatores, mas, considerando que esse é o cunho de todos os campos ativos da pesquisa, é legítimo esperar que se trata de um ramo da biogeografia que permanecerá ativo por longo tempo.

Infelizmente, aqueles que publicaram nessa área muitas vezes fizeram confusão de duas matérias. A palavra *biogeografia* significa a ciência que trata da distribuição dos organismos, enquanto a *biogeografia ecológica* significa o efeito dos fatores ecológicos (ambientais) sobre a distribuição. De qualquer maneira, a variação geográfica das adaptações dos organismos ao seu meio é conhecida como *ecologia geográfica.* O primeiro livro importante nesse campo foi o *Natürliche Existenzbedingungen der Thiere* (1880), de Semper. Uma obra mais recente é o *Tiergeographie auf ökologischer Grundlage* (1924), de Hesse, embora o título seja um equívoco. A questão mais importante nesse campo consiste em saber quais adaptações possibilitam a um animal ou a uma planta a existência em certas zonas climáticas, e particularmente em ambientes tão especiais ou extremos, como o Ártico, os desertos, as águas salobras, as profundezas do mar, as cavernas, ou primaveras quentes. Essa ecologia geográfica mergulha diretamente na fisiologia ecológica, como ilustrado, por exemplo, pela obra de Schmidt-Nielsen (1979).

A morfologia como evidência da evolução e da descendência comum

Entre as diversas linhas de evidência para a evolução, a morfologia era tida em alto conceito por Darwin. Sobre ela ele disse: "Este é o setor mais interessante da história natural, e pode-se dizer que é a sua verdadeira alma" (*Origin:* 434). Por que Darwin pensava que a morfologia era tão importante? Não podemos responder a essa questão sem uma rápida revisão da história desse campo.

A morfologia é a ciência da forma dos animais e das plantas. Seu lugar exato dentro do arcabouço teórico da biologia sempre foi assunto controvertido e, em certa medida, continua sendo. Foram muito notáveis as tentativas frequentes, a partir do final do século XVIII, de estabelecer uma

"morfologia pura", mais ou menos independente da biologia, uma ciência que interpelaria igualmente o biólogo, o matemático e o artista. É totalmente impossível entender a complexa história da morfologia, a menos que se perceba que o termo é usado para designar diversos desdobramentos independentes e muito diferentes.

Dois deles tratam de causas próximas: (1) a morfologia do crescimento, incluindo todos os processos de crescimento e desenvolvimento que podem ser formulados matematicamente, em particular o crescimento alométrico; e (2) a morfologia funcional, a descrição das estruturas, em termos das funções a que servem.

Os outros tratam de causas últimas: (3) a morfologia idealista, isto é, a explicação da forma como o produto de uma essência subjacente, ou de um arquétipo; (4) a morfologia filogenética, derivação da forma a partir daquela de um ancestral comum (ou, com muita frequência, a procura retrogressiva da forma, até a do ancestral comum reconstituído); e (5) a morfologia evolutiva, que encara a forma ou como resposta às exigências do ambiente (explicações tipo Lamarck), ou como adaptação produzida pelas pressões da seleção.

Em vista dessas várias e diferentes maneiras de visualizar a forma (e há outras que aqui não se mencionam), é óbvio que um tratamento unificado da mesma é simplesmente impossível. Em particular, aqueles aspectos da morfologia que tratam de causas próximas pertencem ou à fisiologia ou à embriologia, e deles aqui não nos ocuparemos.

O centro de interesse da morfologia, desde os gregos até o século XVIII, tem sido a anatomia humana. [15] Entretanto, a anatomia de um Galeno ou de um Versalius foi simplesmente uma disciplina auxiliar da fisiologia, baseada na observação de que um estudo acurado da estrutura (preferencialmente combinado com o experimento) pode revelar muitas coisas sobre as funções corporais. Não há surpresa, portanto, em que a anatomia tenha sido considerada um ramo da medicina fisiológica, desde os gregos até a Renascença.

Uma nova tendência começou a tomar corpo no século XVI, quando os animais eram dissecados não meramente para contribuir para o entendimento da função dos órgãos do corpo humano, mas também como parte da grande revitalização do interesse pela natureza. A famosa ilustração de Belon (1555), onde se compara o esqueleto de um pássaro com o do homem, constituiu uma primitiva indicação desse novo interesse. À medida que sempre maior número de animais eram dissecados, e comparados uns com os outros – e aí se incluíam não apenas os vertebrados, mas também insetos (Malpichi, Swammerdam) e invertebrados marinhos-, os zoólogos começaram a lembrar-se do pioneiro nesse campo, Aristóteles. Efetivamente, nas suas grandes obras biológicas, Aristóteles havia lançado um fundamento substancial para uma ciência da morfologia.

Em particular, três idéias de Aristóteles tiveram um efeito duradouro. A primeira delas é o reconhecimento claro de que existem grupos de animais ligados entre si por uma "unidade de plano". Todos os quadrúpedes terrestres de sangue quente, por exemplo, não só se caracterizam pelos pêlos e outras aparências externas, mas também se assemelham uns aos outros no coração, pulmões, fígado, rins, e virtualmente em todos os demais órgãos internos. Aristóteles estabeleceu uma semelhante unidade de plano para outros grupos de vertebrados e para diversos *taxa* de invertebrados, tais como crustáceos e alguns moluscos. Ele considerava definitivo que animais que compartilham o mesmo plano possuem partes equivalentes, partes que hoje chamaríamos homólogas. De qualquer maneira, devido ao seu principal interesse na função, ele não distinguiu as semelhanças oriundas do que hoje consideraríamos a descendência comum das que se baseiam na função. E essa confusão persistiu

durante outros dois mil anos.

Aristóteles estava também plenamente consciente de certas correlações. Ele observou, por exemplo, que nenhum animal tem ao mesmo tempo presas e chifres. Se uma parte do animal fosse bem desenvolvida, em comparação com outras semelhantes, isso seria compensado pela redução de uma outra parte. Porque, como disse Aristóteles: "A natureza dá invariavelmente a uma parte aquilo que subtrai de uma outra". Esse pensamento foi retomado por Goethe, e mais tarde elaborado na *"loi de balancement",* de Geoffroy (veja o Capítulo 7).

Um terceiro conceito aristotélico, importante para a história da biologia, é evidentemente o da *scala naturae.* Aqueles que ressuscitaram um interesse pela anatomia comparada, nos séculos XVII e XVIII, impressionavam-se muito com a unidade de plano, e tentaram estabelecer similaridades, como por exemplo em relação às extremidades de vários tipos de mamíferos, mesmo que algumas cavassem como as das toupeiras, outras nadassem como as das baleias, ou voassem como as de Aristóteles, enquanto não se aprofundaram as análises sobre o que afinal significava "similaridades". Em consequências, algumas das comparações eram simplesmente ridículas, como quando o botânico Cesalpino comparou as raízes das plantas com o estômago dos mamíferos, o tronco com o coração, e assim por diante, porque órgãos equivalentes tinham funções semelhantes.

A descoberta de sempre novos tipos de animais e de plantas, de países exóticos, e de novas estruturas internas, reveladas pelos estudos comparativos dos anatomistas, corroborava constantemente a idéia de uma diversidade, na aparência ilimitada, do mundo vivo. Não obstante, existiam vislumbres de modelos subjacentes, documentados em particular por uma aparente unidade de plano em certos grupos de organismos. Disto se aproveitavam os morfologistas para estabelecer uma ordem no universo vivo, da mesma forma como as leis de Galileu, Kepler e Newton trouxeram uma ordem no universo físico. Quaisquer estruturas ou fenômenos que fossem mesmo ligeiramente parecidos, qualquer aspecto semelhante num organismo diferente, era algo utilizado de pronto para estabelecer analogias abrangentes. Lineu era um mestre consumado da analogia, por ele exercida de modo encantador na sua descrição das flores (Ritterbush, 1964: 110).

Essa tendência alcançou o seu auge na morfologia idealista dos *Naturphilosophen* alemães. Não é nenhuma coincidência que esse movimento tenha sido fomentado por um poeta, Johann Wolgang Goethe (1749-1832), pois, de certa maneira, tratava-se de uma fusão do essencialismo platônico com princípios estéticos. A busca de um *eidos* latente induziu Goethe a propor que todos os órgaos da planta nada mais eram que folhas modificadas. Goethe levou os seus estudos muito a sério, e a ele se deve a introdução, em 1807, do termo "morfologia" para esse campo. Ele se interessava muito, tanto pelos animais como pelas plantas, e realizou pessoalmente umas poucas dissecações, para familiarizar-se com as estruturas dos vertebrados. Tais dissecações, a par das suas idéias teóricas, levaram-no a afirmar

> que todas as naturezas orgânicas mais perfeitas, tais como vemos nos peixes, anfíbios, pássaros, mamíferos e, na sua escala mais elevada, o próprio Homem, são formadas segundo um *Urbild* [arquétipo], que varia apenas, mais ou menos, nas suas partes básicas constantes, e que ainda diariamente se desenvolve e se modifica, pela reprodução (Goethe, 1796).

Como Lovejoy e outros colocaram em relevo, tais idéias nada tinham a ver com a evolução; contudo, alguns conceitos de Goethe representavam vagas antecipações de princípios que foram mais

tarde formulados por Geoffroy. [16]

Lorenz Oken (1779-1851) foi o mais imaginativo, mas também o mais fantasioso dos representantes da morfologia idealista. Suas comparações que primavam pela bizarria estão hoje benevolamente esquecidas, mas uma das suas idéias, por errada que fosse, preocupou a morfologia durante os cinquenta anos seguintes. Assim como Goethe, na sua teoria das folhas, Oken comparava não apenas as "iguais" estruturas nos diferentes organismos, mas também as estruturas diferentes nos mesmos organismos, particularmente as que se ordenavam em série nos diversos segmentos, como, por exemplo, as vértebras. Isso o conduziu à famosa teoria de que o crânio era composto de vértebras fundidas. Embora nesse caso particular a teoria de Oken se revelasse como errada, a aproximação como tal era realmente produtiva na morfologia dos artrópedes, ajudando a descobrir homologias nas partes da boca, e de outros apêndices cefálicos com extremidades.

A morfologia, naquele período pré-evolucionista, estava desesperadamente à procura de uma teoria explicativa. Sob a influência da então dominante filosofia do essencialismo, ela finalmente chegou a combinar a observação de certos tipos de estrutura (unidade de plano) com o conceito platônico do *eidos,* postulando que os organismos representam um número limitado de arquétipos. Os morfologistas buscavam a essência verdadeira, o tipo ideal, ou, como os alemães a chamavam, a *Urform,* latente na grande variedade observável. O período do florescimento da morfologia idealística, como era chamada, foi bastante breve, na zoologia, sendo Richard Owen o seu último representante sério (1847; 1849), embora neste século tenham sido feitas algumas tentativas de revitalização. [17] Na botânica, a despeito de uma oposição inicial e vigorosa por parte de Schleiden, Hofmeister e Goebel, sobreviveu uma escola de morfologia idealística até os dias de hoje. Alexander Braun (1805-1877) foi o seu primeiro líder, e Agnes Arber e W. Troll os representantes mais recentes. Efetivamente, existe um forte elemento dessa filosofia nos escritos de muitos morfologistas das plantas da última geração (como, por exemplo, Zimmermann e Lam).

Quando surgiu a morfologia idealística, no começo do século XIX, ela constituía, como salientado por Bowler (1977b) e Ospovat (1978), um afastamento radical da teologia natural ortodoxa, segundo a qual toda estrutura de um organismo foi designada, visando unicamente à utilidade de uma espécie particular, para proporcionar-lhe maior poder de adaptação. Mas por que então as extremidades anteriores de uma toupeira (instrumento de cavar), de um morcego (asas), de um cavalo (pernas de corrida) e de uma baleia (barbatanas) teriam essencialmente a mesma estrutura, enquanto as asas dos insetos, dos pássaros, e dos morcegos,

todas elas servindo à mesma função, têm estruturas muito diferentes? Isso não fazia absolutamente sentido no conceito teístico, segundo o qual toda criatura, em todos os seus detalhes, foi planejada especificamente para preencher um nicho particular, ou era o resultado puramente da adaptação ao seu meio. Quanto mais os anatomistas comparativos e os paleontólogos acresciam os seus conhecimentos, tanto menos a explicação teística, *ad hoc,* de uma adaptação planejada se adequava aos fatos. No intuito de escapar à contradição, foi aventada uma maneira de atribuir a estrutura às leis naturais, que produziriam tipos, e que seriam responsáveis pela unicidade dos mesmos. Mas esse conceito de uma morfologia idealística, de variação estrutural, em última instância, acabou por fornecer um ponto de apoio perfeito para a teoria da descendência comum (veja também McPherson, 1972; Winsor, 1976b).

A satisfação da morfologia idealística, por fornecer um princípio ordenador, foi mais do que contrabalançada por duas grandes fragilidades. Não estando baseada na evolução, ela pouco se-

empenhou em fazer distinção entre semelhanças estruturais, devidas à descendência comum (homologias), e semelhanças devidas à similaridade de função (analogias), e dessa forma produzia muitas vezes agrupamentos altamente heterogêneos. E mais importante ainda, sendo desprovida de capacidade explicativa, ela não tinha a menor condição de dar contas, seja da origem dos arquétipos, seja dos seus relacionamentos mútuos. A satisfação produzida pela morfologia idealística era antes de tudo estética, e esse é o motivo por que gozava de tanto prestígio durante o período romântico, na primeira metade do século XIX.

Cuvier

O evento mais importante na história da morfologia talvez tenha sido a fundação do Museu de História Natural de Paris, por Buffon. Foi o centro mundial da pesquisa morfológica, durante os próximos cem anos. Daubenton, que realizou o trabalho anatômico para o *Histoire Naturelle* de Buffon, acentuou a unidade de plano, mas, por outro lado, limitou-se grandemente à descrição. Uma mentalidade completamente nova pode ser encontrada na obra de Vicq-d'Azyr (1748-1794) (Russell, 1916). Ele foi o primeiro anatomista a adotar uma aproximação comparativa consistente. Diferentemente do trabalho de Daubenton, que se confinava ao estudo da morfologia exterior e aos principais órgãos viscerais (pulmões,

estômago, e assim por diante), o interesse de Vicq-d'Azyr englobava todos os sistemas anatômicos, não apenas alguns poucos selecionados. Mas talvez a sua maior realização foi o haver estabelecido um elo estreito entre a anatomia e a fisiologia. A aproximação funcional de Cuvier era claramente o resultado da influência de Vicq-d'Azyr.

Enquanto virtualmente todos os mais destacados anatomistas antes dele eram médicos de formação, Georges Cuvier (1769-1832) foi primeiro e antes de tudo um zoólogo. [18] Seu acento na fisiologia não era motivado por um interesse na fisiologia humana, mas por sua convicção de que a estrutura só podia ser entendida mediante o estudo da sua relação com a função. A descrição, para Cuvier, era necessária para fornecer a matéria bruta para generalizações amplas. As duas generalizações morfológicas que mais contribuíram para o renome de Cuvier foram o *princípio da correlação das partes* e o *princípio da subordinação dos caracteres*.

Segundo o princípio da correlação das partes, cada órgão de um corpo se relaciona funcionalmente com todos os outros, e a harmonia e o bem-estar do organismo resultam da cooperação entre eles.

> É nessa dependência mútua das funções, e na ajuda que prestam entre si, que se fundam as leis determinantes das relações entre os órgãos, as quais possuem uma necessidade igual à das leis metafísicas ou matemáticas; e uma vez evidente que a visível harmonia entre os órgãos que integram é condição necessária para a existência da criatura a que pertencem, ao modificar-se uma dessas funções de modo incompatível com as modificações dos outros, a criatura já não teria condições de continuar a existir (Coleman, 1964: 68).

Esse princípio possibilitou a Cuvier explicar os intervalos existentes entre os vários grupos de animais, particularmente entre as suas quatro grandes ramificações. Os organismos intermediários teriam possuído combinações de órgãos que estavam em desarmonia, e por isso não podiam ter sido

viáveis.

Numa aplicação prática desse princípio, Cuvier afirmou que, com base em somente uma pequena parte de um fóssil (ele pensava principalmente em termos de mamíferos), poder-se-ia reconstruir o organismo inteiro. Segundo ele disse:

> À vista de um único osso, de um único pedaço de osso, eu reconheço e reconstruo a porção do todo de que foi destacado. O ser inteiro, ao qual esse fragmento pertence, aparece nos olhos da minha mente (Bourdier, 1969: 44).

Embora se trate, com certeza, de uma regra de trabalho heurístico fértil, ela tem também sérias limitações. De fato, tal regra pregou uma peça em Cuvier, fazendo-o identificar o crânio de um calicotério como sendo o de um cavalo, e os seus pés (garras) como sendo os de uma preguiça, por não saber da existência da família fóssil dos calicotérios, que possuem essa estranha combinação de características.

Cuvier tinha em tão alto conceito a perfeição da correlação das partes, a ponto de constituir isso uma das principais razões por que não conseguia conceber qualquer mudança evolutiva. Efetivamente, ele nunca se deu ao trabalho de estudar a variação da correlação das partes, seja no seio da espécie, seja no seio dos *taxa* superiores, o que lhe teria revelado de imediato que a correlação não é nem de longe tão perfeita como ele dizia.

O segundo grande princípio de Cuvier, embora de certa forma apenas uma aplicação do primeiro, é a subordinação dos caracteres. Trata-se basicamente de um princípio taxionômico, que lhe permitiu estabelecer regras rígidas no reconhecimento e ordenação dos *taxa* superiores dos animais (veja Capítulo 4). Os dois princípios, em conjunto, possibilitaram a Cuvier a demonstração da inexistência de uma corrente gradual de ser, colocando em seu lugar as suas quatro grandes ramificações (filos), que não guardavam nenhuma conexão especial entre si.

A unidade de plano, de Buffon, tomou-se nas mãos de Cuvier o conceito de tipo. Isso continuou a dominar o ensino da zoologia por uma centena de anos depois de Darwin, como se evidencia em qualquer manual elementar, publicado no período. Havia duas razões para que a influência de Cuvier na morfologia fosse tão forte e tão duradoura. A primeira delas é que a sua aproximação empírica e sóbria, isenta de toda especulação metafísica, estava em consonância com uma época em que se rechaçavam os excessos da *Naturphilosophie*. A segunda razão é a sua abordagem biológica. Tratava-se de uma morfologia da adaptação, que acentuava o significado funcional de todas as estruturas, em relação ao modo de vida de todo organismo. Era, pode-se dizer, uma aproximação quase ecológica. Ao mesmo tempo, ela significava uma feliz combinação com o reconhecimento de que toda variação adaptativa era limitada pela unidade do tipo.

Havia, de qualquer maneira, algumas questões importantes que foram perfunctoriamente colocadas de lado por Cuvier. A primeira delas: qual era afinal a extensão da unidade do tipo? Não existem tantas diferenças no interior de algumas das suas ramificações, entre os Radiados por exemplo, quantas existem entre elas mesmas? Muito mais embaraçosa era outra questão: qual o significado desses quatro tipos, e qual a sua origem? Por que existem exatamente quatro tipos, e não dez, ou um único? A questão da origem e do significado dos grandes tipos morfológicos permaneceu uma profunda preocupação dos anatomistas comparativos, nas décadas seguintes. Foi Darwin, evidentemente, quem conseguiu responder a essas perguntas que Cuvier legou aos seus seguidores.

Geoffroy Saint-Hilaire

Os interesses de outro grande morfologista francês do período, Étienne Geoffroy Saint-Hilaire (1772-1844), conquanto tenha sido um colega e amigo de Cuvier pelo espaço de quase quarenta anos, desenvolveram-se numa direção muito diferente.[19] Em contraste com Cuvier, ele foi quase exclusivamente um morfologista e, como indicado por sua grande obra teórica, *Philosophie anatomique* (1818), o seu ideal era o estabelecimento de uma morfologia pura. Ele fez comparações e estabeleceu homologias em grau de refinamento muito maior que os seus antecessores. O homem deixou de ser o grande tipo em relação ao qual tudo o mais se comparava. Com efeito, Geoffroy estendeu a comparação sistemática ao longo de toda a classe dos vertebrados.

Dois princípios por ele estabelecidos permanecem como guias de orientação para decisões sobre a homologia, até os dias de hoje. Um deles é o *princípio de conexões,* o qual estabelece que, quando persistirem as dúvidas sobre a homologia em organismos largamente diferentes, digamos um peixe e um mamífero, "o único princípio geral que pode ser aplicado é fornecido pela posição, pelas relações e pelas dependências das partes, vale dizer, por aquilo que eu chamo e incluo sob o termo de conexões". Esse princípio, diz Geoffroy, é um guia seguro no caso em que uma estrutura é grandemente modificada por uma transformação funcional, pois "um órgão pode ser deteriorado, atrofiado, aniquilado, mas nunca transposto". Por exemplo, o úmero sempre estará localizado entre a articulação dos ombros e os ossos do antebraço (rádio e ulna). Um princípio auxiliar é o da "comparação", que estabelece que todas as estruturas homólogas são compostas dos mesmos tipos de elementos, e isso facilita a identificação dos componentes específicos em uma série de elementos, digamos os ossos individuais da mão. Todo o método moderno do estabelecimento de homologias, ao longo da série dos vertebrados, ou dos artrópodes, baseia-se, em última instância, no método de Geoffroy. A reputação de Geoffroy teria resplandecido ainda mais amplamente, não tivesse ele promovido também diversas outras idéias bastante fantasiosas.

Existem poucas dúvidas de que ele tenha sido influenciado fortemente pelos escritos de Oken e de outros *Naturphilosophe* germânicos, bem como de morfologistas idealísticos. Contrariamente a Cuvier, isso o levou a estender a unidade de plano a todos os animais, tanto vertebrados como invertebrados. Dessa forma, ele adotou o grande ideal de Goethe de um protótipo único para todo o reino animal. Geoffroy e alguns dos seus amigos mais jovens afirmavam que se podia "homologizar" (como diríamos hoje) a anatomia de uma lula, um molusco, com a de um vertebrado, virando a lula de pernas para o ar e parcialmente de dentro para fora. Como Geoffroy o expressou: "Todo animal é, ou no seu exterior ou no seu interior, a sua coluna vertebral". Num debate público em Paris, perante a Academia das Ciências, em 15 de fevereiro de 1830, essa teoria foi decisivamente refutada por Cuvier. Geoffroy fazia nenhuma distinção entre as semelhanças devidas ao parentesco e as devidas à função (convergência). Cuvier resumiu a sua demonstração dizendo que

> os cefalópodes não fazem conexão alguma com nenhuma outra coisa. Eles não são o resultado da evolução a partir de outros tipos de animais, e não conduziram ao desenvolvimento de qualquer tipo de animais superiores a eles.

Isso demoliu completamente a afirmação de Geoffroy, no sentido de que ele podia reduzir as

quatro ramificações do reino animal, reconhecidas por Cuvier, a uma só. [20]

Em contraste com Cuvier, que acreditava que a função determina a estrutura, Geoffroy sustentava que era a estrutura que determina a função. Se ocorreram mudanças de estrutura, afirma Geoffroy, elas causarão mudanças na função.

> Os animais não possuem hábitos, a não ser aqueles que decorrem da estrutura dos seus órgãos; quando estes variam, da mesma maneira variam todos os móveis da sua ação, todas as suas faculdades e todos os seus atos (Russell, 1916: 77).

O morcego é forçado a viver no ar, como resultado da modificação da sua mão. A aceitação totalmente não-biológica de que a estrutura precede à função foi curiosamente revitalizada pelos mutacionistas, depois de 1900: Cuénot, de Vries e Bateson asseguravam, entre 1900 e 1910, que os organismos se expõem à mercê das suas mutações, mas que algumas mutações os "pré-adaptam" a novos comportamentos e a mudanças de adaptação.

Os escritos de Geoffroy estão repletos de idéias originais. Ele foi o autor da *"Loi de balancement",* segundo a qual o montante do material disponível durante o desenvolvimento é limitado, de sorte que se uma estrutura é ampliada, outra deve ser reduzida, para que se mantenha o exato equilíbrio.

> O atrofiamento de um órgão reverte no proveito de outro; e a razão por que não pode ser de outra forma é simples: não existe um estoque ilimitado da substância requerida para cada objetivo especial.
> A "luta das partes", de Roux, foi uma posterior revitalização desse pensamento (também defendido por Goethe, em 1807) e sustentado nos nossos dias por Huxley e Rensch, só que em termos de pressões seletivas.

Richard Owen

Owen (1804-1892) foi o último grande morfologista idealístico do período pré-darwiniano. [21] Sua obra mais importante, *On the Archetype and Homologies of the Vertebrate Skeleton* (1848), foi uma tentativa de produzir uma teoria da morfologia internamente consistente. Tratava-se de um sistema eclético, que incorporava a teleologia de Cuvier, o princípio das conexões de Geoffroy, a idéia da repetição serial das partes de Oken, e alguns aspectos da evolução dualista de Lamarck (traduzida em termos estáticos). O conceito de um arquétipo foi levado por ele ao extremo – de incluir o próprio crânio no arquétipo estritamente segmentai das vértebras. Seu esforço por determinar a homologia de cada osso do crânio vertebral conduziu-o a formular uma nomenclatura elaborada desses ossos, permanecendo grande parte da mesma ainda em uso, mesmo quando, há muito, suas teorias já estavam esquecidas.

Uma outra proposição terminológica de Owen teve igualmente um impacto duradouro. Uma das maiores debilidades do trabalho dos morfologistas idealísticos consistia em que as suas conclusões eram amplamente baseadas nas similaridades reveladas pela comparação. De qualquer maneira, eles não souberam fazer uma distinção terminológica entre as analogias devidas à semelhança de função e aquelas outras, que apareciam como sendo de tipo diferente e mais fundamental, já conhecidas de

Cuvier (Capítulo 7). Owen distinguiu-as da forma seguinte: "Análogo. Uma parte ou um órgão, em um animal, tendo a mesma função como outra parte ou órgão, em um animal diferente"; e "Homólogo. O mesmo órgão, em animais diferentes, tendo toda sorte de variedade de forma e função". A dificuldade residia, evidentemente, em determinar o que era o "mesmo" órgão, e essa era a razão por que o princípio das conexões, de Geoffroy, se apresentou como particularmente útil.

Homologia e descendência comum

Os morfologistas idealísticos eram completamente incapazes de explicar a unidade de plano, e, mais particularmente ainda, por que as estruturas guardavam rigorosamente o seu modelo de conexões, independentemente do quanto fossem modificadas por necessidades funcionais. Como Darwin o expressou corretamente:

> Nada pode ser mais inútil que tentar uma explicação desta similaridade de modelo, nos membros da mesma classe, invocando o princípio da utilidade ou a doutrina das causas finais (*Origin:* 435).

A verdadeira explicação, diz Darwin, é tão simples quanto o ovo de Colombo. Todos os mamíferos, pássaros ou insetos compartilham o mesmo tipo morfológico, resultando numa extraordinária semelhança anatômica, e isso porque todos eles descenderam de um ancestral comum, do qual herdaram esse padrão estrutural. A seleção natural estará constantemente em ação para modificar os componentes desse padrão, de sorte a tomá-los mais eficientes nas funções a que devem servir, mas isso não implica a destruição do modelo básico.

Darwin, dessa forma, substituiu o arquétipo da morfologia idealística pelo ancestral comum. Em decorrência disso, a homologia foi redefinida pelos darwinianos: "Os atributos de dois organismos são homólogos quando procedem de uma característica equivalente do ancestral comum". O próprio Darwin nunca formulou claramente essa definição, mas ela está implícita nas suas discussões. Owen, à falta de uma explicação para a existência das homologias, foi forçado a defini-las em termos do princípio das conexões, de Geoffroy. Manter essa definição inepta na biologia evolutiva teria sido um absurdo, e é essa a razão por que os estudiosos modernos (Simpson, Bock, Mayr) redefiniram a homologia, em termos da derivação de um ancestral comum. Para provar que essa definição se aplica num caso particular, deve-se fazer recurso a todo tipo de evidências, inclusive a das conexões. [22] Um aspecto importante da redefinição evolutiva da homologia consiste em que ela é aplicável não apenas aos elementos estruturais, mas também a quaisquer outras propriedades, comportamentais inclusive, que possam ter surgido por hereditariedade, a partir do ancestral comum.

Existe um aspecto curioso em relação ao tratamento que Darwin dá à morfologia, no *Origin,* à luz do pensamento predominante de 1859. Ele enfatiza reiteradamente que a seleção natural fornece a resposta para todas as questões formuladas pela morfologia. Na realidade, é a teoria da descendência comum, com modificações, que dá as respostas, segundo consenso de todos os morfologistas evolutivos do período seguinte, enquanto os fenômenos observados não lançavam nenhuma luz sobre a natureza das forças responsáveis pela modificação. Essa a razão por que os morfologistas pós-darwinianos atribuíram, com tanta frequência, as mudanças morfológicas ao uso e à falta de uso, ou diretamente às influências do meio ambiente, combinadas com uma hereditariedade

de caracteres adquiridos, em vez de à seleção natural.

Em face da extraordinária ênfase de Darwin sobre a importância da morfologia, é surpreendente que fale tão pouco sobre o assunto (pp. 434439) no *Origin.* Em parte, isso é devido ao fato de que, por implicação, ele já havia formulado os seus princípios morfológico-evolucionistas, na sua monografia das cracas (Ghiselin, 1969: 103-130); em parte também, a explicação reside em que este era um assunto que ainda não fora abordado por Darwin, no seu grande manuscrito *(Natural Selection),* quando o deixou de lado, em 1858, para escrever o *Origin.* Daí que, no afã de preparar o novo manuscrito, tudo o que pôde fazer foi traçar um esboço bastante sumário dos problemas da morfologia. Coube a seus discípulos, particularmente Gegenbaur, Haeckel e Huxley, preencher essa lacuna.

A morfologia depois de 1859

Depois de Cuvier e Geoffroy, a morfologia caiu um pouco em descrédito, particularmente na Alemanha e na França. Ela era considerada ou simplesmente uma serva da fisiologia (médica), ou era acusada de ser puramente descritiva (não fazendo uso de experimentos), ou, ao contrário, era vista como excessivamente especulativa, tal como era praticada, em particular, pelos *Naturphilosophen*[23] Ao tempo em que era publicado o *Origin,* essa área estava à procura de uma nova identidade. A teoria darwiniana da descendência comum conferiu novo sentido à pesquisa morfológica, principalmente na zoologia, como indicado pelo fato de que nas décadas (somos levados a dizer, no século) posteriores a 1859 a ênfase da biologia evolutiva concentrava-se quase exclusivamente na filogenia. É muito instrutiva a comparação da primeira edição do grande manual de zoologia comparada, de Gegenbaur (editado em 1859, pouco antes do *Origin*), com a sua segunda edição, publicada onze anos mais tarde. A diferença é muito pequena, exceto quanto a que termos como "tipo morfológico" ou "arquétipo" foram substituídos por "ancestral comum" (Coleman, 1976).

Aquilo que Geoffroy e Owen haviam inaugurado – a procura da homologia, mesmo nos elementos anatômicos mais insignificantes – foi levado adiante com um entusiasmo cada vez maior, e estendido a todos os filos do reino animal. O que mais ocupava o pensamento dos mais eminentes zoólogos, de Haeckel a Huxley, era a questão da filogenia e a reconstituição dos ancestrais comuns. Efetivamente, desde 1859 até mais ou menos 1910, a preocupação mais importante da zoologia era, na realidade, a anatomia comparada e a filogenia. Essa atividade intensa produziu um maravilhoso conhecimento descritivo do reino animal, e levou à descoberta de muitos tipos de animais anteriormente desconhecidos, inclusive novas classes e também novos filos. Por mais descritivo que tenha sido o grande volume desse trabalho, os triunfos de tal metodologia não poderiam ser subestimados. O que poderia ter sido mais fascinante do que a derivação dos ossos médios do ouvido dos mamíferos a partir de elementos das mandíbulas dos répteis, ou a origem dos membros dos tetrápodos a partir das barbatanas dos vizinhos peixes ripidistianos, ou ainda os músculos que movem o globo acular procedendo de músculos segmentais, para apenas mencionar algumas interessantes homologias dos vertebrados. Talvez mais intrigantes ainda, e, em parte, ainda controvertidas, sejam as homologias entre os invertebrados, particularmente os apêndices segmentais dos artrópodes (extremidades, partes da boca, e outros).

No que diz respeito à teoria da morfologia filogenética, a pesquisa comparada ainda refletia em grande parte o pensamento pré-evolucionista. Em medida considerável, os argumentos eram ainda os

argumentos e as questões de Geofrroy e Cuvier, traduzidos em termos evolutivos. Por exemplo, vigorava ainda o problema da subordinação dos caracteres, ou, como agora se chamava, a pesagem dos caracteres. Quando se chegou a estabelecer a filogenia dos invertebrados, discutiam-se ainda a "primazia dos caracteres", a presença e a forma do celoma, em que por longo tempo insistiram os zoólogos britânicos, ou a ontogenia da boca (Protostomia, Deuterostomia), como defendido pela Escola de Viena.

Durante essas controvérsias, apareceu toda sorte de fragilidades metodológicas, induzindo muitos zoólogos a transferirem sua atenção dos problemas das causas últimas para os das causas próximas. Uma das escolas, originária da embriologia, tentou propor uma explicação fisiológica, para não dizer completamente mecânica, da forma animal (His). A *Entwicklungsmechanik,* de Roux, representou a culminância lógica dessa tendência. Uma outra escola acentuava os aspectos funcionais da estrutura, uma aproximação particularmente proveitosa no caso de estruturas relacionadas com a locomoção (Böker, 1935; Gray, 1953; Alexander, 1968). O mais distinguido representante da morfologia puramente funcional foi d'Arcy Thompson *(On Growth and Form,* 1917). Talvez não seja por coincidência que esse livro contenha uma alentada introdução, onde se refuta o darwinismo (seleção natural). O que unia His, Roux e d'Arcy Thompson era o fato de que eles só viam as causas próximas da forma não apenas ignorando, mas virtualmente negando, a causalidade evolutiva. Segundo uma análise oportuna de Raup (1972: 35),

> em termos da moderna biologia evolutiva, Thompson estava defendendo que a constituição genética de um organismo em evolução é … [tão] plástica, que pode ser completamente alterada em função da adaptação, no nível da espécie, a problemas funcionais imediatos.

Que a seleção natural seja responsável pela incorporação, no programa genético, das instruções de crescimento que determinam as formas geometricamente interessantes dos caramujos, amonites e foraminíferos, é algo plenamente reconhecido na literatura mais recente.

O fato de que a explicação da adaptação constituía um dos principais interesses da biologia darwiniana foi quase totalmente ignorado pelos morfologistas pós-darwinianos. A filogenia, a homologia e a reconstituição do ancestral comum – conceitualmente diferindo pouco do arquétipo de Owen – configuravam a esfera dos seus interesses, ao longo dos cem anos posteriores a 1859. De fato, autores como Naef, Kálin, Lubosch e Zangerl virtualmente voltaram aos princípios da morfologia idealista. Talvez a única exceção tenha sido Hans Böker (1935; 1937), que, numa soberba morfologia funcional-evolutiva, formulou todas as questões certas, relativas ao valor de adaptação das estruturas e suas mudanças, segundo comprovado por um estudo retrospectivo; todavia, ele infelizmente baseou as suas interpretações na filosofia evolutiva errada (neolamarckismo). Em consequência, seu visionário ficou falto de qualquer efeito.

Somente por volta de 1950 é que surgiu um novo movimento, que por vezes se intitula a si mesmo como *morfologia evolutiva.* Em vez de proceder a uma busca retrogressiva até o ancestral comum, tão característica da anatomia comparada clássica, os representantes dessa nova escola começam pelo ancestral, e investigam os processos evolutivos que foram responsáveis pela divergência dos descendentes. Como e por que o tipo ancestral deu origem a novos tipos morfológicos? Em que medida uma mudança de nicho de ocupação ou, mais ainda, a invasão de uma zona adaptativa inteiramente nova foram responsáveis pela reconstrução anatômica? Qual foi a

natureza das pressões seletivas? Foi o comportamento o reflexo da mudança ecológica? Qual a natureza da população em que se deu a mudança decisiva? Tais são as questões levantadas por essa escola. Essa aproximação admitia como certo tudo aquilo que a geração anterior ainda estava por estabelecer: as sequências filéticas, as homologias e a provável estrutura do ancestral comum. A evolução, para eles, não é apenas a genealogia, mas a totalidade dos processos envolvidos na mudança evolutiva. A nova aproximação constitui claramente uma área-limite, pois que construiu pontes, tanto para a ecologia como para a biologia comportamental. As novas questões levantadas por essa aproximação prometem manter a morfologia ocupada e excitante por muitos anos ainda. [24]

A solução daquilo que pode ser o maior problema da morfologia requer uma ponte para a genética, ponte essa que neste momento ainda não tem condições de ser lançada. Refiro-me à origem e ao significado dos grandes tipos anatômicos, já conhecidos de Buffon sob o nome "unidade de plano". No seio do *Bauplan* dos mamíferos, por exemplo, desenvolveram-se tipos funcionais profundamente diferentes, tais como baleias, morcegos, toupeiras, gibões e cavalos, sem qualquer alteração essencial do plano mamífero. Por que seria o tipo cordado tão conservador, a ponto de a corda ainda formar-se no embrião dos tetrápodos e a arcada de guelras no dos mamíferos e pássaros? Qual seria a razão por que são tão persistentes as relações das estruturas, a ponto de fornecerem a base para o princípio das conexões, de Geoffroy? Evidentemente, trata-se aí de um problema para a fisiologia do desenvolvimento e para a genética, indicado por termos como coesão do genótipo ou homeostase do sistema de desenvolvimento, termos esses que, no momento, apenas encobrem nossa profunda ignorância.

Uma nova fronteira se abriu quando os estudos morfológicos se expandiram, abrangendo também as microestruturas. O estudo das células revelou que elas eram construídas exatamente da mesma maneira, tanto nas

plantas como nos animais (exceto quanto à presença de cloroplastos nas células das plantas verdes), fornecendo assim a primeira evidência convincente para a monofilia dos reinos animal e das plantas. Ao mesmo tempo, o estudo das células de organismos inferiores revelou uma drástica descontinuidade em relação aos organismos superiores (eucariotos), que possuem núcleos bem desenvolvidos e mitoses, enquanto aqueles (procariotos, como algas verde-claras e bactérias) são desprovidos de núcleos e de cromossomos bem organizados.

Ao se avançar mais um passo na análise, no sentido da morfologia das macromoléculas, abriu-se uma nova fronteira, possibilitando um vasto aparato de novos tipos de pesquisa. Em relação às macromoléculas mais bem analisadas (como o citocromo C), hoje é possível construir árvores filogenéticas, a partir dos eucariotos inferiores até os animais e as plantas superiores, inclusive, por vezes, os procariotos. Nenhuma surpresa, portanto, que tais estudos vieram a confirmar os resultados das análises macromorfológicas; mas, a filogenia molecular, por vezes, chega a esclarecer linhas de parentesco anteriormente obscuras.

A embriologia como evidência da evolução e da descendência comum

A última área a fornecer a Darwin a evidência da evolução foi a embriologia. Ele enumera (*Origin:* 442) cinco conjuntos de fatos da embriologia, que permanecem sem explicação, a menos que se adote a teoria da descendência com modificação. Deu grande valor "aos fatos mais importantes da embriologia que, em história natural, não perdem para nenhum outro" (p. 450), bem

como à sua própria interpretação desses fatos.

> Poucos pontos me proporcionaram tanta satisfação, quando eu trabalhava no *Origin,* quanto a explicação para a grande diferença, em muitas classes, entre o embrião e o animal adulto, e para a estreita semelhança dos embriões da mesma classe. Tanto quanto eu possa me lembrar, pouca atenção foi dada a esse aspecto, nos primeiros comentários sobre o *Origin (Auto.:* 125).

Em cartas a Gray e Hooker, ele da mesma forma lamenta que nem os seus comentadores nem os seus amigos repararam o bastante nos seus argumentos embriológicos, embora fossem "de longe a mais vigorosa classe homogênea de fatos em favor" da evolução.

A embriologia ofereceu a Darwin um dos seus mais fortes argumentos anticriacionistas. Se as espécies tivessem sido criadas, a sua ontogenia haveria de conduzi-las pela via mais direta, desde o ovo até o estado adulto. Mas isso não é de forma alguma o que se verifica, tendo em vista que usualmente ocorrem extraordinários desvios durante o desenvolvimento.

> Não existe uma razão óbvia, por exemplo, para que a asa de um morcego ou a barbatana de um porco marinho não tivessem sido esboçadas, em todos os seus detalhes e nas devidas proporções, tão logo qualquer estrutura se tornasse visível no embrião (*Origin*, 442).

Por que deveriam os embriões dos vertebrados terrestres passar por um estágio de arcada de guelras? Por que deveriam os filhotes da baleia cachalote desenvolver dentes, e os vertebrados superiores ter um notocórdio? Estas são apenas algumas das inumeráveis estruturas embrionárias, que só podem ser entendidas como parte da herança filética.

Como é que Darwin explicou esses desvios no desenvolvimento? Sua interpretação baseava-se nas suas idéias sobre a origem da variação. Ele admitia que

> o adulto difere do seu embrião, devido a variações ocorridas em época não muito antiga, e que foram herdadas em época correspondente. Tal processo, enquanto deixa o embrião quase inalterado, acrescenta continuamente, ao longo de sucessivas gerações, sempre mais diferenças ao adulto (p. 338).

Em outras palavras, Darwin apóia suas conclusões na admissão de que as aquisições evolutivas mais recentes são devidas a variações que aconteceram muito tardiamente no processo ontogenético. Consequentemente, os embriões que ainda não alcançaram o estágio ontogenético em que essas variações se manifestam devem ser mais semelhantes uns aos outros do que os indivíduos adultos de grupos diferentes de animais, que se tomaram distintos, devido a diversas aquisições novas. "Assim, a comum estrutura embrionária revela a descendência comum" (p. 449). Quanto mais jovens os embriões, tanto mais semelhantes devem ser entre si, e mediante o exame e a comparação dos mesmos é possível descobrir indicadores da descendência comum. É por essa razão, diz Darwin, que os Cirrípedes se revelaram como sendo pertencentes à classe dos crustáceos. O estudo da embriologia oferece muitas vezes indícios valiosos para o estabelecimento da filogenia. Por exemplo,

> as duas mais importantes divisões dos cirrípedes, os pedunculados e os sésseis, que diferem grandemente na sua aparência exterior, possuem larvas dificilmente distinguíveis, em todos os seus diversos estágios (p. 440).

No sentido de fortalecer sua argumentação de que as semelhanças na ontogenia são indicadoras da descendência comum, Darwin, coerentemente com seu método, refuta a possibilidade de uma explicação alternativa. Alguém poderia dizer que as características especiais e as semelhanças dos embriões são adaptações próprias à existência larval. Isso de fato seria possível, diz Darwin, se as larvas "fossem ativas e tivessem sido adaptadas a linhas especiais de vida" (p. 439). Todavia, continua ele,

> não podemos, por exemplo, supor que, nos embriões dos vertebrados, o peculiar traçado curvilíneo das artérias, nas proximidades das entrâncias dos brônquios, esteja ligado a condições semelhantes, em se tratando do jovem mamífero que se nutre no útero de sua mãe, do ovo de um pássaro que é chocado no ninho e da ova de uma rã debaixo da água (p. 440).

A queixa de Darwin, no sentido de que a sua evidência embriológica em favor da evolução foi negligenciada, é algo que, em parte, se justifica, porque a atenção de todo o mundo estava voltada para uma controvérsia muito antiga. Por isso, é necessário encarar a história do pensamento embriológico. [25] Desde os gregos, era reconhecido que existia uma espécie de paralelismo entre a sequência dos estágios de crescimento embrionário e a sequência de organismos, dos mais elevados, conhecida mais tarde como a *scala naturae*. Aristóteles, por exemplo, classificou os organismos em seres com uma alma nutritiva (plantas), outros com uma alma nutritiva e sensitiva (animais), e finalmente outros com também uma alma racional (homens). Ao longo do desenvolvimento do embrião, assim ele postulava, esses três tipos de alma entraram sucessivamente em função. Essa idéia vaga tomou-se muito mais concreta, pelo fim do século XVIII, particularmente com Bonnet, que elevou a crença numa grande corrente do ser às suas maiores culminâncias.

O estudo desse paralelismo conduziu a certas conclusões, concernentes à relação entre a ontogenia e as séries animais, formulada por Meckel, da seguinte maneira (1821,1: 345):

> O desenvolvimento do organismo individual obedece às mesmas leis do desenvolvimento de toda a série animal; isso quer dizer que o animal superior, na sua evolução gradual, passa essencialmente pelos mesmos estágios orgânicos *permanentes* que se situam abaixo dele.

Tais desenvolvimentos foram devidos a uma "tendência, inerente à matéria orgânica, levando esta insensivelmente a galgar estágios superiores de organização, passando pelas séries dos estágios intermediários".

Correr-se-ia o risco de uma interpretação completamente errada dessas idéias, caso não se percebesse que a evolução não estava de forma alguma implicada nessa concepção de um paralelismo entre os estágios da ontogenia e os estágios da perfeição, na escada (estática!) do ser. A palavra "evolução" ainda detinha o velho sentido do desdobramento de um potencial latente do tipo. O anatomista francês, Étienne Serrès, um discípulo de Geoffroy, tinha idéias semelhantes. Ele

considerava

> todo o reino animal … idealmente como um único animal … que aqui e lá susta o seu próprio desenvolvimento, determinando assim, em cada ponto de interrupção, no exato estágio por ele alcançado, os caracteres distintivos dos filos, das classes, das famílias e das espécies (1860: 833).

Todos os defensores do paralelismo entre a ontogenia e a *scala naturae* eram essencialistas. Para eles, a *scala naturae* consistia numa seriação de tipos, e acreditavam poder descobrir a mesma sequência de tipos na ontogenia. O final da ontogenia era o "estágio permanente", o ponto de parada temporário, de Serrès. A teoria do paralelismo entre os estágios da ontogenia e os estágios da *scala naturae* foi chamada, mais tarde, a lei de Meckel-Serrès. No período pós-darwiniano, quando os conceitos em que ela se baseava estavam abalados *(scala naturae*, essencialismo, *Naturphilosophié),* a lei de Meckel-Serrès foi muitas vezes grosseiramente deturpada. A mais equivocada dessas interpretações consistiu na substituição das palavras "estágio permanente" por "adulto". Muitos daqueles que adotavam a lei de Meckel-Serrès eram embriologistas competentes, e sabiam muito bem que nenhum estágio, no desenvolvimento do embrião de um mamífero ou de um pinto, era "idêntico a" (terminologia de fato utilizada por um dos seus opositores!) um réptil ou a um peixe adulto. Mas desde que os mamíferos e as aves não possuem guelras, e respiram por meio de pulmões, as arcadas de guelras representavam o estágio de peixe, na *scala naturae.* Enquanto eu sabia, nenhum membro da escola de Meckel-Serrès jamais afirmou que os estágios ontogenéticos representavam os estágios adultos de tipos inferiores. Tampouco eles invocavam a causalidade e a cronologia, que ficaram associadas ao termo "recapitulação", na época pós-darwiniana.

É preciso lembrar ainda que a década de 1820 a 1830 conheceu o clímax da grande controvérsia entre os adeptos de uma única *scala naturae* (um tipo único para todo o reino animal) e os cuvierianos, com a sua tese das quatro ramificações inteiramente diferentes. K. E. von Baer (1792-1876), que de modo mais ou menos independente chegou a conclusões semelhantes às de Cuvier, não apenas sustentava que cada filo dos animais tinha a sua própria ontogenia, mas também rejeitava *in toto* a idéia de um paralelismo entre ontogenia e nível de organização.

Ele dedicou uma parte importante (o quinto escólio) da sua famosa embriologia animal (1828) a essa refutação. Ali ele apresenta uma paródia das idéias de Lamarck, e repudia qualquer tipo de evolução; rejeita toda idéia de uma série animal, afirmando que os animais todos se agrupam em tomo de um certo número de arquétipos, que coincidem com as quatro ramificações de Cuvier, e nega especificamente "a noção predominante de que o embrião dos animais superiores passa pelas formas permanentes dos animais inferiores". Ele repete as suas conclusões em relação aos vertebrados: "Os embriões dos vertebrados, no curso do seu desenvolvimento, não passam pelas formas permanentes de nenhum animal conhecido, seja ele qual for".

Em lugar dessas idéias por ele refutadas, ele propõe as suas próprias leis do desenvolvimento individual:

1. Que os caracteres mais gerais, do grande grupo animal a que os embriões pertencem, aparecem mais cedo, no desenvolvimento, do que os caracteres mais especiais.
2. As formas menos gerais desenvolvem-se a partir das mais gerais, e assim por diante, até por fim aparecerem as mais específicas.

3. Todo embrião de uma determinada forma animal, em vez de passar pelo estado de outras formas definidas, se afasta de todas elas.
4. Fundamentalmente, por isso, o embrião de uma forma superior, em momento algum, se parece com o adulto de qualquer outra forma animal, mas apenas com o embrião da mesma.

O que de fato acontece na ontogenia, diz von Baer (I: 153), pode ser resumido como segue: "Realiza-se gradualmente uma transição de algo homogêneo e geral para algo heterogêneo e especial". Foi essa afirmação que inspirou a teoria da evolução de Spencer, mas ela é evidentemente falsa, no que diz respeito à ontogenia. Por que, na ontogenia dos mamíferos, deveriam as arcadas de guelras (como as dos peixes) ser algo "homogêneo e geral"? A mesma pergunta se aplica em relação aos dentes do embrião de cachalote, bem como a outros exemplos de recapitulação.

Presumivelmente, von Baer considerava essas características partes integrantes do arquétipo, e por isso "gerais".

Quando Darwin iniciou suas leituras sobre embriologia, após 1838, ele podia escolher entre a teoria do paralelismo, dos *Naturphilosophen,* e a teoria de von Baer, de uma diferenciação estritamente linear. No seu "Esboço" de 1842, ele parece aproximar-se da posição de von Baer, afirmando que num estágio primitivo da ontogenia "não existe diferença entre peixe, pássaro, etc. etc., e mamífero … não é verdade que se passa pela forma de um grupo inferior". E em 1844, ele reafirma "que o jovem mamífero não é em momento algum um peixe … da mesma forma como o embrião da medusa não é em momento algum um pólipo".

Nos anos 1840 a 1850, Louis Agassiz ampliou as leis de Meckel – Serrès para um paralelismo tríplice, mediante uma interpretação progressiva dos registros fósseis. Os estágios do embrião repetem não apenas a escala da perfeição, como observado nos tipos existentes, mas também a sucessão fóssil:

> Pode-se, portanto, considerar como um fato geral … que as fases de desenvolvimento de todos os animais vivos correspondem à ordem de sucessão dos seus representantes extintos, de passadas eras geológicas. Assim sendo, os representantes mais antigos de cada classe podem ser considerados tipos embrionários das respectivas ordens ou famílias entre os vivos (1857; 1962: 114).

Esse pensamento deixou Darwin profundamente intrigado, como transparece do comentário que faz no *Origin* (p. 338):

> Agassiz insiste em que os animais antigos se parecem, até certo ponto, com os embriões dos animais recentes da mesma classe; ou que a sucessão geológica das formas extintas é, em certa medida, paralela ao desenvolvimento embrionário das formas recentes. Só posso acompanhar Pictet e Huxley no pensamento de que a verdade dessa doutrina está longe de ser comprovada. Contudo, espero vê-la confirmada daqui para a frente … Porque essa teoria de Agassiz se ajusta bem à teoria da seleção natural.

Parece também que, nessa altura, baseada no seu trabalho sobre os Cirrípedes, Darwin se tenha aproximado consideravelmente da doutrina de Meckel-Serrès. Mas, como de hábito, ele era bastante

cauteloso nas suas generalizações.

O mesmo não pode ser dito do seu exuberante seguidor, Emst Haeckel, que transformou o enunciado Meckel-Serrès do paralelismo em uma lei evolucionista. Em 1866, ele publicou a sua *lei biogenética* (teoria da recapitulação), segundo a qual "a ontogenia é uma recapitulação concisa e condensada da filogenia, condicionada por leis de hereditariedade e adaptação". Fritz Müller havia chegado, independentemente, a uma conclusão semelhante (1864): A ontogenia repete a filogenia, porque esta é a causa dos estágios ontogenéticos! Consequentemente, uma análise da ontogênese dir-nos-á tudo sobre a filogênese, isto é, sobre a ancestralidade comum. Se isso fosse verdadeiro, seria um princípio heurístico simplesmente admirável.

Com a bênção tática de Darwin (1872: 498) e com o entusiasmo de Haeckel, a teoria da recapitulação era imensamente popular e exitosa nas três ou quatro décadas depois de 1870. Ela conduziu a um esplêndido florescimento da embriologia comparada, e foi responsável por muitas descobertas espetaculares, como, por obra de Kowalewsky, que os tunicados são cordados, [26] e que o parentesco dos filos mais importantes do reino animal é muito diferente do que diziam as concepções anteriores (a filogenia Protostômios-Deuterostômios). A embriologia tomou-se também um instrumental indispensável para estabelecer homologias que, por outra forma, permaneciam incertas. Pelo final do século, vários exageros, bem como um crescente interesse pelas causas próximas, levaram ao desencanto em relação à recapitulação, e mesmo ao seu abandono, particularmente na sua forma extrema.

Recentemente, se indagou como pôde a recapitulação ter recebido uma aceitação tão indiscriminada, no período de Haeckel, a despeito dos aderentes argumentos de von Baer contra a lei de Meckel-Serrès? Teriam os escritos de von Baer passado despercebidos? Certamente que não, pois eram amplamente citados (Ospovat, 1976). Além do mais, a sua argumentação tinha um peso considerável, porque a maioria dos autores (Darwin inclusive) rejeitava a afirmação de que a ontogênese fosse a recapitulação dos *estágios adultos* dos ancestrais. A maioria dos filogenistas adotava uma versão atenuada da recapitulação, afirmando meramente que o embrião, durante a ontogênese, passa por uma série de estágios que correspondem aos dos ancestrais, como de fato muitas vezes isso é verdade. Muitos argumentos de von Baer, contrários à tese de que os embriões passam pelos estágios adultos dos ancestrais, não eram aplicáveis à versão moderada. Na realidade, a diferença entre as teorias antagônicas era muito menor do que normalmente se afirma.

As leis de von Baer não eram muito bem aceitas, porque eram largamente descritivas e estéreis, do ponto de vista explicativo, enquanto a tese da recapitulação era esplendidamente heurística; porque o esforço de von Baer por refutar o paralelismo entre a ontogenia e as séries animais fazia parte de uma argumentação mais ampla contra a evolução, sendo por isso que, depois de 1859, era interpretado como integrante do seu antievolucionismo; porque von Baer acreditava em uma progressão teleológica e necessária, do mais baixo ao mais alto, do homogêneo ao heteogêneo; e finalmente porque a afirmação de que a ontogênese sempre passa do simples ao mais complexo podia ser facilmente refutada, na maioria dos casos mais notáveis de recapitulação. Também a interpretação de von Baer era eivada do espírito da *Naturphilosophie,* a qual, pelos anos 1866, estava fora de moda, mesmo que ainda sustentada por Serrès e uns poucos morfologistas idealistas.

Quando a lei biogenética de Haeckel perdeu o seu prestígio, foram feitas algumas tentativas de voltar às leis de von Baer (por exemplo, de Beer, 1940; 1951), mas era evidente que essa, tampouco, era a solução correta. Tomou-se inevitável a rejeição tanto da recapitulação como das leis de von

Baer.

De que forma um biólogo moderno explica a presença de arcadas de guelras na ontogênese dos mamíferos? Para ser franco, enquanto a fisiologia e a bioquímica dos sistemas de desenvolvimento não forem mais bem compreendidas, só é possível dar uma resposta tentativa. Pode-se sugerir que o programa genético do desenvolvimento consiste num conjunto de interações tão complexo que só pode ser modificado muito lentamente. Isso pode ser demonstrado de modo particularmente convincente em relação aos assim chamados órgãos vestigiais, como, por exemplo, o restante das extremidades posteriores das baleias, cujos ancestrais entraram na água há cerca de 55 milhões de anos. A tese de Darwin, segundo a qual as novas aquisições evolutivas são sobrepostas à estrutura genética existente, embora seja frequentemente combatida, tem um fundo verdadeiro. Uma vez que a base genética de uma estrutura estiver completamente incorporada ao genótipo, fazendo parte da sua coesão total, ela só pode ser removida com o risco da destruição de todo o sistema de desenvolvimento. É menos dispendioso conservar intato o complexo sistema regulador da embriogênese dos mamíferos, mesmo que (como produto residual) engendre desnecessárias arcadas de guelras, do que destruí-lo, e assim produzir genótipos desequilibrados.

Nossa compreensão do regime do desenvolvimento é ainda demasiadamente incompleta para que possamos excluir a possibilidade de que aquisões evolutivas tardias sejam efetivamente "acrescentadas" ao genótipo, de modo mais solto do que as características herdadas de ancestrais remotos. Não temos uma recapitulação dos tipos ancestrais, mas temos, isto sim, ocasionalmente, na ontogênese, a recapitulação de caracteres ancestrais individuais e de linhas de desenvolvimento. Como identificá-las, e como explicar a sua fisiologia de desenvolvimento, estes são assuntos ainda em discussão.

O Capítulo XIII completa a apresentação darwiniana da evidência da evolução por descendência comum. Dois aspectos dessa ordenação de fatos e argumentos são particularmente dignos de nota. Um deles é a ênfase sempre repetida no fato de que todos os acontecimentos da história natural são perfeitamente coerentes com a evolução por descendência comum, ao passo que muitos deles, absolutamente, não podem ser compatibilizados com a criação. O outro aspecto é que a teoria de Darwin assentou em definitivo numerosos argumentos, em todos os ramos da biologia, relativos a assuntos que pareciam desesperadamente sem solução, ao longo de muitas gerações. Essa capacidade da teoria da evolução fez com que os biólogos a mencionassem como a maior teoria unificadora da biologia. Aquelas áreas que já a Darwin proporcionaram a mais eloquente evidência para a evolução – a paleontologia, a classificação, a biogeografia, a morfologia e a embriologia – continuaram a fornecer as provas mais convincentes da evolução, até os tempos modernos.[27] Praticamente a única que veio a acrescentar-se, de fato extremamente importante, foi a biologia molecular.

11. A CAUSA DA EVOLUÇÃO: SELEÇÃO NATURAL

No verão de 1837, Darwin era um evolucionista convicto. Ficou claro para ele que as espécies são modificáveis, e que elas se multiplicam mediante processos naturais. Mas como acontecem essas mudanças, e quais fatores são responsáveis pela transformação das espécies, isso era de início muito obscuro para ele. Para felicidade dos historiadores, ele assentou as suas especulações e elucubrações em pequenos cadernos de notas, e a redescoberta dos mesmos permitiu a reconstrução do caminho bastante tortuoso da sucessão de hipóteses de Darwin. Da mesma forma como Lyell, ele havia especulado sobre a introdução de novas espécies, a bordo do *Beagle,* quando ainda era um criacionista, e fatalmente adotou um modelo saltacionista (por exemplo, para a origem da segunda espécie sul-americana da *Rhea,* ou "avestruz"). Naquelas primeiras especulações, Darwin estava encarando o caso de pares de espécies simpátricas, ocorrendo nas planuras da Patagônia. Aqui ele não conseguia nem ver isoladamente, nem era capaz, no caso de espécies sucessivas, de aplicar facilmente a explicação lyelliana do preenchimento de um nicho desocupado, por uma espécie nova. Nenhuma evidência se lhe apresentava de uma mudança de clima, por isso, nenhuma necessidade de extinção das espécies primitivas. Todavia, a extinção efetivamente aconteceu, no caso do lhama gigante, sendo o seu lugar ocupado agora pelo guanaco. Kohn (1981) e outros descreveram com propriedade aquele estágio do pensamento de Darwin.

Em julho de 1837, Darwin iniciou o primeiro de quatro cadernos de notas, por ele etiquetados B, C, D, E, aos quais se referia como os *Cadernos sobre a transmutação* (de Beer, 1960). Os pensamentos registrados nesses cadernos refletem de modo muito admirável os meandros do percurso pelo qual, uns quinze meses mais tarde, Darwin chegou à sua teoria da evolução por seleção natural. Considerando que se trata de uma teoria altamente complexa, como veremos, ela não pôde ser concebida em um único momento, embora Darwin relembre uma data bem definida, em que teve a experiência de uma iluminação. Na sua autobiografia (1958: 120), ele compacta o desenvolvimento longo e complicado da teoria como sendo o resultado de um único momento, que descreve em passagem memorável:

> Em outubro [de fato, em 28 de setembro] de 1838, isto é, quinze meses depois que eu havia começado a minha inquirição sistemática, pus-me a ler, por motivo de distração, a obra de Malthus sobre a População, e estando bem preparado para a apreciação da luta pela existência, que por toda parte acontece, segundo diutuma observação dos hábitos dos animais e das plantas, de repente deu-me o estalo de que, sob tais circunstâncias, as variações favoráveis tenderiam a ser preservadas, e as desfavoráveis destruídas. O resultado disso seria a formação de novas espécies. Nessa hora, finalmente, estava nas minhas mãos uma teoria sobre a qual pudesse trabalhar.

Mas o que exatamente aconteceu em 28 de setembro de 1838? Pelos seus cadernos, depreende-se com toda clareza que foi uma particular sentença de Malthus que desencadeou o turbilhão intelectual de Darwin: "Pode ser enunciado com toda certeza, por isso, que a população, quando não

controlada, segue duplicando a cada 25 anos, ou cresce em uma proporção geométrica".

A sequência causai da teoria natural é perfeitamente lógica, como será demonstrado adiante. Todavia, Darwin não chegou a ela de uma maneira simples, mas sim por meio do desenvolvimento, e subsequente refutação, de uma série de teorias alternativas. Contudo, ele soube reter os componentes válidos das teorias rejeitadas, e usá-los quando positivamente contribuíam para a teoria da seleção natural. Esta, portanto, não foi concebida e completada num único dia. Schweber (1977) atribui em grande parte a mudança do pensamento de Darwin às suas leituras de Brewster e Quetelet, nos dois a três meses anteriores ao episódio Malthus. Kohn (1981) inclina-se a pensar que muitos aspectos da teoria já estavam delineados pelo fim de setembro de 1838 (mas por influências outras que sugerido por Schweber). Hodge (1981) julga plausível que a mudança mais decisiva no pensamento de Darwin tenha acontecido em novembro de 1838. Ospovat (1979), em contraste, pensa que o conceito darwiniano da seleção e da natureza da adaptação era ainda bastante imaturo, em 1838, e que necessitou ainda de diversos anos para a sua consolidação, na forma como apresentada no *Origin* (1859), isto é, na forma como o público veio dela ter conhecimento. Em um ponto todos esses autores estão de acordo, a saber, que a teoria evoluiu lentamente, e com idas e vindas. De fato, mesmo nos seus escritos posteriores, Darwin muitas vezes se mostra incoerente ao referir-se à seleção, e ocasionalmente faz afirmações que não se coadunam com outras, feitas quase ao mesmo tempo.

Nos três anos posteriores ao seu retorno da viagem do *Beagle,* Darwin talvez leu tanto a literatura não-biológica quanto livros e artigos sobre animais e plantas (Herbert, 1974; 1977; Manier, 1978). É evidente que ele não vivia num mundo intelectual rarefeito, mas estava o tempo todo em contato ativo com as idéias que formavam o *zeitgeist* da sua época. Não há surpresa em que esse fato levantou a questão sobre em que medida as novas idéias de Darwin nasceram, por assim dizer de modo inevitável, como o produto das suas descobertas científicas, e em que medida ele simplesmente adotou, ou modificou, as idéias existentes entre os seus contemporâneos. Os biólogos, de modo geral, tendem a minimizar as influências externas, enquanto os não-biólogos, historiadores das idéias e historiadores sociais inclinam-se ao outro extremo.

O nome "Malthus" induziu a escola dos historiadores sociais a propor a tese de que foi a teoria social de Malthus que forneceu a Darwin a teoria da evolução por seleção natural (veja a seguir), interpretação essa combatida vigorosamente pelos historiadores da biologia. Mas estes, por sua vez, têm sérias discordâncias quanto à interpretação, como já pude esclarecer. A razão disso é a extraordinária complexidade do paradigma explicativo de Darwin. Nas ciências físicas, o componente crucial de uma nova teoria é usualmente fornecido por um único fator, seja a gravidade, a relatividade, a descoberta do eléctron, ou coisa semelhante. Em contraste, as teorias biológicas, particularmente aquelas que se referem à biologia evolutiva, são altamente complexas. A teoria darwiniana da evolução por seleção, por exemplo, tem oito componentes principais, muitos dos quais podem, por sua vez, ser subdivididos, como veremos. Mais do que isso, a questão de interpretar a interação dos seus componentes constitui usualmente o ponto decisivo, quando se trata de uma teoria biológica. No intuito de determinar exatamente o que Darwin deve a Malthus, é preciso dissecar com cuidado o seu modelo explicativo. A natureza desse modelo pode ser reconstituída a partir dos cinco primeiros capítulos do *Origin,* intitulados "Variação por domesticação", "Variação na natureza", "Luta pela existência", "Seleção natural" e "Leis da variação".

A lógica da teoria da seleção natural

A teoria de Darwin consistia em três inferências, baseadas em cinco fatos, derivados em parte da ecologia de populações, e em parte dos fenômenos da hereditariedade.

Fato 1: Todas as espécies possuem tão grande potencial de fertilidade que, se todos os indivíduos nascidos se reproduzissem com êxito, o tamanho da sua população cresceria exponencialmente (Malthus dizia geometricamente).

Fato 2: Exceto em relação a flutuações anuais menores, e a flutuações ocasionais maiores, as populações são normalmente estáveis.

Fato 3: Os recursos são limitados. Num meio ambiente estável, eles permanecem relativamente constantes.

Inferência 1: Desde que é produzido maior número de indivíduos do que podem suportar os recursos disponíveis, mas permanece estável o tamanho da população, isso implica que deve haver uma luta feroz pela existência entre os indivíduos de uma população, resultando na sobrevivência de apenas uma parte, muitas vezes muito pequena, da progênie de cada geração.

Esses fatos, derivados da ecologia populacional, conduzem a conclusões importantes, quando combinados com certos fatos genéticos.

Fato 4: Não existem nem dois indivíduos que sejam exatamente iguais; toda população ostenta uma enorme variabilidade.

Fato 5: Grande parte dessa variação é herdável.

Inferência 2: A sobrevivência na luta pela vida não é a esmo, mas depende, em parte, da constituição hereditária dos indivíduos que sobrevivem. Tal sobrevivência desigual constitui um processo de seleção natural.

Inferência 3: No curso das gerações, esse processo de seleção natural conduzirá a uma mudança gradual e contínua das populações, vale dizer, à evolução e à produção de novas espécies.

A pergunta que um historiador da ciência deve fazer é sobre quais desses fatos eram novos para Darwin; e se nenhum deles o era, por que outros antes dele não chegaram às mesmas inferências? Ele deve perguntar também em que sequência Darwin chegou às várias conclusões, e por que a referência de Malthus ao crescimento exponencial das populações se revelou tão crucial para o ordenamento final da estrutura lógica de Darwin?

Antes de analisarmos em detalhe a teoria darwiniana, é preciso destacar alguns fatos relativos ao contexto mental de Darwin, no período crítico de 1837 a 1838. Suas leituras gerais convenceram-no da importância da natureza gradual de todas as mudanças. Ele rejeitava enfaticamente as origens

súbitas. *Natura nonfacit saltus* (a natureza não faz saltos) era um provérbio seu, quanto o era também de Lamarck. Isso guardava plena coerência com o anticatastrofismo de Lyell (veja o Capítulo 7).

O segundo ponto que é preciso ter em mente é a preocupação original de Darwin com a diversidade. Ele sempre tinha uma teoria sobre cada coisa, e muito antes de conceber a teoria da seleção natural, ele tinha uma sobre a formação das espécies nas ilhas. Sua teoria da especiação consistia em que, se um grupo de animais fosse isolado do corpo principal da população da espécie, ele aos poucos se diferenciaria, sob o impacto das novas condições, até tomar-se uma espécie diferente. Com referência à sua teoria primitiva, Darwin proclamou que "a minha teoria é muito diferente da de Lamarck" (B: 214), fazendo alusão ao seu entendimento da de Lamarck, como sendo uma "evolução por forças de uma vontade". Na realidade, a sua teoria parece ter sido muito próxima das teorias neo-lamarckianas posteriores, da mudança provocada pelo meio local (Ruse, 1975a: 341). Tratava-se de uma teoria estritamente tipológica, onde a população da espécie isolada respondia de modo igual, e como um todo, às novas condições. Curiosamente, anos mais tarde na sua vida, muito depois de ter abandonado essa teoria, Darwin acusava Wagner (perfeitamente sem fundamento) de crenças semelhantes, e enfatizava que "nem o isolamento, nem o tempo, por si mesmos, fazem qualquer coisa para modificar a espécie" (L. L. D., II: 335-336. Muitas afirmações extraídas das anotações de Darwin poderiam ser citadas (Ruse, 1975), para ilustrar a sua primitiva teoria, mas darei apenas duas. "Segundo essa concepção, os animais de ilhas distantes devem ficar diferentes, quando mantidos em separado o tempo suficiente, em circunstâncias ligeiramente diversas" (B: 7). "Como eu disse anteriormente, as espécies *isoladas*, especialmente com alguma alteração do meio, provavelmente variam mais depressa" (B: 17).

Os anos 1837 e 1838 foram, sem a menor dúvida, o período intelectualmente mais excitante na vida de Darwin. Ele leu muitos, não apenas sobre geologia e biologia, mas também sobre filosofia e "metafísica". [1] Foi nesses anos que ele passou francamente para o agnosticismo; que começou a desenvolver-se o seu pensamento de população; e que acreditou muito menos na hereditariedade tênue (Mayr, 1977a). Alguma coisa disso está refletida diretamente nos seus cadernos de notas; e parte disso pode apenas ser inferida. Foi um período de uma drástica reorientação para Darwin, e por isso não é surpresa que, pelo final de 1838, muitos fatos e muitos conceitos, que há muito tempo lhe eram familiares, tenham adquirido um significado inteiramente novo.

Os componentes mais importantes da teoria da seleção natural

Provavelmente não existe, na história das idéias, um conceito mais original, mais complexo e mais ousado do que a explicação darwiniana mecanicista da adaptação. Muitos estudiosos tentaram reconstituir os passos pelos quais Darwin chegou ao seu modelo final. [2] Eles procuraram situar toda uma série de fatos e de idéias num quadro novo. Em vez de seguir esse método de análise mais ou menos cronológico (para o qual remeto à literatura indicada), proponho-me destacar os conceitos principais de que se compõe a teoria de Darwin, e tentarei analisar tanto a história anterior dos mesmos, quanto o pensamento de Darwin.

A fertilidade

A exuberante fertilidade dos organismos vivos sempre foi um tema favorito dos autores que escreveram sobre a natureza. Para mencionar apenas os autores que eram perfeitamente familiares a Darwin, encontramos referências à fertilidade nos escritos de Buffon, Erasmus Darwin, Paley, Humboldt e Lyell. Darwin estava particularmente impressionado com a incrível taxa de reprodução dos protozoários, da qual tomou conhecimento por meio dos escritos de C. G. Ehrenberg (Gruber, 1974: 162). Dois fatores talvez sejam os mais responsáveis pela falha de Darwin de não ter incorporado mais cedo essa informação nas suas reflexões evolutivas. Uma delas consiste em que Darwin, ao que parece, não se deu conta de que organismos com progênie relativamente reduzida – como aves e mamíferos – tinham potencialmente a mesma taxa exponencial de crescimento dos microorganismos. A outra, como a seguir se verá, é que, na conceituação essencialista, a fertilidade elevada é irrelevante. Uma vez que todos os indivíduos são idênticos, não tem a menor importância a percentagem deles, que é eliminada antes da reprodução. Somente depois que algumas outras das suas idéias estavam suficientemente amadurecidas, a fertilidade se tomou um componente importante da sua teoria.

A fertilidade humana tinha sido uma preocupação dos pensadores sociais, durante muitas gerações, e Malthus não proferiu nenhuma originalidade nessa questão. Com efeito, ele faz referência direta a Benjamin Franklin, como o autor dos cálculos que lhe deram a idéia do crescimento geométrico. Muito antes disso, Buffon e Lineu (Limoges, 1970: 80) haviam apresentado alguns cálculos, mostrando quão depressa o mundo estaria preenchido por uma única espécie, caso se reproduzisse sem controle. E Palley (1802: 540), um dos autores favoritos de Darwin, já tinha afirmado que "a geração avança numa progressão geométrica … [enquanto] o crescimento das provisões … só pode assumir a forma de uma série aritmética". Teria Darwin esquecido que uma vez ele tinha lido isso em Palley (o qual por sua vez, presumivelmente, havia colhido a idéia na primeira edição de Malthus)?

A luta pela existência e o equilíbrio da natureza

Nas duas gerações anteriores a Darwin, teve origem uma mudança profunda na interpretação humana da harmonia da natureza. Os teólogos naturais retomaram um tema que já era popular entre certos filósofos gregos – o de que a interação entre animais e plantas e o seu meio ambiente ostentava uma harmonia maravilhosa. Todas as coisas estavam ordenadas de tal forma que se mostravam em equilíbrio com tudo o mais. Se alguma espécie viesse a se tomar um pouco comum demais, algo aconteceria para trazê-la de volta ao seu nível anterior. A idéia de uma interdependência bem ordenada das várias formas da vida constituía evidência da sabedoria e da bondade do Criador (Derham, 1713). Por certo, os predadores destroem a presa. Mas os predadores, uma vez criados, devem viver. As presas foram designadas providencialmente para fornecerem excesso de reprodução, e assim sustento para os predadores. A aparente luta pela existência não passa de um fenômeno de superfície; em parte alguma ela perturba a harmonia de base. Tão grande é a harmonia da natureza, que as espécies não podem nem mudar, nem se extinguir; caso contrário, a harmonia seria afetada. Nem elas necessitam melhorar, porque não existe um nível superior de perfeição.

O conceito e o próprio termo "luta pela existência" são bastante antigos, tendo sido frequentemente mencionados nos séculos XVII e XVIII, como Zirkle (1941) mostrou. Mas de

qualquer maneira, essa luta, no seu conjunto, era considerada por Lineu (Hofsten, 1958), Kant, Herder, Cuvier, e muitos outros, como ocorrência relativamente benigna, servindo para fazer as necessárias correções no equilíbrio da natureza. A medida que aumentava o conhecimento da natureza, começando a serem reconhecidas as crueldades da luta pela existência, uma interpretação contrária adquiria crescente poder de convicção e popularidade. Ela vem indicada em alguns dos escritos de Buffon e em algumas poucas afirmações de Lineu; ela é expressa em certos escritos do historiador alemão Herder; e ela foi vigorosamente enfatizada por de Candolle, de quem Lyell a colheu para fazer uma alentada exposição sobre a severidade da luta pela existência. Foi nos escritos de Lyell que Darwin encontrou pela primeira vez esse conceito, não em Malthus.

Evidentemente, o conceito de harmonia inalterável de um mundo feito sob desígnio tomou-se simplesmente insustentável em face do conhecimento dos registros fósseis, evidenciando a quantidade de espécies que desapareceram; o mesmo também aconteceu em decorrência dos estudos dos geólogos, revelando o quanto o mundo se alterou ao longo das idades. Lamarck fez uma tentativa de recuperar o conceito de equilíbrio moderado, negando a extinção e explicando o desaparecimento de tipos pela evolução. Aceitar uma tal interpretação significava decretar o fim da crença em um mundo estático.

A adaptação, enquanto tal conceito existia, já não podia ser considerada uma condição estática, um produto de um passado de criação, e passou a ser um processo contínuo e dinâmico. Os organismos são condenados à extinção, a menos que se alterem continuamente, a fim de acompanhar o andamento do meio físico e biótico, constantemente em mudança. Tais mudanças são ubíquas, porque os climas mudam, os concorrentes invadem a área, os predadores se extinguem, as fontes de alimento flutuam; com efeito, dificilmente um componente ambiental permanece inalterável. Quando finalmente se tomou consciência disso, a adaptação passou a ser um problema científico. Depois de 1837, os interesses de Darwin passaram cada vez mais dos problemas da diversidade para os problemas da adaptação.

O que Darwin tentou fazer foi analisar com maior detalhe os fatores que conduzem à luta pela existência. A luta é evidentemente a consequência dos seus fatos 1, 2 e 3 (acima), isto é, o controle imposto ao crescimento potencial das populações pela limitação dos recursos. [3] Desde o século XVII, e talvez até antes, houve autores que salientavam a existência de diversos fatores que estabilizavam as populações humanas. Em 1677, Matthew Hale relacionou os cinco freios mais importantes para o crescimento das populações humanas: epidemias, fome, guerras, enchentes e conflagrações. Lineu (Gruber, 1974: 163) exprimiu-se de modo patético sobre o assunto:

> Eu não sei por qual intervenção da natureza, ou por qual lei, o número de homens é mantido dentro dos limites suportáveis. De qualquer maneira, é verdade que muitas doenças contagiosas grassam normalmente em maior medida em regiões densamente povoadas, e inclino-me a pensar que a guerra acontece onde existe a maior superfluidade de população. Pelo menos, assim me parece, onde a população cresce em demasia, diminuem a concórdia e os meios de subsistência, e abundam a inveja e a malignidade em relação aos vizinhos. E assim é a guerra de todos contra todos.

A luta pela existência, não obstante a descrição vivaz de Lineu, raramente assume a forma de um combate efetivo. Ordinariamente, ela não passa da competição pelos meios de subsistência, no caso

de escassez de suprimentos. Nos termos do essencialismo, a competição era usualmente descrita – particularmente quando aplicada aos animais e às plantas – como competição entre as espécies. O evento crucial na mente de Darwin, ao ler as afirmações de Malthus sobre a fertilidade, foi que finalmente ele se deu conta de como era importante a competição entre os *indivíduos* da mesma espécie, e de *como as consequências dessa competição são inteiramente diferentes da competição tipológica entre as espécies.* [4]

A quantificação era posta em grande relevo pelos filósofos da ciência (como Herschel e Whewell) e pelos estatísticos (Quetelet), no tempo de Darwin. Por isso, diversos autores sugeriram (por exemplo, Schweber, que a afirmação de Malthus fez uma tão grande impressão em Darwin, justamente porque era expressa em termos quantitativos ("razão geométrica"). E de fato possível que isso tenha aumentado a atração de Darwin pela asserção de Malthus, muito embora a "lei da seleção natural" seja tudo, menos uma lei quantitativa e previsível. Isso explica uma posterior referência de Herschel à seleção natural, como sendo a "lei da bagunça", definição essa que bem ilustra o que esse filósofo pensava das generalizações quantitativas e não-determinísticas.

Diversos autores recentes mostraram a mudança gradual de dois conceitos, ocorrida nas décadas anteriores a 1838, a saber, a natureza da luta pela existência (de benigna para feroz) e os agentes da competição (da espécie para os indivíduos), mas não dispomos ainda de uma análise metódica e exaustiva. Já antes de Darwin existia uma certa consciência da competição intra-específica, sem afetar contudo o conceito do equilíbrio da natureza. Mas o que a leitura de Malthus produziu em Darwin vem expresso da forma seguinte:

> Nem mesmo a linguagem enérgica de de Candolle acarreta um estado de guerra entre as espécies, como também se pode inferir de Malthus – o aumento dos animais só pode ser evitado por controles positivos, exceto no caso em que a fome estanca o desejo (D: 134).

Darwin observa corretamente que, até então, sempre se pensou que os animais tinham tantas crias quantas eram "necessárias". O fato de que a taxa de reprodução é amplamente independe das carências na economia da natureza apresentava-se como um conceito totalmente incompatível com a idéia dos teólogos naturais do equilíbrio da natureza. O pensamento teleológico de que os membros de uma espécie tinham tantos novos rebentos quantos necessitavam foi abandonado muito lentamente, e teve que ser combatido por David Lack, ainda em anos recentes.

Seleção artificial

Na sua autobiografia, bem como na sua correspondência, Darwin muitas vezes afirmou que há muito tempo estava convencido da importância da seleção artificial, mas que somente depois de haver lido Malthus é que descobriu a forma de como aplicar essa convicção à evolução. Por exemplo,

> Eu cheguei à conclusão de que a seleção era o princípio da mudança, a partir do estudo da produção doméstica; e então, ao ler Malthus, percebi de relance como aplicar esse princípio (carta a Wallace, 1858).

Esta sequência de fatos é contestada por Limoges e outros escritores recentes, pois Darwin aparentemente jamais tinha usado antes a palavra "seleção" (falava, em vez disso, de "escolha"), e porque esses escritores não conseguiam ver de que forma o estudo da domesticação podia ter influenciado o pensamento de Darwin. Seja como for, Wood (1973) e Ruse (1975a) mostraram que Darwin se havia abeberado largamente na literatura de criadores de animais, e o fato de ter sublinhado frases cruciais nos panfletos de Sebright e Wilkinson (lidos na primavera de 1838) revela como Darwin tinha uma clara compreensão dos princípios da seleção artificial, e quanto os considerava importantes.

Nesse contexto, é bom lembrar que os amigos de faculdade de Darwin, em Chicago, dos quais se dizia que estavam interessados principalmente em cavalgadas e caçadas, eram filhos de proprietários rurais e tinham sem dúvida um considerável interesse em agricultura e criação de animais. Por outro lado, pode-se perfeitamente questionar como Darwin, naquele estágio precoce, teria chegado a descobrir a importância da criação de animais para os seus interesses científicos!

Darwin deveu aos criadores idéias boas e idéias más. A crença firme de que a mera colocação de animais e de plantas em condições de domesticação aumentaria a sua variabilidade era uma das idéias ruins. Felizmente, ele absorveu dos criadores também alguns conceitos extremamente valiosos. O mais importante deles foi, sem dúvida, a ênfase na individualidade de cada membro de um rebanho. Foi essa a percepção que, muito mais do que a prática da seleção artificial, forneceu a Darwin o componente-chave da uma teoria da seleção natural.

Muitos anos depois do episódio Malthus, Darwin afirmava reiteradamente que ele chegou ao conceito de seleção natural por analogia com a seleção artificial. Nem as anotações de 28 de setembro de 1838, nem outros passos dos seus cadernos de notas dão suporte a essa lembrança. Muito embora as duas leituras sobre criação de animais lhe tenham indubitavelmente proporcionado diversas idéias importantes, há muitas sugestões no sentido de que ele desenvolveu a analogia somente alguns meses mais tarde, quando lhe ocorreu que a seleção artificial era uma esplêndida conformação experimental da seleção natural. Hodge (1981) julga que isso ocorreu em novembro de 1838, quando de uma visita a Shropshire.

O novo modelo da seleção natural darwiniana era inteiramente dedutivo, e, no intuito de adequar-se às prescrições dos mais eminentes filósofos do seu tempo (Comte, Herschel e Whewell), Darwin sentiu a necessidade de fornecer provas para a validade da sua teoria – de preferência, como praxe nas ciências físicas, uma prova experimental. Mas como seria possível fazer um experimento com a evolução, quando as mudanças evolutivas são tão lentas? Foi nesse particular que Darwin se lembrou das atividades dos criadores de animais. A seleção artificial, assim ele concluiu, era o análogo extremamente acelerado da seleção natural. Ela forneceu a prova experimental, de que tanto necessitava. Anos mais tarde, a seleção artificial tomou-se tão importante no seu pensarnento que Darwin chegou a pensar que ela lhe proporcionava a inspiração original para a seleção natural, o que não parece ter sido o caso.

O pensamento de população e o papel do indivíduo

A constatação da unicidade de cada indivíduo significou talvez a mais revolucionária mudança no pensamento de Darwin, em 1838. Evidentemente, a unicidade sempre fez parte da sua experiência cotidiana. Quem é que não sabe que não existem dois seres humanos idênticos, nem dois cães ou

cavalos? Todo criador de animais sabe com certeza da individualidade de cada membro do seu rebanho. É isso que lhe dá a oportunidade de alterar as propriedades do seu rebanho, mediante a seleção deliberada de certos indivíduos para servirem de machos e fêmeas, para a próxima geração. E, no entanto, justamente por ser algo tão comum, a individualidade foi amplamente ignorada pelos filósofos. Tendo tomado consciência da importância da unicidade dos indivíduos, tudo o que Darwin realizou nos vinte anos seguintes só fez reforçar esse ponto de vista novo. Seus estudos taxionômicos sobre as cracas foram particularmente convincentes. Tão grande era a variabilidade individual com que se deparava, que Darwin ficava sempre de novo em dúvida se dois espécimens eram variantes de uma espécie única ou se eram duas espécies diferentes. Essa variabilidade não se limitava à morfologia exterior, mas afetava também todos os órgãos internos. Até que ponto a ênfase contemporânea no indivíduo político ("os direitos do indivíduo") ou a doutrina de certas escolas filosóficas (Schweber, 1977) também contribuíram para o pensamento de Darwin, é algo incerto, e para mim, bastante discutível.

Foi a "descoberta" da importância do indivíduo que conduziu Darwin de um pensamento tipológico para um pensamento de população. Foi isso que o ajudou a perceber que a luta pela existência, devida à competição, tão vãmente descrita por Malthus, era um fenômeno que envolvia os indivíduos, não as espécies. Ao introduzir o pensamento de população, Darwin produziu uma das revoluções mais fundamentais no pensamento biológico. Como foi dito no Capítulo 2, trata-se de um conceito peculiarmente biológico, alheio ao pensamento do cientista físico. A adoção do pensamento de população está intimamente conexa com a rejeição do pensamento essencialista. Para o essencialista, a variação é irrelevante, e por isso desinteressante. Os caracteres variados são "meros acidentes", na linguagem do essencialista, porque não refletem a essência. É muito

interessante ler, nos ensaios dos críticos de Darwin (Hull, 1973), o quanto eles ficavam espantados com a insistência de Darwin sobre a variação, como o mais importante de todos os aspectos da vida. No que tange à literatura filosófica, essa lição ainda só foi aprendida por uns poucos. O recente volume de Toulmin (1974) constitui uma notável exceção. Aqueles que ainda põem em dúvida o poder da seleção natural utilizam invariavelmente argumentos essencialistas. A própria passagem de Darwin para o pensamento de população foi lenta e gradual. Em muitas das suas discussões, posteriores a 1838, sua linguagem ainda é acentuadamente tipológica.

A origem do conceito de seleção natural

Pergunte-se a qualquer biológico qual é o conceito mais característico que se associa ao nome de Darwin, e ele responderá: a seleção natural. Esse foi o grande princípio novo que Darwin introduziu na biologia; na realidade, em todo o pensamento humano. Todavia, afirmou-se repetidas vezes que o conceito não era de forma alguma novo em Darwin, mas que ele já tinha sido proposto com relativa frequência, desde o tempo dos gregos (veja Zirkle, 1941, por exemplo). Com o fim de consubstanciar, ou então refutar, a legitimidade dessas asserções, é importante fazer uma clara distinção entre dois processos que permanecem solidamente confusos na literatura. Devo chamar o primeiro deles o processo da *eliminação.* Trata-se do conceito da existência, na natureza, de uma força conservadora que elimina todos os tipos que se afastam do "normal", isto é, todos aqueles indivíduos que não possuem a perfeição do tipo médio. Tal eliminação é perfeitamente compatível

com o essencialismo. De outro lado, é óbvio que para o essencialista não pode haver seleção, porque a essência é imutável, e todas as variantes não passam de meros "acidentes", tais como a ocorrência de monstruosidades e outras "degradações" do tipo. Nos séculos XVII e XVIII, a alteração biológica era usualmente designada pelo termo "degradação". Se uma degradação mais importante se comprovasse como sendo viável, ela constituiria um novo "tipo". De fato, toda a *scala naturae* era originalmente apresentada como uma escala descendente de perfeições cada vez menores (degradações). A maioria das degradações, porém, não é viável; são incapazes de sobreviver ou de se reproduzir, sendo então eliminadas, restaurando-se assim a pureza do tipo. Uma eliminação de indivíduos claramente inferiores ou totalmente inadequados acontece, evidentemente, o tempo todo, e faz parte da seleção natural. É reconhecida na moderna biologia evolucionista como "seleção estabilizadora" (Schmalhausen, 1949; Waddington, 1957; Dobzhansky, 1970).

No seu estudo histórico, Zirkle (1941) listou numerosos casos de "seleção natural antes da origem das espécies", começando por Empédocles. Virtualmente, todos os casos mais antigos por ele citados apenas descrevem a eliminação. Tais são os casos, por exemplo, de Lucrécio, Diderot, Rousseau, Maupertius e Hume. Em Prichard, Spencer e Naudin, o melhoramento é atribuído às forças "lamarckianas", tais como uso e desuso, o exercício das potencialidades, ou a influência do meio ambiente, enquanto a eliminação sempre remove os tipos inferiores.

Eiseley (1959) defendeu vigorosamente a tese de que Edward Blyth havia estabelecido a teoria da evolução por seleção natural, em 1835, e que Darwin certamente leu o seu artigo, e com toda probabilidade dele colheu importante inspiração, sem jamais tê-lo mencionado nos seus escritos. A posterior descoberta dos cadernos de Darwin permitiu rebater as afirmações de Eiseley. E o que é mais importante, a teoria de Blyth era claramente muito mais uma teoria da eliminação do que da seleção. Sua preocupação principal era a manutenção da perfeição do tipo. O pensamento de Blyth é decididamente o de um teólogo natural, para quem todos os casos de variação "contam-se entre aquelas estritas incidências do plano, que atestam, clara e forçosamente, a existência de uma grande primeira causa onisciente". Todas as coisas proclamam o desígnio e o perfeito equilíbrio da natureza (Schwartz, 1974). Darwin com certeza leu o artigo de Blyth, mas não lhe deu maior atenção, uma vez que era anti-evolucionista, no seu espírito, e não diferia dos escritos de outros teólogos naturais, na sua tese geral. Em anos posteriores, Blyth tomou-se um dos prezados correspondentes de Darwin.

Existem duas razões importantes que explicam por que o conceito de seleção natural era tão estranho ao pensamento ocidental, antes do século XIX. Uma delas era o predomínio geral do essencialismo, que impossibilitava qualquer idéia de uma melhora gradual. Tudo o que ele podia permitir era a origem súbita de novos tipos, e a eliminação daqueles que fossem inferiores. As discussões sobre a adaptação, nos escritos dos naturalistas, concentram-se apenas na comparação das espécies, nunca dos indivíduos. A segunda razão consistia na aceitação, igualmente geral, de uma teleologia abrangente, segundo a qual o plano do Criador assegurava automaticamente a perfeição. A busca de um mecanismo que viesse a influir nessa perfeição seria considerado algo ímpio, senão herético. Na teologia natural, simplesmente não havia oportunidade para um melhoramento por meio da seleção natural.

O processo da seleção natural, tal como concebido por Darwin, é fundamentalmente diverso do processo da eliminação, dos essencialistas. O conceito de um tipo estático é substituído pelo conceito de uma população altamente variável. Continuamente se produzem variações novas, algumas delas superiores à média existente, outras inferiores a ela. Tendo em conta que se pode constatar esse

tipo de variação humana, é difícil entender por que o pensamento de população era tão raro antes de Darwin, e por que, depois dele, levou tanto tempo para merecer uma aceitação geral. O pensamento de população, virtualmente, não existia, antes de 1800. Mesmo um antiessencialista tão vigoroso como Lamarck pensava apenas em termos de indivíduos (idênticos), não em termos de populações variáveis, constituídas de indivíduos diferentes e únicos. A seleção natural teria feito tão pouco sentido para Lamarck como o faria para o mais convicto essencialista.

Ainda hoje, muitos autores não conseguem entender bem a natureza populacional da seleção natural. Trata-se de um conceito estatístico. Possuir um genótipo superior não garante a sobrevivência e a reprodução abundante; apenas assegura uma probabilidade maior. Existem, na realidade, tantos acidentes, catástrofes, e outras perturbações estocásticas, que o sucesso reprodutivo não é automático. A seleção natural não é determinística, e por isso não é absolutamente previsível. Isso foi destacado com muita clareza por Scriven (1959), mas ainda é fonte de problemas para filósofos oriundos de uma tradição essencialista. De outro lado, a teoria evolucionista permite numerosas previsões probabilísticas (Williams, 1973a).

Seguindo a sua estratégia habitual, Darwin avança uma série de argumentos, para mostrar que a interpretação dos essencialistas e dos teólogos naturais não é válida. Há espaço para melhoria em todas as espécies. Ele comprova isso (*Origin*: 82) pelo sucesso de tanta espécies que foram introduzidas no âmbito de faunas e floras nativas. Se as nativas tivessem sido perfeitas, não teriam sucumbido tão facilmente. Assim, "modificações extremamente ligeiras, na estrutura ou nos hábitos de um habitante, muitas vezes lhe conferem uma vantagem sobre os outros".

A seleção natural seria evidentemente de pouco proveito, se não existissem abundantes variações intra-específicas: "A menos que ocorram variações aproveitáveis, a seleção natural nada pode fazer" (p. 82).

Darwin atribui grande importância à ocorrência de variações úteis. Considerando que entre os animais domésticos acontecem variações que são úteis para o homem, ele pergunta:

> Pode, então, ser tido como improvável … que outras variações, úteis de alguma forma para cada vivente, na grande e complexa batalha da vida, venham por vezes a ocorrer no decurso de milhares de gerações? E se isso acontece, poderíamos duvidar (lembrando que nascem muito mais indivíduos do que possam sobreviver) que os indivíduos, dotados de alguma vantagem sobre os outros, por menor que seja, teriam as melhores possibilidades de sobreviver e de procriar a sua raça? (pp. 80-81).

Isso o leva à definição seguinte: "Essa preservação das variações favoráveis e rejeição das variações deletérias eu chamo Seleção Natural" (p. 81). A variação e a sua hereditariedade inscrevem-se na disciplina da genética, e as proposições e teorias relativas, de Darwin, serão analisadas em detalhe, no Capítulo 16.

É interessante observar que, entre os fatores que controlam a seleção natural, Darwin, nisso acompanhando Lyell, sempre tem pensado que os fatores bióticos – a interação entre as espécies competidoras e sua relativa frequência – eram mais importantes que o meio ambiente físico. Assim sendo, "qualquer mudanças nas proporções numéricas de alguns dos habitantes, independentemente da mudança do próprio clima, afetaria seriamente grande número de outras espécies" (p. 81). Darwin também estava plenamente consciente de um fato esquecido por muitos autores mais recentes: que

não apenas o fenótipo adulto é o alvo da seleção.

> A seleção natural estará em condições de atuar sobre os seres orgânicos, e modificá-los, em qualquer idade, pela acumulação de variações aproveitáveis nessa idade, e pela sua herança em uma idade correspondente (p. 86).

"Nos animais sociais, ela adaptará a estrutura de cada indivíduo para o benefício da comunidade" (p. 87).

A dívida de Darwin para com Malthus

Os historiadores sociais, de tanto em tanto, têm levantado a tese de que a teoria da evolução por seleção natural foi inspirada pela situação econômica e social da Inglaterra, da primeira metade do século XIX.

Essa tese está baseada na lógica de que a seleção natural é o resultado da luta pela existência, conceito esse que Darwin, segundo se dizia, colheu de Malthus. Mais amplamente, afirma-se que a teoria de Darwin foi o produto da revolução industrial, com a sua feroz competição, miséria, pobreza e briga pela existência; ou ainda, o produto da substituição do feudalismo (monarquia) pela democracia. Haverία alguma validade nesses pronunciamentos? Young e outros fizeram valentes esforços para consubstanciar a tese de que o darwinismo é o produto do malthusianismo. [5] Alguns desses escritores não se deram nem ao trabalho de decompor o darwinismo nas suas diversas partes, embora todos estejam de acordo em que o conceito de seleção natural "surgiu de um interesse na guerra racial e nacional e nas formas de conflitos de classe", e que "os princípios de Darwin eram a aplicação dos conceitos da ciência social à biologia" (Harris, 1968: 129). Infelizmente, todos aqueles que defenderam essa tese limitaram-se a tais afirmações, amplas e genéricas. Em contraste, todos os estudiosos sérios de Darwin, que analisaram exaustivamente as fontes da teoria darwiniana (em tempo mais recente, Herbert, Gruber, Limoges, Kohn, Mayr), concordam em que a influência de Malthus sobre Darwin foi muito limitada ("uma frase") e altamente específica. O que Darwin e Wallace absorveram de Malthus foi a "aritmética populacional", mas não a sua economia política. As proclamações dos marxistas, "no sentido de que Darwin e Wallace estavam estendendo o *ethos* do *laissez-faire* capitalista, da sociedade para toda a natureza, forjando uma *Weltanschauung* da utopia dos novos capitães de indústria, utopia do progresso pela luta desenfreada", carecem de qualquer evidência (Hodge, 1974). É certo, Darwin não vivia numa torre de marfim; ele deve ter acompanhado o que acontecia na Inglaterra e ao seu redor; toda a literatura mais importante era lida por ele (Scheweber, 1977; Manier, 1978), e isso pode ter-lhe facilitado a aceitação de certas idéias. No entanto, se a teoria da seleção natural tivesse sido a consequência lógica e necessária do *zeitgeist* da revolução industrial, ela teria sido aceita ampla e entusiasticamente pelos contemporâneos de Darwin. Mas, de fato, a verdade é justamente o contrário: a teoria de Darwin foi quase universalmente rejeitada, o que indica que ela não refletia o *zeitgeist*.

Como revelou a minha análise dos oito componentes da teoria de Darwin, nenhum deles era original em Malthus, e todos eles foram encontrados por Darwin nas suas leituras anteriores, e muitos deles mais de uma vez. Sempre se falou da luta pela existência, desde os gregos até Hobbes, Herder, de Candolle e Lyell, embora ninguém mais do que Malthus tenha acentuado a sua

intensidade. Os diversos controles da superpopulações eram amplamente discutidos na literatura. A individualidade (pensamento de população) era um conceito totalmente alheio a Malthus, e sem ele, evidentemente, a seleção natural é impensável. Por que então a leitura do comentário de Malthus sobre o crescimento geométrico potencial das populações teve tamanho impacto em Darwin? A resposta é que Darwin o leu num momento em que algumas outras das suas idéias haviam amadurecido a um ponto em que a alta fertilidade adquiriu um novo sentido.

Dos cadernos de Darwin transparece hoje, com suficiente evidência, a sua considerável mudança de pensamento, no meio ano anterior a setembro de 1838. Sob o impacto do estudo dos escritos de criadores de animais, Darwin começava sua conversão do essencialismo para o pensamento de população. Nas suas primeiras anotações, ele aplicava a variação, a competição e a extinção de modo perfeitamente tipológico, em relação às espécies incipientes (por exemplo, em relação às variedades dos pássaros imitadores). As discussões dos criadores fizeram-no levar em consideração, pela primeira vez, a enorme importância da variação individual. No seu terceiro caderno de notas, apenas algumas páginas (D: 132) antes da sua famosa citação de Malthus (D: 135), ele enfatiza que a variação individual faz de "cada indivíduo uma geração espontânea". Foi quando Darwin subitamente percebeu que existe competição não apenas entre as espécies, mas com certeza também entre os indivíduos, e era essa variação individual que tomava possível a seleção natural.

O aspecto irônico da sua "dívida para com Malthus" é que Darwin utiliza o novo ponto de vista para chegar a conclusões diametralmente opostas às dele. O argumento principal de Malthus tinha como alvo refutar as afirmações de Condorcet e Godwin de uma perfectibilidade ilimitada do homem. Acrescentando o ingrediente do pensamento de população, Darwin chegou precisamente a uma conclusão contrário à de Malthus. Mais irônico ainda é o fato de que Malthus tinha pleno conhecimento dos sucessos dos criadores, devidos à seleção artificial:

> Estou sabendo que existe uma máxima entre os cultivadores de raças de gado, no sentido de que é possível obter qualquer grau de apuro que se queira … e que algumas das crias possuirão em grau maior as qualidades desejáveis dos pais (1798: 163).

Todavia, Malthus usa exatamente essa afirmação para refutá-la, pelo menos no que diz respeito à perfectibilidade ilimitada. Era impensável, tanto para ele como para Lyell, admitir quaisquer transgressões dos limites do tipo. Para ambos, todos os indivíduos são essencialisticamente iguais. Por isso, é evidente, repetindo mais uma vez, que o papel de Malthus foi muito mais o de um cristal que se mergulha num fluido saturado. Se Darwin, naquele momento, tivesse lido o panfleto de Franklin, ou alguma literatura de história natural, acentuando a superfecundidade e suas consequências, é perfeitamente provável que ele ficaria eletrizado, da mesma forma como aconteceu em relação à sentença de Malthus. Foi um caso claro de "mente preparada", vendo algo que não tinha sido visto, quando ainda não preparado.

Alguns sociólogos também inventaram uma dívida de Darwin para com Spencer. Não há nenhuma base para essa assertiva. As teorias de Darwin sobre a evolução estavam essencialmente concluídas, ao tempo em que Spencer (1852) teve pela primeira vez a idéia de evolução. Além disso, o pensamento de Spencer, com sua confiança nos princípios finalísticos e na hereditariedade lamarckiana, eram totalmente irreconciliáveis com a evolução darwiniana. Freeman concluiu corretamente (1974: 273):

> As teorias de Darwin e de Spencer não guardavam conexão nas suas origens, eram marcadamente díspares na sua estrutura lógica, e decisivamente diferentes no grau em que dependiam do suposto mecanismo lamarckiano da hereditariedade e reconheciam o "progresso" como "inevitável".

A idéia equivocada de que o evolucionismo de Spencer era o mesmo do de Darwin tem sido um grande estorvo para a antropologia e para a sociologia.

A. R. Wallace e a seleção natural

A enorme resistência que a teoria de Darwin encontrou, nos oitenta anos seguintes, está a provar conclusivamente o quanto é difícil ordenar com propriedade os seus oito componentes. Não é como muitas descobertas das ciências físicas, em que, num dado período, a mesma descoberta é realizada simultaneamente por diversas pessoas, porque estavam procurando pela peça em falta na ciranda de um quebra-cabeça (Merton, 1965). Que aparecesse uma segunda pessoa, sem o conhecimento da obra de Darwin, apresentando a mesma teoria da evolução por seleção natural, parecia algo sumamente improvável. Essa teoria era tão inovada, em tão grande contraste com tudo o mais que outros haviam pensado anteriormente, que levou quase outros cem anos para ser geralmente aceita. Que, entre o número relativamente reduzido de pessoas que refletiam sobre a evolução, aparecesse alguém com uma teoria essencialmente igual, ao mesmo tempo, era uma coisa totalmente inesperada, e todavia aconteceu. [6]

A história sobre como Darwin recebeu o ensaio de Wallace, em junho de 1858 (veja Capítulo 9), levanta diversas questões. Estaria certo Darwin quando escrevia a Lyell:

> Eu nunca vi mais frisante coincidência; se Wallace tivesse de posse do meu esboço manuscrito, exarado em 1842, não poderia ter feito um melhor resumo! Os próprios termos que usa ora figuram como títulos dos meus capítulos? Seria a teoria de Wallace tão idêntica assim à de Darwin?

Como Wallace reuniu as peças da sua teoria? Teria chegado a ela percorrendo os mesmo passos que Darwin, ou por um processo de convergência?

Devemos lembrar que Wallace estava convencido da evolução, desde o ano 1845, e que no ano seguinte publicou a sua evidência em relação à especiação. A partir daquela época, ele pesquisava os fatores que eram responsáveis pela mudança evolutiva. É relevante acentuar aqui, mais uma vez, a importante influência exercida pelo *Principies of Geology,* de Lyell. Wallace havia lido, tão diligentemente quanto Darwin, a soberba argumentação de Lyell contra a modificação das espécies. Boa parte da semelhança dos argumentos de Darwin e Wallace é devida claramente ao fato de que ambos tentaram refutar os pontos mais específicos, levantados por Lyell. Pela concretude das suas objeções antievolucionistas, Lyell preparou o terreno para uma contra-argumentação específica (McKinney, 1972: 54-57).

Embora estivesse pensando constantemente sobre esses problemas, Wallace, ao que parece, pouco avançou nas suas idéias de 1855, até um dia memorável de fevereiro de 1858.

> Naquele período, eu estava sofrendo de um ataque bastante severo de febre intermitente [malária], em Temate, Molucas; e um dia, enquanto eu jazia no meu leito durante um acesso de frio, enrolado nos cobertores, embóra o termômetro marcasse 88° F., o problema [de como acontece a transformação das espécies] de novo se me apresentou, e algo levou-me a pensar sobre os "controles positivos", descritos por Malthus, no seu *Essay on Population*, obra que eu havia lido diversos anos antes, e que causou uma impressão profunda e permanente em meu pensamento (Wallace, 1891: 20).

No caso de Darwin, a iluminação foi repentina, e motivada pela reflexão sobre o *Essay on Population,* de Malthus. Entretanto, uma leitura mais atenta do ensaio de Wallace de 1858, "On the Tendency of Varieties to Depart Identifinitely from the Original Type", mostra que o paralelismo não é completo.

Wallace formula a sua tese com extraordinária clareza:

> Existe na natureza um princípio geral que faz com que muitas variedades sobrevivam à espécie originária, e que dá origem a variações sucessivas, afastando-se sempre mais do tipo original (1858: 54).

A linguagem com que apresenta essa observação é muito mais tipológica; a conclusão de Wallace, de qualquer maneira, contradita claramente a afirmação de Lyell de que "as variedades têm limites estritos, e nunca poderão afastar-se além de certa medida do tipo original".

O aspecto mais importante da análise de Wallace consiste em que ele se manteve cuidadosamente a largo do cipoal da controvérsia morfológica sobre espécies e variedades, baseando sua conclusão em argumentos mais estritamente ecológicos. Ele concluiu que o tamanho da população de uma espécie não é de forma alguma determinado pela fertilidade, mas sim por controles naturais sobre o crescimento potencial da população. Um número imenso de animais deve morrer, todos os anos, para que a população permaneça constante, e

> aqueles que morrem devem ser os mais fracos – os muito novos, os velhos e os doentes-, enquanto aqueles que prolongam a sua existência só podem ser os mais perfeitos em saúde e vigor – aqueles que são os mais aptos para obter comida regularmente e manter afastados os seus numerosos inimigos. Trata-se, como começamos por dizer, de "uma luta pela existência", em que os mais fracos e os menos perfeitamente organizados devem constantemente sucumbir (pp. 56-57).

Nessa primeira parte da discussão de Wallace, a ênfase é posta no controle do tamanho da população, na seleção estabilizante (eliminação) e na competição entre as espécies. Ele está agora "em condições de proceder ao exame das variedades, a que as observações precedentes se aplicavam, de modo direto e importante". Nos passos seguintes, Wallace aplica o termo "variedade" a indivíduos variantes, quer dizer, a indivíduos, no seio de uma população, que não compartilham as mesmas propriedades. Se uma espécie produz uma variedade superior, "essa variedade deverá inevitavelmente, com o tempo, adquirir uma superioridade numérica" (p. 58).

Curiosamente, a exposição de Wallace padece das mesmas fraquezas como a de Darwin. Persiste aí muito do pensamento tipológico, particularmente com referência à natureza das variedades, e da mesma forma como Darwin, ele ainda aceita a eficácia do uso e do desuso, um processo que de resto era universalmente aceito naquela época. Como Darwin, Wallace rejeita "as hipóteses de Lamarck", numa formulação que mostra ter sido colhida diretamente de Lyell. Em lugar disso, Wallace explica as unhas curtas e retrácteis da trilha dos felinos, e o pescoço comprido das girafas, em termos estritamente selecionistas. Certo é que Wallace enfatiza vigorosamente que a aquisição de novas adaptações é inteiramente coerente com a interpretação de que elas são o resultado da seleção. E conclui o seu ensaio com as seguintes palavras:

> Acreditamos ter demonstrado agora que existe na natureza uma tendência a uma progressão continuada de certas classes de *variedades,* afastando-se sempre mais do tipo original – progressão essa para a qual não se apresentam razões para atribuir-lhes limites definidos … Tal progressão, por etapas pequenas, em direções várias, mas sempre controladas e equilibradas por condições necessárias, determinantes únicas da possibilidade da preservação da existência, pode, no nosso entender, ser seguida até o fim, coadunando-se com todos os fenômenos apresentados pelos seres organizados, sua extinção e sucessão em eras passadas, e com todas as extraordinárias modificações de forma, instinto e hábitos que exibem (p. 62).

Tentemos agora comparar com mais detalhe a sequência da argumentação de Wallace com a de Darwin. [7] Ambos partiram do problema das espécies, ou, como o próprio Wallace disse num relato retrospectivo de 1908, da idéia "das causas possíveis da mudança das espécies". Não obstante isso, a análise pessoal de Wallace era, de certa forma, mais um estudo da ecologia populacional que um estudo da especiação (que presumivelmente pensava ter abordado de modo adequado em 1855). Wallace, em perfeito contraste com Darwin, relaciona o problema da evolução diretamente com o homem. O que o intrigou longamente, ele que por oito anos viveu entre aborígenes, era saber quais eram os controles que "conservavam as populações selvagens quase estacionárias".

> Tais controles [enumerados por Malthus] – doenças, fome, acidentes, guerras, etc. – eram os que reprimiam a população, e subitamente me ocorreu que, no caso dos animais selvagens, esses controles deveriam agir com muito mais severidade; e tendo em vista que todos os animais inferiores tendiam a aumentar mais rapidamente do que o homem, permanecendo todavia a sua média de população, veio-me subitamente a idéia da sobrevivência dos mais aptos (Wallace, 1903: 78).

Como no caso de Darwin, o componente crucial da teoria era o reconhecimento da individualidade. Precisamente cinquenta anos mais tarde (em 1908), Wallace relata isso, como segue:

> Estalou então em minha mente, como aconteceu vinte anos antes com Darwin, a *certeza* de que aqueles que ano a ano sobreviviam à terrível destruição deviam ser, no seu conjunto, os que possuem uma pequena superioridade, capacitando-os a fugir a toda espécie de morte de que a

grande maioria sucumbe – vale dizer que, na expressão bem conhecida, os mais aptos é que sobreviviam. Então vi de relance que era a variabilidade sempre presente de todos os seres vivos o fator a oferecer a matéria.

Como dito, há sutis diferenças entre as interpretações de Wallace e de Darwin. Wallace, aparentemente, estava muito mais impressionado com a tese geral de Malthus e, particularmente, com as enormes perdas anuais que mantinham as populações num nível estável, os "controles positivos". O pensamento de população, ao que parece, teve fontes diferentes nos dois autores da seleção natural: a criação de animais e o trabalho taxionômico, em Darwin; o estudo das populações humanas e o trabalho taxionômico, em Wallace. Wallace dava pouco valor ao estudo das variedades domésticas, e concluiu que não podemos traçar "inferências em relação às variedades em estado natural", a partir da observação dos animais domésticos. Por isso e por outras razões, ele não usou o termo "seleção", no seu ensaio, e parece que se sentiu sempre um pouco desconfortável com essa palavra.

A despeito dessas pequenas diferenças de aproximação, Wallace concordava plenamente com Darwin com respeito à conclusão final; a variabilidade ilimitada na população, exposta à dizimação drástica e regular, deve levar à mudança evolutiva. Com o tempo, todavia, o pensamento de Wallace divergiu cada vez mais do de Darwin, no que concernia à seleção natural. Por exemplo, pelo ano 1867, Wallace renunciou a qualquer confiança no princípio do uso e desuso, e, nos anos 1880, ele foi um dos primeiros a endossar com entusiasmo a rejeição de Weismann em relação a qualquer herança dos caracteres adquiridos. Ele não acreditava numa categoria particular, como a da seleção sexual, e menos ainda na "escolha da fêmea" (Capítulo 12). Ele acreditava que os mecanismos de isolamento reprodutivo eram estritamente o resultado da seleção. Contudo, ele perdeu a sua audácia, quando chegou a aplicar esse coerente selecionismo ao homem, considerando impossível que a seleção natural pudesse ter dotado o homem primitivo de um cérebro tão grande, bem como de um senso de moralidade. Algum poder superior deve ter sido responsável por isso (Wallace, 1870).

Wallace só retomou das índias Ocidentais em 1862, quatro anos depois que o seu artigo tinha sido lido na Sociedade Lineana. Ele nunca teve ciúmes de Darwin, ao contrário, sempre foi seu grande admirador, mesmo que mais tarde divergissem quanto às respostas a certos problemas. Wallace, na verdade, adquiriu fama por sua própria conta, particularmente por meio do seu esplêndido *Malay Archipelago,* e do seu *Geographical Distribution of Animais* (1876), o clássico da zoogeografia nos oitenta anos seguintes.

Precursores da seleção natural

Dois métodos de ataque são mais frequentemente empregados contra uma teoria nova: o primeiro, é dizer que a nova teoria é errada; o segundo, é dizer que ela não é nova. De acordo com o segundo desses procedimentos, não faltaram os que, após a publicação do *Origin,* afirmavam que o conceito de seleção natural já havia sido enunciado anteriormente. [8] Pela simples razão de que um essencialista não pode conceber uma mudança evolutiva por seleção natural, todos os reclamos que remontam à época anterior a 1800 são descartados, por essa única razão. Existem, todavia, algumas proposições de seleção natural genuína, antes de Wallace e Darwin, em 1858.

William Charles Wells (1757-1817), um médico inglês que viveu algum tempo na Carolina do

Sul, avançou, em 1818, a teoria da seleção natural numa espécie de posfácio de um ensaio que tratava das variantes da cor humana (Wells, 1818). Ele constatou, como o fizeram alguns poucos antes dele, que os negros são muito mais resistentes às doenças tropicais que os brancos. Em contrapartida, os negros são muito mais sensíveis às doenças da zona temperada.

> Considerando então como certo que a raça negra é melhor adaptada para resistir aos ataques das doenças de climas quentes do que a branca, é razoável inferir que aqueles que se aproximam da raça negra serão mais aptos a essa resistência que os inteiramente brancos.

Isto, diz ele, é certamente válido para os mulatos. A seguir, ele faz referência à prática dos criadores de animais:

> Quando eles encontram indivíduos que possuem em grau acima do comum as qualidades que desejam, cruzam um macho e uma fêmea dos mesmos, e separam as suas melhores crias para constituírem uma nova linhagem, e assim prosseguem até chegarem tão próximos do ponto desejado quanto a natureza das coisas o permite. Mas aquilo que se faz por artifício parece que é feito com igual eficácia pela natureza, embora mais lentamente, na formação de variedades do gênero humano, adaptadas ao país em que vivem.

Ele declara que essa é a forma pela qual se desenvolvem as raças humanas nas diversas zonas climáticas do mundo.

Conquanto Wells proponha claramente uma teoria da evolução por seleção natural, trata-se apenas de uma evolução de adaptação a climas locais, no seio de uma espécie, o homem precisamente. O princípio nunca vem aplicado à evolução genuína, ou à descendência comum.

A pessoa para a qual se reivindica com maior consistência a primazia no estabelecimento de uma teoria da evolução por seleção natural é Patrick Matthew (1790-1874). Ele era um rico proprietário de terras da Escócia, de boa formação, muito lido e muito viajado (Wells, 1974). Suas idéias sobre a evolução e a seleção natural foram publicadas em diversas notas, num apêndice da sua obra *On Naval Timber and Arboriculture* (1831). Essas notas, virtualmente, não têm nenhuma relação com o tema do livro, por isso não é de admirar que nem Darwin, nem qualquer outro biólogo tivessem tido conhecimento das mesmas, até 1860, quando Matthew publicou as suas idéias num artigo do *Gardener's Chronicle*. Matthew pertencia àquela estirpe de muitos amigos de Darwin, da pequena nobreza rural, que se preocupava com a criação de animais e de plantas. Ele proclama com toda clareza que o sucesso desse esforço depende da seleção (palavra que usa repentinamente) dos indivíduos que melhor se adaptam. Na verdade, a tese principal do seu livro é de que esse princípio também deve ser aplicado na cultura das plantas. A escolha das palavras indica que ele havia lido Erasmus Darwin, Lamarck, Malthus e Lawrence. Ele adota claramente uma teoria da evolução, e o que é muito admirável, uma evolução por descendência comum. "São elas [as espécies] ramificações divergentes do princípio vital, pela ação da modificação das circunstâncias?" Ele considera a evolução gradual muito mais provável que "total destruição e criações novas" (catastrofismo). Rejeita a origem das espécies por hibridação, de Lineu, e acredita que "a progênie dos mesmos genitores pode, sob a ação da grande diferença das circunstâncias, e ao longo de diversas gerações, tomar-se inclusive uma espécie distinta, incapaz de co-reprodução" (p. 384).

A notável semelhança do pensamento de Matthew com o de Darwin é claramente indicada pela seguinte passagem:

> A predisposição auto-reguladora de adaptação da vida organizada pode, em parte, ser deduzida da extrema fecundidade da Natureza, a qual, como dito anteriormente, possui, em toda a variedade das suas gerações, poder prolífico muito superior (muitas vezes mil por um) ao necessário para preencher os vazios deixados pela decadência senil. Como o campo da existência é limitado e já ocupado, só os indivíduos mais audazes é que serão capazes de seguir lutando para chegar à maturidade, vencendo as provas severas pelas quais a Natureza testa a sua adaptação ao seu modelo de perfeição e a sua aptidão para dar continuidade à sua raça, por produção … A estirpe adquire gradualmente a adaptação melhor possível, permitida pela sua condição, e quando ocorre alteração das circunstâncias, ela muda de caráter para adequar-se a elas, na medida em que a sua natureza seja suscetível de mudança (p. 385).

Indubitavelmente, Patrick Matthew teve a idéia correta, exatamente como ocorreu com Darwin, em 28 de setembro de 1838, mas ele não dedicou os vinte anos seguintes para convertê-la numa teoria consistente da evolução. Em consequência, ela não produziu impacto algum.

Prichard, Lawrence e Naudin também têm sido mencionados como tendo antecipado a Darwin, mas as suas proposições são frágeis e inconclusivas, quando comparadas com as de Matthew. Eles se referem ou ao melhoramento da espécie humana, ou à escolha de variedades de plantas, mas a apreciação das possibilidades da seleção não é utilizada para o desenvolvimento de uma teoria da evolução.

Não era tradição da época indicar cuidadosamente a fonte das idéias. Lamarck, por exemplo, dificilmente cita os próprios autores de que se serviu. Por isso, não é de admirar que muitas vezes foi dito que Darwin tinha conhecimento desses precursores, e que utilizou as suas descobertas, sem reconhecer-lhes o mérito; mas não há nem sombra de evidência pata dar suporte a tais afirmações. Há muito bons motivos para acreditar que Darwin não conhecia os relevantes escritos de Wells ou de Matthew, e que os enunciados de Lawrence, Prichard e Naudin, se dele conhecidos, eram muito vagos, e muito alheios a uma teoria da evolução por descendência comum, para merecerem a sua atenção. É verdade que os autores, cujos escritos Darwin utilizou, raramente são citados no *Origin,* pelo nome, mas isto se deve ao fato de que ele considerava esse trabalho um resumo, e que forneceria referências detalhadas na sua obra mais completa. Agora que o *Natural selection* foi publicado (1975), é mais fácil determinar quais publicações anteriores foram usadas por Darwin, e quais não. Isso transparece com maior clareza ainda dos seus cadernos de notas e de outras matérias manuscritas, que comprovam de modo convincente que Darwin não tinha conhecimento dos escritos nem de Wells, nem de Matthew.

O impacto da revolução darwiniana

A revolução darwiniana foi chamada, com boas razões, a maior de todas as revoluções científicas. Ela representou não apenas a substituição de uma teoria científica (“imutabilidade das espécies”) por uma outra, mas obrigou a repensar radicalmente o conceito do homem sobre o mundo

e sobre si mesmo. Mais especificamente, ela impôs a rejeição de algumas das crenças, mais amplamente aceitas e caras, do homem ocidental (Mayr, 1972b: 988). Em contraste com as revoluções nas ciências físicas (Copérnico, Newton, Einstein, Heisenberg), a revolução darwiniana levantou questões profundas em relação à ética humana e às mais arraigadas convicções. O novo paradigma de Darwin, no seu todo, representou uma nova *Weltanschauung,* extremamente revolucionária (Dewey, 1909).

A natureza radical das mudanças propostas por Darwin fica melhor documentada quando se listam algumas das implicações mais filosóficas das suas teorias:

1. A substituição de um mundo estático por um mundo evolutivo (não original em Darwin).
2. A demonstração da não-plausibilidade do criacionismo (Gillespie, 1979).
3. A refutação da teleologia cósmica.
4. O fim de qualquer justificação para um antropocentrismo absoluto, pela aplicação do princípio da descendência comum do homem.
5. A explicação do "plano" do mundo puramente pelo processo materialista da seleção natural, processo este que consiste em uma interação entre a variação não-direcionada e o sucesso reprodutivo oportunista, o que era totalmente estranho ao dogma cristão.
6. A substituição do essencialismo pelo pensamento de população.

A essa lista devem ser acrescentadas diversas inovações filosófico – metodológicas, tais como a aplicação coerente do método hipotético – dedutivo (Ghiselin, 1969; Ruse, 1979a), uma nova avaliação da previsão (Scriven, 1959) e a introdução do estudo das causas últimas (evolutivas) na ciência (Mayr, 1972b).

Até que ponto o mundo estava preparado para aceitar esses conceitos novos e revolucionários ou, formulado de outra maneira, quanto tempo levaria para que o pensamento de Darwin fosse adotado? O impacto do *Origin* foi sem precedentes. A exceção de Freud, talvez nenhum outro cientista tenha sido traduzido tão amplamente, comentado com tanta frequência e com tanto detalhe, e conte com tantos livros escritos sobre ele. Todos os numerosos periódicos científicos e revistas da época fizeram extensos comentários, e o mesmo fez a maioria das revistas religiosas ou teológicas. Tão rica é essa literatura, que já se desenvolveu uma literatura secundária, que trata desses estudos (por exemplo, Ellegard, 1958; Hull, 1973). Outro tipo de literatura se ocupa com o impacto e com a aceitação gradativa de Darwin, nas várias partes do mundo. Nenhuma outra fase da história da biologia tem sido descrita pelos historiadores com maior riqueza de detalhes do que as batalhas resultantes da teoria de Darwin (Kellogg, 1907; Vorzimmer, 1970; Glick, 1974; Conry, 1974; Moore, 1979).

A natureza da oposição a Darwin pode ser entendida muito melhor, quando nos damos conta da atitude geral em relação à evolução, que prevalecia na metade do século XIX. Antes de Darwin, as considerações sobre evolução eram tidas como parte do reino da filosofia. Efetivamente, todos aqueles que de fato especularam sobre a evolução eram teólogos, ou outros que não biólogos, os quais basicamente não tinham competência alguma para tratar de uma disciplina biológica tão complexa.

O próprio Lamarck, o mais destacado precursor de Darwin, não conseguiu alinhar os fatos para dar suporte às suas especulações evolucionistas ou fornecer uma análise detalhada dos possíveis

mecanismos da evolução. Em consonância com os conceitos da época, ele intitulou a sua obra *Philosophie zoologique* (1809), e era realmente mais uma filosofia que uma zoologia. Darwin foi o primeiro autor a tratar do assunto da evolução de modo estritamente científico. Ele apoiou a sua tese num corpo maciço de fatos, e essa opulenta evidência mudou radicalmente a situação. Enquanto as discussões sobre a evolução eram conduzidas em base filosófica, os argumentos podiam ser formulados em termos metafísicos. A publicação do *Origin* mostrou, de uma vez por todas, que essa aproximação era impossível. Darwin deixou claro, de modo implícito e explícito, que há três, e três apenas, explicações possíveis para a diversidade do mundo vivo e para a engenhosidade das suas adaptações. Esse desafio forçou todos os leitores atentos da sua análise detalhada e penetrante à posição desconfortável de terem que escolher a favor de uma ou de outra dessas três explicações possíveis.

A primeira delas é a de uma criação continuada, envolvendo a constante intervenção do Criador, substituindo espécies e faunas que se extinguiram, e criando sempre novos ajustes e adaptações. Lyell e Sedgwich contavam-se entre os muitos cientistas que, até certo ponto, admitiam essa explicação. Ela implicava a crença de que todo aspecto de cada espécie era criado especialmente para adaptar a espécie ao meio em que se situava. E provável que, em 1859, essa explicação teísta do mundo fosse ainda a opinião majoritária, pelo menos na Grã-Bretanha. De qualquer maneira, tal "hipótese de uma intervenção perpétua", como Lyell a chamava (Wilson, 1970: 89), era por demais extrema, mesmo para alguns cientistas devotos. Mesmo Lyell e Agassiz tinham as suas dúvidas.

Isso os conduziu a uma segunda teoria da evolução, uma teoria deísta: a crença na existência de leis evolutivas teleológicas, estabelecidas ao tempo da criação, que agiam no sentido de uma perfeição e adaptação cada vez maiores, e que garantiam uma substituição ordenada das faunas, na sequência geológica. A elas se deveria qualquer outro tipo de ordem e regularidade que se encontram na natureza (Bowler, 1977b; Ospovat, 1978). Lamarck, que originalmente parecia ter aderido a essa teoria, de fato se deu conta da ausência de uma inclinação coerente para uma perfeição cada vez maior. As dificuldades aumentavam ainda mais, à medida que cresciam os conhecimentos biológicos. Grande parte da argumentação de Darwin, no *Origin,* estava voltada para as evidentes irregularidades nos padrões de distribuição das faunas e floras, e das tendências morfológicas, que desafiavam qualquer interpretação em termos de leis progressivas.

Nenhum fenômeno era mais desastrado para os deístas do que a produção de espécies novas, para substituir aquelas que se perderam por extinção. Que era Deus o responsável pelo seu aparecimento, isso era tido como certo. Atribuir a sua criação a um milagre era, evidentemente, inaceitável para cientistas, como Herschel e Whewell. Dessa forma, tabelando no escuro, eles atribuíam a sua origem a "causas intermináveis", ou "leis causais", que governavam a introdução das novas espécies, instituídas pelo Criador (veja o Capítulo 9). Como tais leis poderiam operar? Havia, de fato, só três possibilidades: (1) criação especial, o que teria sido um milagre; (2) geração espontânea, uma origem cientificamente pouco respeitável, pelo menos em relação aos organismos superiores, e não explicaria o desenho perfeito de cada espécie; ou (3) a derivação a partir de outras espécies, e isso seria a evolução. Lyell, ao contrário de Gray, não estava em condições de aceitar a evolução, por seleção natural, como uma "causa intermediária". Herschel e Lyell não detinham suficientes conhecimentos de história natural para perceberem que não existem mecanismos concebíveis pelos quais pudessem ser implementadas as leis secundárias, sem entrar em conflito com

as leis da física e da química. [9] Foi justamente a percepção desse fato que levou Darwin a postular a terceira das três explicações possíveis, um modo de evolução estritamente não-teleológico, em que a variação causai se converte em tendências direcionais e em adaptação natural, sem qualquer recurso a forças sobrenaturais, nem mesmo no princípio.

Não seria admissível julgar o debate que se seguiu à publicação do *Origin,* à luz dos conceitos do pensamento moderno. É preciso lembrar o quanto era tirânico o apego ao criacionismo, pelos anos 1850 e 1860, particularmente na Inglaterra. Virtualmente todos os colegas de Darwin eram criacionistas, muitos dos quais inclusive teístas ortodoxos, que não encontravam nada de científico na invocação de forças sobrenaturais nos seus argumentos. Hopkins, um dos comentadores de Darwin, acusou-o de proceder não cientificamente, ao postular que os trilobitas, um grupo de invertebrados fósseis extintos, que apareceram subitamente nos remanescentes fósseis, eram procedentes de ancestrais fósseis ainda desconhecidos. Contudo, o próprio Hopkins não hesita em admitir que os trilobitas foram criados no momento em que apareciam pela primeira vez nos leitos fósseis (Hull, 1973).

É evidente que uma interpretação criacionista, para aqueles que acreditavam num Deus pessoal, era uma explicação tão legítima (de fato, mais do que isso) quanto uma assim chamada explicação científica. A batalha em tomo da evolução (particularmente em tomo da seleção natural) não era uma controvérsia puramente científica; era uma guerra entre duas ideologias – a teologia natural e a ciência objetiva. Não me ocuparei aqui com a luta entre a religião (a Igreja) e a ciência, [10] porque o presente volume trata do pensamento biológico. De qualquer maneira, tendo em conta que o criacionismo, pelo menos na Inglaterra, era uma escola "científica" dominante, nos anos 1850, Darwin teve que adotar a corajosa estratégia de mostrar que um fenômeno natural após o outro podia ser explicado de modo perfeitamente razoável como o produto da evolução, mas que não combinava de forma alguma com o que se poderia esperar da ação de um criador sábio, benevolente e todo-poderoso: "Por que, poder-se-ia perguntar, teria a supostas força criativa produzido morcegos e não outros mamíferos nas ilhas remotas?" (*Origin*: 394). Aqui, como em uns trinta outros passos do *Origin,* Darwin argumenta que um dado fenômeno é coerente com a evolução, ou com a descendência comum, mas não faz sentido algum quando atribuído a "um ato especial de criação" (p. 55). Vezes seguidas Darwin repete: "Do ponto de vista que cada espécie foi criada independentemente, não consigo ver nenhuma explicação.

As cinco teorias de Darwin

A rica literatura sobre o impacto do *Origin é* infelizmente muito falha, porque não leva bastante em consideração que Darwin, na realidade, propôs cinco teorias amplamente independentes. Em decorrência disso, quando um historiador ou um filósofo fala de darwinismo, raramente se sabe se ele está se referindo à evolução como tal, à descendência do homem a partir do macaco, à seleção natural, ou a alguma outra coisa mais. A palavra "darwinismo" seguiu variando de sentido ao longo dos anos. No período imediatamente posterior a 1859, ela abrangia no mais das vezes a totalidade do pensamento de Darwin, enquanto para o biólogo evolucionista de hoje ela significa estritamente a seleção natural. O próprio Darwin contribuiu para essa ambiguidade, porque, no *Origin,* chamou por dez vezes a teoria da evolução como sendo "a minha teoria", enquanto apenas três vezes designou a seleção natural como "minha teoria". Na realidade, existe suficiente evidência no sentido de que

Darwin considerava todos os componentes da sua teoria evolucionista como um todo, único e indivisível. Pode-se inferir isso pelo fato de que ele, em muitos capítulos, mistura assuntos que aparentemente não se relacionam. Por exemplo, no primeiro capítulo, fala das causas da variabilidade, do problema das espécies *versus* variedades, e da seleção artificial. No segundo capítulo, trata da variação na natureza e do problema das espécies. Os dois capítulos seguintes abordam os mecanismos da evolução (luta pela existência, seleção natural), a especiação, a divergência dos caracteres, a extinção e a teoria da descendência comum.

A despeito do brilho e da beleza das discussões individuais, a organização do *Origin,* em grande parte, choca o leitor moderno, por parecer bastante caótica. Foi provavelmente isso que induziu muitos leitores do *Origin* a queixar-se de que se tratava de um livro "difícil". Embora eu não ache os seus argumentos totalmente convincentes, o autor Hodge (1977) insiste em que Darwin tinha em sua mente uma clara organização tripartida, e que mais ou menos a seguiu.

Muitos autores depois adotaram a concepção de Darwin de que a descendência comum, a gradualidade e a seleção natural consistiam em um paradigma único e indivisível, e essa crença induziu tais autores a tratarem desses aspectos conjuntamente, quando das discussões sobre a sorte do "darwinismo", após 1859. Na realidade, emerge uma imagem muito mais clara, se cinco linhas do pensamento darwiniano forem tratadas em separado. O fato de não constituírem um todo indivisível é demonstrado pela atitude de tantos evolucionistas que aceitaram algumas das teorias de Darwin, mas rejeitaram outras (Tabela 3).

Tabela 3. A composição das teorias evolutivas de vários evolucionistas. Todos esses autores aceitavam um quinto componente, o da evolução, opondo-se a um mundo constante e imutável

	DESCENDÊNCIA COMUM	GRADUALIDADE	ESPECIAÇÃO POPULACIONAL	SELEÇÃO NATURAL
Lamarck	Não	Sim	Não	Não
Darwin	Sim	Sim	Sim	Sim
Haeckel	Sim	Sim	?	Em Parte
Neolamarckianos	Sim	Sim	Sim	Não
T.H. Huxley	Sim	Não	Não	(Não)
de Vries	Sim	Não	Não	Não
T.H. Morgan	Sim	(Não)	Não	Desimportante

O título completo da obra de Darwin, *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favored Races in the Struggle for Life*, aumentou a impressão errada de que se tratava de uma única teoria. O fato de que Darwin abordou a especiação (capítulo IV) no contexto da seleção natural fortaleceu essa interpretação, mas ela é falsa. Dou um exemplo para ilustrar que a especiação e a seleção natural são dois processos independentes. Uma população poderia vir a estabelecer-se em uma ilha, podendo (teoricamente) tomar-se de fato tão diferente da população parental, por meros processos genéticos ao acaso (deriva genética)[{§§§§§§§}], a ponto de já não ser mais capaz de reproduzir-se com a população parental, isto é, teria passado pelo processo da especiação (sem qualquer participação da seleção aos padrões da distribuição geográfica. Eles são devidos, em grande parte, a acidentes da dispersão, que se superpõem aos processos geográficos e geológicos, que também procedem independentemente da seleção natural. Sugerir, como Darwin o faz, que a seleção natural explica os padrões de distribuição é equivocado.

Tentemos agora particularizar as várias teorias de que se compõe o paradigma evolucionista de

Darwin.

A evolução como tal

A teoria de que o mundo não é constante, mas sim o produto de um processo contínuo de evolução, não foi, evidentemente, uma inovação de Darwin. No entanto, em 1959, a despeito dos escritos de Lamarck, Meckel e Chambers, a opinião predominante ainda era de que o mundo é estável. Uma série de compromissos bastante peculiares, como o progressionismo, vinha sendo defendida entre 1800 e 1859, no intuito de evitar a aceitação do evolucionismo. Todavia, a evidência maciça que Darwin apresentou era tão convincente que, dentro de poucos anos, todo biólogo se tomou um evolucionista, inclusive Owen, Mivart e Bytler, na Inglaterra, que se opunham às outras teorias de Darwin. Agassiz, um conservador até o fim, morreu em 1873. A França foi, na realidade, o único país em que o evolucionismo como tal teve que lutar para ser aceito (Conry, 1974; Boesiger, 1980). Para muitos biólogos de hoje, a evolução já não é mais uma teoria, mas simplesmente um fato, documentado pelas mudanças no acervo genético das espécies, de geração, e pelas alterações das biotas fósseis, nos estratos geológicos, cuidadosamente datados. As resistências que ainda hoje persistem limitam-se inteiramente a adversários com amarras religiosas.

A evolução por descendência comum

Curiosamente, Darwin foi o primeiro autor a postular que todos os organismos procederam de ancestrais comuns, por um processo contínuo de ramificação. Ao admitir a divisão de uma espécie parental em diversas espécies irmãs, ele foi levado ao conceito da descendência comum, quase por necessidade. Seguindo esse princípio até os *taxa* superiores, Darwin chegou a considerar a totalidade dos seres vivos "os descendentes lineares de alguns poucos seres, que viveram muito antes do primeiro leito do sistema Siluriano" (*Origin:* 488), e que a vida "foi assoprada originalmente em algumas poucas formas, ou em uma só" (p. 490).

Uma continuada multiplicação das espécies podia, dessa forma, explicar toda a diversidade da vida orgânica. Reduzindo-se o problema das origens a um só, o do primeiro despontar da vida, a descendência comum tomou supérflua a geração espontânea, um processo totalmente incompatível com as idéias continuístas de Darwin. Mesmo que esse problema extremo não estivesse ao alcance das capacidades da ciência contemporânea, Darwin não resistiu à tentação de especular sobre ele (L. L. D., III: 18).

A teoria da descendência comum facilitou grandemente a aceitação da evolução, como o próprio Darwin afirmou no *Origin,* por causa da sua capacidade de explicar tantos aspectos da anatomia comparada, da biogeografia, da sistemática, e de outras áreas da biologia, que anteriormente permaneciam enigmáticos. Lyell e o botânico George Bentham, que de início lhe fizeram oposição, acabaram por adotar a teoria da descendência comum, por volta de 1868.

Tornou-se costumeira, na literatura da história da biologia, a referência à "revolução darwiniana". [11] Todavia, esse termo, que eu mesmo cheguei a empregar, é ambíguo, porque o corpo total do pensamento darwiniano desabrochou em diversas revoluções intelectuais. Duas delas são particularmente bem definidas. A primeira é que, ao incluir o homem na árvore filética da descendência comum, Darwin subtraiu-lhe a posição privilegiada na natureza, a ele conferida pela

Bíblia e pelos escritos de praticamente todos os filósofos. Isso, por assim dizer, destronou o homem. Tratava-se de um conceito verdadeiramente revolucionário, muito diferente da consideração do homem como o pináculo da escala do ser. A segunda, foi a seleção natural (veja adiante).

A gradualidade da evolução

A afirmação insistente de Darwin, de que a evolução é inteiramente gradual, encontrou quase tanta oposição como a sua teoria da seleção natural. Isto se deveu a razões tanto empíricas como ideológicas. A passagem gradual de um tipo para outro é simplesmente impensável para um essencialista (tipologista). Lyell e outros insistiam em que o potencial de variação de uma espécie tinha limites fixos, que nenhuma seleção, por maior que fosse, poderia transpor. Toda espécie era separada de qualquer outra por um hiato intransponível, e se quisesse postular uma evolução, seria preciso postular a origem súbita de tipos novos, por saltos. Por isso é que Lyell admitia a constante ocorrência da "introdução de novas espécies", portanto um processo descontínuo. A teoria de Darwin, de que as populações são o *locus operandi* da especiação, e que isso permite toda sorte de intermediários, no seio das espécies e variedades geográficas, abalou o argumento essencialista.

Por outro lado, certas descobertas empíricas pareciam dar suporte à posição essencialista. Os anatomistas comparativos, com poucas exceções, acentuavam as diferenças fundamentais entre os planos de estrutura dos *taxa* superiores, diferenças essas que, assim diziam, não podiam ser explicadas pela evolução gradual. Da mesma forma, os paleontólogos insistiam no aparecimento súbito de tipos novos nos registros fósseis, e na total ausência de qualquer tipo intermediário. Onde quer que se olhasse, na natureza, o aspecto mais impressionante era a descontinuidade.

Particularmente os biólogos experimentais, todos eles solidamente essencialistas, encontravam grandes dificuldades em compreender a evolução gradual. Sem o hábito de pensar em termos de populações variáveis, não conseguiam conceber a origem de alguma coisa nova a não ser pela produção, por salto, de um indivíduo aberrante, um processo hipotético, mais tarde chamado macrogênese. Nägeli, His, Kölliker, W. H. Harvey, Mivart, Galton, e outros autores famosos, escreveram sobre macrogêneses fundamentadas, nos anos 1860, 1870 e 1880. Contudo, até os anos 1890, tratava-se de uma opinião minoritária. Obviamente, a macrogênese é incompatível com a seleção natural gradual, e Darwin nunca precisou recorrer a ela.

Darwin, melhor do que qualquer um dos seus adversários, percebia que as descontinuidades que se observam na natureza são, por assim dizer, artefatos da história. Ele explicava os hiatos entre os gêneros, e mesmo entre os *taxa* superiores, pelo duplo processo de divergência e extinção dos caracteres, explicação que hoje é universalmente aceita. A competição e a invasão de novos nichos e de zonas adaptativas conduzem a uma constante divergência, mas a extinção de tipos intermediários e elos de ligação é a responsável, mais do que qualquer outra coisa, pelas descontinuidades que se observam entre os *taxa* superiores. Dessa forma, tais quebras são artifícios secundários, muito mais que um reflexo do processo original da formação dos *taxa*.

As fontes da firme adesão de Darwin a gradualismo não são inteiramente claras. Em parte, evidentemente, tratava-se do resultado da observação, como as diferenças graduais entre os pássaros imitadores e tentilhões das Galápagos, e a continuidade, historicamente documentada, entre as mais aberrantes raças de cães, pombos e outros animais domésticos. Mas, como Gruber (1974) põe em relevo, pode ter havido um componente metafísico na crença de Darwin. Em decorrência do estudo

das obras do teólogo Sumner (1824: 20), ele chegou à conclusão de que todas as coisas *naturais* evoluem gradualmente a partir dos seus precursores, enquanto as descontinuidades, tais como os saltos súbitos, são indicativas de uma origem *sobrenatural,* ou seja, indicativas da intervenção do Criador. Durante toda a sua vida, Darwin preocupou-se, a duras penas, com a reconstrução de uma evolução gradual de fenômenos que, à primeira vista, pareciam claramente o resultado de origem subitânea.

A seleção natural

A despeito dos lampejos ocasionais de percepção correta dos seus predecessores, é da proposta simultânea de Wallace, foi sem dúvida Darwin quem estabeleceu a teoria da evolução por seleção natural, quem a fundamentou com numerosos e bem escolhidos exemplos, e com argumentos cuidadosamente trabalhados, e quem, conectando-a com uma teoria da evolução igualmente bem consubstanciada, apresentou-a à atenção do mundo ocidental. Explicando o "plano" da natureza como sendo o resultado de processos puramente materiais e não finalísticos, a teoria da seleção natural eliminou a necessidade de qualquer teleologia global. A teoria de Darwin forneceu uma explicação causai para a ordem aparentemente perfeita da natureza viva, isto é, para a adaptação dos organismos entre si e com o seu meio ambiente. Fica absolutamente claro que a teoria da seleção natural foi o conceito mais revolucionário proposto por Darwin. Pelo fato de fornecer uma explicação puramente materialista para todos os fenômenos do mundo vivo, foi dito que ela "destronou Deus". A teoria da seleção natural pode ser designada, corretamente, como a segunda revolução darwiniana.

A resistência à seleção natural

Quando um biólogo moderno fala de darwinismo, ele tem em mente o paradigma da seleção natural. Darwin vislumbrou, desde o princípio, que essa era a mais revolucionária das suas idéias. Não foi por menos que justamente ela provocou a reação mais violenta dos seus adversários, começando por Herschel, que a chamou de "lei da confusão", e Sedgwick, que a considerou um "ultrage moral". A seleção natural foi a componente do darwinismo que mais profundamente ofendeu os seus opositores ("ela destrona Deus"), e que, como é bastante natural, ainda hoje suscita a mais estrênua resistência. O amigo de Darwin, Asa Gray, um cristão devoto, foi um dos pouquíssimos darwinianos que conseguiram reconciliar a seleção natural com a fé num deus pessoal. E não eram apenas os teólogos, os filósofos e os leigos, em geral, que se opunham a essa tese, mas, pelo menos até a síntese evolucionista dos anos 1930 e 1940 (Mayr e Provine, 1980), também a grande maioria dos biólogos.

Os próprios amigos e simpatizantes de Darwin, quando muito, permaneciam tépidos em relação à seleção natural. [12] Esta não mereceu menção em nenhum dos comentários favoráveis ao *Origin,* publicados após 1859 (Hull, 1973). O esforço por explicar o mundo, inclusive os organismos vivos, de uma maneira puramente materialista, era algo muito desconfortável para a maioria dos defensores de Darwin. Lyell jamais aceitou a seleção natural, e quando finalmente admitiu a evolução, ela se referia o mais das vezes como a "teoria de Lamarck", para grande desgosto de Darwin.

T. H. Huxley, o buldogue de Darwin, defendeu fielmente a seleção natural durante toda a vida

do mestre, conquanto Poulton (1908) apresente evidências de que ele "em momento algum estava muito convencido da teoria que esforçava por proteger". Huxley era um morfologista, um fisiologista e embriologista, e a evolução do mundo orgânico era, para ele, o equivalente à evolução (como a chamou) do embrião do pinto no ovo (L. L. D., II: 202). A seleção natural não se adequava bem a esse conceito, e, num artigo histórico sobre Darwin ("The Corning of Age of the Origin of Species", 1893: 227-243), Huxley não faz nenhuma referência à seleção natural. Quando ele usava a palavra "darwinismo", aplicava-a, na maioria das vezes, no sentido da simples teoria da evolução por descendência comum. Há indicações de que ele não estava de forma alguma seguro de que a teoria da seleção natural finalmente se comprovaria como válida. Isto se depreende das suas palavras: "Qualquer que seja o destino final da particular teoria proposta por Darwin …". Huxley era de opinião que saltos importantes podiam responder por aquilo que a seleção natural não conseguia explicar (veja o Capítulo 11).

O único apoio sólido que Darwin recebeu, para a seleção natural, foi dos naturalistas. Em primeiro lugar havia, evidentemente, o seu co-descobridor, Wallace, que foi um adepto do selecionismo ainda mais irrestrito do que o próprio Darwin. Vacilou apenas quando chegou ao homem e à sua mente. O seu companheiro da América do Sul, Henry W. Bates, trouxe importantes contribuições para o selecionismo, e o mesmo fez Fritz Müller no Brasil (outro naturalista; veja a seguir). Os botânicos, de modo geral, opunham-se à seleção, mas o amigo de Darwin, J. D. Hooker, sempre se expressou sobre ela no sentido de Darwin, e assim mais tarde também Thiselton Dyer. No exterior, ninguém foi um selecionista mais convencido do que August Weismann, pelo menos depois de 1880. Na realidade, como ainda veremos, ele talvez foi o primeiro evolucionista a atribuir a mudança evolutiva exclusivamente à seleção natural. Por sua biografia e por suas pesquisas sobre borboletas, transparece claramente que ele foi, durante toda a vida, um naturalista ardente.

Sempre foi dito que a publicação de 1858, da teoria da seleção natural de Darwin-Wallace, foi, de saída, totalmente ignorada. Mas isso não é correto. O ornitologista Alfred Newton descreve como ele e seus amigos passaram anos discutindo sobre a origem das espécies, e como foi excitante a surpresa da publicação do artigo de Darwin-Wallace, no periódico lineano: "Fiquei acordado até tarde da noite para lê-lo … Fui para cama satisfeito, por ter sido encontrada uma solução" (1888: 241). Newton, por sua vez, levou o artigo ao conhecimento de Canon Tristram, o qual, num estudo cuidadoso das cotovias do deserto, interpretou a sua coloração críptica como o resultado da seleção natural, e isso justamente um mês antes da publicação do *Origin* (Tristram, 1859: 429). Efetivamente, ele descreve, com riqueza de detalhes, sob quais condições os indivíduos mais incolores e os indivíduos de bicos mais longos teriam sido favorecidos pela seleção. Owen fez menção favorável ao artigo de Darwin – Wallace, num discurso oficial de 1858, mas voltou-se contra a seleção após a publicação do *Origin*.

Selecionismo teve provavelmente o seu maior apoio, nos anos 1880, depois que Weismann havia refutado a hereditariedade dos caracteres adquiridos, e de haver convencido a Lankester, Thiselton-Dyer, e outros (veja o Capítulo 12). Por volta dos anos 1890, mais uma vez caiu bastante em descrédito, sendo restabelecido só pela síntese evolucionista, dos anos 1930 e 1940, quando essa teoria foi finalmente adotada por virtualmente todos os biólogos. Considerando que as críticas à seleção natural eram quase universais, é impossível tentar passá-las todas em revista. Exceção, todavia, deve ser feita para uma das críticas, porque sempre se afirmou que ela foi particularmente eficaz.

Não houve ataque à teoria de Darwin que mais tenha chamado a atenção do que o do cientista físico e engenheiro, Fleming Jenkin (1867). Isso é devido, em parte, à própria afirmação de Darwin: "Fleming Jenkin perturbou-me bastante, mas foi para mim de utilidade real maior do que qualquer outro ensaio ou comentário" (carta a Hooker, 1869. M. L. D., II: 379). Lido por um leitor moderno, o comentário de Jenkin não aparece de forma alguma como impressionante. Baseia-se em todos os preconceitos habituais e equívocos dos cientistas físicos. Embora Jenkin admita que "todos devem estar de acordo em que o processo denominado seleção natural está universalmente em ação", o seu conceito de seleção natural é de fato o processo essencialista da eliminação. Se Jenkin tivesse entendido que o processo reprodutivo é o princípio básico da seleção natural, não teria escrito o que se segue:

> A tendência a produzir uma geração mais parecida com os seus pais superiores do que com os seus avós inferiores seguramente não é de nenhum proveito para qualquer indivíduo, na luta pela vida. Pelo contrário, a maioria dos indivíduos beneficiar-se-ia com a produção de prole imperfeita, porque competiria com eles em desvantagem.

Jenkin concorda com Darwin e com quase todos os seus contemporâneos, no sentido de que "devem ser considerados em separado dois tipos distintos de possível variação: *Primeiro,* a forma de variação comum … [a dita variação individual] … e, *segundo,* a forma de variação que acontece apenas raramente, e que pode ser chamada … simplesmente um 'disparate", como quando nasce uma criança com seis dedos em cada mão.

No que tange à variação individual, Jenkin, também Lyell, Owen e todos os essencialistas afirmam que a seleção natural esgotaria bem depressa o potencial disponível dessa variação. A variação individual, insiste ele, nunca pode passar além dos limites de uma "esfera" definida de variabilidade. Nunca poderá transgredir "o tipo". A seleção pode fazer um cão correr mais depressa ou melhorar a sua faculdade olfativa, mas jamais poderá fazer dele algo que não seja um cão. Ele repete sem parar "que nenhuma espécie pode variar além de limites definidos". Essa idéia, largamente difundida, não é apenas uma consequência automática do pensamento essencialista, mas representa também a experiência dos criadores de plantas e de animais, que constataram que a variação possível de um linhagem ou de um rebanho é rapidamente exaurida pela seleção artificial intensa.

Tal posição, evidentemente, ignora que a situação na natureza é radicalmente diversa, porque as reservas de variação são continuamente repostas pelo fluxo genético e pela mutação. Nas populações pequenas isoladas, a seleção natural contínua só pode ser efetiva se for produzida variação genética nova em abundância. Como os primitivos mendelianos, Jenkin postulava uma enorme "pressão mutacionista", onde a seleção natural em nada contribui para a mudança evolutiva. Devido à sua total incapacidade de entender a seleção natural, ele afirma reiteradamente que a sua eficácia é limitada aos casos "em que a mesma variação ocorre em um número imenso de indivíduos … [ela] não se aplica ao aparecimento de novos órgãos ou hábitos".

Aqui, Jenkin chega ao âmago da sua crítica. Mesmo que se chegasse a admitir a melhoria gradual da espécie pela seleção das variações individuais, isso em nada nos ajudaria, diz ele,

> pois a origem das espécies requer não o melhoramento gradual dos animais que detêm os

mesmos hábitos e a mesma estrutura, mas sim a modificação daqueles hábitos e estruturas que de fato conduzem ao aparecimento de novos órgãos.

Na sua qualidade de essencialista, ele não podia imaginar que isso pudesse ocorrer por outra via que não a dos saltos. Isso o leva a voltar a sua atenção para o segundo tipo de variação.

Darwin, ocasionalmente, referiu-se, no *Origin,* a "aberrações" ou, como também as chamava, "variações singulares", porque, segundo dizia, elas oferecem "ilustrações tão simples" (L. L. D., II: 289). Poder-se-ia sugerir que as estruturas novas, que conduzem a espécie para além da sua esfera normal, sejam o produto da aberração. Mas isso, diz Jenkin, é altamente improvável, por bom número de razões, mas particularmente porque, quando um produto aberrante procria, a sua "progênie, de modo geral, será intermediária, entre o indivíduo mediano e o aberrante". Em outras palavras, Jenkin postulava a ocorrência universal daquilo que se chamou, na literatura genética posterior, "hereditariedade mista"{*******}. Tal afirmação é particular motivo de espanto, tendo em vista que Jenkin escolhera famílias de indivíduos com seis dedos, como ilustrações típicas da aberração. Desde Maupertius e Réaumur, era sabido que o caráter polidáctilo (seis dedos) era herdado sem qualquer intermediação. Darwin poderia ter facilmente constestado a Jenkin, esclarecendo que os indivíduos com seis dedos não têm filhos com cinco dedos e meio, e netos com cinco dedos e um quarto, nem que os albinos têm descendentes semi-pigmentados. Os criadores de animais contaram literalmente casos inumeráveis, em que tais aberrações, mediante retrocruzamento, se tomaram crias-padrão, como o carneiro "ancon", mencionado por Darwin (*Origin:* 30). Se a afirmação de Jenkin, intermediação, tivesse valor, tais aberrações teriam rapidamente desaparecido nos descendentes do retrocruzamento.

O fato de que Darwin não tenha utilizado esse argumento confirma que ele mesmo estava bastante confuso quanto ao problema da variação (veja também o Capítulo 16). Assim sendo, ele aceitou docilmente o argumento de Jenkin da hereditariedade mista, e isso o induziu a acentuar, mais do que antes, a desimportância das aberrações para a evolução. O que Darwin também deixou de perceber foi que o mesmo argumento da mistura poderia ser aplicado à variação individual, caso refletisse uma mudança genética genuína. Vorzimmer (1963; 1970) observa corretamente que o comentário de Jenkin teve apenas um efeito mínimo sobre Darwin, apesar das afirmações de historiadores mais antigos. Na minha opinião, é errôneo citar o comentário de Jenkin, como sendo uma crítica brilhante e devastadora em relação a Darwin. Na realidade, ele encerra idéias mais falsas e conclusões mais equivocadas do que os passos do *Origin,* que ele combate. Particularmente fracas, na sua argumentação, são as analogias impróprias entre processos biológicos e fenômenos físicos, como, por exemplo, a comparação da mudança evolutiva com a trajetória de uma bala de canhão. Para um leitor moderno, é espantoso que cientistas físicos, como Haughton, Hopkins e Jenkin, pudessem pensar que, com a aplicação dos conceitos das ciências físicas, podiam fazer face aos fenômenos tão extraordinariamente complexos, sem paralelo no mundo inanimado, como a evolução dos sistemas biológicos.

Os motivos da força de resistência à seleção

Considerando a rapidez com que a teoria da evolução foi aceita pelos biólogos, causa estranheza a sua relutância em adotar a seleção natural. Somente por ocasião da "síntese

evolucionista" nos anos 1930 (veja o Capítulo 12) é que a seleção natural acabou por ser feita pela maioria dos biólogos, como o único mecanismo diretivo da evolução. Mas mesmo então, a seleção natural permaneceu um conceito tão estranho para os filósofos e não-evolucionistas, a ponto de os evolucionistas, até os dias de hoje, terem de fazer grandes esforços para demonstrar a eficácia da mesma aos não-evolucionistas.

A oposição, evidentemente, não era total. Quase todos os adversários admitiam alguma seleção, mas asseveravam que os fenômenos e processos evolutivos mais importantes não podiam ser explicados por ela. O próprio Darwin, como sabemos, permitia alguns processos não-seletivos, tais como o efeito do uso e desuso; contudo, a seleção era para ele, de longe, o mecanismo mais ativo da mudança evolutiva. A maioria dos seus adversários considerava-a de somenos importância, quando não negligenciável.

Quais eram os fatores que contribuíram para o extraordinário rigor da resistência anti-selecionista? Parece que ela não pode ser atribuída a um único fator, mas sim ao amplo contexto dos argumentos de oposição. Ninguém ainda sistematizou e analisou todas as objeções que foram levantadas, mas as mais importantes podem ser encontradas nos escritos de Kellogg (1907), Delage e Goldschmidt (1912), Plate (1924), Hertwig (1927), Tschulok (1929), e vários autores franceses, como Gaullery, Cuénot, Vandel e Grassé. Os argumentos emitidos por filósofos podem ser encontrados em Cassirer (1950) e Popper (1972). O que segue é uma listagem parcial dos fatores mais relevantes que contribuíram para a resistência à seleção natural.

Ameaça ao argumento do plano

O fato de explicar a perfeição da adaptação por forças materialistas (seleção) removeu Deus, por assim dizer, da sua criação. Isso eliminou os

principais argumentos da teologia natural, e foi afirmado, justamente, que a criação, como conceito viável, morreu em 24 de novembro de 1859. A nova realidade ofendeu profundamente não apenas os teólogos, mas também todos aqueles naturalistas para os quais a teologia natural constituía a sua *Weltanschauung*. Para eles, a teoria da seleção natural era totalmente imoral. Foi isso o que Sedgwick quis dizer com o seu desabafo angustiado: "A pretensa filosofia física dos nossos dias desnuda o homem de todos os seus atributos morais". Repudiando as causas finais, continuava Sedgwick, a teoria de Darwin "está a indicar uma compreensão desmoralizante, por parte dos seus defensores. O que é que nos dá o senso do certo e do errado?, da Lei?, do dever?, de causa e efeito?" (Hull, 1973). Deus deu um objetivo ao mundo, e a ordem moral do mundo fazia parte desse objetivo. A substituição desse objetivo pelos processos automáticos da seleção natural não apenas afasta o Criador do nosso conceito do mundo, mas também destrói o fundamento da moralidade.

O grito de Sedgwick, dessa forma, revela que muito mais coisas estavam envolvidas do que a refutação do conceito de Paley de uma adaptação inerente ao plano. Isso transparece com maior clareza ainda da oposição que von Baer (1876) fez a Darwin. Von Baer era um teleologista convicto. 0 mundo orgânico não era apenas *zweckmässig* (um termo muito ocorrente em Kant, significando bem adaptado), mas também *zielstregib* (orientado para um fim). Devido à presença de uma finalidade, assim diz ele, a adaptação precede à formação de novas estruturas, enquanto, segundo Darwin, a adaptação é o resultado da formação das estruturas, por meio da seleção natural (1876: 332). Para um teleologista, a tendência a uma perfeição cada vez maior, a uma harmonia sempre crescente, era

algo constitutivo da natureza. Também como dizia Agassiz, por toda parte podem ser descobertas indicações da existência de um plano subjacente. Tal plano somente poderia ser efetivado pela existência de leis, e diversas dessas "leis" foram de fato propostas no período pré-darwiniano, como o quinarianismo de MacLeay, oferecendo a base para a classificação, ou a lei da polaridade, de Edward Forbes, para explicar a distribuição, ou ainda o tríplice paralelismo, de Agassiz, entre ontogênese, progressão fóssil e progressão morfológica (Bowler, 1977b).

A aceitação da evolução convertia o conceito de um mundo bem ordenado num problema particularmente agudo. Se o mundo foi criado num único instante (ou em seis dias), e permaneceu constante desde então, a sua harmonia podia ser explicada como o produto de um plano bem concebido. A manutenção da ordem, todavia, tomou-se um problema sério, em um mundo evolutivo e em mudança contínua. Para os primitivos evolucionistas (os *Naturphilosophen,* Lamarck e Chambers), constituía axioma que a evolução era um movimento "ascendente". A partir da matéria bruta e dos organismos mais simples (infusórios), havia uma progressão constante, culminando na evolução do homem. A aceitação da teleologia cósmica era assim um corolário imprescindível para se admitir a evolução. Explicar uma *scala naturae* temporalizada exigia o preço de ter que explicar as causas finais. Na realidade, era tão impressionante a imagem de uma evolução progressiva que, mesmo depois que deixou de ser um problema, para aqueles que aceitaram a teoria da seleção natural, ela manteve amplamente a sua credibilidade, não apenas no seio de um segmento surpreendentemente vasto da comunidade biológica, mas particularmente entre os leigos e os teólogos. A luta contra a teleologia cósmica ("necessidade") constituiu o objeto principal do *chance and necessity,* de Monod, e igual objeto se pode encontrar, de modo explícito ou implícito, nos escritos de todos os evolucionistas que se ocuparam com a assim chamada evolução progressiva (Simpson, por exemplo). Contudo, convencer alguém, que não tem familiaridade com os mecanismos evolutivos, de que o mundo não é predeterminado e – por assim dizer – programado, parece desesperadoramente difícil. "Como pode o homem, o porco-marinho, as aves do paraíso, ou as abelhas melíferas, terem-se desenvolvido por acaso?", é a pergunta-padrão que nos é feita, com surpresa, muitas vezes, mesmo hoje em dia. "Um mundo sem objetivo não deixaria também o homem sem objetivo?", indaga-se. A aceitação da seleção natural, por isso, parece colocar um sério dilema metafísico. [13]

A situação dos anos 1860 e 1870 foi agravada por querelas entre teólogos liberais e conservadores (os liberais tentando acomodar-se ao pensamento de Darwin), e entre a Igreja e o Estado. Para alguns evolucionistas, acima de tudo para Haeckel, na Alemanha, o significado maior da evolução, e da refutação de qualquer finalismo, é que proporcionava um fundamento para o materialismo. Como Weismann asseverou isso (1909: 4-5): "O princípio da seleção resolveu a charada de como é possível produzir a adaptabilidade /*Zweckmâssigkeit*/, sem a intervenção de uma força determinadora de um fim".

Assim, a seleção natural não apenas suprimiu a necessidade de um planejador, mas também acarretou o fim da teleologia cósmica (finalismo). Na realidade, evidenciou-se claramente que o termo "teleológico" tinha sido aplicado a uma mistura muito heterogênea de fenômenos, alguns dos quais, não porém a teleologia cósmica, são processos científicos válidos (veja o Capítulo 2). [14] O finalismo morreu de morte lenta, inclusive na biologia evolutiva, e foi reavivado por alguns evolucionistas pós-darwinianos, sob o conceito de *ortogênese,* ou conceitos correlatos (veja adiante).

A publicação do *Origin* produziu uma mudança decisiva na relação entre ciência (biologia) e religião, particularmente na Inglaterra. Até o ano 1859, o criacionismo, a teologia natural, a morfologia criacionista idealística, e outras teorias explicativas, em que Deus desempenhava um importante papel, eram consideradas teorias científicas legítimas. Nas controvérsias, cientistas se opunham a cientistas. Depois de 1859, os argumentos religiosos desapareceram rapidamente dos enunciados dos cientistas, e, como Gillespie (1951) bem salientou, a controvérsia passou a ser uma controvérsia entre a religião organizada (as Igrejas) e os cientistas.

O poder do essencialismo

A seleção natural não faz sentido para um essencialista, porque ela nunca poderá afetar a essência subjacente; ela somente pode eliminar os desvios do tipo. Para o essencialista, a seleção natural é pura e simplesmente um processo apenas negativo, capaz de eliminar os inaptos, mas incapaz de desempenhar um papel positivo. Lyell refere-se especificamente ao "poder puramente eliminativo da seleção natural", e postula que são necessárias algumas forças naturais verdadeiramente criativas para produzir as plantas superiores, os animais, e o homem.

Tem sido afirmado que a seleção natural, embora rejeitada pelos vitalistas (como de fato foi), foi aceita pela maioria dos mecanicistas. Os fatos, porém, desmentem essa assertiva. Na realidade, todos os biólogos experimentais eram mecanicistas, e no entanto, até recentemente, isto é, até a síntese evolucionista, eles rejeitam a seleção natural, quase unanimemente. Somente aqueles que adotaram o pensamento de população é que a aceitavam. Os embriologistas, em particular, que sempre se ocupavam de um dado organismo individual, e que até recentemente nunca estudavam populações, encontravam muitas dificuldades para entender a seleção natural. Isso é muito evidente nos escritos de T. H. Morgan e E. B. Wilson, que, segundo Muller (1943: 35), ainda no ano 1930, "não estavam dispostos a admitir que a confusão pudesse fornecer uma explicação adequada para as adaptações orgânicas".

Constitui um dos paradoxos da área o fato de que muitos biólogos experimentais famosos, perfeitamente familiarizados com o selecionismo, usavam, não obstante, argumentos essencialistas nas suas análises evolucionistas. Isso é válido, por exemplo, para dois biólogos tão distinguidos, como Waddington e Monod. E essa foi uma característica dos argumentos dos físicos e matemáticos, participantes da conferência de Wistar (Moorhead e Kaplan, 1967).

A ambiguidade do termo "seleção"

O próprio Darwin nunca esteve inteiramente satisfeito com o termo "seleção"; muitos dos seus defensores não gostavam dele; e os seus adversários o criticavam e o ridicularizavam. Aquilo que mais tarde chamou de seleção natural, Darwin havia designado, em 18 de setembro de 1838, "inserção de força": "Pode-se dizer que há uma força, igual a cem mil cunhas, tentando introduzir todo tipo de estrutura adaptada nas fendas da economia da natureza" (D: 135). Ele adotou o termo "seleção" a partir de 1840, quando lhe ocorreu a analogia com a seleção artificial dos criadores (Ospovat, 1979).

Limoges (1970: 144-146) esclarace corretamente que havia muitas dúvidas, na literatura pós-darwiniana, em relação à natureza da seleção natural. Era ela um agente, um processo, ou o resultado

de um processo? A maior debilidade do termo reside em que ele implica um sujeito que seleciona. Os críticos de Darwin sentiam-se simplesmente ultrajados com sua personificação desinibida da natureza. Sempre que o teólogo natural podia invocar a Deus, Darwin invoca a Natureza: "A Natureza não dá a mínima importância às aparências, exceto quando elas podem ser úteis para algum ser. Ela pode agir em cada órgão interno, em cada recanto obscuro da diferença constitucional, na totalidade da maquinária da vida" (*Origin*: 83). "A seleção natural, no mundo todo, a cada dia e a cada hora, escruta qualquer variação, como a mais ligeira" (p. 84). Não teria Darwin abolido o Deus da Bíblia, apenas para colocar em seu lugar um novo deus, a Natureza?

O desconforto dos seus amigos em relação ao termo "seleção natural" induziu Darwin a adotar a metáfora de Spencer, "a sobrevivência dos mais aptos", à ocasião das últimas edições do *Origin*. Foi uma medida bastante infeliz, porque agora se levantou a objeção de que toda a teoria da seleção natural repousa sobre uma tautologia: "Quem sobrevive? Os mais aptos. Quem são os mais aptos? Aqueles que sobrevivem". Darwin, evidentemente, jamais disse alguma coisa assim. Tudo o que disse foi que, entre as inumeráveis variações que ocorrem em cada espécie, algumas, que são "úteis, de alguma forma, a cada organismo, na grande e complexa batalha da vida, devem às vezes ocorrer, no decurso de milhares de gerações" (*Origin*: 80), e "que os indivíduos que possuem alguma vantagem, por menor que seja, sobre os outros, teriam as melhores oportunidades de sobreviver e de procriar a sua raça" (p. 81). Não há nada de circular nessa afirmação. Williams (1973b), Mills e Beatty (1979) analisaram as bases lógicas do argumento de Darwin, e concluíram que não existe aí nenhuma tautologia (mas veja Caplan, 1978).

Nos anos seguintes, foram feitas reiteradas tentativas para encontrar um termo melhor, tanto para seleção natural como para sobrevivência dos mais aptos, mas nenhum teve sucesso. O próprio Darwin pensou em "preservação natural", mas essa expressão não traduz a componente criativa da seleção natural, devido à alternância entre a recombinação genética e o êxito reprodutivo, aspecto da seleção natural que foi enfatizado por Julian Huxley, Dobzhansky, e outros evolucionistas recentes. A moderna geração de biólogos acostumou-se de tal maneira ao termo "seleção natural", que já não provoca aquelas dúvidas do tempo de Darwin.

Evolução devida a acidente

A teoria de Darwin excluía definitivamente a existência de qualquer fator finalístico como agente da mudança evolutiva, e isso agravou a resistência de muitos à seleção natural. A maioria dos seus contemporâneos só via uma única alternativa para a determinação teleológica: acidente. Efetivamente, até os tempos modernos, muitos cientistas e filósofos rejeitavam a seleção, dizendo que era fora de cogitação que "a maravilhosa harmonia dos organismos" pode ser totalmente atribuída ao acaso. Aqueles que levantaram essa objeção não atentaram para o fato de que a seleção natural é um processo que envolve dois passos. No primeiro, o da produção da variabilidade genética, o acaso certamente reina soberano. Todavia, a ordenação da variabilidade genética, por seleção, no segundo passo, é tudo, menos um processo casual. Também não é verdade, como às vezes se tem afirmado, que a seleção seja algo intermediário entre o acaso e a necessidade. Ela é de fato algo inteiramente novo, que foge ao dilema de uma escolha entre esses dois princípios. Ninguém exprimiu isso melhor do que Sewall Wright (1967: 117):

> O processo darwiniano do jogo contínuo entre o acaso e o processo seletivo não é um intermediário entre a pura oportunidade e a pura determinação, mas, nas suas consequências, é algo qualitativamente muito diferente de uma e de outra.

É notável o fato, que geralmente se perde de vista, que, com a seleção natural, Darwin introduziu um princípio inteiramente novo e revolucionário, que de forma alguma é vulnerável à objeção de que sua teoria se apóia inteiramente no acaso. Segundo parece, o próprio Darwin se esqueceu disso, ocasionalmente, porque uma vez confessou que estava muito aborrecido com "a extrema dificuldade, ou antes impossibilidade, de conceber esse imenso e maravilhoso universo … como o resultado do acidente cego, ou da necessidade" (1958: 92), como se essas fossem as duas únicas opções disponíveis.

A seleção natural foi particularmente enigmática para os cientistas físicos, por ser tão diferente das teorias e leis da física. Ela não é nem estritamente determinística, nem previsível, mas probabilística, com um forte elemento estocástico. Se se gosta ou não de um tal processo indisciplinado, é irrelevante. O fato é que ele acontece na natureza, e que é de uma importância extrema para o destino dos genótipos.

Objeções metodológicas à seleção natural

As objeções científicas à teoria da seleção natural não foram as únicas a serem levantadas. É preciso lembrar que, no *Origin,* foram apresentados ao mundo, pela primeira vez, os princípios e a metodologia da biologia evolucionista. Quase todos os adversários de Darwin eram matemáticos, engenheiros, físicos, filósofos, teólogos, e outros perfis de eruditos, cujos conhecimentos de biologia eram lamentavelmente limitados. Contudo, eles sentiam que a evolução era um assunto suficientemente importante para justificar a participação de todos na discussão. Sendo incapazes de apresentar argumentos científicos, eles se voltaram para a afirmação de que Darwin tinha violado os cânones da correta metodologia científica (Hull, 1973). Diziam que a sua obra era especulativa, hipotética, eivada de inferências, e prematura. Também criticaram as suas conclusões, com base em que elas não foram alcançadas por indução, que, segundo eles, era "o único método científico válido". Além disso, sempre de novo se declarava que a teoria da evolução era inaceitável, porque não se baseava no experimento (isso até mesmo em 1922, com Bateson). A evidência por observação e comparação não era científica, dizia-se; ela devia ser experimental.

Todas essas críticas estão baseadas na suposição, hoje plenamente reconhecida como errada, de que os fenômenos e os processos, que contêm informações geradas ao longo do tempo, devem ser estudados com os mesmos métodos que os processos puramente funcionais. De modo mais geral, essa posição afirma que os métodos que se revelaram úteis nas ciências físicas (com o seu universo de fenômenos muito limitado) são totalmente suficientes para todas as ciências. Os críticos que acusavam a Darwin de não seguir métodos científicos apropriados, e de não fornecer provas rigorosas, não se davam conta de que a ciência, em meados do século XIX, passava por uma revolução metodológica. A aplicação coerente do método hipotético-dedutivo, de Darwin (Ghiselin, 1969), ajudou grandemente a estabelecer a respeitabilidade desse método, e levou a uma revisão dos critérios necessários para determinar a validade de uma teoria (veja o Capítulo 2). Mais do que qualquer um, Darwin mostrou quão profundamente a formação de uma teoria biológica difere, em

muitos aspectos, da formação de uma teoria na física clássica (Hull, 1973; Hodge, 1977; 1981).

Os relatos históricos só muito raramente (ou nunca) podem ser testados por experimento. Todavia, pode-se "especular" sobre eles, como Darwin teria dito, isto é, podem-se formular hipóteses, baseadas em observações. E foi isso que Darwin fez sem cessar. A especulação de Darwin era um procedimento bem disciplinado, por ele utilizado, como o faz todo cientista moderno, para direcionar o teste de observações ulteriores e, quando factível, para planejar os experimentos.

De longe, a mais importantes inovação da metodologia darwiniana consistiu em ter demonstrado a legitimidade das questões dos "porquês". As causas da evolução *somente* podem ser analisadas, formulando essas perguntas dos "porquês". "Por que um inseto de folha é verde?", não representa uma procura de causas finais, mas sim de pressões seletivas passadas (ou presentes). "Por que os animais das Galápagos são mais estreitamente semelhantes aos animais da América do Sul do que aos de outras ilhas do Pacífico?", de novo, trata-se aí de uma pergunta científica perfeitamente legítima. A resposta hipotética de que a fauna deve ter alcançado as ilhas via colonização transoceânica permitiu todo tipo de predições – por exemplo, que ela proveio mais provavelmente da área de reserva mais próxima (América do Sul), ou que os animais que não voam (a menos que tenham tido meios especiais de dispersão) teriam muito maiores dificuldades de chegar às ilhas do que os animais voadores. Efetivamente, os mamíferos terrestres são raros, ou ausentes, das verdadeiras ilhas, mas os morcegos chegam à maioria delas.

Com sua nova metodologia, Darwin transferiu todo o reino das causas últimas da teologia para a ciência. Ele tinha plena consciência do que estava fazendo. Em relação a sucessivos grupos de fenômenos, ele indagava: "É isso explicado melhor pela criação (especial), ou como o resultado da evolução por descendência comum?" (Gillespie, 1979).

Ausência de provas

Mesmo alguns dos mais ardentes defensores de Darwin admitiam que a teoria da seleção natural baseava-se quase inteiramente no raciocínio dedutivo. Os seus adversários diziam que esse método era puramente especulativo, e exigiam provas indutivas ou experimentais. Praticamente, a única coisa que Darwin podia oferecer era a analogia com a seleção artificial. Mas, como T. H. Huxley admitia, nenhum criador de animais jamais conseguiu produzir uma espécie nova e reprodutivamente isolada, por seleção. E as mais aberrantes raças de cães e de pombos foram chamadas "patológicas", por Kólliker, que insistia, com muita razão, que elas nunca seriam capazes de se manter por si mesmas na natureza.

A descoberta do mimetismo, por H. W. Bates (1862), veio como um presente do céu, e Darwin de pronto escreveu um comentário prazeroso e altamente laudatório sobre ele. O que Bates observou foi que toda espécie, ou raça geográfica, de borboletas heliconídeas (quando não venenosas) estava associada, nas áreas em que se encontravam, com uma ou mais espécies de borboletas comestíveis, que. imitavam a coloração daquelas (mimetismo batesiano). Mas havia algo melhor ainda! Quando uma espécie heliconídea variava geograficamente (o que acontece com a maioria delas, e de modo bem marcante), as suas satélites imitadoras sofriam exatamente as mesmas mudanças como os seus pares intragáveis. Bates (1862: 512) concluiu corretamente que esse tipo de variação somente podia ser devido à

> seleção natural, sendo o agente seletivo os animais insetívoros, que gradualmente destroem

aqueles espécimens ou variedades que não são suficientemente parecidos [com os seus modelos], para induzi-los ao engano.

A variação geográfica das borboletas, em alguns casos muito gradual, mostrou além disso que o mimetismo não era adquirido por saltos, mas, gradativamente, por seleção natural. Mais tarde, a análise genética confirmou essa conclusão. [15]

A obra de Bates, uma peça muito brilhante de pesquisa em história natural, foi logo confirmada por outros observadores. Wallace descobriu uma situação semelhante com as borboletas papilionídeas indomalaias; e todos os anos se descobrem novos exemplos de tipos variados de mimetismo. A mais importante extensão do princípio do mimetismo se deve a Fritz Müller (1879), o qual mostrou que também pode ocorrer um mimetismo mútuo entre animais intragáveis, venenosos, ou peçonhentos, tais como vespas ou cobras (mimetismo mülleriano). Desde que os seus predadores potenciais aparentemente têm que aprender, pelo menos em parte, qual o tipo de cor que deve ser evitada, é vantajoso para uma colônia de detentores de uma coloração de advertência adotar um padrão único, numa dada região. Possuir essa cor-padrão de advertência representa uma vantagem seletiva para todo membro do grupo. Sem surpresa, em consonância com os imperativos da seleção natural, todas as espécies que pertencem a um único complexo mülleriano variam geograficamente de maneira paralela (Tumer, 1977).

Grande parte da pesquisa em biologia evolutiva, particularmente depois de 1930, foi consagrada ao esforço de estabelecer o valor seletivo dos vários atributos das plantas e dos animais (veja o Capítulo 12).

Impossibilidade de falsificação

De acordo com Popper, só são científicas aquelas teorias que podem ser "falsificadas". Diversos filósofos, contrários à seleção natural, disseram que é impossível falsificar qualquer afirmação que se faça em favor da mesma. Aqui é preciso fazer uma distinção entre a teoria da seleção natural em si mesma e a sua aplicação a casos específicos. A partir do momento em que se encaram casos específicos, é possível fazer previsões passíveis, em princípio, de falsificação, testando-as em confronto com várias hipóteses. Verdade é, também, que uma confiança exclusiva na falsificabilidade é posta em dúvida por diversos filósofos contemporâneos. Por fim, considerando que poucos, ou nenhum, dos neodarwinianos afirmam que todo componente do fenótipo e toda mudança evolutiva sejam o resultado de uma seleção *ad hoc,* o argumento da não-falsificabilidade perde muito da sua força.

Resistência ideológica

Era inevitável, o conceito da seleção natural foi também aplicado ao homem. Isso resultou em vários excessos (como o racismo), mas, ao contrário, também à negação de que a aceitação de diferenças genéticas de significado seletivo, no homem, estivesse em conflito com o princípio da igualdade. Um igualitarismo extremo levou à formação de escolas fortemente ambientalistas, em particular na antropologia americana e na psicologia behaviorista. Por nobres, e talvez necessários, que tenham sido esses movimentos, para combater o racismo e o preconceito social, as teses mais

importantes dessas escolas não foram comprovadas por qualquer evidência concreta, baseadas que estavam em um conceito não-biológico da igualdade. A situação ficou pior quando apareceu o odioso lysenkoísmo, na URSS, e quando certos grupos marxistas dos países ocidentais decidiram atacar a genética, e promover o ambientalismo. Alguns dos ataques à sociobiologia, em anos recentes, tiveram igual origem ideológica. A ligação do nome de Darwin com o darwinismo social de Herbert Spencer também foi prejudicial à aceitação da seleção natural (Freeman, 1974; Nichols, 1974; Hertwig, 1921; Greene, 1977; Bannisjer, 1979).

Objeções empíricas

Alguns estudiosos da diversidade levantaram algumas objeções à seleção natural, oriundas da observação. Com base na sobrevivência dos indivíduos superiores e na mudança gradual das populações, poder-se-ia esperar uma perfeita continuidade na natureza, assim diziam. Mas o que de fato se verifica são apenas descontinuidades. Todas as espécies estão separadas umas das outras por hiatos intransponíveis; não se observam intermediários entre elas. Como poderia a barreira da esterilidade entre as espécies ter-se originado por seleção natural? O problema era ainda mais sério no nível das categorias superiores. Os *taxa* superiores, como as aves e os mamíferos, ou escaravelhos e borboletas, são excessivamente distintos entre si, assim diziam os céticos, para permitir a explicação da sua origem, ao longo de uma evolução gradativa, por seleção natural. Além disso, como pode a seleção explicar a origem de novas estruturas, como as asas, quando os órgãos novos incipientes não podem ter nenhum valor seletivo, enquanto não forem desenvolvidos o bastante para serem plenamente funcionais? E finalmente, qual é o papel das diferenças muito pequenas entre os indivíduos de uma população, observadas em toda evolução gradual (inclusive na variação geográfica), quando, dizia-se, as diferenças são demasiadamente pequenas para terem significação seletiva? Os defensores da evolução gradual deviam provar que eram capazes de refutar essas objeções, e fornecer evidências em favor de uma lista assaz formidável de pré-requisitos da sua teoria:

1. Disponibilidade de um suprimento inexaurível de variação individual.
2. Hereditariedade da variação individual.
3. Que uma vantagem seletiva, por mais ligeira que seja, tenha significação evolutiva.
4. Ausência de limites na resposta à seleção.
5. Explicação, por variação gradual, das novidades evolutivas mais relevantes, e da origem dos *taxa* superiores.

Nem Darwin nem os seus adeptos tinham, de saída, condições de fornecer evidências para isso. Em consequência, sempre de novo surgiam as objeções tradicionais, até em tempos recentes, cujas formulações mais vigorosas se encontram em Schindewolf (1936), Goldschmidh (1940), e em alguns zoólogos franceses (Boesinger, 1980). Foi preciso esperar até o período da nova sistemática, em que Rensch, Mayr e outros demonstraram a origem populacional das descontinuidades (Mayr, 1942, 1963), e em que os geneticistas proporcionaram a evidência da variação, necessária à eficácia da seleção natural.

Teorias evolucionistas alternativas

A aceitação da teoria da evolução criou um dilema para todos aqueles que rejeitavam o princípio explicativo darwiniano da seleção natural. Que outro fator (ou fatores), que não a seleção natural, poderia controlar a evolução? Diversas explicações alternativas foram propostas, nos oitenta anos após 1859,. e foram de fato mais populares, nesse período, do que a seleção natural. No intuito de não deturpar o clima de opinião, seja-me permitido enfatizar que a seleção natural não era totalmente condenada. Muitos biólogos admitiam:

Por certo, a seleção natural acontece, mas ela não pode ser o fator causai exclusivo da evolução, porque um número excessivamente grande de fenômenos evolutivos não pode ser explicado por ela.

É preciso lembrar, por isso, que a mera aceitação de alguma seleção não faz de um autor um darwiniano, quando simultaneamente admite a existência de outros fatores que controlam a evolução. As três teses de Darwin, e dos neodarwinianos, eram o gradualismo, a rejeição da hereditariedade tênue e a exclusão do finalismo (teleologia). Por isso, podem-se classificar as várias teorias antidarwinianas, de acordo com a oposição específica que cada um dos três componentes mereceu. Serão discutidas, portanto, sob os três títulos seguintes: (1) teorias dos saltos, (2) teorias neolamarckianas, e (3) teorias ortogenéticas (Kellogg, 1907; Mayr e Provine, 1980).

Teorias dos saltos

As primeiras teorias que se opunham ao gradualismo de Darwin (His, Kölliker, e outros) já foram apresentadas (veja anteriormente). Tinham relativamente poucos adeptos, nos anos 1860 a 1880. Depois de 1894, as teorias dos saltos ganharam rapidamente em popularidade, e foram dominantes no início deste século, sob o nome de "mutacionismo". O papel dessas teorias, nas controvérsias do século XX, será discutidos no Capítulo 12.

Teorias neolamarckianas

A oposição mais determinada e de maior sucesso ao darwinismo veio das teorias usualmente combinadas sob o nome de "neolamarckismo". [16] O aspecto paradoxal dessa designação consiste em que o componente mais fundamental da teoria de Lamarck – a de que existe um elemento finalístico na evolução, levando as linhas filéticas dos organismos a uma perfeição cada vez maior – não era a tese principal do neolamarckismo. Admite-se, todavia, que o neolamarckismo tinha em comum com Lamarck dois conceitos maiores: o de que a evolução é uma evolução "vertical", consistindo em uma melhoria da adaptação (negligenciando ou menosprezando completamente a origem da diversidade), e em segundo lugar, que as características adquiridas de um indivíduo podem ser herdadas (hereditariedade tênue). O neolamarckismo, por isso, pode ser considerado tanto uma teoria da hereditariedade, como uma teoria da evolução, e, portanto, a discussão sobre a hereditariedade tênue será incluída no Capítulo 16.

A idéia de que o ambiente exerce uma influência decisiva sobre o organismo remonta ao folclore antigo. Ela era muito difundida entre os filósofos, particularmente no período anterior ao Iluminismo, e durante o mesmo (Locke, Condillac). Entre os escritores ingleses, David Hartley

(1749) constitui um bom exemplo de um ambientalismo extremo. Que "as mudanças nas condições da vida" contribuem grandemente para "a variação do tipo" era algo aceito por Buffon, Lineu, Blumenbach e Lamarck, sendo que todos eles também aceitavam, em maior ou menor grau, que tais caracteres adquiridos podiam ser herdados. Blumenbach, por exemplo, acreditava que as raças humanas de pele escura provieram de raças de pele branca, pela ação dos fortes raios solares sobre o fígado do homem, nos trópicos. O próprio Darwin não foi exceção (veja o Capítulo 16). Ele sempre acreditou em algum efeito do uso e desuso, e na sua hereditariedade, e chegou a adotar a teoria da pangênese, para explicar isso. Entretanto, ele atribuía a isso apenas um papel menor, em comparação com a seleção.

O neolamarckismo cobre um grupo de idéias extremamente heterogêneo. Não existem sequer dois neolamarckianos que tenham os mesmos pontos de vista; mas seria muito longo descrever as suas várias teorias em detalhe. Uma delas, designada "geoffroysmo", atribui a mudança evolutiva à influência direta do ambiente. Embora Lamarck tivesse rejeitado expressamente a ocorrência de uma tal indução direta, aqueles que, no final do século XIX, admitiam esse processo eram incluídos entre os neolamarckianos. Diversos naturalistas acreditavam nele como um processo que coexistia com a seleção natural. Defendiam, por exemplo, que a variação geográfica gradual não podia ser explicada, a não ser por meio da indução ambiental. O geoffroysmo tinha muitos adeptos, particularmente nas primeiras décadas do século XX, e se apresentavam como um "partido de oposição" ao mutacionismo, com a sua invocação dos saltos descontínuos, como fonte única da mudança evolutiva. A indução ambiental afigurava-se como a única via de explicação para a variação gradual, como observada por toda parte pelos naturalistas.

Os conceitos relacionados com o uso e desuso, combinados com uma herança dos caracteres adquiridos, eram predominantes entre as teorias neolamarckianas. Isso se aplica em relação à "lei de crescimento e esforço", de Cope. Um órgão que se tomou mais útil, em uma nova situação ambiental, teria o seu crescimento aumentado a cada geração, ficando assim cada vez melhor adaptado ao seu ambiente. Trata-se, evidentemente, de algo muito parecido com certas idéias de Lamarck. O mecanismo sugerido para tal processo era que "as células germinativas encerram um registro dos passados esforços da força de crescimento, de maneira análoga à memória" (Bowler, 1977a: 260). Aqui Cope dispunha de um mecanismo que produziria a adaptação naturalmente, sem recurso a um plano ou a forças sobrenaturais. A maioria dos evolucionistas americanos, antes de 1900, era neolamarckiana.

Muitas teorias neolamarckianas invocam forças mentais. Isso teve início com os próprios "esforços" de Lamarck para satisfazer "necessidades" (erroneamente interpretadas como uma "vontade" de produzir novas estruturas). Cope, e outros neolamarckianos, menciona uma "consciência", concepção que alcança o seu clímax no psicolamarckismo de Pauly, que exerceu considerável influência em Boveri e Spemann (Hamburger, 1980). O que caracterizava todas as teorias neolamarckianas era o postulado de que algo que tenha sido experimentado por uma geração podia ser transmitido à próxima, e fazer parte da sua herança. Consequentemente, todos os neolamarckianos defendiam a hereditariedade dos caracteres adquiridos. Enquanto não se conhecia a natureza do material genético, o neolamarckismo explicava muito melhor a adaptação do que o processo aleatório de uma variação e seleção por acaso. Tão logo as minimutações e a recombinação foram reconhecidas como sendo a base genética da evolução, e quando refutado o conceito da hereditariedade tênue, a conversão dos neolamarckianos mais jovens ao darwianismo ocorreu com

muita rapidez.

Teorias ortogenéticas

O terceiro conjunto de teorias antidarwinianas, igualmente remontando à história antiga, está baseado no conceito de que, de alguma forma, a evolução é devida a uma componente finalística. [17] Embora a *scala naturae* fosse estática, e embora o autor do Gênese não estivesse pensando de forma alguma em evolução, quando disse que Deus criou o homem no sexto dia da criação, na realidade, em ambos os casos, estava implícita uma sequência necessária do mais baixo ao mais elevado. Certo é que a aceitação de algum tipo de teleologia cósmica era muito difundida entre os filósofos e em muitas religiões.

Erasmus Darwin considerava "a falculdade de seguir melhorando" uma das propriedades básicas da própria vida:

> Seria por demais audacioso imaginar que, na grande extensão do tempo, desde que a terra começou a existir, talvez milhões de idades antes do começo da história da humanidade, seria por demais audacioso imaginar, repito, que todos os animais de sangue quente tenham surgido de um filamento vivo, que "A Primeira Grande Causa" dotou de animalidade, com o poder de adquirir partes novas, sendo enriquecida de novas propensões, dirigida por irritações, sensações, volições e associações; possuindo, portanto, a faculdade de continuar melhorando, por sua própria atividade inerente, e de transmitir esses melhoramentos, por geração, à sua posteridade, indefinidamente! (1796,1: 509).

Para Lamarck, a evolução era claramente um movimento voltado para uma perfeição cada vez maior, e assim também os geólogos progressionistas discerniam uma tendência para cima, na criação de cada nova fauna e flora, uma tendência que tomava a vida orgânica perfeitamente adaptada às condições cambiantes do meio ambiente terrestre (Agassiz, 1857; Bowler, 1974b). Pouco importava que o pretenso mecanismo fosse um conjunto de "leis", que automaticamente garantiríam a perfeita adaptação, ou a constante e imediata atenção do Criador, o produto final era o mesmo: um movimento inexorável em direção à perfeição.

O pensamento teleológico era muito difundido na primeira metade do século XIX. Para Agassiz, e outros progressionistas, a sequência das faunas fósseis simplesmente refletia a mutação do plano da criação, na mente do Criador. Os filósofos, tanto teístas como deístas, sentiam a necessidade de defender a ação universal de causas finais, na natureza, porque isso constituía a peça mais importante, senão a única, para a evidência da existência do Criador. Teístas, como Sedgwick e K. E. von Baer, viam objetivos por toda parte na natureza. Em um comentário sobre o *Origin* de Darwin, von Baer escreveu: "O meu propósito é defender a teleologia", porque "as forças naturais devem ser coordenadas e direcionadas. Forças desprovidas de uma direção – as assim chamadas forças cegas – jamais poderão produzir a ordem. Se as formas mais elevadas da vida animal estiverem numa relação causai com as mais baixas, tendo-se desenvolvido a partir destas, então como poderíamos negar que a natureza tem propósitos e objetivos?" Louis Agassiz, da mesma forma, rejeitou sarcasticamente a eficácia das forças cegas. O próprio Darwin originalmente aceitava o finalismo, como se pode constatar da sua notável expressão *(Notebook B.,* p. 169): "Se todos os

homens morressem, então os macacos fariam homens. Os homens fariam anjos". Mas como acentua Herbert (1977: 199-200), o estudo da variação geográfica fez com que

Darwin abandonasse bem depressa quaisquer noções de ortogênese. Fazendo a comparação de espécies vicárias, não encontrou evidência alguma para propensões progressivas, necessárias e implícitas. E depois que adotou a seleção natural, não sentiu mais necessidade alguma de um princípio finalístico.

Entre os numerosos defensores de um princípio finalístico da evolução, Nägeli (1865; 1884) e Eimer (1888) foram os que desenvolveram as teorias mais elaboradas. Estas se baseavam ou na pressuposição de que o princípio da perfeição era imanente a toda a vida orgânica, ou ainda, que a constituição (genética) exerce uma pressão sobre todos os organismos, de maneira tal que a evolução só pode avançar em uma direção mais ou menos linear. Eimer, adotando um termo que foi proposto pela primeira vez por Haacke, chamou o princípio da perfeição de *ortogênese*; outros biólogos e filósofos cunharam nomes diferentes para essencialmente a mesma coisa, isto é, a postulada força da evolução: Berg, *nomogênese,* Henry Fairfield Osbom, *aristogênese,* e Theilhard de Chardin, o *princípio ômega.* A crença em uma espécie de força intrínseca e diretora era particularmente difundida entre os paleontólogos, que viam por toda parte a evidência das tendências evolutivas, estendendo-se ao longo de milhões, quando não de dezenas ou centenas de milhões, de anos. A tese, muito difundida entre os antropólogos, de que a evolução humana passa necessariamente por uma série definida de estádios também se enquadra aqui (White, 1959).

Quando se tratava de explicar as causas do princípio ortogenético, as coisas ficavam vagas e incertas, entre os seus defensores. Alguns deles viam na evolução simplesmente o desdobramento do potencial de uma essência basicamente imutável, uma "evolução" no sentido mais literal. Era, por assim dizer, uma aplicação à evolução do princípio da preformação (da embriologia). Esse era essencialmente o pensamento de Louis Agassiz, e foi endossado ainda recentemente, 1914, pelo geneticista Bateson. Outros se referiam a leis misteriosas, causadoras da evolução orto-genética:

> A evolução dos organismos é o resultado de certos processos, a eles inerentes, e que se baseiam em leis. As estruturas e a ação voltadas para um fim são, portanto, uma propriedade fundamental do ser vivo (Berg, 1926: 8).

Trata-se de uma aformação que, evidentemente, não explica nada. Emer tentou afastar-se de um princípio teleológico imanente, sugerindo que era o meio ambiente que dirigia a variação, mas a resposta adequada do organismo ainda repousava sobre uma capacidade teleológica imanente.

Os darwinistas rejeitavam qualquer mecanismo diretor interno, ou um princípio orientado para um fim, e isso por diversas razões. Em primeiro lugar, porque os defensores da ortogênese eram incapazes de apresentar qualquer mecanismo razoável, consoante com uma explicação físico-química. Em segundo lugar, porque um exame mais atento dessas tendências revelava invariavelmente numerosas irregularidades, e por vezes mesmo uma completa reversão (Simpson, 1953). E finalmente, porque, ao se dividirem as linhas evolutivas, as linhas irmãs podem ostentar inclinações muito diferentes, podendo ocasionalmente uma delas reverter a tendência anterior. Mais uma vez, isso é incompatível com um mecanismo integral. A observação de que os estágios larvais e adultos dos insetos de metamorfose, e de organismos marinhos, manifestam muitas vezes tendências inteiramente diferentes foi citada corretamente, por Weismann e Fritz Müller, como um ulterior

argumento contra a ortogênese.

A seu tempo, todas a teorias que defendiam a ortogênese foram refutadas, mas isso não justifica que se possa ignorar essa literatura. Os representantes de maior expressão, sejam paleontólogos ou outros tipos de naturalistas, eram argutos observadores, e acumularam evidências fascinantes em relação às tendências evolutivas e às pressões genéticas, durante a evolução. Eles estavam certos, ao insistir que grande parte da evolução era "retilínea", pelo menos superficialmente. Nos cavalos, a redução dos ossos dos dedos das patas e as mudanças nos seus dentes constituem exemplos bem conhecidos. De fato, o estudo de quase todas as séries fósseis prolongadas revela exemplos de tendências evolutivas. Tais tendências são importantes para os evolucionistas, porque manifestam a existência de continuidades, que vale a pena explorar, e mereceram por isso muita atenção na atual literatura evolucionista.

As tendências podem ter uma causa dupla. De um lado, elas podem ser devidas a importantes mudanças do meio ambiente, como a crescente aridez das zonas climáticas subtropicais e temperadas, durante o Terciário. Isso colocou em curso uma pressão seletiva contínua, que resultou na evolução dos dedos das patas e dos dentes dos cavalos. Uma resposta para tal pressão seletiva continuada era o que. Plate tinha em mente, quando introduziu o termo "ortosseleção" (1903). De outro lado, as tendências podem ser determinadas pela coesão interna do genótipo, que põe severas restrições às mudanças morfológicas possíveis. [18] Daí que as tendências evolutivas podem ser facilmente explicadas no bojo do arcabouço da teoria darwiniana, e não carecem de quaisquer "leis" ou princípios em separado.

Progressão evolutiva, regularidade e leis

Os darwinistas tiveram grandes dificuldades em deixar claro para os seus adversários que negar a existência de um princípio interno de perfeição não significava a negação da progressão evolutiva visível. Negar a progressão dos infusórios aos angiospermas e vertebrados poderia muito bem implicar a rejeição da evolução como um todo. Darwin, plenamente consciente dos aspectos imprevisíveis e oportunistas, limitou-se a negar a existência de uma progressão à guisa de leis, do "menos perfeito ao mais perfeito". Foi nesse espírito que ele uma vez escreveu o lembrete "jamais dizer superior ou inferior".

Evidentemente, Darwin não seguiu o seu próprio conselho, referindo-se frequentemente, no *Origin,* ao progresso evolutivo (pp. 149, 336338, 338, 406, 411, e 489). Isso foi necessário não apenas para refutar o conceito lyelliano de um mundo de regime constante, mas também para fazer face a uma escola, há pouco surgida, que negava qualquer diferença de perfeição entre os organismos mais simples e os mais complexos. Ehrenberg, por exemplo, afirmava que não existia um avanço estrutural dos organismos mais baixos, os infusórios, para os mais altos, os vertebrados. Todos eles possuem as estruturas necessárias para realizarem todas as funções animais. Todos são "perfeitos". Essa curiosa afirmação ignora completamente o fato de que existe um tremendo avanço da fibra nervosa difusa de um celenterado para o sistema nervoso central, magnificamente desenvolvido, de um cetáceo ou de um primata. A assertiva de Ehrenberg, evidentemente, continha fortes implicações antievolutivas. Lyell, da mesma forma, inclinava-se a negar qualquer aspecto de progressão na sequência das faunas, dos mais baixos leitos fossilíferos até o presente, com a única exceção relativa

ao caráter recente do homem. Obviamente, tais proposições constituíam uma negação implícita do melhoramento pela seleção natural. Darwin percebeu que "os naturalistas ainda não definiram, para mútua tranquilidade, o que queria dizer com formas altas e baixas", e, no entanto, ele continua: "Conforme a minha teoria, as formas mais recentes devem ser superiores às mais antigas; e isso porque toda espécie nova surge do fato de ter tido alguma vantagem, na luta pela vida, sobre outras formas anteriores" (*Origin:* 337).

Na realidade, a série de inovações morfológicas e fisiológicas que aconteceram no curso da evolução dificilmente poderia ser descrita por outra coisa que não seja progresso. Eu penso em fenômenos, tais como fotossíntese, eucarioticidade (organização do núcleo), multicelularidade (metazoários, metafrios), diploidicidade, homeotermicidade, predação e zelo parental, para só mencionar algumas poucas dessas inovações evolutivas, que ocorreram nos três bilhões de anos, desde a origem dos primeiros procariotos. Sob quase todos os aspectos que se possa considerar um calamar, uma abelha social ou um primata, eles revelam um estado de progresso mais elevado do que um procarioto. Todavia, a palavra "progressivo" implica uma linearidade que não se verifica. Tampouco se encontra somente uma sequência única, pois existe uma evolução progressiva nas plantas, nos artrópodes, nos peixes e nos mamíferos, bem como em quase todo grupo de organismos, onde cada linhagem revela uma expressão muito diferente de progresso.

Uma análise cuidadosa de tudo o que Darwin escreveu sobre progresso evolutivo mostra que ele não entrou em contradição consigo mesmo. As objeções dele eram em relação ao finalismo, isto é, à crença em um pendor intrínseco para a perfeição, controlado por leis "naturais". Onde Darwin encontra melhoramentos no curso da evolução, julga que eles podem ser facilmente explicados como o resultado, *a posteriori,* da variação e da seleção natural. O progresso evolutivo, quando acontece, não é um processo teleológico, conclusão essa em que todos os biólogos evolucionistas concordam com Darwin.

A objeção mais importante levantada pelos antidarwinistas sempre foi a de que o mundo vivo está cheio de tendências progressivas, e que é inconcebível que elas tenham surgido pela variação casual e pela seleção natural. Os darwinistas respondem: Por que não? Além de tudo, qualquer melhoramento, qualquer estrutura nova, qualquer inovação fisiológica ou comportamental, ocorridos em qualquer grupo de genes, podem conduzir a êxitos evolutivos, e por isso ao progresso, como definido tradicionalmente. Isso Darwin já tinha visto com muita clareza.

Um problema muito mais intransigente sempre tem sido como definir o progresso. Aqui não existem dois autores que estejam de acordo. É certo que a complexidade não é necessariamente uma medida para o progresso, porque em muitas linhagens evolutivas os membros mais antigos são os mais complexos, e o progresso consistiu na simplificação. Quase ninguém conseguiu excluir inteiramente a medida do progresso de Lamarck, a da comparação com o homem. Quando Julian Huxley (1942) faz "do controle do meio ambiente" a medida do progresso, não há dúvida que isso coloca o homem num ápice, muito acima de qualquer outro organismo, muito embora os térmitas, as abelhas e alguns outros organismos tenham tido razoável sucesso no controle do seu ambiente. A independência em relação ao meio ambiente talvez seja um parâmetro melhor; outro bom parâmetro é a capacidade de o sistema nervoso armazenar e utilizar informações. Os programas comportamentais abertos devem seguramente ser considerados mais progressivos do que os programas rigidamente fechados.

A despeito de todas essas manifestações de avanços evolutivos, os darwinistas, de modo geral,

sempre tiveram muitas reservas em falar de progresso evolutivo. Parece que eles têm receio de que isso pudesse ser interpretado como um endosso da existência de fatores teleológicos. Também parece haver materiais (a luta pela existência), pelos quais ele é realizado. Finalmente, a frequência paralisante das extinções acresce o valor discutível de qualquer progresso temporário, aparentemente alcançado por alguma linhagem evolutiva. Quando se tem em mente todas essas dificuldades, toma-se evidente por que uma definição do progresso evolutivo é tão difícil, senão impossível. [19]

Nem toda a evolução, e talvez somente a sua ínfima parte, consiste em progresso. Grande parte da mudança genética, produzida pela seleção natural, serve apenas para manter o *status quo*. A fim de manter-se a par das alterações evolutivas (genéticas) de um competidor, dos inimigos, das fontes de alimento, e mesmo do ambiente físico, uma população deve mudar de geração em geração. Van Valen referia-se a isso como o "Princípio da Rainha Vermelha" ("É preciso correr para poder ficar no seu lugar"). Mais importante do que isso, "todo ganho de adaptabilidade de uma unidade da evolução é contrabalançado por perdas de adaptabilidade de outras". Isso é válido em muitos níveis. As macromoléculas, por exemplo, repõem regularmente os resíduos do aminoácido, para se manterem numa interação ótima com o seu meio molecular. Quando um organismo (população ou espécie) regride no seu esforço por manter o equilíbrio ótimo, defronta-se com a extinção.

Em muitos casos, o sucesso consiste simplesmente em tomar-se diferente, ou mais diferente, e assim reduzir a competição. Darwin (*Origin:* 111) viu isso claramente, ao propor o princípio da divergência de caráter. Ele promove a mudança contínua, mas não necessariamente o progresso. Na realidade, ele induziu inumeráveis linhagens filéticas a adentrar caminhos evolutivos sem saída.

A negação do progresso evolutivo não significa necessariamente que o progresso da evolução seja caótico. Que não é assim. Foi salientado por numerosos autores que reconheceram leis evolutivas (Rensch, por exemplo, 1960). Uma regularidade particular, a que correlaciona a ontogenia com a filogenia, tem chamado a atenção de muitos autores, desde Haeckel (1866) e Severtsov (1931) até autores ainda vivos. Esse assunto constitui um emaranhado conceitual e terminológico, em que Gould (1977) trouxe alguma luz e ordem. Duas tendências são encontradas o mais das vezes: (1) um acréscimo de caracteres novos na ontogênese tardia, e (2) uma mudança na maturação das gônadas, tendo como resultado ou que o organismo se reproduz num estágio imaturo ou larval (neotenia), ou que ele posterga o estado adulto (retardamento). É óbvio que essas várias "estratégias da história da vida" são selecionadas em função do maior sucesso reprodutivo que essas mudanças na maturação podem garantir. Embora tais processos sejam particularmente importantes em relação às plantas (Stebbins, 1974; 1979) e aos invertebrados, o homem foi muitas vezes descrito como um macaco fetalizado (Bolk, 1915). Existem, de qualquer maneira, diversas maneiras pelas quais podem ser descritas as mudanças na história da vida do homem (quando comparada com a dos macacos), mas até hoje não se chegou a nenhum consenso.

Qualquer mudança na zona de adaptação, ocupada por um organismo, dará início a novas tendências evolutivas. Por exemplo, existem tendências bem conhecidas na reestruturação de animais habitantes das cavernas e de parasitas. Em relação ao mundo vegetal, há tendências que levam de árvores a ervas perenes e a ervas anuais. Há tendências que envolvem os modos de reprodução e a natureza do cariótipo. Tudo isso está a demonstrar que o mero fato de que a variabilidade em si não é direcionada não exclui a possibilidade de que a seleção natural converta essa variabilidade em tendências mais ou menos regulares. Novas tendências podem surgir, quando os organismos invadem

novas zonas adaptativas, ou quando o meio ambiente sofre uma mudança (inclusive a ocorrência de novos predadores, ou novos concorrentes). Todo nível novo de complexidade, nos sistemas orgânicos, favorece o começo de tendências novas (Huxley, 1942; Stebbins, 1969; 1974). [20]

12. A DIVERSIDADE E A SÍNTESE DO PENSAMENTO EVOLUCIONISTA

A diversidade de opiniões entre os evolucionistas, nos oitenta anos após a publicação do *Orígin of Species,* é algo extraordinário. Cada ramo da biologia tinha a sua própria tradição, o mesmo acontecendo com cada país. A Alemanha adotou o evolucionismo rapidamente e de modo quase completo (L. L. D., III: 88). Emst Haeckel, o mais entusiasta evolucionista alemão, ao mesmo tempo ajudou e prejudicou a difusão do pensamento darwiniano. Ele teve uma atuação muito eficaz na popularização do darwinismo, mas ao mesmo tempo serviu-se dele como uma arma contra todas as formas de sobrenaturalismo, o cristianismo em particular, provocando com isso contra-ataques, em que o evolucionismo era equiparado ao materialismo e à imoralidade. Isso não conseguiu evitar a difusão do pensamento evolucionista como tal, mas constituiu fator importante para a rejeição, a bem dizer universal, na Alemanha, da teoria da seleção natural. [1]

A evolução por descendência com modificação foi também aceita de modo quase geral na Inglaterra, na década posterior à publicação do *Orígin,* pelo menos no seio da comunidade dos biólogos. A seleção natural, ao contrário, era considerada, em larga medida, inadmissível. Ela foi aceita apenas por uns poucos naturalistas – Wallace, Bates, Hooker e alguns dos seus amigos, e mais tarde também por Poulton, Meldola e outros entomologistas-, mas não foi aceita por sequer um biólogo experimental. [2] De importância decisiva para os próximos desdobramentos, na Inglaterra, foi o fato de que Ray Lankester se converteu ao selecionismo, após a leitura de alguns ensaios de Weismann. Ele apoiou com entusiasmo o convite feito a Weismann para dar algumas conferências na Grã-Bretanha. Foi Ray Lankester que fundou a escola de selecionismo em Oxford, representada ao longo de diversas gerações por E. S. Goodrich, Julian Huxley, G. de Beer e E. B. Ford. Nada de semelhante existia em Cambridge, ou no University College, de Londres, até a época em que R. A. Fisher e J. B. S. Haldane começaram a publicar.

Nos Estados Unidos, a despeito do entusiástico apoio da Asa Gray, o evolucionismo encontrou prolongada resistência. Existindo apenas uma plêiade diminuta de biólogos e paleontólogos profissionais, a controvérsia era conduzida por escritores, teólogos e filósofos. Entretanto, com a morte de Agassiz, em 1873, e a aceitação da evolução por Dana, em 1874, terminou toda a resistência ao evolucionismo entre os profissionais. [3] A teoria da seleção natural, porém, enfrentava obstáculos persistentes. Um fator de complicação era também a popularidade temporária do assim chamado darwinismo social de Spencer. [4] Parcialmente como uma reação contra ela, e em parte como um resultado do tradicional igualitarismo americano, desenvolveu-se um ambientalismo extremo na psicologia e na antropologia, que minimizava, quando não negava completamente, qualquer contribuição genética para as diferenças entre os indivíduos humanos. Até certo ponto, essa tradição ainda sobrevive nos dias de hoje. E fácil ver que, exceto na questão de detalhes cronológicos, a história da aceitação de Darwin foi essencialmente a mesma na Alemanha, na Inglaterra e nos Estados Unidos. A evolução foi aceita rapidamente, mas a seleção natural, de início, só por uma minoria.

Na França, a resistência a Darwin foi muito maior do que em qualquer outro país importante do Ocidente. Nenhum biólogo francês de nome manifestou-se a favor da seleção, após 1859, e o próprio

evolucionismo como tal só começou a ser difundido a partir de 1870.[5] A primeira cátedra de biologia evolucionária foi criada, na Sorbonne, para Giard, em 1888. Quando finalmente a evolução foi aceita na França, nos anos 1880 e 1890, era na forma do neolamarckismo, que naquele mesmo período gozava de considerável popularidade também nos Estados Unidos e na Alemanha. Embora a seleção natural tivesse sido defendida temporariamente por um outro autor, e efetivamente adotada por Teissier e l'Héritier, nos anos 1930, a sua aceitação mais geral só ocorreu na França depois de 1945 (Boesiger, 1980).

Paradoxalmente (se levarmos em consideração o sucesso de Lysenko), nos anos 1920, não havia provavelmente outro país em que o darwinismo, incluindo a seleção natural, fosse tão amplamente aceito como na Rússia. De início, foi principalmente por razões políticas, mas em parte isso também se deveu à condição florescente da sistemática de população naquele país (Adams, 1968). O impacto que tal situação exerceu no ulterior desenvolvimento da genética de populações será abordado mais adiante.

O neodarwinismo

Como será descrito no Capítulo 16, Darwin, conquanto grande campeão da hereditariedade sólida, ainda permitia algum espaço para os efeitos do uso e desuso e outros aspectos da hereditariedade tênue. Quando aumentou o conhecimento da citologia, e particularmente o dos cromossomos, diversos autores começaram a questionar qualquer herança dos caracteres adquiridos. Tais dúvidas eram expressas de modo bastante casual, e não mereceram grande atenção. A rejeição da hereditariedade tênue não havia feito grandes avanços antes de 1883 e 1884, quando Weismann publicou a sua teoria da linha germinal e propôs uma separação completa e permanente do soma e do plasma germinal. [6] A rejeição total de toda hereditariedade dos caracteres adquiridos significava o abandono de todas as assim chamadas teorias lamarckianas, geoffroyanas e neolamarckianas. Na realidade, esse fato deixava de pé apenas dois mecanismos possíveis para a evolução: os saltos (onde a evolução se deve a desvios súbitos e de grande porte, em relação ao padrão existente), e a seleção no seio de variantes menores. Weismann aderiu a um selecionismo irredutível, uma teoria da evolução designada por Romanes (1896) como neodarwinismo. Ela pode ser definida como a teoria darwiniana da evolução desprovida de qualquer recurso à hereditariedade tênue. De fato, Weismann aceitou praticamente todos os componentes da teoria de Darwin, exceto a pangênese, hoje já não mais necessária.

A eliminação da hereditariedade tênue, que até então tinha sido considerada a fonte maior da variabilidade individual, obriga o evolucionista, dizia Weismann, "a procurar uma nova origem para o fenômeno, da qual dependa inteiramente o processo da seleção". Os seus conhecimentos de citologia permitiram-lhe dar nome ao fenômeno particular que mais plausivelmente responde pela variabilidade genética. Tratava-se do processo que hoje se chama *Crossing over* ("permuta"). Se não existisse tal reconstrução dos cromossomos, durante a formação dos gametos (meiose), a variação genética (exceto para mutações ocasionais) limitar-se-ia ao ajuntamento dos cromossomos parentais. Ao contrário, a recombinação cromossômica tem por consequência que "nenhum indivíduo da segunda geração pode ser idêntico a qualquer outro … [em cada geração] aparecerão combinações que nunca existiram antes, e que nunca poderão existir depois". Ninguém antes de

Weismann havia entendido o extraordinário poder da recombinação sexual, como origem da variabilidade genética.

A importância da recombinação, na evolução, foi inicialmente bastante negligenciada pela literatura genética, que, escrita em termos de genética-do-saco-de-feijão (veja Capítulo 13), apresentava a evolução por meio da fórmula "mutação e seleção". Na realidade, os genótipos, que são o alvo da seleção, representam o produto imediato da recombinação e não da mutação. Foi preciso esperar pelos trabalhos de C. D. Darlington (1932; 1939) [7] e de Stebbins (1950: cap. 5) para que se estabelecesse a plena compreensão do significado evolucionário dos sistemas de recombinação ("sistemas genéticos").

Muito se tem escrito sobre as teorias genéticas e citológicas de Weismann, mas o desdobramento das suas idéias sobre a evolução foi bastante desconsiderado pelos historiadores. Antes do aparecimento de uma análise competente, só umas poucas afirmações tentativas podiam ser apresentadas. Em 1872, Weismann entrou na controvérsia entre Moritz Wagner e Darwin, sobre o papel do isolamento geográfico, e revelou um notável desconhecimento do problema. Certos comentários emitidos mais tarde, ao final dos anos 1870, indicam que Weismann, à época, ainda acreditava na hereditariedade tênue. Somente a partir de 1883 é que ele rejeita categoricamente esse tipo de hereditariedade, dedicando-se nos anos seguintes a enfatizar o papel da recombinação (*amphimixis*). Foi nesses anos que ele desenvolveu a teoria, quase universalmente aceita até em anos bem recentes, de que a vantagem seletiva do sexo consiste na sua capacidade de multiplicar a variabilidade genética a uma taxa elevada, fornecendo assim mais abundante material para a seleção. Weismann foi o primeiro a levantar questões relativas à regulagem do tempo de vida (idade na hora da morte) pela seleção natural (veja também Korschelt, 1922). De modo mais geral, ele introduziu uma maneira inteiramente nova de procurar o significado, ou seja, o valor seletivo, de todos os aspectos dos organismos, aspectos morfológicos sejam quais forem. Tudo no mundo vivo era para ele o produto da *Allmacht der Naturzüchtung* ("o poder da seleção natural").

Todavia, depois que Weismann passou da idade dos sessenta anos, começou a ter algumas dúvidas sobre a capacidade da seleção de controlar por si só as tendências evolutivas, e propôs então o princípio da "seleção germinal", admitindo a improbabilidade "de que as adaptações, *necessárias* à existência dos organismos, pudessem originar-se de variações *acidentais*". Ele postulou, por isso, a ocorrência de uma "variação direcionada … que é produzida e guiada pelas condições de vida dos organismos" (1896: IV). Weismann rejeitava categoricamente quaisquer inclinações imanentes (ortogenéticas), postulando em vez disso que a seleção de certos caracteres, digamos as penas mais longas da cauda de um pássaro, favorece simultaneamente aqueles genótipos que possuem a tendência de variar o comprimento das penas da cauda. O que fez de fato foi uma distinção entre uma dada variante genética e a capacidade de o organismo produzir variantes de um caráter dado, acentuando que ambas podem ser o resultado da seleção. Mas, de qualquer maneira, o seu pensamento é ambivalente, e admitia que a extraordinária semelhança de modelo e mimetismo em certas borboletas "não pode ser devida a variação 'acidental', mas sim a uma variação *direcionada,* que se origina da utilidade em si mesma" (1896: 45). Weismann agora admite que "os lamarkianos estavam certos, quando insistiam em que aquilo que até agora era atribuído exclusivamente à seleção, isto é, a seleção dos indivíduos, não era suficiente para explicar todos os fenômenos" (1896: 59). Por isso, a variação causai, ordenada pela seleção, já não era mais considerada por ele, suficiente.

Os fenômenos evolutivos que perturbavam Weismann, tais como as semelhantes tendências de

variação em muitas espécies do mesmo gênero, ou a redução gradual de órgãos sem uso ou rudimentares (como a perda dos olhos nos animais das cavernas), já não representam problemas sérios para o geneticista evolutivo de hoje. A integração harmoniosa do genótipo põe limites definidos à possível variação genética, e isso, a par de uma seleção a favor ou contra certos "genes" reguladores, pode explicar todas as observadas "tendências ortogenéticas". Esses limites e essas regulações são o equivalente moderno da seleção germinal de Weismann.

O impacto de Weismann sobre a biologia evolucionista foi de grande alcance. Ele obrigou todo biólogo a tomar posição sobre o problema da hereditariedade dos caracteres adquiridos. Ao insistir que existe apenas uma única força diretiva na evolução, vale dizer, a seleção (mesmo que ligeiramente enfraquecida pela sua posterior teoria da seleção germinal), ele forçou os seus adversários a produzirem evidências que dessem suporte às suas teorias opostas. Nos cinquenta anos seguintes, a maior parte das controvérsias evolucionistas girava em tomo dos problemas que Weismann havia formulado com tão extraordinária clareza. E além disso, por suas teorias genéticas imaginativas, Weismann preparou o terreno para a redescoberta de Mendel, evento que em última instância conduziu à solução dos problemas evolutivos que haviam embaraçado.

A crescente divisão entre os evolucionistas

Os evolucionistas constituíam uma frente bastante sólida, enquanto ainda deviam convencer o mundo do fato da evolução. Isso foi amplamente o caso até o ano de 1882, ano da morte de Darwin. Nos vinte anos seguintes, porém, ocorreram muitos acontecimentos que espalharam as sementes da discórdia entre eles. O primeiro deles girava em tomo da rejeição irredutível de Weismann de qualquer hereditariedade dos caracteres adquiridos. A reação provocada por esse particular foi um recrudescimento das proposições dos neolamarckianos.

Muito mais importante do que isso, embora provavelmente fato não plenamente reconhecido naquele período, foi a crescente irradiação disciplinar da biologia. A pujança do evolucionismo, depois de 1859, coincidiu com o desabrochar da zoologia e da botânica em áreas específicas, como a embriologia, a citologia, a genética, a biologia do comportamento, a ecologia, e outras mais. Muitas dessas novas disciplinas da biologia eram acima de tudo experimentais no seu método de aproximação, e esse fato resultou na formação de um fosso cada vez mais largo entre os biólogos experimentais, de um lado, e aqueles outros (principalmente zoólogos, botânicos, e paleontólogos) que se apresentavam como naturalistas e que se ocupavam de organismos integrais. Os experimentalistas e os naturalistas não apenas divergiam nos seus métodos, mas também tendiam a formular questões diferentes. Ambos os grupos interessavam-se pela evolução, mas as suas abordagens eram muito diversas, e acentuavam aspectos diferentes da evolução. Os evolucionistas experimentais, a maioria deles originariamente embriologistas, ingressaram no campo recém-aberto da genética. O seu interesse voltava-se para o estudo das causas próximas, com particular atenção ao comportamento dos fatores genéticos e sua origem. Bateson, de Vries, Johannsen e Morgan foram os representantes típicos desse campo. Muitos deles detinham um forte interesse, ou formação, nas ciências físicas e na matemática. Em contraste, os naturalistas estavam interessados nas causas últimas; a sua tendência era estudar os fenômenos evolutivos na natureza, e preocupavam-se particularmente com os problemas da diversidade. Paleontólogos, taxionomistas, naturalistas e

geneticistas falavam linguagens diferentes, e encontravam cada vez mais dificuldades de se comunicarem entre si.

Os naturalistas, desde o princípio, estavam particularmente fascinados pela diversidade, sua origem e sentido. O problema das espécies era o centro de interesse dos taxionomistas, enquanto as tendências evolutivas e a origem dos *taxa* superiores intrigavam os paleontólogos e os anatomistas comparativos. Em contrapartida, a diversidade era quase totalmente excluída das discussões evolucionárias dos geneticistas, anteriormente à síntese. Eles se preocupavam apenas com a evolução de transformação. O seu foco de atenção concentrava-se inteiramente sobre os genes e os caracteres, e sobre suas mudanças (transformação) no tempo. Eles escreviam como se ignorassem que existem *taxa,* e que estes (diferentes populações, espécies, e assim por diante) são os verdadeiros atores no cenário da evolução. Mesmo um fenômeno como a irradiação adaptativa, como Eldredge diz corretamente (1979: 7),

> é encarado como um problema de especializações anatômicas divergentes entre uma série de organismos aparentados, em vez de como um espectro de espécies distintas, que ocupam uma área diversificada de nichos ecológicos.

A ênfase residia na transformação, não na diversidade. Foi esse total menosprezo da diversidade, ou, na melhor das hipóteses, a sua explicação como um *deus ex machina,* como no caso das mutações de de Vries e dos monstros promissores de Goldschmidt, que deixava os naturalistas completamente insatisfeitos.

O desacordo afetava quase todos os aspectos da interpretação da evolução. As três questões debatidas de modo particularmente ardoroso eram as seguintes: (1) se toda hereditariedade é sólida (como dizia Weismann) ou se parte dela é tênue; (2) qual dos fatores – a mutação, a seleção, a indução pelo meio ambiente, ou as tendências intrínsecas – é o responsável principal por imprimir uma direção à evolução?; e (3) se a evolução é gradual, ou aos saltos. Kellogg (1907) descreveu bem a quantidade de combinações das interpretações opostas, sustadas por diferentes evolucionistas. O desacordo foi polarizado pela redescoberta das leis de Mendel, em 1900, o que levou os mendelianos primitivos a usarem a particularização (descontinuidade) dos fatores genéticos como evidência da importância dos processos de salto, na evolução, particularmente em relação à origem das espécies. A partir daquela data, pode-se falar de dois campos evolucionistas – os mendelianos e os naturalistas (Mayr e Provine, 1980). [8]

A interpretação da evolução por cada um dos campos era, infelizmente, uma mistura de idéias válidas e de conceitos falsos. Os naturalistas cultivavam idéias errôneas sobre a natureza da hereditariedade e da variação, enquanto os geneticistas experimentais, dominados por um pensamento tipológico, ignoravam a existência de populações, e se preocupavam com a frequência dos genes, em acervos genéticos fechados. Ignoravam o problema da multiplicação das espécies, da origem dos *taxa* superiores, e da origem das novidades evolutivas. Os dois campos eram simplesmente incapazes de entender – e por isso efetivamente refutar – os argumentos dos seus adversários.

Os dois campos, igualmente, representavam diferentes tradições de pesquisa. Os naturalistas continuavam muito mais a tradição original darwiniana de estudar as populações naturais, e dando particular atenção ao problema da origem da diversidade. Principalmente, prosseguiam na tradição

de Darwin, de formular questões relativas às causas últimas. Qualquer questão concernente ao "por quê?" de uma adaptação, ou de qualquer outro fenômeno biológico, era respondida, antes de Darwin, como "Isso se deve ao plano", ou "Isso é o resultado de lei natural baixada pelo Criador". Ambas as respostas excluíam o dado fenômeno para todos os fins práticos, de uma análise científica. A teoria darwiniana da seleção natural forneceu a primeira aproximação racional para o estudo das causas últimas, e tais causas constituíam o interesse prioritário dos naturalistas.

Os geneticistas experimentais, ao contrário, herdavam grande parte da sua metodologia e do seu pensamento das ciências físicas. Eles estavam convencidos de que os seus métodos eram mais objetivos, mais científicos, e por isso superiores à abordagem "especulativa" dos naturalistas evolucionários. T. H. Morgan (1932), por exemplo, estava persuadido de que somente o método experimental poderia permitir "uma discussão objetiva da teoria da evolução, em estrito contraste com o método especulativo mais antigo de tratar a evolução como um problema de história".

A incapacidade de entender os argumentos dos adversários era agravada pelo fato de que os experimentalistas e naturalistas, no seu conjunto, lidavam com níveis diferentes na hierarquia dos fenômenos naturais. Os geneticistas tratavam de genes, enquanto os naturalistas se ocupavam de populações, espécies e *taxa* superiores. Somente em anos bem recentes foi plenamente reconhecida a dificuldade de transferir os achados e as conclusões de um nível hierárquico para outro, particularmente para um mais elevado (Plattee 1973). Além disso, os geneticistas, como um todo, trabalhavam com um sistema unidimensional, de um único conjunto de genes, enquanto nas considerações dos naturalistas existiam componentes multidimensionais de espaço geográfico e de tempo. Entretanto, o aspecto que mais decisivamente separava os dois campos era saber se a evolução era gradual ou se procedia aos saltos.

Evolução gradual ou aos saltos?

Qualquer grupo de indivíduos de uma espécie, desde os mais simples organismos sexualmente reprodutivos até o homem, ostenta variações

individuais. Isto significa que os indivíduos diferem uns dos outros em tamanho, proporções, intensidade de coloração, e em muitas outras características que podem ser medidas ou graduadas. Tal variação também é mencionada como variação contínua, porque um extremo da curva da mesma normalmente passa de modo imperceptível ao outro estremo, digamos do indivíduo menor ao maior, isto se dispusermos de uma amostra de população suficientemente grande.

Um tipo de variação que se afigura inteiramente diferente é representado pela ocorrência de um indivíduo ocasional que cai fora do padrão da variação de uma população de espécie. Seria talvez tal indivíduo uma espécie nova? De acordo com o dogma criacionista, tão poderoso do século XVII ao século XVIII, toda espécie nova tem sido criada "no princípio", vale dizer, ao tempo da criação original relatada no Gênese. A ocorrência espontânea de um indivíduo ocasional, que se afastasse do esquema normal de variação de uma espécie conhecida, era tida como uma variação descontínua, e por isso fonte de consideráveis embaraços. Seria isso por acaso uma evidência para a criação continuada, tal como postulada por Santo Agostinho, ou estaria a indicar uma plasticidade muito maior da essência da espécie do que até então se pensava?

Darwin era de opinião que a variação descontínua não era de relevância evolutiva. Apenas casualmente vem mencionado, no *Origin,* o aparecimento de indivíduos variantes, que diferem bem

marcadamente, em algum caráter, dos seus pais e irmãos, e – evidentemente – de todos os outros membros da sua população. Quando Fleeming Jenkin, em 1867, lhe moveu ataque, Darwin reduziu ainda mais o número de referências a tais variantes. Segundo escreveu a Wallace (L. L. D. III: 108):

> Eu sempre julguei que as diferenças individuais eram mais importantes; mas fui cego, ao pensar que a variação única [descontínua] pudesse ser preservada mais frequentemente do que vejo agora como possível ou provável … Acredito que fui enganado, principalmente, pelas ilustrações tão simples de variações singulares, resultantes da seleção feita pelo homem.

Para alguém como Darwin, que sempre estava à procura de explicações causais, esses saltos únicos eram singularmente insatisfatórios. Eles constituíam aparentemente acidentes da natureza, e a maioria dos autores que escreveram sobre eles, em momento algum, sequer tentou uma explicação.

Quando se lêem as discussões de Darwin sobre a variação, percebe-se que ele sentia ser mais fácil explicar a variabilidade ordinária contínua. A sua teoria da seleção natural estava baseada no pressuposto de um estoque ilimitado de variações individuais, e isso por sua vez se apoiava na sua observação de que todo indivíduo é diferente de todos os outros, de maneira única, embora muito ligeira. Ele se refere repetidamente a essas variantes individuais:

> Deparamo-nos com muitas pequenas diferenças, que podem ser chamadas diferenças individuais, tais como sabidamente aparecem com frequência na prole dos mesmos genitores … essas diferenças individuais são para nós altamente importantes, porque fornecem um material acumulado para a seleção natural … Eu julgo que as simples diferenças individuais sejam amplamente suficientes.

A tese de Darwin, de que a acumulação gradual de variantes muito ligeiras, por seleção natural, era o mecanismo da evolução, não encontrou grande respaldo entre os seus contemporâneos. Ele foi criticado não apenas por deixar de dar uma explicação causai para essa variação contínua, mas também por ignorar, ou pelo menos subestimar, a importância da variação descontínua, amplamente aceita. T. H. Huxley, que manteve uma notável fidelidade ao essencialismo durante toda a sua vida, discordava do menosprezo de Darwin pelo saltos. No seu famoso comentário no *Times* (abril de 1860), ele observou:

> A posição do Sr. Darwin, segundo nossa opinião, poderia ter sido ainda mais firme do que ela é, se ele não se tivesse enredado com o aforisma *"natura nonfacit saltum",* que aparece tão frequentemente nas suas páginas. Acreditamos que a natureza faz saltos, tanto agora como então, e o reconhecimento desse fato é de não pequena importância.

Huxley não participava só dessa opinião. Entre aqueles que aceitavam a evolução, depois de 1859, não eram poucos os que estavam muito mais impressionados do que Darwin com a ocorrência de mutações súbitas. Botânicos e horticultores, em particular, citavam numerosos casos, mais ou menos da mesma categoria do Peloria, de Lineu (veja Capítulo 6), em que um tipo fortemente desviante aparece de súbito. Sem embargo, Darwin e seus amigos (como Asa Gray) continuavam a negar que tais tipos aberrantes fossem de importância evolutiva. E esta posição, no final dos anos

1880, ao que parece, acabou por tomar-se predominante. A tendência de Darwin de equiparar a variação descontínua com a produção de monstruosidades e o seu argumento de que as adaptações novas e complexas não tinham como ser adquiridas por força de um salto único e subitâneo parece que levaram a palma. Weismann (1892) foi um gradualista tão convicto quanto Darwin: "A transformação abrupta de uma espécie é inconcebível, porque ela tomaria a espécie incapaz de existência" (segunda edição, p. 271). E, no entanto, sempre de novo outros evolucionistas chegaram à conclusão de que a variação gradual era insuficiente para uma explicação das ubíquas descontinuidades, observadas no seio das espécies e dos *taxa* superiores.

Um que se mostrava particularmente desassossegado com a ênfase sobre o papel da mudança gradual na evolução foi o zoólogo britânico William Bateson (1861-1926), que mais tarde desempenhou um papel tão importante no surgimento da genética. Sua primeira obra de monta foi sobre a embriologia dos hemicordados *Balanoglossus,* obra realizada no laboratório do zoólogo americano William K. Brooks. Aí, Bateson tornou-se um interessado pelo problema da evolução, e em particular pelo papel da variação, sem a qual a seleção natural não faz sentido:

> A variação, qualquer que seja a sua causa … é o fenômeno essencial da Evolução. Na realidade, a variação é a Evolução. Então, o caminho mais fácil para resolver o problema da Evolução é estudar os fatos da Variação (1894: 6).

No que se referia ao apego de Darwin à variação contínua, como a base da evolução, Bateson, assim como antes dele T. H. Huxley, fazia objeções às "dificuldades gratuitas introduzidas por essa pressuposição" (p. 15). "As Espécies são descontínuas: Não poderia a Variação, pela qual as Espécies são produzidas, também ser descontínua"? (p. 18). Ele repete essa sugestão na sua conclusão: "A descontinuidade … não tem a sua origem no meio ambiente, nem em qualquer fenômeno da Adaptação, mas sim na natureza intrínseca dos próprios organismos, manifestada na descontinuidade original da Variação" (p. 567). Naquele momento, curiosamente, o interesse de Bateson pela variação era inteiramente evolucionista, e não genético. Ele recolheu uma enorme quantidade de material (598 páginas) sobre a variação nas populações naturais e sua possível função na especiação, em sua obra *Materials for the Study of Variation.*

Com certeza, muitas das variantes não passavam de monstruosidades. Bateson, em todo caso, concentrou-se naqueles desvios da norma que tinham a magnitude de diferença de espécie. Com base nessa evidência, Bateson concluiu "que a Descontinuidade, de que a Espécie é uma expressão, tem a sua origem … na natureza intrínseca dos próprios organismos, manifestada na Descontinuidade original da Variação" (p. 567). "Isto sugere que a Descontinuidade da Espécie resulta da Descontinuidade da Variação" (p. 568). Bateson não pensava em termos de populações, mas sim em termos de tipos em separado, e não mudou essa interpretação até o final de sua carreira (veja o seu discurso de Toronto, de 1922). A variação descontínua, portanto, era para ele a chave da evolução, e essa é a razão pela qual empreendeu o seu programa de trabalho sobre a hereditariedade (veja o Capítulo 16). [9]

Os acontecimentos dos anos seguintes indicam que a argumentação de Bateson influenciou decisivamente o pensamento de muitos dos seus contemporâneos. Na passagem do século, apareceram duas obras que promoveram ainda com maior vigor a tese de que as espécies novas se originam de saltos repentinos. O botânico russo, S. Korschinsky (1899; 1901), aprofundando uma

tese proposta por Kölloker, em 1864, afirmou que todos os organismos têm a capacidade de produzir ocasionalmente um rebento que difere de modo descontínuo dos demais membros da espécie ("heterogênese"). Indo além de Darwin (1868), que relatou muitos desses casos entre plantas cultivadas, Korschinsky enfatizava que os afastamentos do tipo nem sempre eram drásticos, mas podiam apresentar qualquer grau de diferença em relação à condição normal. A produção de tais indivíduos desviantes não era causada pelo meio ambiente, mas sim por uma potencialidade intrínseca.

O mutacionismo de de Vries

A teoria dos saltos recebeu o seu maior impulso a partir do conceito de mutação, de de Vries (1901; 1903). Da mesma forma como Bateson, de Vries partiu do pressuposto de que existem dois tipos de variação. Entre elas, "a ordinária, ou assim chamada variabilidade individual, não pode levar a uma transgressão dos limites da espécie, mesmo sob as condições da mais estrita e continuada seleção" (1901: 4). Por isso, a especiação deve ser atribuída à origem espontânea de uma nova espécie, pela produção subitânea de uma variante descontínua". "A nova espécie, dessa forma, aparece subitamente; ela é produzida por uma espécie existente, mas sem uma preparação visível, e sem transição" (p. 3).

Desafortunadamente, a argumentação de de Vries era inteiramente circular: ele chamou qualquer variante descontínua uma espécie; logo, a espécie se origina de qualquer passo singular, causador da descontinuidade. A origem da espécie, diz ele, é a origem dos caracteres da espécie (p. 131). De Vries não tinha nenhuma idéia de populações, ou de espécies como comunidades reprodutivas. Ele era um tipologista estrito. Sua teoria da evolução baseava-se, portanto, nos pressupostos de que: (1) a variação individual e contínua é irrelevante, no que concerne à evolução; (2) a seleção natural é sem importância; e (3) toda mudança evolutiva é o resultado de mutações súbitas e de grande porte; e além disso, as espécies tem períodos mutáveis e períodos imutáveis. Ele descreve como, a partir de 1886, havia estudado espécies variáveis nos arredores de Amsterdam, no intuito de encontrar uma que fosse verdadeiramente mutável. "Tendo cultivado, ao longo de muitos anos, muito mais de cem de tais espécies, mas apenas uma correspondeu às minhas expectativas" (p. 151). Todas as outras espécies, disse ele, estavam num período imutável. A única espécie mutável foi a *Oenothera lamarckiana.*

Ao lermos o livro de de Vries, *Die Mutationstheorie,* só podemos lamentar. Esse fisiologista e geneticista brilhante, cuja obra de 1889, sobre a pangênese intracelular, foi, antes de 1900, a mais penetrante e profética discussão dos problemas da hereditariedade, viola na sua *Teoria da mutação* todos os cânones da ciência. Não apenas a maioria de suas conclusões é circular, mas também edifica toda a sua teoria sobre o caso de uma única espécie excepcional, postulando, sem a menor sombra de uma prova, que as "muito mais de cem outras espécies", que não se comportaram como a *Oenothera,* se encontravam "num período de imutabilidade". Finalmente ele conclui (p. 150) que as espécies não *se originam* da luta pela existência e da seleção natural, mas sim que por esses fatores elas são *exterminadas*, [10]

A despeito de suas evidentes deficiências e da vigorosa oposição movida por naturalistas de renome (por exemplo, Poulton, 1908), a obra de de Vries dominou o pensamento da biologia, de 1900 a 1910. Como Dunn (1965a: 59) disse muito bem: "Em certo sentido, a publicação do primeiro

volume da grande obra de de Vries, em 1901, causou maior impressão na biologia do que a redescoberta dos princípios de Mendel". O mais importante manual de genética, na era de de Vries (Lock, 1906: 144), resume o pensamento dos mendelianos no seguinte enunciado: "As espécies surgem por mutação, um passo súbito em que um único caráter ou todo um conjunto de caracteres sofrem a mudança ao mesmo tempo".

T. H. Morgan, no começo (1903), ficou muito entusiasmado com a teoria de de Vries. Os mendelianos pensavam que tal evolução por mutação refutava a evolução gradual, por seleção. Consequentemente, Bateson exclamou que

> a transformação de massas de populações, por passos imperceptíveis, guiada pela seleção, é, como a maioria de nós hoje percebe, tão inaplicável à realidade que só podemos ficar admirados tanto do afã de penetração exercido pelos defensores de tal proposição, quanto da habilidade forense pela qual se procurou a persuasão da sua aceitabilidade, ao menos por um tempo (1913: 248).

A oposição de Johannsen a qualquer papel da seleção, na evolução, era ainda maior.

Para mostrar a sua total rejeição da teoria darwiniana da seleção natural, Bateson observou, com condescendência:

> Nós vamos a Darwin, por sua incomparável coleta de fatos [mas rejeitamos as suas explicações teóricas] … para nós, ele já não fala com autoridade filosófica. Lemos o seu esquema da Evolução como se estivéssemos lendo o de Lucrécio ou de Lamarck (1914: 8).

Nessa rejeição de Darwin, Bateson foi muito além de de Vries, que insistia ser a sua teoria uma modificação da de Darwin, não uma substituição da mesma.

R. A. Fisher (1959: 16) avaliou a situação com muita propriedade, quando disse:

> Dificilmente os primitivos mendelianos poderiam ter-se enganado mais redondamente em relação às implicações da descoberta de Mendel … quanto ao processo da evolução. O seu conceito do mendelismo era de que este havia dado um golpe de morte à teoria da seleção, pois uma teoria da hereditariedade compartimentada implicava [para eles] uma correspondente descontinuidade na evolução.

Em decorrência disso, difundiu-se a opinião de que Darwin estava morto. Isso levou Nordenskiöld a proferir, na sua tão autorizada *History of Biology* (1920-1924), a seguinte afirmação:

> A teoria [darwiniana] há muito tempo foi rejeitada nos seus pontos mais vitais … as objeções levantadas contra a teoria, logo do seu aparecimento, coincidem amplamente com aquelas que muito mais tarde provocaram a sua queda.

Morgan, entre outros, era de opinião que unicamente as pressões de mutação podiam efetuar tudo aquilo que Darwin atribuía à seleção natural.

Crique mais perturbava os naturalistas era a suposição, frequentemente expressa, dos mendelianos (por exemplo, de Vries) no sentido de que a assim chamada variação individual, ou flutuante, era desprovida de base genética. O fato era de importância decisiva para a avaliação das raças geográficas, algumas das quais eram consideradas pelos darwinianos espécies incipientes. De Vries tinha que rejeitar o conceito da especiação geográfica, porque estava em conflito direto com a sua teoria da mutação (especiação por indivíduos geneticamente diferentes). Ele afirmou isso, com

toda clareza, às raças geográficas humanas:

> A variabilidade revelada pelo homem é do tipo flutuante, enquanto as espécies surgem pela mutação. Os dois fenômenos são fundamentalmente diferentes. A suposição de que a variabilidade humana tenha alguma relação com a variação que causou, ou supostamente tem causado, a origem das espécies é, no meu entender, absolutamente injustificada … As condições favoráveis e desfavoráveis da vida, a migração para climas diferentes, e assim por diante, afetam os caracteres flutuantes do homem, em escala considerável. Mas isso apenas por algum tempo; tão logo removidos os fatores da perturbação, os efeitos por eles produzidos desaparecem. Os caracteres morfológicos da raça, porém, não são minimamente afetados por tais influências. Por esses meios não surgem novas variedades. Desde o princípio da era diluviana, o homem não fez emergir qualquer nova raça ou novo tipo. Ele é, de fato, imutável, conquanto altamente variável.

[Outra afirmação de de Vries sem qualquer base nos fatos!] (1901,1: 155-156).

A interpretação da evolução dos primitivos mendelianos pode ser resumida nas conclusões seguintes:

1. Toda mudança na evolução é devida à ocorrência de nova mutação, isto é, de uma nova descontinuidade genética. Logo, a força motriz da evolução são as pressões de mutação.
2. A seleção é uma força sem consequências na evolução, agindo no máximo como fator de eliminação das mutações deletérias.
3. Desde que a mutação tem condições de explicar todos os fenômenos evolutivos, a variação individual e a recombinação, nenhuma das duas produzindo algo de novo, podem ser desconsideradas. A maioria das variações individuais contínuas é de natureza não-genética.

Os naturalistas estavam consternados. Tudo o que descobriram e descreveram, desde o artigo pioneiro de Wallace, em 1855, era ignorado pelos experimentalistas. Como disseram Rothschild e Jordan (1903: 492):

> Todo aquele que estuda a diversidade da variação geográfica, de modo estreito ou abrangente, só pode sorrir em face do conceito de uma origem das espécies *per saltum.*

Os naturalistas se deparavam com a gradualidade por toda parte, e todos eles acreditavam, pelo menos até certo ponto, na seleção natural. Poulton (1908: XVIII), não sem razão, ridicularizou os mutacionistas, dizendo: "A mutação sem seleção pode ser deixada para aqueles que desejam reviver a Criação Especial sob outro nome".

Mas também os naturalistas tinham as suas concepções erradas. Por exemplo, estavam tão obcecados pela gradualidade, que faziam pouco caso da própria hereditariedade mendeliana. Por certo, eles admitiam que os caracteres descontínuos podiam obedecer às regras mendelianas, mas, afinal de contas, eles eram de pouca importância evolutiva. Os caracteres graduais e quantitativos, os únicos que contam para a evolução, não seguiam as regras mendelianas tal como formuladas por de Vries e Bateson, assim diziam os naturalistas; daí que era preciso procurar uma outra solução. E eles

encontraram esta solução, ou em alguma capacidade ortogenética das linhas evolucionárias, ou no neolarmackismo. A seleção natural, embora reconhecida pela maioria deles como uma força evolutiva, não constituía o fator mais importante da evolução. Eles continuavam a acreditar muito mais nos efeitos do uso e desuso, na indução direta do meio ambiente, ou em outras manifestações da hereditariedade tênue. Até os anos 1920 e 1930, virtualmente todos os livros mais importantes sobre a evolução – os de Berg, Bertalanffy, Beurlen, Böker, Goldschmidt, Robson e Richards, Schindewolf, Willis, e os de todos os evolucionistas franceses, como Cuénot, Caullery, Vandel, Guyénot e Rostand – eram mais ou menos vigorosamente antidarwinianos. Entre os não-biólogos, o darwinismo era menos aceito ainda. Os filósofos, em particular, eram quase unanimemente contrários a ele, e essa oposição durou até anos relativamente recentes (Cassirer, 1950; Grene, 1959; Popper, 1972). Da mesma forma, a maioria dos historiadores rejeitava o selecionismo (Radl, Nordenskiöld, Barzun, Himmelfarb).

Nos vários confrontos entre os dois campos, não havia sinais de boa vontade para uma cooperação; toda argumentação se voltava para a tentativa de provar que o outro campo estava errado. Num encontro entre geneticistas e paleontólogos, em Tübingen, 1929, estes adotaram a pior estratégia possível (Weidenreich, 1929). Em vez de se debruçarem sobre os fenômenos evolutivos que os geneticistas, mendelianos em particular, não tinham sido capazes de explicar, eles se concentraram no esforço de provar a existência de uma hereditariedade dos caracteres adquiridos, assunto para cuja discussão não estavam minimamente qualificados. E, no entanto, havia numerosos problemas evolucionários que de forma alguma se explicavam pelo conceito evolutivo das "mudanças na frequência dos genes", dos geneticistas, problemas tais como as taxas altamente desiguais da evolução, a constância básica dos tipos estruturais mais importantes, as descontinuidades absolutas entre eles e o problema da multiplicação das espécies.

Quando se iniciou a controvérsia entre os dois campos (pelos anos 1890 e começo de 1900), ambas as áreas sustentavam idéias que eram incompatíveis com as da facção oposta. E mais do que isso, ambas defendiam certas explicações que tinham condições de ser refutadas pela outra parte. Mas foi impossível reconhecer isso, até o momento em que os dois campos chegassem a clarear e, em parte, rever consideravelmente as suas próprias posições. No intuito de capacitar-nos à compreensão da eventual resolução do conflito, é necessário descrever os avanços realizados nos dois campos, na genética evolucionista (mais ou menos depois de 1906) e na sistemática evolucionista (a partir do período pós-darwiniano até os anos 1930). Tais avanços, efetivamente, tomaram possível uma reconciliação das áreas opostas, levando a uma síntese dos componentes válidos das duas tradições de pesquisa.

Os avanços na genética evolucionária

O trabalho realizado por de Vries, Bateson e Johannsen foi apenas um dos tipos possíveis de genética evolucionista, e não sobreviveu à primeira década do presente século. A doutrina dos adversários de Bateson, os biometricistas (Provine, 1971; veja o Capítulo 16), teve vida ainda mais curta. As idéias simplistas desses pioneiros foram submetidas a uma revisão radical por parte de uma nova geração de geneticistas. As escolas que se originaram da zoologia experimental, como a de T. H. Morgan, em Columbia, guardavam uma posição mais próxima das idéias evolutivas originais

do mendelismo, acentuando a mutação e a independência descontínua dos genes individuais (Allen, 1968). Outros geneticistas, porém, que ingressaram no campo da genética a partir da história natural, ou da criação de plantas e de animais, como Nilsson-Ehle, na Suécia, East, Jones, Jennings, Castle e Payne, nos Estados Unidos, e Baur, na Alemanha, fizeram descobertas que mostraram não haver conflito entre a evidência genética e a seleção natural, a gradualidade evolutiva e o pensamento de população.

A história detalhada dessas descobertas será apresentada no Capítulo 17. As de maior importância, para a interpretação da evolução, podem ser resumidas nas proposições seguintes:

1. Existe apenas um tipo de variação, onde as grandes mutações e as variantes individuais mais ligeiras constituem os extremos de um único gradiente.
2. Nem todas as mutações são deletérias; algumas são neutras, e outras claramente benéficas.
3. O material genético em si mesmo é invariável (constante), vale dizer, não existe a hereditariedade tênue.
4. A recombinação é a fonte mais importante da variação genética das populações.
5. A variação fenotípica contínua pode ser explicada como o resultado de fatores múltiplos (poligenes), em conjunto com interações epistáticas, e não está em conflito com a hereditariedade particularizada.
6. Um único gene pode afetar diversos caracteres do fenótipo (pleiotropia).
7. Tanto os dados experimentais como os dados da observação demonstram a efetividade da seleção.

Essas descobertas refutaram completamente as teorias anti-selecionistas, e dos saltos, de de Vries e Bateson. Mas, curiosamente, isso não decretou de forma alguma o fim da teoria dos saltos, a qual por diversas décadas continuou a merecer um suporte substancial, como por exemplo por parte do geneticista Goldschimdt (1940), do paleontólogo Schindewolf (1950) (e outros paleontólogos, principalmente alemães), do botânico Willis (1922; 1940), e de alguns filósofos. Finalmente, foi aceito universalmente que a origem de uma espécie e de *taxa* superiores não ocorre por intermédio dos indivíduos, exceto na forma de poliploidicidade (principalmente nas plantas). Os fenômenos que os adeptos da macrogênese usavam como prova podiam agora ser facilmente explicados em termos da evolução gradual. De particular importância para a reconciliação foi o significado de dois processos evolutivos que anteriormente não foram levados em consideração: taxas de evolução drasticamente diferentes em organismos e populações diferentes, e mudanças evolutivas em populações pequenas e isoladas. Foi preciso esperar pelos anos 1940 e 1950, às vésperas da síntese evolucionista, para que os argumentos bem elaborados de defesa da macrogênese desaparecessem da literatura evolucionária.

A evolução por pressão mutacionista, conceito muito em voga, desde Bateson e de Vries a Morgan, também já perdia terreno depois de 1910, mas recentemente foi revitalizado pelos adeptos da "evolução não-darwiniana". A crença em pressões de mutação estava em declínio, não apenas porque o sentimento em favor da seleção continuava a crescer com mais vigor, particularmente nos anos 1920, mas também por causa da descoberta de mutações reversas. Uma mudança evolutiva constante, por meio da mutação, só seria possível se houvesse mutações em série, todas elas na mesma direção. Contudo, se a probabilidade de mutação de *a* para *a*' não for maior do que a mutação

reversa de *a*' para *a,* então nenhuma tendência evolutiva poderá desenvolver-se. Depois que Morgan havia descoberto a mutação *eosin* em 1913, mutação inversa a partir do *White-eye,* descobriram-se cada vez mais mutações reversas, e em muitos casos a frequência do tipo selvagem para o mutante não era maior do que o inverso, do mutante para o selvagem como foi demonstrado por Muller e Timofeeff-Ressovsky (Muller, 1939). Em decorrência dessas descobertas, tomou-se muito improvável a idéia de que uma evolução direcionada (tendências evolutivas) pudesse ser determinada por pressões de mutação.

Talvez a mais importante contribuição oferecida pela nova genética tenha sido a refutação decisiva da hereditariedade tênue. Mas a absorção desse fato foi adiada sempre de novo por afirmações de prova experimental da hereditariedade dos caracteres adquiridos. Mas algumas dessas afirmações baseavam-se em erros experimentais, outras eram claramente fraudulentas (Burkhardt, 1980). É interessante observar que muitas vezes os experimentadores, quando convencidos dos resultados que esperam dos seus testes, "produzem" dados que foram incapazes de obter dos seus experimentos reais. Esse fenômeno psicológico também foi constatado em outras áreas da biologia experimental (como na pesquisa do câncer e na imunobiologia).

Embora a contraprova da hereditariedade tênue tivesse que esperar pela demonstração, por meio da genética molecular, de que a informação adquirida pelas proteínas não podia ser retrotransmitida aos ácidos nucléicos (o que só foi provado nos anos 1950), os geneticistas mostraram (e isso foi aceito por naturalistas como Sumner, Rensch e Mayr) que todos os fenômenos da evolução gradual e da variação de adaptação, que anteriormente eram citados como evidência da hereditariedade dos caracteres adquiridos, podiam ser interpretados em termos dos genes constantes. Em contrapartida, todos os esforços para demonstrar a hereditariedade tênue revelaram-se um fracasso (veja o Capítulo 17).

Desde o começo, alguns geneticistas interessavam-se mais pela mecânica da hereditariedade, outros pelos seus aspectos evolutivos. Aqueles que desejavam entender a base genética da evolução convenciam-se cada vez mais que a evolução era um fenômeno de população, e como tal devia ser estudado. Começou então a surgir uma área, que mais tarde foi designada genética de populações. Profissionais interessados em estatística, como Yule, Pearl, Norton, Jennings, Robbins e Weinberg, forneceram as primeiras contribuições importantes para esse campo. Falta-nos ainda uma boa história desse período, mas parece que esses autores já haviam chegado a muitas conclusões posteriores da genética de populações. A maioria dos seus escritos foi publicada em revistas técnicas, e não chegou a ter a merecida repercussão. Infelizmente, a maioria dos naturalistas passou ao largo desses trabalhos. [11]

Finalmente, tomou-se hábito designar *genética de populações* aquele segmento da genética que se ocupa das mudanças na frequência dos genes nas populações. O termo "genética de populações" é, na realidade, ambíguo, porque estavam envolvidos dois programas de pesquisa amplamente diferentes. Um deles é representado pela *genética matemática de populações,* associada aos nomes de R. A. Fisher, J. B. S. Haldane e Sewall Wright. Suas "populações" eram populações estatísticas, e a pesquisa nessa área podia ser feita com lápis e papel, mais tarde com a calculadora, e hoje com o computador. A outra genética de populações ocupava-se com populações reais dos organismos vivos, estudados no campo e no laboratório. A história *deste* ramo da genética de populações ainda não foi escrita. Ele é representado pela obra de Schmidt (*Zoarces*), Glodschmidt *(Lymantria),* Sumner (*Peromyscus*), Langlet (*Pinus*), Baur (*Antirrhinum*), Chetverikov, Timofeeff-Ressovsky,

Dobzhansky (*Drosophila*), Cain, Sheppard, Lamotte (*Cepaea*), e Ford e Sheppard *(Panaxia, Maniolá),* para só mencionar os nomes de alguns dos muitos estudiosos da distribuição dos genes nas populações naturais e suas mudanças no tempo. Para distinguir esse campo da genética matemática, Ford (1964) designou-o, com muita propriedade, *genética ecológica.*

A genética matemática de populações começou com a controvérsia entre mendelianos (Bateson em particular) e bimetricistas (Weldon, Pearson). Os biometricistas, embora afirmassem corretamente a importância da variação contínua, como o material da seleção natural, admitiam que a hereditariedade acontecia por processo de mistura. Os mendelianos primitivos, convencidos da natureza particulada da hereditariedade, acentuavam a variação descontínua. O desdobramento mais importante da genética evolucionista consistiu em mostrar que não há conflito entre a hereditariedade particulada (não de mistura), a variação contínua e a seleção natural.

A base de toda a genética matemática de populações reside no assim chamado princípio de equilíbrio de Hardy-Weinberg, estabelecido em 1908. Segundo esse princípio, dois alelos *(a* e *a')* permanecerão com a mesma frequência em uma população, de geração em geração, a menos que essa frequência seja afetada pela imigração, mutação, seleção, cruzamento não-causal ou erros de amostragem. (Para uma história da descoberta desse princípio, veja Provine, 1971: 131-136.) A genética matemática de populações, nos trinta anos seguintes, concentrou-se principalmente na questão sobre como a composição genética de populações de vários tamanhos era afetada por diferentes taxas de mutação, diferentes pressões seletivas e erros de amostragem.

A primeira questão a ser estudada foi saber a eficácia de seleção, quando a vantagem seletiva de um novo alelo introduzido em uma população era apenas ligeira. O matemático britânico, H. T. J. Norton, elaborou esse assunto em relação às diferentes intensidades seletivas dos genes, ocorrendo em frequências diversas (1915). Para surpresa de quase todo o mundo, ele foi capaz de mostrar que mesmo vantagens ou desvantagens seletivas muito pequenas (menos de 10%) conduzem a mudanças genéticas drásticas, dentro de relativamente poucas gerações. Essa descoberta impressionou profundamente J. B. S. Haldane (autor de uma série de pesquisas sobre a matemática da seleção, nos anos 1920) e o naturalista-geneticista russo Chetverikov. A conclusão de que alelos que diferiam apenas ligeiramente em valor seletivo podiam substituir-se entre si, em tempo muito breve da evolução, levou mais tarde diversos neolamarckianos (Rensch e Mayr, por exemplo) a abandonar a sua crença na hereditariedade tênue. E isso porque agora ficou evidente que fenômenos, tais como raças climáticas e outras adaptações relacionadas com o meio ambiente, podiam ser interpretados em termos da seleção, que atua sobre alelos e genes múltiplos.

Iniciando em 1918, R. A. Fisher (1890-1962) publicou uma série de artigos sobre a matemática da distribuição dos genes nas populações. Tais pesquisas giravam em tomo da compartimentação da variação genética em uma parte aditiva (causada por alelos, ou por genes independentes, de efeitos semelhantes) e em uma parte não-aditiva (epistasia, dominância, e assim por diante), em condições que permitiam a manutenção de um polimorfismo balanceado, em relação ao papel da dominância e à rapidez com que um gene favorável podia espalhar-se em populações de tamanhos diferentes. Algumas dessas descobertas, como o polimorfismo balanceado, estão hoje tão firmemente estabelecidas, que se tem até dificuldade de compreender como foi necessário que alguém tivesse sido o primeiro a elaborá-las. Outras pesquisas do mesmo autor são tão férteis de conclusões, que somente nas últimas décadas elas chegaram a ter uma aplicação plena.

A conclusão mais importante de Fisher consistiu em que a maior parte da variação contínua,

pelo menos no homem, se deve a fatores mendelianos múltiplos, muito mais do que a influências ambientais. O seu acento nos genes de reduzidos efeitos fenotípicos constituiu uma contribuição maior para a reconciliação vindoura entre geneticistas e naturalistas. De conformidade com a maioria dos geneticistas matemáticos, Fisher tendia a minimizar os efeitos de uma interação entre os *loci* genéticos.

Fisher sempre pensou em termos de populações grandes, e embora estivesse plenamente consciente de erros de amostragem, ele era de opinião que, devido às diferenças seletivas de genes concorrentes, e à mutação recorrente, tais erros de amostragem, a longo prazo, seriam de reduzida importância evolucionária, como efetivamente é válido em relação a populações de grande porte. Um outro geneticista, Sewall Wright (n^2 1889), discordava nesse ponto, e isso ressuscitou uma velha controvérsia que, a bem da verdade, ainda não está inteiramente resolvida até os nossos dias. O primeiro autor que levantou a tese de que grande parte da mudança evolutiva é simplesmente o resultado da variação casual foi J. T. Gullick (1872). Este autor foi induzido a essa proposição, ao observar a incrível diversidade das populações locais de caramujos terrestres do Havaí (*Achatinella*) e sua variação aparentemente a esmo, na ausência de diferenças visíveis dos fatores ambientais. Dessa data em diante, foi sempre de novo proposta a tese de que muitas variações são seletivamente neutras. Fisher (1922: 338) chamou essa variação casual de *efeito Hagedoorn,* depois que dois pesquisadores holandeses reuniram muitas evidências em favor desse assunto. A tese deles (tal como a de Gullick) baseava-se na aceitação do fato de que grande parte dessas variações é efetivamente neutra, no que tange à evolução. Fisher, ao contrário, era de opinião que a maior parte do polimorfismo alélico, nas populações, era devida à superioridade dos heterozigotos.

Sewall Wright, um discípulo de William E. Castle, ocupou-se desde 1914 com a hereditariedade da cor e outros efeitos, na reprodução de cobaias. Esse trabalho o persuadiu de que "populações efetivamente reprodutivas" (mais tarde chamadas demes), mesmo em se tratando de animais selvagens, eram muitas vezes de tamanho suficientemente reduzido para fazerem com que os erros de amostragem não fossem um fator desprezível. Embora a afluência de genes de populações adjacentes normalmente impeça a fixação casual dos genes, haveria, não obstante, um "fluxo genético" suficiente a favorecer combinações de genes, que provavelmente não aconteceriam em populações grandes. No seu primeiro artigo sobre o assunto, Wright (1931a) expressou-se de uma maneira que soava como se estivesse propondo o fluxo genético como um mecanismo alternativo para a seleção natural, e isso causou uma confusão considerável. Pelo livro de Dobzhansky (1937), a tese de Wright tomou-se amplamente conhecida entre os evolucionistas, e começou a desenvolver-se uma tendência, nos anos 1940 e 1950, no sentido de atribuir ao fluxo genético todos os fenômenos evolutivos problemáticos. Tal fluxo desempenhou um importante papel nos escritos de Dobzhansky, e também no conceito de "fase não-adaptativa" da evolução quântica, de Simpson (1944). Finalmente, houve uma reação contra um recurso muito liberal ao fluxo genético, como relatado por Mayr (1963: 204-214).

Na qualidade de discípulo de Castle, Wright mantinha muito contato com os naturalistas, e mostrou-se particularmente interessado, nos anos 1920, pelas pesquisas de F. B. Sumner (Provine, 1979). Em decorrência disso, sua tendência era pensar em termos de populações naturais, e tinha consciência dos valores de adaptação cambiantes dos genes. "Os genes favoráveis em uma combinação serão … muito provavelmente desfavoráveis em outra" (1931: 153). Infelizmente, ele fez pouco uso dessa idéia em suas equações e gráficos, onde tratou quase exclusivamente de genes

singulares e de valores de adaptação constantes. Wright, como também Chetverikov, impressionava-se muito com os efeitos pleiotrópicos: "Tendo em vista que os genes, *via de regra,* têm efeitos múltiplos … é provável que, com o tempo, um gene venha a produzir os seus efeitos principais sobre caracteres inteiramente diferentes dos iniciais" (1931a: 105). Devido à sua formação, Wright, na comunidade dos geneticistas matemáticos, tinha um pensamento que mais se aproximava das concepções dos naturalistas. O fato de haver encarado as espécies como agregados de populações foi um pré-requisito para a sua posterior colaboração com Theodosius Dobzhansky (1900-1975).

Chetverikov

A genética de populações que surgiu na Rússia, principalmente pela obra de Sergei S. Chetverikov (1880-1959) e seus discípulos, representa uma escola muito diferente. A Rússia, nas suas tradições, divergia de modo muito significativo não apenas dos Estados Unidos, mas também da Europa Ocidental. A seleção natural havia sido aceita muito mais amplamente (antes de 1920) do que em qualquer outra parte, e a história natural parece ter tido um prestígio e influência muito maiores nas universidades. Mesmo hoje em dia, os estudantes, por exemplo de Moscou, passam os seus meses de verão em estações biológicas, ou realizando trabalho de campo alhures. Igualmente, havia na URSS diversos institutos de genética (dois em Leningrado, um em Moscou), e parece que, pelos anos 1920, havia naquele país um número de geneticistas tão grande como no resto de toda a Europa continental. Chetverikov foi o chefe do Departamento de Genética, de 1924 a 1929, no Instituto de Biologia Experimental Koltsov, de Moscou. Ele era um apaixonado especialista em borboletas, chegando a descrever uma nova espécie dos montes Urais, quando já tinha setenta e seis anos de idade. Ele também se interessou pela evolução, publicando em 1906 um artigo fundamental sobre as flutuações das populações, cuja importância evolutiva (em particular os pontos de estrangulamento) ninguém antes dele havia considerado na sua plenitude. A partir de 1920, Chetverikov lecionava genética, e tomou-se o líder de um grande grupo informal de geneticistas entusiastas. Em 1929, teve que abandonar Moscou por razões políticas, e nunca mais teve condições de continuar suas pesquisas genéticas (Adams, 1968; 1970; 1980a).

Devido à sua própria formação de naturalista, Chetverikov respondeu às questões e objeções dos antimendelianos de maneira muito mais eficaz do que Morgan ou os matemáticos. Em uma das mais importantes publicações de toda a história da biologia evolutiva (1926), ele fixou para si mesmo "o objetivo de esclarecer certas questões sobre a evolução, em conexão com os nossos atuais conceitos genéticos" (p. 169). Em primeiro lugar, ele mostrou que existe uma completa e quase "imperceptível transição de mutações de viabilidade inteiramente normal" para mutações de viabilidade sempre menor, e mesmo letais. A afirmação de que todas as mutações são deletérias não é verdadeira. É certo, como foi mostrado mais tarde por Dobzhansky e outros, que podem ocorrer mutações de aptidão muito mais elevada do que o tipo original. Chetverikov percebeu claramente, como Fisher e outros antes dele, que num mutante novo sempre aparece primeiramente como um heterozigoto, e que, se for recessivo, pode permanecer longo tempo oculto na população (a menos que se perca por erros de amostragem), porque somente os homozigotos são expostos à seleção. Por isso, ele chegou à conclusão "que uma espécie, semelhantemente a uma esponja, absorve as mutações heterozigóticas, embora permanecendo externamente (aspecto fenotípico) homozigótica, do primeiro ao último indivíduo" (p. 178). Daí que deve existir em cada espécie grande volume de variabilidade

genética dissimulada. Para testar a sua intuição, ele capturou, nos arredores de Moscou, 239 (moscas) fêmeas selvagens (da espécie) *Drosophila melanogaster,* e cruzou a sua descendência entre irmãos e irmãs. Nessa pequena amostra ele encontrou nada menos que 32 *loci* que se segregavam sob forma de recessivos visíveis, confirmando assim a sua suposição. Ninguém antes dele havia suspeitado da quantidade de variação que se escondia em uma população selvagem. Seus alunos, particularmente N. V. Timofeeff-Rossovsky, B. L. Astaurov, N. P. Dubinin e D. D. Romashov, começaram rigorosamente a analisar a variação genética nas populações selvagens, em estreita integração com a pesquisa experimental em laboratório. Dobzhansky, embora pessoalmente não fosse membro do grupo (ele trabalhava com Philipchenko, em Leningrado), acompanhou atentamente essas pesquisas, que constituíram uma das suas influências em seus trabalhos posteriores sobre as *Drosophila.*

Para Chetverikov, as mudanças nas populações não eram o resultado das pressões de mutação, mas sim da seleção. Baseando sua argumentação na tabela de Norton (1915), ele concluiu que "mesmo o melhoramento mais ligeiro do organismo [um gene levemente superior] tem uma possibilidade definida de estender-se a toda a massa de indivíduos, inclusive nas populações de procriação livre (as espécies)" (1961: 183). Não importa que o novo gene seja dominante ou recessivo, nem que sua vantagem seletiva seja de 50% ou de 1%; "a completa substituição de um gene por um outro mais bem adaptado acabará sempre … por acontecer". Em contraste com Fisher e Haldane, que dedicaram a maior parte dos seus esforços a provar a efetividade da seleção, Chetverikov, em consonância com a tradição russa, considerava a seleção ponto pacífico. Isso o habilitou a voltar-se para outros problemas.

A maioria das conclusões de Chetverikov foi na realidade também alcançada independentemente por Fisher, Haldane e Wright, e ingressou na literatura evolucionista do Ocidente principalmente por intermédio deles. O ponto em que Chetverikov estava muito à frente do grupo ocidental era o seu reconhecimento muito mais claro da importância evolutiva da interação dos genes. Ele rejeitava com vigor "a antiga noção da estrutura mosaica do organismo, consistindo em vários genes independentes", e concluiu que "todo traço herdado … é determinado não por um único gene, mas sim por seu agregado inteiro, por seu complexo". Nenhum gene detém um valor seletivo constante, porque "exatamente o mesmo gene se manifestará de modo diferente, dependendo do complexo dos outros genes em que ele se insere" (p. 190). A expressão fenotípica de cada gene é determinada pelo seu "meio genotípico".

Chetverikov havia baseado essas conclusões na descoberta, particularmente por parte do grupo de Morgan, da ação pleiotrópica dos genes, isto é, o efeito de um gene sobre diversos componentes do fenótipo (veja o Capítulo 17). Seu discípulo Timofeeff-Ressovsky descobriu importantes manifestações de pleiotropia (1925). Em contraste, os geneticistas de populações matemáticos, especialmente Fisher e Haldane, por razões de simplicidade de uma primeira aproximação, concentravam-se no comportamento dos genes individuais. Tanto nas suas equações como nos seus gráficos, eles ilustravam o aumento e o decréscimo da frequência dos genes individuais, sob os efeitos da seleção, da mutação e dos erros de amostragem. Os manuais de genética dos anos 1940 e 1950 sugeriam exercícios de laboratório, em que os genes eram representados como feijões de diversas cores, colocados em um saco, misturados e depois reagrupados a cada geração, de acordo com certas especificações experimentais. Tendo em vista que nesses exercícios ficava excluída qualquer interação entre os genes, Mayr (1959d) apelidou esse tipo de genética, que ignorava a

interação dos genes, de "genética-do-saco-de-feijão". Infelizmente, quase toda a genética matemática de populações, naquele tempo, era de fato uma genética-de-saco-de-feijão. Mesmo um autor como Sewall Wright, que tinha pleno conhecimento da importância da interação dos genes, ocupava-se, nos seus cálculos e ilustrações, quase exclusivamente com o comportamento dos genes individuais. Em decorrência disso, só a partir de 1950 em diante é que o conceito de Chetverikov do meio genotípico foi plenamente incorporado ao pensamento dos biólogos evolucionistas.

A despeito do fato de que as publicações em língua russa dificilmente eram lidas fora da URSS, a obra da escola de Chetverikov não era inteiramente desconhecida na Inglaterra e nos Estados Unidos. Não apenas o artigo de Chetverikov de 1927, mas pelo menos também três outros de Timofeeff-Ressovsky estavam publicados em periódicos de língua inglesa ou alemã; e o laboratório de Haldane dispunha de uma tradução completa do artigo de Chetverikov, de 1926. Depois de terem deixado a Rússia, tanto Timofeeff-Ressovsky como Dobzhansky colaboraram para a maior difusão das idéias da escola de Chetverikov. Não há dúvida que ela forneceu uma contribuição substancial para a síntese evolucionista.

Chetverikov e os geneticistas de populações matemáticos completaram a destruição da teoria genética da evolução dos mendelianos. Eles confirmaram a importância da seleção e a inexistência de pressões de mutação; estabeleceram as bases genéticas da evolução gradual darwiniana, e confirmaram a não-existência da hereditariedade tênue. Finalmente, mostraram que não existe conflito entre a descontinuidade dos genes e a continuidade da variação individual. Dessa forma, foi lançada uma base importante para o estabelecimento de uma ponte com a área dos naturalistas, que rejeitavam em toda a linha as macromutações de de Vries, bem como as pressões de mutação, e enfatizavam igualmente a importância das mudanças evolutivas graduais e da seleção natural.

Os avanços da sistemática evolucionária

Os rápidos progressos realizados pela genética evolucionista foram acompanhados por avanços semelhantes na sistemática ou, mais genericamente, pelos avanços na compreensão da diversidade orgânica por parte dos naturalistas. Na realidade, o tipo de genética de populações concebido por Chetverikov significava pouco mais que a transferência na sistemática, há mais de cem anos. Estou me referindo ao estudo das diferentes raças geográficas de uma espécie, casualmente evocadas por Buffon (em relação à fauna norte-americana) e por Palias (em relação aos animais siberianos), e que conheceu um desenvolvimento pleno com Gloger. [13] Desde aquele tempo, os taxionomistas mais perspicazes davam muita atenção às diferenças inatas entre as diversas populações, particularmente raças geográficas de espécies.

Tais diferenças nas populações são mencionadas por Lineu (1739), Buffon (1756), Blumenbach (1775), Palias (1811), von Buch (1825) e Gloger (1827, 1833). Era algo amplamente conhecido dos guardas florestais da Suécia, Alemanha e França, a partir da metade do século XVIII (Langlet, 1971). Que os pinhos e os rododendros de altitudes diferentes do Himalaia se alteram grandemente, conforme o rigor das geadas, era fato constatado por Hooker (1853), e citado por Darwin (1859: 140). Cedo se reconheceu que essa variação estava intimamente relacionada com a natureza do ambiente, e na metade do século XIX introduziu-se o termo *raça climática.* Na botânica, esse fato ocasionou o estudo dos fatores edafológicos, sendo que estes, em combinação com os fatores

climáticos, são os responsáveis pelo desenvolvimento de *ecótipos* (Turesson, 1922). A obra de Baur sobre as populações *Antirrhinum,* na Espanha, deu ao assunto um tratamento mais geográfico (Schiemann, 1935; Stubbe, 1966). Na zoologia, esses interesses conduziram aos estudos de Schmidt (1917) sobre os peixes, de Goldschmidt sobre as *Lymantria,* e de Sumner sobre os *Peromyscus*. Porém, nenhum desses objetos era tão adequado para uma análise genética detalhada como as *Drosophila*. E importante reconhecer que o trabalho de Chetverikov consistiu amplamente na aplicação de uma *Fragestellung* clássica a um objeto novo e particularmente apropriado.

O desenvolvimento da sistemática de populações, que podia ser traduzida facilmente numa genética de populações, constituiu uma contribuição maior dos naturalistas. Eles davam continuidade a uma tradição a que pertencia o próprio Darwin, o qual se preocupava com o estudo de populações naturais, com a variação no seio das populações, e com as alterações de uma população a outra, em função dos gradientes geográficos. Eles adotavam a população como a unidade da evolução, em vez da linha filética, preferida pelos anatomistas comparativos e paleontólogos. Os naturalistas eram os únicos biólogos que estudavam o isolamento e o papel da variação geográfica, bem como da variação individual. Exceto em relação aos criadores de animais, eles foram os primeiros a entender a individualidade e a apoiar a sua metodologia sobre esse conhecimento, resultando na recomendação de coletar "séries", ou fazer "coleções de massas". Isso, por sua vez, conduziu à aplicação da estatística, particularmente galtoniana, que se fixa mais na variação do que nos valores médios. Infelizmente, não se dispõe de uma história adequada da história natural evolutiva, conquanto alguns dos seus desdobramentos venham descritos no Omithology, de Stresemann (1975), e em comentários históricos escritos por Mayr (1963).

As contribuições mais importantes dos naturalistas eram de ordem conceitual. Uma compreensão verdadeira da seleção natural, da especiação e da adaptação não era possível antes que o pensamento de população removesse o pensamento tipológico. O pensamento de população dos naturalistas exerceu um impacto particularmente importante sobre Chetverikov e sua escola. Mas não foram apenas os naturalistas que ajudaram a difundir esse conceito. Uma segunda vertente do pensamento de população localizava-se, já no tempo de Darwin, nos criadores de animais e de plantas. Os geneticistas, como Castle, East, Emerson e Wright, que tinham o mais estreito contato com os cridadores, também souberam evitar, felizmente, as armadilhas do pensamento tipológico. Tais fatos fizeram com que os naturalistas desenvolvessem o novo conceito de raças, como populações variáveis, cada qual com uma história geográfica diferente. Isso levou ao conceito biológico de espécie, culminando por fim na assim chamada nova sistemática, denominada mais corretamente sistemática de populações (veja o Capítulo 6).

Foram os naturalistas que resolveram o grande problema da espécie, problema do qual os geneticistas simplesmente passavam ao largo, ou que respondiam de maneira tipológica, sem sucesso. Os naturalistas mostraram que as espécies não são entidades essencialísticas, a serem caracterizadas morforlogicamente, mas sim que eram agregados de populações naturais, reprodutivamente isoladas umas das outras, e que na natureza preenchem nichos específicos de espécie. A compreensão plena da natureza da espécie não podia ser alcançada enquanto não se tivesse uma percepção mais clara de diversos outros aspectos, como a distinção entre táxon e categoria, bem como a idéia de que a palavra "espécie" é um termo de relação, como o vocábulo "irmão", e que, em linhagem filosófica, um táxon de espécie é um indivíduo, em que os membros de uma espécie são "partes" desse indivíduo. A verdade desta assertiva se toma evidente quando se tem

em conta que os genes de todos os membros de uma espécie são os componentes de um mesmo patrimônio genético (Ghiselin, 1974b; Hull, 1975; veja também o Capítulo 6).

A especiação

A nova compreensão da natureza das populações e das espécies capacitou os naturalistas a resolverem o velho problema da especiação – um problema que permanecia insolúvel para aqueles que procuravam uma solução em nível de genes ou genótipos. Nesse nível, a única solução era a especiação instantânea, por mutação drástica ou outros processos desconhecidos. Como de Vries havia dito (1906): "A teoria da mutação admite que as novas espécies e variedades são produzidas a partir de formas existentes, mediante certos saltos". Ou então, como afirmava Goldschmidt (1940: 183):

> O passo que decide, na evolução, o primeiro passo em direção à macro-evolução, o passo de uma espécie a uma outra, requer outro método evolutivo [vale dizer, a origem de monstros promissores] que não a mera acumulação de micromutações.

Os naturalistas se deram conta de que o elemento essencial do processo da especiação não era o mecanismo fisiológico que estava envolvido (genes ou cromossomos), mas sim a espécie incipiente, isto é, a população. Em consequência disso, a especiação geográfica foi definida por Mayr em termos de populações:

> Uma nova espécie se desenvolve, quando uma população, que se isolou geograficamente da sua espécie parental, adquire, durante o período do isolamento, caracteres que promovem, ou garantem, o isolamento reprodutivo, quando as barreiras externas se rompem (Mayr, 1942: 155).

O avanço conceitual mais importante consistiu numa clara formulação do problema. Para explicar a especiação, não é suficiente explicar a origem da variação ou das mudanças evolutivas no seio das populações. O que deve ser explicado é a origem do isolamento reprodutivo entre as populações. A especiação, dessa forma, não é tanto a origem de novos tipos quanto a origem dos mecanismos eficazes que impedem o afluxo de genes estranhos nos acervos genéticos.

Essa idéia tinha uma história de mais de cem anos. A primeira pessoa a afirmar que a especiação, na maioria dos casos, era "geográfica" foi von Buch (1825). O conceito era forte, nos cadernos de Darwin de 18371838 e nos seus ensaios de 1824 e 1844 (Kottler, 1978; Sulloway, 1979), bem como no artigo de Wallace, de 1855. Mas esvaziou-se bastante nos anos seguintes (veja o Capítulo 9). A partir dos anos 1850, Darwin pensava que a especiação, particularmente nos continentes, podia também acontecer sem um estrito isolamento geográfico, e esse fato o envolveu numa controvérsia acalorada com Moritz Wagner.

O papel do isolamento

Moritz Wagner (1813-1887), um explorador famoso, colecionador e geógrafo, dedicou três anos

(1836-1838) à exploração da Argélia. Aí descobriu que as duas espécies de coleópteros não-voadores *(Pimelia* e *Melasoma*) restringiam-se invariavelmente a uma faixa da costa norte, entre dois rios que desciam das montanhas Atlas. Tão logo se atravessasse um dos rios, aparecia uma espécie diferente, mas estreitamente aparentada (Wagner, 1841: 199-200). Wagner conseguiu confirmar essa capacidade de isolamento dos rios durante as suas posteriores viagens pela Asia ocidental, e ampliou a experiência comparando as faunas de ambos os lados de cordilheiras de montanhas (por exemplo, no Cáucaso), ou, no caso de espécies montanhesas, as habitantes de picos mais elevados separados por vales, como os grandes vulcões dos Andes. Isso fez com que ele chegasse **à** seguinte conclusão:

> A formação de uma variedade genuína, que o Sr. Darwin considera uma espécie incipiente, só é possível na natureza quando uns poucos indivíduos transgridem as bordas limítrofes da sua área, e se separam dos outros membros da sua espécie por um período longo … a formação de uma nova raça jamais terá sucesso, na minha opinião, sem uma separação longa e continuada dos colonos em relação aos outros membros da sua espécie … O cruzamento ilimitado e a interfertilização desinibida de todos os indivíduos de uma espécie sempre resultarão na uniformidade, e toda variedade de caracteres que não se fixaram, ao longo de uma série de gerações, voltará à condição original.

Tudo isto soa como uma descrição bastante razoável do processo da especiação geográfica. Infelizmente, Wagner combinou esse assunto com algumas idéias peculiares sobre a variação e a seleção. Na sua opinião, o isolamento de uma população fundadora resultava em uma variabilidade crescente, e pensava também que somente em uma tal população isolada é que a seleção natural tinha uma real oportunidade de operar (Sulloway, 1979).

Isso foi demais para Darwin, que não apenas insistia, com toda razão, que a seleção natural e a mudança evolutiva podiam acontecer sem o isolamento, mas que isso também implicava claramente que o isolamento não era uma condição necessária à formação das espécies. Darwin conclui a sua rejeição à tese de Wagner com esta afirmação enfática: "A minha mais forte objeção contra a sua teoria [da especiação geográfica] é que ela não explica as múltiplas adaptações na estrutura de todo ser orgânico" (L. L. D., III: 158), como se a especiação e a adaptação fossem fenômenos mutuamente exclusivos. Talvez Darwin tenha sido forçado a essa posição extrema pela afirmação de Wagner: "Os organismos que nunca abandonam a sua zona primitiva de distribuição jamais mudarão" (1889: 82), uma afirmação não estritamente verdadeira, como é óbvio, mas porventura mais próxima da verdade do que se pensava nos 75 anos seguintes ao seu pronunciamento.

Weismann não tardou a entrar na controvérsia. Ele publicou (1872) uma réplica a Wagner, chegando a ser talvez o mais fraco dos seus escritos, de resto tão relevantes. A questão original de Wagner – "Podem as espécies se multiplicar sem o isolamento geográfico?" – foi por ele transformada na questão: "É o isolamento por si só o fator responsável pelas mudanças em uma população isolada?", e, "O isolamento é necessário para que as variedades se tomem constantes?" Como nos escritos de Darwin, Wagner não menciona em momento algum a questão da aquisição do isolamento reprodutivo, e toda a sua ênfase concentra-se no grau da diferença morfológica. O seguinte passo ilustra como era fraco o entendimento de Weismann, e dos seus contemporâneos, com respeito aos aspectos realmente essenciais do problema da multiplicação das espécies:

> Nesse ponto, é perfeitamente irrelevante o modo como elas [as espécies endêmicas que surgem em áreas isoladas] se originaram, fosse por ausência de cruzamentos num período de variação ou por seleção natural, procurando ajustar os imigrantes às novas condições ambientais da área isolada. A mudança pode inclusive ter sido causada por influências que nada tinham a ver com o isolamento, como, por exemplo, a influência direta do meio físico, ou o processo da seleção sexual (1872: 107).

Wagner permaneceu muito só na sua insistência sobre a importância do isolamento geográfico. A. R. Wallace colocou-se inteiramente do lado de Darwin, e concluiu

> que o isolamento geográfico, ou local, não é de forma alguma essencial para a diferenciação das espécies, porque o mesmo resultado é conseguido pela espécie incipiente, adquirindo hábitos diferentes ou frequentando uma área diversa; também, em virtude do fato de que variedades diferentes da mesma espécie sabidamente preferem cruzar com os seus pares, caracterizando assim um isolamento fisiológico dos mais eficazes.

Desnecessário dizer que Wallace não apresentou nenhuma prova para qualquer uma dessas afirmações.

O aspecto irônico da controvérsia entre Darwin e Wagner foi que ambos se criticavam no vazio, atribuindo-se mutuamente posições que não defendiam. Wagner insistia em que o isolamento reprodutivo não podia normalmente ser adquirido sem o isolamento geográfico. Darwin, naquele momento muito fascinado pelo princípio da divergência, respondeu "que nem o isolamento nem o tempo, por si mesmos, fazem qualquer coisa para modificar a espécie" (L. L. D., II: 335-336), como se Wagner tivesse negado a ocorrência da evolução filética. Em toda sua correspondência com Wagner, Semper e Weismann, transparece evidentemente que Darwin não percebia muito bem o quanto o problema da aquisição do isolamento reprodutivo é difícil.

Uma das maiores dificuldades residia em que a maioria daqueles que entraram na controvérsia, nos anos a seguir – Romanes, Gulick, e o próprio Wallace (Lesch, 1975)-, não fazia uma clara distinção entre isolamento geográfico e isolamento reprodutivo, nem entre a variação individual e a variação geográfica, e muitas vezes tratavam a especiação como se ela fosse a mesma coisa que a seleção natural. [14] A confusão é particularmente penosa nos escritos de Romanes, que inventou o termo perturbador "seleção fisiológica" para o isolamento reprodutivo. Ainda não existe uma suficiente análise crítica dessa literatura, mas podemos, de modo geral, reconhecer dois campos: o daqueles que seguiam Darwin, não distinguindo claramente os dois tipos de isolamento (entre eles contam-se Weismann, Semper, Romanes, Gulick e Wallace), e o daqueles que, acompanhando Wagner, consideravam o isolamento geográfico um fator *sui generis* e indispensável à especiação (por exemplo, Seebohm, K. Jordan, D. S. Jordan, Grinnell, um bom número de entomologistas, como H. W. Bates e talvez Meldola e Poulton, e os botânicos Kemer e Wettstein).

Depois de 1900, a teoria da especiação por isolamento geográfico conheceu um eclipse quase total, porque, na teoria do mutacionismo (tal como desenvolvida por Bateson e de Vries), o isolamento já não era mais considerado necessário. Devido aos esforços de D. S. Jordan, K. Jordan, Stresemann, Rensch, Mertens, e outros taxionomistas, a importância do isolamento geográfico,

durante a especiação, não foi completamente esquecida. Entretanto, mesmo em 1937, Dobzhansky incluía tanto os fatores genéticos intrínsecos como as barreiras geográficas extrínsecas, na sua listagem de mecanismos de isolamento. Uma das teses mais importantes do *Systematics and the Origin of Species,* de Mayr (1942), consistia em que existe uma diferença fundamental entre os dois tipos de fatores de isolamento, e que, como Wagner e K. Jordan já haviam insistido, o isolamento geográfico constitui um pré-requisito para a formação dos mecanismos de isolamento intrínsecos. Uma ulterior elucidação conceitual foi proporcionada pela definição populacional dos mecanismos de isolamento (Mayr, 1970: 56). De qualquer maneira, ainda hoje em dia alguns autores confundem os mecanismos da especiação – genes, cromossomos, e assim por diante – com a localização das populações objetos da especiação (isto é, se as populações são simpátricas ou alopátricas), não se dando conta de que os dois aspectos são independentes um do outro, e que necessariamente ambos estão envolvidos ao mesmo tempo. Desde 1942, a importância da especiação geográfica, tal como apresentada pelos naturalistas, já não tem sido negada. A principal questão que permaneceu controvertida refere-se à importância dos processos alternativos, como a especiação instantânea (por poliploidicidade e outras reorganizações cromossômicas) e a especiação simpátrica.

Outra contribuição dos naturalistas para o pensamento evolutivo foi o seu reconhecimento da natureza adaptativa da variação geográfica, no seio das espécies. Isso reforçou grandemente a idéia da evolução gradual. Um fato que já havia sido observado pelos naturalistas mais atentos, bem antes de 1859, era que não apenas populações diferentes, em muitas espécies, divergem umas das outras (variação geográfica), mas também que grande parte dessa variação é gradual, e relacionada com fatores do meio ambiente – vale dizer, ela é adaptativa (Gloger, 1833; Bergmann, 1847). O estudo intensivo de tais variações climáticas, por parte de Allen (1870), Sumner (1920) e Rensch (1920 e 1930), forneceu poderoso suporte em favor da tese darwiniana da gradualidade da mudança evolutiva, bem como da importância do meio ambiente (Mayr, 1963: 309-333). Estudos semelhantes, embora menos sistemáticos, foram realizados com plantas, particularmente pelo transplante de espécies de plantas nórdicas em latitudes meridionais, experimentos esses que confirmaram uma variação geográfica correlacionada com o clima (Langlet, 1971; Stebbins, 1979). De qualquer maneira, no período em que os mendelianos primitivos insistiam na variação genética drástica e descontínua, aquelas variações geográficas adaptativas eram consideradas pela maioria dos naturalistas (antes da década de 1930) como evidência importante em favor da hereditariedade tênue (Rensch, 1929).

A síntese evolucionista

Ao longo da primeira terça parte do século XX, o fosso entre os geneticistas experimentais e os naturalistas apresentava-se tão profundo e vasto, a ponto de parecer que nada seria capaz de transpô-lo. O famoso biólogo alemão Buddenbrock disse, em 1930:

> A controvérsia … está tão insolúvel hoje, como era há setenta anos … nenhuma das facções foi capaz de refutar os argumentos dos seus adversários, e temos que admitir que essa situação não mudará tão cedo (p. 86).

Os partidários dos dois campos continuavam a falar linguagens diferentes, a formular questões diferentes, a aderir a concepções diferentes, como evidencia a saciedade da literatura contemporânea (Mayr e Provine, 1980).

Como se poderia romper esse impasse? Como persuadir os dois campos a admitirem que algumas das suas concepções eram falsas, ou ainda – particularmente no caso dos experimentalistas – que o seu modelo explicativo excluía componentes importantes? Duas condições deviam ser preenchidas, antes que os dois campos pudessem se encontrar: (1) seria necessário que surgisse um grupo de geneticistas mais jovens, que se mostrassem interessados pela diversidade e pelos aspectos populacionais da evolução, e (2) que os naturalistas apreendessem que a interpretação genética desta segunda geração de geneticistas já não se opunha ao gradualismo e à seleção natural.

Quando este estado de coisas foi alcançado, o encontro das mentes aconteceu de modo muito rápido e completo, no período de uns doze anos, de 1936 a 1947. Foi nesses anos que os biólogos das mais diversas subdivisões da biologia evolucionista, e de vários países, aceitaram duas conclusões da maior importância: (1) que a evolução é gradual, sendo explicável em termos de pequenas mudanças genéticas e da recombinação, em termos de pequenas mudanças genéticas e da recombinação e em termos do ordenamento dessa variação genética por seleção natural; e (2) que, pela introdução do pensamento de população, pela consideração das espécies como sendo agregados de populações reprodutivamente isolados, e pela análise do efeito dos fatores ecológicos (ocupação de nicho, competição, irradiação adaptativa) sobre a diversidade e sobre a origem dos *taxa* superiores, era possível explicar todos os fenômenos evolutivos, de uma maneira coerente, tanto com os mecanismos genéticos conhecidos, como com as evidências de observação dos naturalistas. Julian Huxley (1942) designou o acontecimento do consenso nesses pontos como *a síntese evolucionista.* Isso exigiu que os naturalistas abandonassem a sua crença na hereditariedade tênue, e que os experimentalistas abrissem mão do pensamento tipológico e se mostrassem dispostos a incorporar a origem da diversidade no seu programa de pesquisa. O resultado disso foi um declínio do conceito de "pressão mutativa", e a sua substituição por uma elevada confiança no poder da seleção natural, combinada com a nova percepção da imensidade da variação genética nas populações naturais.

Tudo isso nos diz o que aconteceu durante a síntese, mas não nos diz como isso ocorreu. Existe hoje um consenso, pode-se dizer geral, de que a reconciliação foi obra de um punhado de evolucionistas, que foram capazes de construir pontes entre campos diferentes, e remover equívocos.

Os arquitetos da síntese evolucionista

Quais as qualificações que um evolucionista devia ter para estar em condições de agir como um construtor de pontes? Antes de mais nada, ele devia ser algo mais do que um estreito especialista. Devia estar disposto a familiarizar-se com áreas da biologia exteriores ao seu próprio campo de especialização, e a absorver os novos conhecimentos desses outros campos. Ele tinha que ser flexível, capaz de desfazer-se de idéias antigas, e de aceitar idéias novas. Por exemplo, Sumner, Rensch e Mayr, que originalmente acreditavam na hereditariedade tênue, adotaram uma interpretação estritamente neodarwiniana, tão logo se familiarizaram com as novas descobertas genéticas. O que ainda falta é uma análise crítica dos escritos dos arquitetos da síntese. Quais foram, no caso, as suas idéias novas? Teria sido o opulento acúmulo de fatos a exercer o impacto decisivo? Teria sido particularmente eficaz o foco da atenção sobre os fenômenos evolutivos concretos (especiação,

irradiação adaptativa, tendências evolutivas, e assim por diante)? Quais novos conhecimentos genéticos foram mais valiosos na eliminação de interpretações erradas? Qual foi o papel individual desempenhado por cada um dos construtores da ponte?

Nenhuma dessas questões (e existem muitas outras) foram até agora completamente respondidas. Está claro, foi feito apenas um começo de estudo sobre a síntese evolucionista (Mayr e Provine, 1980).

Se definirmos como arquitetos da síntese aqueles autores que, em publicações de relevância, realmente estabeleceram pontes entre campos diversos, seis nomes em particular nos ocorrem: Dobzhansky (1937), Huxley (1942), Mayr (1942), Simpson (1944; 1953), Rensch (1947) e Stebbins (1950). É preciso acentuar que houve numerosos outros evolucionistas que ajudaram a "limpar o terreno", para que as pontes pudessem ser construídas, e que forneceram importantes materiais de construção. Entre eles devem ser mencionados, antes de mais ninguém, Chetverikov e Timofeeff-Ressovsky, na Rússia; Fisher, Haldane, Darlington e Ford, na Inglaterra; Sumner, Dice, Sturtevant e Wright, nos Estados Unidos; Baur, Ludwig, Stresemann e Zimmermann, na Alemanha; Teissier e l'Héritier, na França; e Buzzati-Traverso, na Itália. Dois volumes de autores múltiplos também têm contribuído para a síntese: *Die Evolution der Organismen* (1943), coordenado por Heberer, e *The New Systematics* (1940), coordenado por Julian Hexley.

Se olharmos para as dez ou doze pessoas que foram as mais ativas na síntese, percebemos que cada uma delas ocupava o seu próprio nicho especial. A menção dos nomes de Dobzhansky, Simpson, Mayr, Rensch, Huxley e Stebbins ilustra isso perfeitamente. Todavia, todos eles tinham algo em comum: haviam reconhecido a falta de comunicação entre as várias escolas evolucionistas, e tentaram superar esse vácuo mediante a reconciliação da abordagem da frequência genética, de T. H. Morgan, R. A. Fisher e outros, com o pensamento de população dos naturalistas.

Tão espantosa como o seu súbito aparecimento foi a rapidez com que a síntese se espalhou por toda a biologia evolucionista. Num simpósio internacional, em Princeton, New Jersey, realizado em 2-4 de janeiro de 1947, onde participaram representantes das mais diversas áreas e escolas (menos os lamarckianos de linha dura), houve um consenso universal e unânime em relação às conclusões da síntese. Todos os participantes endossaram a gradualidade da evolução, a primordial importância da seleção natural e o aspecto populacional da origem da diversidade (Jepsen, Mayr, e Simpson, 1949). Mas nem todos os outros biólogos estavam inteiramente convertidos. Isto se evidencia pelos grandes esforços despendidos por Fisher, Haldane e Muller, ainda nos anos 1940 e 1950, em apresentar cada vez de novo as evidências em favor da universalidade da seleção natural, e pelo fato de algumas posições razoavelmente agnósticas em relação à evolução, por parte de alguns biólogos eminentes, como Max Hartmann.

Existe total consenso entre os partícipes da síntese evolucionista, bem como entre os historiadores, no sentido de que foi uma publicação particular que preconizou o início da síntese, e que efetivamente foi mais responsável por ela do que qualquer outra; trata-se do *Genetics and the Origin of Species* (1937), de Dobzhansky. Como L. C. Dunn bem expressou no período, o livro simbolizava "algo que só pode ser chamado de Movimento de Volta à Natureza". Todo o primeiro capítulo era dedicado à diversidade orgânica, e os outros cobriam a variação nas populações naturais, a seleção, os mecanismos de isolamento e as espécies como unidades naturais. Dobzhansky soube integrar, com sucesso, o profundo conhecimento dos naturalistas sobre os problemas evolutivos com os conhecimentos que, nos doze anos precedentes, ele próprio havia adquirido, como

um genicista experimental. Em verdade, ele foi realmente o primeiro a lançar uma ponte sólida entre o campo dos experimentalistas e o dos naturalistas.

A síntese evolucionista silenciou de uma vez por todas muitos velhos argumentos, abrindo assim o caminho para a discussão de problemas inteiramente novos. Tratou-se claramente do evento mais decisivo na história da biologia evolucionista, desde a publicação do *Origin of Species,* em 1859. Contudo, historiadores e filósofos da ciência ficaram intrigados sobre exatamente como a síntese se ajusta à teoria do avanço científico. Definitivamente, ela não era uma revolução, uma vez que se tratava apenas da maturação final da teoria da evolução darwiniana. Mas estaria ela a merecer o epíteto de "síntese"? Eu afirmo enfaticamente, sim.

Descrevi anteriormente o pensamento radicalmente diferente e as diferentes preocupações dos dois campos dos biólogos evolucionistas, o dos geneticistas experimentais e o dos naturalistas de população. Eles representavam realmente duas "tradições de pesquisa" diferentes, como disse Laudan (1977). Este observa que

> vezes há em que duas ou mais tradições de pesquisa, longe de se anularem mutuamente, podem ser fundidas, produzindo uma síntese que representa um progresso em relação a ambas as tradições de pesquisa anteriores (p. 103).

O que aconteceu na biologia evolucionista, de 1936 a 1947, foi precisamente uma tal síntese entre duas tradições de pesquisa, que anteriormente se mostravam incapazes de se comunicar entre si. Não houve vitória de um paradigma sobre o outro, como descrito na teoria das revoluções científicas de Kuhn, mas muito mais um "intercâmbio" dos componentes mais viáveis das duas tradições, antes concorrentes. Por esse motivo, seria incorreto afirmar que a síntese não foi mais do que a aceitação, pelos naturalistas, das mais recentes descobertas da genética. Isto significaria ignorar os numerosos conceitos que representam a contribuição dos naturalistas: o pensamento de população, a multidimensionalidade das espécies politípicas, o conceito biológico da espécie (onde a espécie se define como uma entidade reprodutiva e ecologicamente autônoma), o papel do comportamento e da mudança de função no aparecimento de novidades evolutivas, e toda a ênfase na evolução da diversidade. Todos esse conceitos são indispensáveis para uma compreensão plena da evolução, e, contudo, eles estavam virtualmente ausentes do arcabouço conceitual dos geneticistas experimentais.

A curto prazo, talvez tenha sido a refutação de grande número de concepções errôneas o que exerceu o maior impacto na biologia evolucionista. Entre elas se incluem a hereditariedade tênue, a teoria dos saltos, o essencialismo evolucionista e as teorias autogenéticas. A síntese confirmou, enfaticamente, a avassaladora importância da seleção natural, do gradualismo, da natureza dúplice da evolução (adaptação e diversificação), da estrutura populacional das espécies, do papel evolutivo das espécies e da hereditariedade sólida. Embora isso tenha acarretado uma drástica diminuição das opções possíveis para um evolucionista, deixou todavia ainda muitos problemas sem solução. Esses problemas incidem em duas categorias, indicados pelas seguintes questões: (1) Qual é o significado de um fenômeno dado (seleção, evolução gradual, espécie biológica, e assim por diante?), e (2) Como um dado princípio ou fenômeno evolucionário efetivamente opera num caso individual, e que novos problemas ele levanta (quando aplicado à seleção, ao isolamento, à produção da variação, aos processos estocásticos, e outros?).

13. DESENVOLVIMENTOS PÓS-SÍNTESE

Na história da biologia evolucionária, podem ser reconhecidos alguns períodos bem delimitados. A principal preocupação dos evolucionistas, no período de 1859 até mais ou menos 1859, era a prova da evolução e o estabelecimento das várias linhas da descendência comum. A pesquisa filogenética constituía a concentração número um dos evolucionistas. A partir de 1859, até o início da síntese evolucionista (1936), as controvérsias nesse campo dominavam a pesquisa e as publicações. As grandes questões do período eram: A evolução é gradual ou aos saltos? A hereditariedade é sólida ou tênue? A mudança genética é devida a pressões de mutação ou a pressões seletivas? O período de 1936 a 1960 foi dominado pela síntese evolucionista e pela elaboração dos mais finos detalhes dos novos pontos de vista. A abordagem populacional estendia-se a todas as pesquisas, e surgiu um novo interesse pela diversidade, particularmente em nível de populações e de espécies; os aspectos de adaptação da variação eram analisados como sendo devidos às forças da seleção, mas todas as interpretações genéticas eram dominadas pelo conceito da frequência dos genes.

Os desdobramentos ulteriores da biologia evolucionista aconteceram de maneira bastante difusa. Incluem um forte interesse nos componentes estocásticos da variação, e um reconhecimento da diversidade do material genético (na forma dos vários tipos de DNA). Foram estabelecidos amplos contatos com a ecologia e a biologia comportamental, e o estudo da evolução e do papel evolucionário das macromoléculas tomou-se um ramo cada vez mais importante da biologia evolucionária. Em decorrência de todos esses desenvolvimentos, o estudo da evolução passou a ser uma ciência altamente diversificada. Mas do que isso! A expansão do pensamento evolucionista para todos os ramos da biologia levou ao colapso das paredes que separavam a biologia evolucionária dos outros campos da biologia, a tal ponto que hoje é impossível dizer se tais áreas, como a ecologia evolucionária, a etologia evolucionária e a evolução molecular, devem ser integradas à biologia evolucionária, ou aos campos vizinhos em que elas se fundiam. Talvez o fato mais importante nisso tudo é que finalmente agora o biólogo podia formular com toda dignidade questões do "porquê", sem incorrer na suspeita de ser um teleologista.

A interpretação unificada do processo evolucionário teve um impacto altamente benéfico sobre a reputação da biologia evolucionária, em todo o território da biologia. Eliminando todas aquelas interpretações que significavam implicitamente um conflito com as explicações físico-químicas (a saber, aquelas interpretações e teorias de cunho vitalístico ou teleológico), a biologia evolucionária tomou-se muito mais respeitável do que tinha sido no período precedente, quando os experimentalistas a taxavam de "especulativa". A nova visão que emergiu do esclarecimento da estrutura do DNA, em 1953 – isto é, que a matéria viva consiste em dois componentes fundamentalmente diversos, um histórico (o programa genético), e um funcional (as proteínas codificadas)-, requereu de imediato que se estendesse a análise causai de todos os fenômenos biológicos aos componentes históricos. Tal fato levou ao reconhecimento de que não é apenas legítimo mas também essencial, em qualquer análise biológica razoavelmente completa, que seja incluído um estudo da história evolutiva de todos os componentes dos organismos vivos. Todos os

ramos da biologia foram afetados por essa extensão do pensamento evolucionista.

A biologia evolucionária representa por certo um exemplo esplêndido de transferência de interesses e de programas de pesquisa, no interior de um campo da ciência. Todavia, minha descrição simplificada não deixa transparecer que dificilmente uma linha de aproximação é conduzida exaustivamente até o fim, mesmo quando se lhe acrescentam perspectivas novas e promissoras, e nem menciono que as raízes de qualquer abordagem nova normalmente remontam a diversas décadas anteriores à data em que se tomou produtiva. Toda técnica nova e toda passagem de um pesquisador de um campo de competência a outro equivalem ao início de abordagens novas. Obviamente, é impossível representar de modo adequado toda a complexidade dos avanços na biologia evolucionária, como, de resto, em qualquer campo da ciência.

Em 1946, foi fundada nos Estados Unidos uma sociedade especialmente dedicada ao estudo da evolução; e em 1947, Emst Mayr lançou a revista *Evolution,* no periódico consagrado à pesquisa da biologia evolucionária. *The American Naturalist,* que nos anos 1930 se havia convertido amplamente numa publicação de biologia experimental, voltou, após a síntese, à sua especialização em biologia evolutiva. Outros periódicos dedicados à evolução foram criados nos Estados Unidos e em outros países. O número de novos manuais de biologia conheceu um crescimento constante, o mesmo acontecendo com os cursos de biologia evolucionária nas faculdades e universidades. A literatura cresceu a tal ponto, que hoje são necessárias frequentes revisões e atualizações.

Essa prodigiosa atividade coloca um sério problema para o historiador. Ficou hoje impossível analisar de modo suficientemente adequado os avanços recentes, onde quer que seja. O melhor que posso fazer é esboçar, nas suas grandes linhas, algumas pesquisas recentes, e mencionar pelo menos algumas das questões sem resposta que se apresentam como particularmente intrigantes para a atual geração de evolucionistas. Para uma listagem da literatura mais importante, faço referência aos periódicos contemporâneos e a alguns manuais recentes.[1] Proponho-me começar por mencionar os problemas evolutivos que, nos anos recentes, ocuparam a atenção principal da genética de populações e da biologia molecular.

A genética de populações

Desde os anos 1930, o objetivo mais importante da genética de populações era testar as conclusões da genética matemática de populações, tanto no campo como nas populações experimentais de laboratório. Esse trabalho pautava-se pela definição da evolução como "a mudança das frequências dos genes nas populações". Nessa tradição de pesquisa aflorava a importante série de publicações de Dobzhansky e seus colaboradores, denominada *The Genetics of Natural Populations* (1938-1976), que se ocupava em larga medida das *Drosophila pseudo-obscura* e de suas espécies co-irmãs (Lewontin *et alii,* 1981). O que Dobzhansky procurava determinar eram os valores numéricos da pressão seletiva, do fluxo genético, do efetivo tamanho das populações, da frequência de elementos letais e outros recessivos, e dos demais fatores de significado evolutivo potencial.[2] De particular vantagem, nessa pesquisa, foi o fato de que essa espécie, como a maioria das outras de *Drosophila,* é rica de inversões cromossômicas paracêntricas (reconhecíveis nos padrões de aglutinação dos cromossomos salivares gigantes), ocupando cada uma delas um âmbito geográfico bastante diferenciado. Dobzhansky descobriu que a relativa frequência de uma dada

inversão pode variar não apenas geograficamente, mas também sazonalmente, e, em alguns casos, ao longo de diversos anos. As numerosas regularidades estavam a indicar que a frequência era controlada por seleção, e isso foi confirmado experimentalmente. Mayr (1945) tentou interpretar os arranjos genéticos como sendo ecotipos adaptados, de forma a que os portadores de diferentes inversões pudessem utilizar nichos locais diversos. Isso foi depois confirmado por Coluzzi e outros (1977), em relação a arranjos genéticos nos mosquitos *(Anopheles)*. O mais notável é que os portadores de arranjos genéticos diferentes não apenas possuem uma capacidade diferente de adaptação nos diversos nichos, mas também a aptidão comportamental de escolher o nicho certo.

O avanço tecnológico mais importante no estudo das populações de *Drosophila* foi efetuado por Teissier e l'Héritier, que inventaram as "gaiolas de populações", em que populações de *Drosophila* de vários tamanhos e de várias heterogeneidades genéticas podiam ser prolongadas por muitas gerações, sem a introdução de novos genes; mantendo essas gaiolas sob diferentes condições de temperatura e suprimento de comida, podiam-se testar genes diferentes, bem como combinações genéticas diferentes, quanto à relativa adaptabilidade, e calcular, ao mesmo tempo, as pressões seletivas. Dobzhansky e outros pesquisadores incorporaram de imediato essa técnica aos seus métodos, sendo hoje utilizada em muitos laboratórios de genética, com toda sorte de modificações. Ela se revelou um excelente método de estudo experimental da seleção natural nas populações.

A biologia molecular

Muitas descobertas da bioquímica, desde que se instalou esse ramo na biologia, foram de grande importância para a biologia evolucionária, embora isso não tenha sido reconhecido de imediato. Podemos mencionar aqui a descoberta da nucleína, por Miescher, em 1869, o trabalho de Nuttall sobre imunologia, o de Garrod sobre os erros inatos no metabolismo, o de Landsteiner sobre os grupos sanguíneos, e mais tarde a obra de Beadle e Tatum. Entretanto, o surgimento, à guisa de fênix da biologia molecular, só aconteceu depois da descoberta da estrutura do DNA, em 1953. No princípio, o fato teve reduzido impacto sobre os conceitos evolucionistas anteriormente estabelecidos. O acontecimento da maior e imediata importância foi a descoberta que a tradução dos ácidos nucléicos em peptídios e proteínas é uma via de mão única (o "dogma central"). A descoberta proporcionou a prova última e conclusiva da impossibilidade de uma herança dos caracteres adquiridos.

Até em tempos recentes, a extraordinária precisão e confiabilidade da réplica do plasma germinal, em cada divisão nuclear, não constituía um problema conceitual. Os especialistas consideravam isso ponto pacífico, e os adeptos da hereditariedade tênue, algo irrelevante. Os biofísicos, porém, ficaram muito intrigados com o desempenho praticamente sem erros do complicado processo da reprodução. Evidentemente, registrava-se algum erro casual, que para os geneticistas era o fenômeno da mutação. Para o evolucionista, a margem de erro não era particularmente perturbadora, porque ele conhece o imenso número de gametas e zigotos que, de uma ou de outra maneira, se perdem, antes ou durante o desenvolvimento. O fato inesperado consistiu na descoberta de mecanismos de reparação, que permitem o subsequente "reparo" dos erros da reprodução. A existência desses mecanismos coloca problemas relativos à definição das "taxas de mutação", mas ajudam a explicar a reduzida frequência dos erros de réplica.

A descoberta de que o código genético, no seu todo, é idêntico em todos os organismos, inclusive nos procariotos, significou um importante acréscimo da evidência de que toda a vida sobre a terra, tal como existe hoje, pode ser seguida retrogressivamente até uma origem única. Tanto isso como algumas outras descobertas da biologia molecular contribuíram para a simplificação e a unificação da biologia; houve, contudo, outras descobertas, que podem exigir algumas modificações da teoria genética, ou pelo menos da nossa compreensão dos processos genéticos.

A maior parte das análises da primitiva biologia molecular era feita sobre vírus e bactérias, e, de acordo com princípio filosófico de Occam, admitia-se que as descobertas relativas aos procariotos podiam ser aplicadas aos eucariotos, sem modificação. Estudos recentes, todavia, indicam que tal suposição não é necessariamente válida. Em particular, sabe-se hoje com certeza que o cromossomo do eucarioto possui uma estrutura muito complexa, radicalmente diversa da sequência simples da dupla-hélice do DNA dos procariotos. Em vez disso, o DNA está intimamente associado a várias proteínas, particularmente histonas, com as quais ele forma agregados moleculares (nucleossomos) de vários tamanhos, que parecem ter uma função diferente. No momento, essas pesquisas são principalmente do interesse da genética fisiológica, mas existem poucas dúvidas de que eventualmente o conhecimento da organização do DNA, nos cromossomos do eucarioto, possa fornecer respostas a vários problemas evolutivos ainda não solucionados, tais como o controle das tendências evolutivas, a estabilidade do fenótipo em muitas linhas evolucionárias, as passagens rápidas para novos graus evolutivos durante as revoluções genéticas, e outros ainda. É perfeitamente possível que estejamos no limiar de descobertas muito importantes.

Quando Nirenberg e Matthaei, em 1961, conseguiram desvendar o código genético, acreditava-se amplamente que o último problema maior da biologia molecular acabava de ser solucionado. Na realidade, acumularam-se desde então muitas descobertas totalmente inesperadas. O significado maior das mesmas, até agora, se relaciona com os aspectos da fisiologia do gene; mas não há dúvida que esses aspectos também sejam de importância evolutiva, como certamente se evidenciará quando forem plenamente conhecidos os processos moleculares.

As estruturas que controlam os processos genéticos são de dimensões inframicroscópicas, e os biólogos moleculares têm sido extraordinariamente engenhosos no desenvolvimento de novas técnicas que permitem inferências nos processos e estruturas moleculares, bem como na sua variação. Nesse ponto, de fato, mais se está aprendendo sobre a evolução molecular, pela aplicação de novas técnicas do que pelo desenvolvimento de novos conceitos. Uma das mais importantes dessas técnicas, empregada pela primeira vez por Ciem Markert, consiste na eletroforese amido-coloidal. [3] As proteínas solúveis, em um campo coloidal eletrificado, migram a distâncias diferentes, dependendo do seu tamanho e das suas propriedades elétricas, e dessa forma podem ser separadas umas das outras. Cada proteína pode tomar-se visível, no ambiente coloidal, mediante uma técnica diversificada de coloração. Por esse método, o genótipo de um indivíduo pode ser determinado diretamente, sem recurso a análises por cruzamento. De fato, vinte, trinta, e até mais de setenta *loci* de genes podem ser analisados simultaneamente, distinguindo-se os seus alelos. O método possibilita aquilo que nenhum método anterior permitia, a saber, a determinação do nível da heterozigoticidade dos indivíduos e das populações. Ele também permite a comparação das diferentes populações geográficas de uma espécie, e de espécies aparentadas, para se determinar qual a fração do espectro dos alelos é a mesma e qual é diferente. A maior falha do método é que ele revela apenas a variação dos genes "estruturais" (enzimas). Uma segunda insuficiência consiste em que ele não consegue

separar os alelos que possuem igual carga elétrica, subestimando dessa forma o seu número. Utilizando-se métodos adicionais (degradação térmica, alterações de pH), muitas vezes se descobrem outros alelos. Tendo em conta que só umas poucas enzimas foram analisadas completamente, permanecem dúvidas quanto à porção da variabilidade genética que passa despercebida nesse método convencional de eletroforese.

A elegância da técnica e a facilidade com que pode ser aplicada mesmo por alguém que não seja biólogo conduziram a uma verdadeira explosão de estudos sobre a variação das enzimas, desde o momento em que Hubby e Lewontin (nas *Drosophila*) e Harris (no homem) utilizaram pela primeira vez essa técnica, em 1966, para calcular a heterozigoticida – de em indivíduos e em populações. O número das descobertas possibilitadas por essa técnica é grande: novas espécies gêmeas, a quantificação dos graus de diferença entre espécies de parentesco próximo e de outras mais distantes, a correlação (ou não) da mudança de euzimas com as ocorrências da especiação, a correlação (ou não) da variação geográfica das enzimas com os fatores climáticos e outros do meio ambiente, e muitas outras mais.

Uma das conclusões extraídas desses estudos, mais ou menos confirmada pelo comportamento de outras macromoléculas, é que existem regularidades na proporção das mudanças moleculares ao longo do tempo geológico, isto é, a proporção em que os resíduos de aminoácido são substituídos ao longo da evolução. Por isso é que certos autores (primeiro Pauling e Zuckerkandl, depois particularmente Sarich e Wilson) postularam a possibilidade de se utilizar essa regularidade para construir um "relógio molecular", inferindo dessa forma a data do ponto de ramificação entre duas linhagens evolutivas, a partir do grau de diferença entre moléculas homólogas (Wilson *etalii,* 1977).

Presentemente, constatam-se discrepâncias consideráveis entre as cronologias do ponto de ramificação, calculadas pelo relógio molecular, e as estimadas pelos paleontólogos, com base nos registros fósseis (reconhecidamente escassos). E há outra evidência pela qual o conceito do relógio molecular deve ser aplicado com cautela. Por exemplo, a mesma molécula, num mesmo intervalo de tempo geológico, pode mudar mais rapidamente em algumas linhagens filéticas do que em outras. Também, parece que, em certas linhas filéticas, o índice da mudança pode ocasionalmente ser retardado de modo drástico. A distância molecular entre o homem e o chimpanzé, por exemplo, é menor do que entre certas espécies de *Drosophila.*

Outra dificuldade é que o conceito do relógio molecular implica uma regularidade construtiva, poder-se-ia dizer quase uma autonomia, das mudanças. O relógio tem sido descrito, por vezes, em termos tais como "a ocorrência de uma mutação a cada dois milhões de anos". É claro que tal formulação é totalmente falaciosa; as mutações, no mesmo *locus* genético, ocorrem com muita frequência, mas elas são em seguida eliminadas, por erros de amostragem ou por seleção natural, até que o meio molecular se tenha alterado o bastante para favorecer uma mudança na estrutura tridimensional da molécula. Em outras palavras, os relógios moleculares são governados pela seleção, não por taxas de mutação. Isso foi demonstrado em relação a muitas macromoléculas, e de modo absolutamente convincente em relação à hemoglobina. Aqui, a substituição de um único aminoácido, entre mais de trezentos, pode ser altamente deletéria. Assim, a anemia falciforme é causada pela substituição de um único resíduo de ácido glutâmico pela valina, na cadeia beta da hemoglobina. No homem, conhecem-se hoje mais de duzentas mutações diferentes da hemoglobina (identificadas como tipos sanguíneos "privados"), e, embora em muitos casos elas não sejam a causa de uma grave doença do sangue, sequer uma delas conseguiu estabelecer-se como fixa ou

polimórfica, na ancestralidade hominídea. Que tais mutações vêm sendo removidas pela seleção natural é indicado pelo fato de que o nosso parente distante, o chimpanzé, possui uma hemoglobina quase idêntica à nossa, a despeito da taxa de mutação comprovadamente alta da mesma.

A explicação do fenômeno do relógio molecular consiste, conforme se presume, em que toda macromolécula interage, na célula, com umas 10 até 25 outras macromoléculas. De qualquer maneira, quando algumas dessas outras moléculas evoluem, em resposta a forças seletivas específicas, essas mudanças cedo ou tarde produzem uma pressão de seleção sobre a molécula original, para substituir um resíduo de aminoácido, a fim de realizar a melhor adequação possível ao seu meio genético, e restabelecer uma situação estável.

Tipos de DNA

Tendo em vista que todos os genes consistem em DNA, admitiu-se, depois de 1953, que todos os genes eram basicamente idênticos na sua função e nas suas características evolutivas. As pesquisas das duas últimas décadas revelaram, porém, que não é bem assim. Existem muitas categorias de genes, como genes de enzimas, genes para proteínas estruturais (não solúveis), genes reguladores e talvez muitos outros tipos ainda, de que por ora não fazemos a mínima idéia. Um organismo superior pode ter, nos seus núcleos, DNA suficiente para uns cinco milhões de genes, e, no entanto, a pesquisa genética encontra evidências apenas para uns dez mil, ou no máximo uns cinquenta mil genes tradicionais (enzimas). Estes (conjuntamente com outros tipos?) se enquadram nas assim chamadas sequências únicas; mas existem também diversas classes de "DNA repetitivo", bem como de DNA aparentemente "silencioso", cuja função é simplesmente enigmática. Grande parte do DNA, que não se conta entre o DNA das enzimas, tem evidentemente funções reguladoras. Estamos apenas nos primeiros passos do estudo das diferenças do comportamento evolutivo dos vários tipos de genes (Davidson e Britten, 1973; 1979).

Desde os anos 1960, e particularmente a partir de 1975, as descobertas na genética molecular sucederam-se umas às outras num ritmo tão estonteante, que é praticamente impossível para um não-especialista manter-se em dia com elas. Além disso, algumas dessas descobertas foram tão inesperadas, que a sua interpretação ainda é totalmente controvertida. Tais descobertas relacionam-se com a estrutura do genomo eucarioto. Descobriu-se, por exemplo, que alguns genes – genes conversíveis – podem mudar sua posição em relação ao cromossomo. Fato mais surpreendente ainda foi a descoberta de que muitos genes envolvem sequências ("introns") que não são transcritas no RNA mensageiro (mRNA), mas são eliminadas durante o processo de transcrição, e que as partes remanescentes dos genes ("exons") são depois "costuradas" entre si, no mRNA funcional. Duas perguntas se apresentam: Como pôde ter-se desenvolvido um sistema tão peculiar? Seriam os "introns" apenas um peso inerte, ou teriam uma função que ainda se desconhece? A resposta teleológica, no sentido de que o DNA aparentemente sem função fica de reserva, "para servir em tempo de necessidade futura", é totalmente insatisfatória. Uma interpretação bastante aceita no momento (Orgel e Crick, 1980) é de que esse DNA extra seria, por assim dizer, parasitário, e que o organismo é incapaz de coibir a sua reprodução e acúmulo. Conquanto existam argumentos válidos em favor dessa hipótese, ela é intuitivamente incômoda para um darwinista. Com certeza a seleção natural, diria o darwinista, seria capaz de apresentar um mecanismo de defesa contra esse tipo caro de parasitismo. Considerando o pouco que se conhece sobre o funcionamento da regulação do gene,

seria prematura a afirmação de que os "introns" são geneticamente inertes. Por tudo o que sabemos, poderia ser muito importante manter separados certos segmentos ("exons") do gene, antes da tradução. De fato, existem hoje evidências que os "introns" auxiliam a regular a costura dos genes.

Igualmente inquietador é o fato de que espécies ou gêneros de parentesco muito próximo podem diferir drasticamente entre si, no seu DNA repetitivo, bem como em outros componentes do genomo, sem alteração morfológica muito visível, e às vezes mesmo sem a perda da capacidade de hibridação. A forma como isso possa afetar o potencial evolutivo é algo ainda totalmente desconhecido. Já desde a obra pioneira de Mirsky e Ris (1951), sabia-se que grupos diferentes de organismos possuem montantes de DNA diversos em suas células (núcleos). Os montantes menores encontram-se nos procariotos e nos fungos, enquanto os maiores se acham nos urodelos, nos peixes de pulmão, e em alguns grupos de plantas. Algumas regularidades são conhecidas (quase todas com exceções), como a de que as plantas anuais normalmente têm menos DNA do que as suas correlatas perenes ou árvores. As espécies com taxas de crescimento mais lento (períodos de desenvolvimento mais longos) tendem a possuir mais DNA do que as suas espécies aparentadas. As enormes diferenças na quantidade do DNA, em diferentes *taxa*, parecem dar suporte à idéia de que grande parte do excesso de DNA não pode ter grande significação seletiva. De qualquer maneira, seria prematuro avançar outras especulações evolucionistas, pelo menos enquanto o nosso conhecimento da regulação dos genes nos eucariotos permanecer tão rudimentar quanto é hoje.

Desde Lamarck, os evolucionistas estavam familiarizados com o princípio da "evolução mosaica", segundo a qual os diversos componentes do fenótipo podem evoluir a taxas altamente desiguais. Está se descobrindo hoje que tais desigualdades na taxa de evolução também se aplicam à evolução molecular. Wilson e seus colaboradores (1974), por exemplo, são de opinião que os genes das enzimas, nos mamíferos e nos anuros (como as rãs), evoluem a uma taxa quase igual, enquanto os genes reguladores, que controlam a evolução morfológica, mudam a uma taxa muito mais elevada nos mamíferos do que nas rãs. Entre as borboletas mimetistas sul-americanas, os genes controladores dos padrões da cor revelam uma forte variação geográfica e virtualmente nenhuma variação individual, enquanto os genes das enzimas dessas espécies mostram uma variação individual muito alta, e virtualmente nenhuma variação geográfica (Tumer, Johnson e Eames, 1979). Foi descoberta também, por pesquisadores recentes, uma acentuada diferença de variabilidade entre genes de enzimas e genes de proteínas. Finalmente, os genes controladores da especiação parecem variar independentemente dos genes das enzimas. Aqui estamos diante de uma nova fronteira da bioquímica evolucionista, que, segundo presumo, irá produzir grandes surpresas em futuro próximo. Uma coisa já é certa: grupos diferentes de genes respondem a diferentes pressões seletivas, e seguem os seus próprios caminhos evolucionários. Os resultados do estudo de um grupo de genes, digamos os genes das enzimas, não podem ser generalizados, para aplicação a outras categorias. Isso se afigura igualmente válido quanto à resposta à pressão seletiva, à variabilidade (heterozigoticidade), e aos relógios moleculares. As mudanças cromossômicas também possuem taxas evolutivas muito diferentes, conforme os organismos. Os cariótipos parecem ser muito estáveis em alguns grupos, e alteram-se rapidamente em outros, como por exemplo em certos grupos de mamíferos.

Cada grupo de genes pode desempenhar um papel diferente na evolução. As diferenças do gene da enzima concretizam-se aparentemente numa proporção bastante regular, constituindo assim marcos ideais para os relógios moleculares. As ocorrências da especiação parecem ser largamente independentes dos genes das enzimas. A razão por que existem diferentes tipos de genes é que eles

têm funções diferentes; mas, de qualquer maneira, o nosso entendimento dessas funções é ainda muito elementar.

O conceito de Chetverikov do meio genético está começando a adquirir um novo sentido. O estudo da ação dos genes, hoje se reconhece isso, deve ser suplementado pelo estudo da interação dos genes. O *Genetic Homeostasis* (1954), de Lemer, constituiu uma análise pioneira do funcionamento dos genótipos, apresentando muitas provas da importância da interação entre os genes. A pesquisa de Dobzhansky sobre "os letais sintéticos" veio reforçar esse pensamento. Ele mostrou que certos genes, ou cromossomos, podiam revelar uma superior adequação em algumas combinações, e serem letais na combinação com outros cromossomos. Isso decretou o fim da crença nos valores de adequação constantes dos genes, muito embora tais descobertas, na ausência de uma análise das causas dessas relatividade, signifiquem apenas um ponto de partida em uma nova área de pesquisa (veja Mayr, 1936, Capítulo 10; veja também Mayr, 1974; Carson, 1977).

O estudo da evolução molecular revelou o fato surpreendente de que a maioria das macromoléculas dos organismos superiores remonta diretamente aos procariotos. Contudo, um procarioto pode apenas ter uma fração (1/10.000) do montante do ácido nucléico de um organismo superior. De onde viriam todos os outros genes?

Os primeiros geneticistas que especularam sobre esse assunto eram, ao que parece, membros do grupo de Morgan (Metz, 1916; Bridges, 1918). As pesquisas sofisticadas de Sturtevant, Bridges e Muller revelaram que aparecem novos genes quando porções novas de cromossomo são inseridas em um cromossomo existente. Isso acontece ou por um intercruzamento desigual *(Crossing over),* ou por uma mutação cromossômica importante, particularmente uma translocação. A análise dos cromossomos salivares nas *Drosophila* forneceu a auspiciosa ocasião de confirmar a ocorrência de duplicações, inferidas unicamente à base da evidência genética. Em outros casos, cromossomos inteiros podem ser acrescentados ao genoma (devido à não-disjunção), ou o conjunto dos cromossomos, como um todo, pode ser duplicado (pelo processo de poliploidicidade). A obra dos pioneiros na duplicação dos genes expandiu-se grandemente nos últimos anos (por exemplo, Ohno, 1970). A vantagem evolucionária de duplicações em escala pequena consiste em que elas interferem muito menos no funcionamento normal do genoma do que ocorre por vezes nas translocações maiores, ou no acréscimo de cromossomos inteiros (como na síndrome de Down), ou de conjuntos de cromossomos. As duplicações pequenas são, por isso, mais facilmente incorporadas ao patrimônio genético. Os genes duplicados podem assumir funções novas e, por mutação divergente, tomarem-se cada vez mais diferentes dos seus genes irmãos. Tem sido levantada a questão sobre se tal duplicação poderia levar à produção de proteínas inteiramente novas; todavia, o número de macromoléculas, de que se conhece a história evolutiva, é excessivamente pequeno para permitir tirar conclusões apressadas. Em todo caso, é perfeitamente possível, senão provável, que as classes mais importantes de macromoléculas tenham sido inventadas já nos primórdios da história da vida.

A origem da vida

Quando Darwin, em 1859, propôs a teoria da descendência comum, ele imaginava que no princípio devia existir uma "vida primeira", e isso foi por ele expresso numa sentença um tanto bíblica, da vida "que foi originalmente assoprada em algumas poucas formas, ou em uma só" (*Origin*: 490). Tratava-se de formulação muito corajosa, porquanto, à época, as diferenças entre os

numerosos tipos de organismos afiguravam-se grandes demais para caberem numa origem única. Mesmo depois que os estudiosos da filogenia conseguiram seguir retrogressivamente animais e plantas até a forma de simples algas ou ancestrais flagelados, ainda assim a origem comum dos procariotos (bactérias e correlatos) e dos eucariotos (organismos superiores) afigurava-se totalmente improvável. E no entanto, isso é hoje perfeitamente estabelecido, em virtude das pesquisas da biologia molecular. A semelhança química de todas as formas da vida, notadamente a identidade do código genético (inclusive nos procariotos), já não deixa qualquer dúvida de que a vida, tal como a conhecemos hoje sobre a terra, se originou uma vez só. E existem presentemente teorias sólidas em relação à origem dos eucariotos (Margulis, 1981). Inquestionavelmente, todos os organismos que hoje vivem sobre a terra descenderam de um único tronco ancestral. Se houve diversas outras origens independentes de vida, todas elas sucumbiram na competição com a estirpe que hoje domina o mundo.

Uma origem da vida a partir da matéria inanimada seria geração espontânea. Ocorre que, precisamente no tempo em que a teoria da descendência comum era proposta por Darwin, o conceito da geração espontânea sofria um ataque particularmente pesado, devido à refutação experimental dessa possibilidade, por obra de Pasteur e outros (Farley, 1974). Tal fato colocou um real dilema para os evolucionistas, e Darwin afirmou com resignação (1863): "É pura tolice pensar hoje sobre a origem da vida; poder-se-ia da mesma forma pensar a origem da matéria". Mas depois, evidentemente, sendo o inveterado especulador que era, não deixou de fazer algumas elucubrações, em 1871:

> Muitas vezes se tem dito que todas as condições para a produção primeira de um organismo vivo estão hoje presentes, como sempre podiam ter estado presentes. Mas se (e oh! que grande se!) pudéssemos conceber a presença, em um pequeno tanque morno, de todo tipo de fosfatos e amônia, luz, calor, eletricidade, etc., e que aí se formasse um composto de proteína, passando rapidamente por mudanças ainda mais complexas, tal substância seria hoje instantaneamente devorada e absorvida, o que não teria acontecido antes de se terem formado as criaturas vivas (L. L. D., III: 18). [4]

A razão por que o problema da origem da vida, por diversas gerações depois de 1859, era um problema difícil de tratar residia em que toda a questão devia ser reformulada. Pensava-se, de maneira tipológica, em uma espécie viva que surgisse repentinamente da matéria inanimada, e imaginava-se a terra como se as suas condições atmosféricas, e outras de natureza ambiental, se tivessem mantido constantes ao longo de todas as idades geológicas. Tais idéias deviam ser completamente revistas. O botânico Schleiden (1863), ao que parece, foi o primeiro a sugerir que uma origem da vida, de "uma primeira célula", pode ter sido possível sob as condições atmosféricas inteiramente diferentes da terra jovem. Isso é hoje plenamente aceito. Acredita-se hoje que a terra jovem tenha tido uma atmosfera redutora, consistindo principalmente em vapor de água, metano e amônia. O oxigênio livre, que oxidaria, e assim destruiria qualquer precursor possível da vida, estava virtualmente ausente ao tempo em que a vida se originou sobre a terra (cerca de 3,5 - 3,8 bilhões de anos atrás). O oxigênio que, a partir de cerca de 1,9 bilhão de anos, começou a acumular-se sobre a terra era produzido pelos organismos de fotossíntese, que então se formavam.

A segunda revisão diz respeito à vida. Aqui o conceito essencialista da sua origem súbita teve

que ser substituído pelo conceito evolucionista do gradualismo. Hoje sabemos que a origem da vida foi tão gradual quanto a origem do homem. Exatamente como o *Homo sapiens* está ligado aos primatas inferiores por uma série de hominídeos intermediários, assim também a vida teve uma série de precursores. Tais estágios moleculares intermediários entre a matéria inanimada e os seres vivos bem organizados já não se encontram na natureza. Eles não teriam condições de sobreviver em uma atmosfera oxidante, e expostos à enorme variedade de microorganismos que subsistem nas moléculas orgânicas. Em uma atmosfera redutora, a radiação ultravioleta e os relâmpagos podem certamente produzir compostos orgânicos, como purinas, pirimidinas e aminoácidos, que servem como substâncias básicas da vida. Isso foi demonstrado experimentalmente por Miller (1953), seguindo uma sugestão de Urey. Haldane (1929) e Oparin (1924) já antes haviam sugerido cenários, visando explicar como o hiato entre a matéria inanimada e a vida podia ser transposto. Fox (1977) trouxe contribuições muito imaginativas para a solução desse problema. Mas, curiosamente, as descobertas da biologia molecular mais complicaram a tarefa da explicação do que a simplificaram. As cadeias de polipeptídios (proteínas), mesmo nos organismos mais simples, são reunidas a partir de aminoácidos, sob a direção de um programa genético de ácido nucléico. De fato, existe hoje uma "simbiose" tão completa entre os ácidos nucléicos e as proteínas que é difícil imaginar uns funcionando sem as outras. Como poderiam então as primeiras proteínas ter sido reunidas e replicadas sem os ácidos nucléicos, e como poderiam ter surgido os ácidos nucléicos, e serem mantidos na "sopa orgânica" primordial, se outro sentido não tinham do que controlar o agrupamento das proteínas? (para uma ulterior análise desse problema, veja o Capítulo 10).

O problema da origem da vida, isto é, a reconstituição dos passos das moléculas simples até o primeiro organismo a funcionar, é um problema que arma um desafio rigoroso para os estudiosos da evolução molecular. A plena consciência da quase impossibilidade de uma origem da vida traz de volta a questão do quanto é improvável um tal evento. É a razão pela qual tantos biólogos acreditam que a origem da vida foi um acontecimento único. As possibilidades de que esse fenômeno improvável possa ter ocorrido em épocas diversas são muitíssimo pequenas, independentemente de quantos milhões de planetas possam existir no universo.

O breve resumo que acabamos de dar sobre os avanços da biologia molecular indica a estreita conexão dessa área de pesquisa com a biologia evolucionária. O interesse vital do biólogo molecular pela evolução é ilustrado pela fundação de um periódico sobre evolução molecular, por uma série de simpósios recentes e por volumes de comentários e síntese (por exemplo, Ayala, 1976). Como diria um evolucionista, o estudo da evolução das moléculas tomou-se um ramo importante da biologia evolucionária.

Às vezes se afirma que, a par da teoria da evolução de Darwin, temos hoje uma "teoria molecular" da evolução. A validade de tal afirmação é duvidosa. Dois dos mais importantes fenômenos evolutivos que ocorrem no nível das moléculas – a hereditariedade sólida (como esposada desde Weismann, 1883, até a escola de Morgan) e a mutação (de Vries, 1901; Morgan, 1910a) – já eram aceitos, pelo menos em princípio, muitas décadas antes do aparecimento da genética molecular. No presente momento, ainda não está muito claro se algumas das descobertas recentes da genética molecular (DNA repetitivo, "costura" de genes, genes móveis) exigem ou não alguma revisão da teoria sintética da evolução. Mais provavelmente, as novas descobertas apenas ampliam o leque da variação genética, a serviço da seleção natural, ao mesmo tempo em que criam alguns obstáculos para a ação da mesma seleção.

Tenho usado a biologia molecular como uma ilustração do crescente e estreito relacionamento entre a biologia evolucionária e outros ramos da biologia. Igual interação ativa desenvolveu-se entre a biologia evolucionária e muitas outras disciplinas biológicas. Atualmente, os aspectos evolutivos parecem estar dominando o campo da ecologia. Eles também são de grande importância na biologia do comportamento. Isso transparece claramente dos recentes manuais de ecologia e comportamento animal.

Embora a síntese evolucionária não tenha resolvido todos os problemas da biologia evolutiva, pelo menos criou um *front* único. Um lançar de olhos sobre a literatura evolucionista atual revela a considerável divergência de interpretação que ainda existe em relação a certos problemas específicos da evolução. Todavia, os pontos de vista contrastantes não põem em dúvida qualquer uma das teses básicas da teoria sintética; eles apenas apresentam respostas diferentes para alguns dos procedimentos da evolução. Tentarei demonstrar a natureza dessas divergências, analisando algumas das questões abertas, nas três áreas maiores da biologia evolucionária: a teoria da seleção natural, o problema da especiação e os processos da evolução acima do nível das espécies (macroevolução).

Seleção natural

A forte resistência à seleção natural, que caracterizava o período pós-darwiniano e o mendelismo, foi quase totalmente quebrada pela síntese. A resistência havia sido tão poderosa porque todos os antidarwinistas possuíam algo em comum, a saber, tanto os neolamarckianos como os mutacionistas opunham-se à seleção de modo igualmente fervoroso. Os experimentos sobre a seleção natural mais amplamente conhecidos, na primeira terça parte do século, foram os de Johannsen. Possuindo uma formação profundamente marcada por seu treinamento em laboratórios de química, ele conduziu a sua tarefa de uma maneira evidentemente não-biológica. No intuito de lidar com material experimental conveniente, ele começou por tentar estabelecer classes homogêneas, "linhas puras". Mas tais amostras de indivíduos geneticamente idênticos, resultado de muitas gerações de cruzamentos consanguíneos, evidentemente não respondiam à seleção. Disso Johannsen concluiu (1915: 609, 613) que a seleção não pode produzir desvios do tipo médio de espécies que se autofertilizam,

> e mesmo os mais cuidadosos experimentos com fecundação cruzada de plantas e de animais só fizeram confirmar, da maneira mais convincente, a nossa interpretação de que a seleção não é capaz de realizar mais do que um mero isolamento, ou uma separação, de organismos constitutivamente diferentes, e que já existiam: a seleção de indivíduos diferentes não cria nada de novo; uma mudança do tipo biológico, no sentido da seleção natural, jamais foi comprovada!

E finalmente ele conclui que é

> totalmente evidente que a genética privou a teoria darwiniana da seleção de qualquer fundamento, e … o problema da evolução continua sendo uma questão inteiramente aberta (p. 659).

Essa conclusão foi amplamente aceita entre os experimentalistas, e o próprio T. H. Morgan chegou a afirmar (1932):

> Sabemos hoje que a proposição da teoria da seleção natural, no sentido de que, selecionando os indivíduos mais extremos de uma população, a geração seguinte será conduzida em frente na mesma direção, é falsa.

Ainda em 1936, dois eminentes zoólogos britânicos, C. G. Robson e O. W. Richards, chegaram à seguinte conclusão:

> Não acreditamos que a seleção natural possa ser menosprezada, como um fator possível na evolução. Não obstante isso, existem tão poucas evidências positivas em seu favor … que não temos o direito de atribuir-lhe a mais importante função causai na evolução.

Não admira, pois, que nesse clima intelectual dos anos 1920 e 1930 os darwinistas tivessem que despender tantos esforços para refutar os argumentos anti-selecionistas.

O ceticismo dos antidarwinistas não era inteiramente injustificado. Até quase meados do século XX, as provas diretas da ocorrência da seleção natural, tanto na natureza como em laboratório, eram muito escassas. A demonstração feita por Bumpus (1896) da mortalidade diferencial dos pardais, em consequência de uma tempestade de granizo, constituiu por muitas dezenas de anos a única evidência, e por isso constantemente citada pelos selecionistas. Para piorar as coisas, os próprios darwinistas estavam bastante divididos quanto à seleção, no período anterior à síntese. Como vimos, muitos deles, seguindo o exemplo de Darwin, aceitavam alguma hereditariedade tênue, como o uso e desuso. Wallace foi nitidamente o mais coerente dos selecionistas primitivos, e o primeiro a endossar a tese de Weismann de que não existe uma hereditariedade dos caracteres adquiridos, mas tão-somente um *Allmacht der Naturzüchtung*. Na realidade, Wallace atribuía estritamente à seleção natural a própria origem dos mecanismos de isolamento, em conflito com Darwin, que não conseguia encarar um processo simpátrico por essa forma. Os modernos estudiosos da especiação tendem a concordar com Darwin. Mas Weismann e Wallace constituíam uma minoria, na sua defesa incondicional da seleção natural. A maioria dos demais evolucionistas mantinha as suas reservas. (Para uma recapitulação das objeções levantadas contra a eficácia da seleção, veja o Capítulo 11; para uma análise mais detalhada, veja Kellogg, 1907; Mayr e Provine, 1980; também numerosas publicações da literatura antidarwiniana.)

Diversos fatores contribuíram para a mudança de clima das opiniões em relação à seleção natural. Os mais importantes provavelmente foram os seguintes:

1. A efetiva demonstração da eficácia da seleção em experimentos de laboratório, bem como no trabalho de numerosos criadores de plantas e animais. Os experimentos realizados na natureza, como os de Kettlewell sobre o melanismo industrial (Ford, 1964), foram particularmente convincentes. A introdução do método das gaiolas de populações por Teissier e L'Héritier, nos anos 1930 (veja anteriormente), uma técnica adotada sem demora por Dobzhansky e outros estudiosos das *Drosophila,* marcou o início de um ativo programa de experimentos sobre a seleção natural, sob diferentes condições de temperatura, umidade, suprimento de comida, ajuntamento e competição entre ramos genéticos diferentes.
2. A refutação da hereditariedade tênue pelos geneticistas, o que praticamente não deixou nenhuma alternativa a não ser explicar a evolução gradual pela seleção natural.
3. A refutação da assertiva de que a maior parte dos atributos dos organismos não possui valor seletivo. O próprio Haldane (1932: 113) havia admitido:

> Não há dúvida de que inumeráveis caracteres [de espécies de plantas e animais] não revelam sinal de serem providos de valor seletivo, e, além disso, são exatamente esses caracteres que possibilitam ao taxionomista distinguir uma espécie da outra.

Mas, finalmente, foi demonstrado por diversos pesquisadores, como Rensch e particularmente o grupo de Oxford de E. B. Ford, que muitos dos caracteres que antes eram designados "neutros" têm de fato um valor seletivo, quando examinados cuidadosamente.

4. Os cálculos de Norton, Haldane, Fisher e outros, mostrando que mesmo as vantagens seletivas mais ligeiras são importantes, quando se prolongam por muitas gerações.
5. A difusão do pensamento de população, particularmente a demonstração, pelos novos sistematizadores, de que as descontinuidades entre as espécies e *taxa* superiores podiam ser explicadas como tendo uma origem gradual, pela especiação geográfica e pela extinção, prescindindo, portanto, de saltos.

No seu *Genetics and the Origin of Species* (1937), Dobzhansky dedicou um capítulo inteiro, de 43 páginas, ao objeto da seleção natural. O que fez com que a sua exposição fosse particularmente eficaz foi o fato de haver tratado a seleção não como mera teoria, mas como um processo] que podia ser comprovado experimentalmente. Além disso, ele demonstrou que não há conflito entre a variação geográfica gradual e adaptativa (como refletido, por exemplo, nas regras climáticas de Rensch) e a seleção. Isso removeu qualquer necessidade de buscar refúgio nas explicações lamarckianas, como os naturalistas eram obrigados a fazer anteriormente, devido aos argumentos dos mutacionistas. Mayr (1963: 182-203) analisou em detalhe muitos dos problemas que o selecionismo havia levantado nas décadas precedentes. Destacamos cinco dentre esses problemas, para uma ulterior discussão.

Tipos de seleção natural

Há diversas maneiras pelas quais podem ser classificados os tipos de seleção natural. Uma delas se baseia na porção da curva da variação à qual se aplica a pressão seletiva. A *seleção*

estabilizadora diz respeito à seleção apontada contra os dois extremos da curva de variação; isso corresponde à "eliminação" dos essencialistas, vale dizer, todos os desvios do tipo "normal" são contra-selecionados. Diz-se que ocorre uma *seleção diretiva* quando uma das extremidades da curva é favorecida e a outra discriminada, pela seleção natural, resultando num avanço constante do valor médio da curva. A *seleção diversificadora (disruptiva)* favorece ambas as extremidades da curva, em prejuízo do meio, resultando em uma curva bimodal, fato que ocorre com as espécies mimetistas e de outras formas de polimorfismo.

A natureza probabilística da seleção natural

Os essencialistas têm tido grande dificuldade em entender que a seleção é um fenômeno estatístico, muito mais do que um fenômeno de "tudo ou nada". O filósofo Charles Sanders Peirce talvez tenha percebido isso mais claramente do que os seus contemporâneos, quando observou que, embora a seleção natural possa falhar em um caso individual, "a variação e a seleção natural … a longo prazo … acabarão por adaptar os animais às circunstâncias". Mayr (1963: 184), da mesma forma, enfatizava a natureza probabilística da seleção. Embora os filósofos ainda se refiram à expressão "sobrevivência dos mais aptos", os biólogos já abandonaram essa linguagem determinística.

O alvo da seleção

Por adotarem a formulação "a evolução é causada por mutação e seleção", alguns geneticistas contribuíram para uma generalizada concepção errônea. Tal formulação foi interpretada como significando que a modificação do gene seria o real objetivo da seleção. Ao contrário, os naturalistas, desde Darwin, bem como os geneticistas mais lúcidos sempre enfatizaram que não são os genes, mas sim os organismos como um todo – potencialmente indivíduos reprodutores – que são a unidade da seleção. Isso quer dizer que os efeitos da recombinação e da regulação do gene, bem como a capacidade de desenvolver fenótipos para responder ao meio ambiente, são tão importantes para a seleção quanto a mutação, ou melhor, quantitativamente de fato muito mais importantes, por diversas ordens de grandeza. Entretanto, surgiu uma dificuldade, quando Fisher (1930) e outros geneticistas matemáticos escolheram o gene como sendo a unidade da seleção, e atribuíram a cada gene um valor preciso de adaptação. O poder de adaptação foi redefinido como a contribuição que um gene determinado traz para o patrimônio genético da próxima geração (veja também Haldane, 1957). Isso, por sua vez, conduziu a uma definição muito discutível da evolução ("mudança da frequência dos genes nas populações"), suscitando críticas legítimas no sentido de que as alterações da frequência de genes individuais estavam longe de explicar muitos, de fato a maioria, dos fenômenos evolutivos. Algumas, senão a maior parte, das críticas que se fazem atualmente à teoria da seleção consistem em ataques ao conceito, não-darwiniano, que identifica os genes como as unidades da seleção.

Isso merece ser enfatizado, porque está a demonstrar o quanto é equivocado e perturbador o conceito de uma "seleção interna", que tem sido promovido por diversos autores recentes. É simplesmente impossível dividir a seleção em duas partes, uma produzida pelo ambiente exterior, outra causada pelos fatores internos da fisiologia e do desenvolvimento. Tal compartimentação é

impossível, porque o resultado da seleção é determinado pela interação entre o ambiente externo e os processos fisiológicos do organismo como um todo. Não existe uma seleção interna. Todos os processos de regulação e desenvolvimento contribuem para o aspecto de adaptabilidade de um indivíduo, seja ela favorável ou não, mas isso só pode ser avaliado quando o indivíduo é exposto ao ambiente exterior (entrando aí a competição com indivíduos da mesma espécie, ou de outra). Darwin já tinha plena consciência da importância desses fatores internos, como se evidencia da sua discussão sobre a correlação *(Origin:* 143-150). Quando um autor moderno ainda atribui aos darwinistas a fórmula obsoleta de "mutação e seleção", não há por que surpreender-se se ele considerar isso insuficiente como explicação para uma resposta evolutiva apropriada. Aquele que ainda utiliza uma tal formulação não tem como entender as verdadeiras causas da mudança evolutiva. Os evolucionistas de proa rejeitaram a mutação como o alvo da evolução, e isso há mais de quarenta anos.

O produto da seleção como um compromisso

Considerando que o alvo da seleção é o fenótipo como um todo, é impossível a melhoria simultânea de todos os seus componentes, em igual grau. A seleção não pode produzir a perfeição, porquanto, na competição pelo sucesso reprodutivo entre os membros de uma população, é suficiente ser superior, e de forma alguma necessário ser perfeito. Além disso, cada genótipo representa um compromisso entre várias pressões seletivas, algumas das quais podem opor-se entre si, como por exemplo a seleção sexual e a camuflagem, ou proteção contra o predador (Endler, 1978). Devido à coesão do genótipo, é por vezes impossível melhorar um componente do fenótipo sem prejudicar algum outro. Após cada passagem a uma nova zona de adaptação, alguns aspectos adaptativos em relação à zona anterior podem converter-se em labilidades. Os mamíferos aquáticos tiveram que reduzir e eliminar, tanto quanto possível, todas as adaptações específicas ao modo de vida terrestre. Os hominóides bípedes ainda estão agravados pelo seu passado quadrúpede.

Aquilo que os evolucionistas durante muito tempo chamavam os compromissos da evolução é designado pelos ecologistas modernos como o processo de otimização da evolução. Todo avanço evolutivo tem o seu preço (correr mais depressa, ter prole mais numerosa, utilizar uma nova fonte de alimento), e é a seleção que determina se a vantagem que se acrescenta vale a pena ou não. O resultado disso é que muitas vezes o fenótipo se apresenta como uma miscelânea de traços, uns especificamente selecionados para uma função particular (ou como resposta a uma particular pressão seletiva), outros sendo o subproduto do genótipo como um todo, simplesmente tolerados pela seleção. Desde o tempo de Darwin, os naturalistas perguntavam-se em qual das duas categorias deviam ser classificadas as diferenças entre as espécies. Por exemplo, seriam as diferenças das listras da zebra de Burchell e da zebra de Grevy o resultado de diferentes pressões seletivas, nas diversas partes da África onde essas espécies se originaram, ou, como é mais provável, teria havido simplesmente uma seleção de estrias, à qual os genótipos das duas espécies responderam de modo diferente? Enquanto certos geneticistas acreditavam em um poder independente de adaptação de cada gene, tendo cada qual um valor ótimo nesse sentido, podia-se admitir que todo aspecto do fenótipo fosse uma resposta apropriada *ad doc* da seleção. Mas o fato de que o alvo da seleção é o indivíduo como um todo, e além disso que muitos genes (senão todos) interagem entre si, estabelece limites severos para a resposta do fenótipo à seleção. Essa a razão por que o homem ainda tem um apêndice,

uma junção sacro-ilíaca vulnerável e seios paranasais pobremente constituídos. Gregory (1913; 1936) chamou a totalidade das adaptações *ad hoc* de hábito, e os remanescentes tolerados do passado de herança.

A conclusão de que nem todo detalhe do fenótipo foi moldado por uma seleção *ad hoc* vem reforçada pelo fenômeno que Bock (1959) havia designado *caminhos múltiplos*. Por exemplo, os invertebrados marinhos pelágicos possuem uma grande diversidade de mecanismos pelos quais se mantêm flutuando na água: bolhas de gás, gotículas de óleo, ou uma extensão da superfície do corpo. Em cada caso, a seleção natural, que sempre é oportunista, utilizou aquela parte da variação disponível que mais facilmente conduzisse à necessária adaptação.

A estratégia errônea, atomista-reducionista, de dissecar um organismo em tantas partes quanto possível, e demonstrando o valor seletivo de cada uma dessas peças, ocasionou algumas disputas em tomo do conceito de adaptação como um todo. Nesse sentido, algumas das objeções à seleção natural, movidas pelos adversários do selecionismo (por exemplo, Grassé, 1977a), eram perfeitamente válidas. A seleção é probabilística, os erros de amostragem em populações reduzidas revelam inevitavelmente efeitos estocásticos, e a integração do organismo como um todo sempre põe severos obstáculos à resposta nos traços individuais. Com certeza, os organismos, de modo geral, são bem adaptados ao seu ambiente, pois aqueles que pelo passado não o foram tiveram um êxito reprodutivo muito insuficiente para poderem sobreviver. Mas isso não significa que todo aspecto do fenótipo de um organismo seja o melhor, na sua construção e na sua eficácia funcional.

A seleção como força criativa

A seleção, para um essencialista, não passa de um fator negativo, uma força que elimina desvios deletérios da norma. Por isso, os adversários de Darwin insistiam, no espírito do essencialismo, que a seleção não podia criar nada de novo. Ao dizerem isso, revelavam que não entenderam nem o processo em dois tempos da seleção, nem a sua natureza populacional. O primeiro passo consiste na produção de uma quantidade ilimitada de variações novas, isto é, de novos genótipos e fenótipos, e isso particularmente pela recombinação genética, muito mais do que por mutação. O segundo passo é o teste a que os produtos do primeiro são submetidos pela seleção natural. Somente os indivíduos que passarem por essa prova poderão contribuir para o patrimônio genético da próxima geração. Chetverikov, Dobzhansky e outros afirmaram corretamente que esse vaivém entre a recombinação genética e a seleção de um número altamente limitado de progenitores, na geração seguinte, é sem dúvida um processo criativo. Ele proporciona, a cada geração, um novo ponto de partida e uma nova oportunidade de tirar vantagem, tanto do meio ambiente como de novas constelações genéticas.

Questões ainda não resolvidas da seleção natural

A interpretação dos cinco problemas da seleção que acabamos de expor é relativamente pacífica. O mesmo não se dá com alguns outros aspectos, que ainda alimentam persistentes desentendimentos entre os biólogos evolucionistas. Passamos agora a discutir alguns desses problemas.

Variabilidade e seleção natural

Nos últimos cinquenta anos, duas escolas divergiram entre si sobre o nível da variabilidade genética nas populações naturais. Para H. J. Muller, e a maioria dos geneticistas clássicos, cada alelo possuía um valor seletivo diferente, onde um deles, normalmente o "tipo selvagem", sendo o "melhor", se tomava o gene prevalente na população. Ele considerava que a função da seleção natural consistia em eliminar outros alelos, inferiores, cujo suprimento é continuamente reabastecido pela mutação. Conclui-se desse raciocínio que a maior parte dos indivíduos de uma população deve ser homozigota, na maioria dos *loci,* porque, caso contrário, o peso dos recessivos deletérios (o "carga genética") se tomaria demasiadamente grande. Muller, Crow e seus adeptos eram os mais vigorosos defensores desse ponto de vista tradicional.

A outra escola, encabeçada por Dobzhansky (também Mather, Lemer, Mayr, B. Wallace, e seus discípulos) considera o genótipo um sistema harmonioso e equilibrado de muitos genes, com heterozigotos muitas vezes superiores aos homozigotos de qualquer um dos alelos. Além disso, esta escola nega os valores absolutos de adaptação dos genes, de sorte que certos alelos podem ser os "melhores", dependendo, em cada caso, do seu meio genético e das pressões seletivas externas prevalecentes. O pensamento dessa escola do equilíbrio iniciou com o conceito de Chetverikov do meio genético, conceito esse que foi ampliado na teoria do genótipo como um sistema harmonioso (Dobzhansky, 1951; Mather, 1943).

A determinação da frequência dos recessivos latentes numa população, com o auxílio das técnicas clássicas da análise genética, não era exequível, porque um só *locus* de cada vez podia ser feito homozigoto. Por isso, era impossível firmar a argumentação entre a escola "clássica" e a "do equilíbrio". Finalmente, em 1966, a aplicação do método da eletroforese às enzimas possibilitou a Hubby e Lewontin estabelecer em relação às *Drosophila,* e simultaneamente a Harris em relação ao homem, um nível espantosamente elevado de polimorfismo alélico. Eles descobriram, e isso foi amplamente confirmado por pesquisadores recentes, que mesmo um único indivíduo pode ser heterozigoto em dez ou mais por cem dos seus *loci,* e uma espécie, por sua vez, em trinta e cinquenta por cem. Parecia, portanto, que a questão estava claramente decidida em favor da teoria do equilíbrio de Dobzhansky. Parecia também que estava reivindicada a fé de Darwin na existência de um suprimento virtualmente inexaurível de variação genética.

Todavia, como é o caso da maioria das linhas novas de pesquisa, o estudo da variabilidade das enzimas trouxe mais problemas novos do que respostas. Por que certas espécies têm um nível de variabilidade muito mais elevado que outras? Qual é a relação entre o nível de variabilidade e a ecologia de uma espécie? Que porção da variabilidade é mantida na população pela seleção, e qual outra é mantida pelo acaso (mutação de alelos virtualmente neutros)? Qual a relação que existe entre a variabilidade dos genes das enzimas e a variabilidade dos outros DNA do genótipo? No esforço de responder a essas perguntas, o estudo da variabilidade das enzimas, pelo método da eletroforese, tomou-se hoje um dos campos mais ativos da genética evolucionária (Lewontin, 1974; Ayala, 1976; Ayala *et alii,* 1974b).

O problema mais controvertido em relação a essa elevada variabilidade genética diz respeito à sua fonte. Poder-se-ia esperar que os erros de amostragem e a pressão seletiva contra os homozigotos inferiores pudessem reduzir drasticamente o nível da variabilidade alélica. Como podem quatro, seis ou até mais de dez alelos, em um único *locus,* ser mantidos simultaneamente em uma população?

Evolução casual

Quando se descobriu a enorme variabilidade genética das populações naturais, nos anos 1960, mais uma vez foi proposta a tese de uma neutralidade seletiva em relação a muitas dessas variações. Os defensores dessa teoria – King e Jukes (1969), e Crow e Kimura (1970)-, ao se referirem às mudanças genéticas devidas a processos estocásticos (mutações essencialmente nuetras), chamam a isso "evolução não-darwiniana", um termo que é perfeitamente equivocado, visto que o lamarckismo, a ortogênese e o mutacionismo são igualmente formas de evolução não-darwiniana. Outros, talvez com maior propriedade, chamaram o caso de "evolução casual". Desde então, instaurou-se uma controvérsia ativa a respeito de que proporção da variabilidade genética, que se observa nas populações naturais, é devida à seleção, e que outra é devida ao acaso. Curiosamente, parece que entram nessa controvérsia compromissos de ordem ideológica, pois os marxistas, de modo geral, atribuem papel maior à evolução casual do que os não-marxistas. Na minha opinião, a seleção é muito mais importante do que imaginam os promotores da evolução não-darwiniana, não obstante a existência efetiva de um componente casual em grande parte da variação que ocorre em alguns *loci* genéticos.

Algo que se tomou bastante provável é que a superioridade dos heterozigotos não seria a única responsável pela manutenção de tão elevados níveis de diversidade genética. Existem outros fatores que contribuem para essa diversidade (Mayr, 1963: 234-258). No caso de caramujos e insetos polimorfos, um fenótipo raro fica de alguma forma protegido contra os predadores, porque a "imagem de procura" do predador ficou condicionada ao fenótipo mais comum (seleção apostática) (Clarke, 1962). Foi demonstrado também (pela primeira vez por Petit e Ehrman, 1969) que as fêmeas de muitas espécies possuem uma preferência de acasalamento com machos detentores de genótipos raros; isso também ajuda a evitar a perda de genótipos raros nas populações. Descobriram-se também outros casos de valores seletivos variáveis, e parece provável que a seleção em função da frequência constitui um importante mecanismo na manutenção da variabilidade genética das populações.

Existem comprovações cada vez mais numerosas de que genótipos diferentes não apenas revelam uma superioridade, nas diversas subdivisões do nicho da espécie, mas também podem ter preferência por tais subnichos, bem como a capacidade de encontrá-los. Tal fato está em acordo com a descoberta de que a diversidade genética normalmente é maior nos *habitais* variados do que nos *habitats* mais simples (Nevo, 1978; Powel e Taylor, 1979). Outro mecanismo ainda, pelo qual se mantém a variabilidade genética, é a defesa contra os parasitas e elementos patogênicos, como Haldane há muito tempo acentuou (1949). A alta variabilidade genética em genes imunizantes (produtores de anticorpos, e assim por diante) protege as populações contra perdas devastadoras, porque os elementos patogênicos serão incapazes de competir com os raros genes imunes. Por fim, se as interações epigástricas são importantes, como acreditamos que o sejam, pode ser que os genes de reduzida frequência sejam mantidos, por serem de um alto valor seletivo em certas combinações. Considerando o grande número de mecanismos controlados por seleção, descobertos recentemente, todos eles permitindo ao patrimônio genético diplóide o armazenamento da variabilidade, forçoso é concluir que grande parte da variabilidade genética que se observa nas populações pode muito bem ser o resultado da seleção natural. [6]

O custo da seleção

Haldane (1957) e Kimura (1960) realizaram alguns cálculos, mostrando como é "cara" a substituição de um alelo, em uma população grande, por um outro seletivamente superior. Disso eles concluíram que a evolução devia avançar muito lentamente, isto é, afetando simultaneamente um número relativamente pequeno de *loci,* caso contrário a mortalidade drástica seria proibitivamente elevada. Essa conclusão estava em aparente conflito com as taxas bem estabelecidas da rapidez das mudanças evolutivas, por exemplo nos peixes de água doce, bem como no alto nível da heterozigoticidade na maioria das populações naturais. Obviamente, Haldane havia partido de alguns pressupostos irreais. Coube a Mayr (1963: 262), e mais tarde a outros autores (Lewontin, 1974), chamar a atenção para o tipo de idéias simplistas aceitas por ele. Por exemplo, numa espécie em que somente uma pequena fração de todo o contingente é reprodutora, devido à competição imposta pela densidade, existe de qualquer maneira uma tão grande mortalidade a cada geração, que a sobrecarga desse "excesso eliminável" de heterozigotos deletérios não representa grande fardo. Mais importante ainda é o fato de que os cálculos de Haldane se referem a populações grandes, enquanto as mudanças evolutivas rápidas acontecem, o mais das vezes, em populações pequenas (veja adiante). Haldane, efetivamente, pode estar certo, em relação a espécies grandes e populosas. Isso vem indicado pela inércia evolucionária dessas espécies, tal como revelado pelos registros fósseis; mas os seus cálculos não são válidos para populações de pequeno porte, particularmente para as populações fundadoras, onde, segundo parece, acontece por excelência a maioria dos eventos evolutivos cruciais.

A seleção natural como um fenômeno unitário

Por todo o tempo em que a seleção natural era severamente criticada, pouca atenção se dava ao fato de possíveis subdivisões da mesma. Agora que a sua validade está firmemente estabelecida, novas questões vieram à baila, por exemplo, se existe ou não um processo que poderia chamar-se seleção de grupo, se é legítimo ou não um processo que poderia chamar-se seleção de grupo, se é legítimo ou não diferenciar a seleção sexual da seleção natural, como o fez Darwin. Ambas as questões desencadearam longas controvérsias, e importa dizer duas palavras para explicar a natureza de seus argumentos.

Seleção de grupo

A tese de que o indivíduo é a unidade principal da seleção foi ameaçada por alguns evolucionistas, que postularam um processo de *seleção de grupo* (Wynne-Edwards, 1962). Os que defendem esse tipo de seleção afirmam que existem fenômenos que não têm como ser o resultado da seleção individual. Mencionam, em particular, as características de populações inteiras, como a proporção de sexo aberrante, as taxas de mutação, as distâncias da dispersão, e vários outros mecanismos que favorecem ou intracruzamento ou o cruzamento exógeno de populações naturais, bem como os graus do dimorfismo sexual. Tais diferenças entre as populações, assim dizem os adeptos da seleção de grupo, só podem se estabelecer quando toda uma população (deme) é favorecida em

relação a outros demes, e isso porque difere na sua constituição genética por algum fator. Se tal seleção de grupo efetivamente acontece, e em que medida, é ainda assunto vivamente discutido na literatura atual; mas existe um consenso geral no sentido de que a maioria de tais casos pode ser interpretada em termos de seleção individual, exceto talvez em relação aos animais sociais (Lack, 1968; Williams, 1966).

A controvérsia concernente à seleção de grupo chamou a atenção para o fato de que existem efetivamente algumas incertezas a respeito de vários aspectos da seleção. Os evolucionistas deram-se conta de que pelo passado foi juntado indiscriminadamente grande número de fenômenos bem diferentes, e que não conseguirão entender plenamente o funcionamento da seleção, a menos que distingam separadamente todos os componentes da área.

A seleção sexual

Já no século XVIII, alguns criadores de animais haviam sugerido que as fêmeas mostram uma preferência por machos mais vigorosos, e que isso explicaria o dimorfismos sexual. O processo pelo qual um indivíduo adquire vantagem reprodutiva, por ser mais atraente para os indivíduos do outro sexo, foi designado por Darwin como *seleção sexual*. Darwin distinguiu-a claramente da seleção natural *(sensu stricto*), que encerra uma superioridade na adequação geral (tolerância ambiental, utilização de recursos, rechaço dos predadores, resistência às doenças, e assim por diante). O interesse de Darwin pela seleção sexual já era evidente em suas primitivas notas manuscritas (em tomo do ano 1840), mas no *Origin* (1859; 87-90) dedicou menos que três páginas ao assunto. Todavia, no *Descent of Man* (1871), a discussão sobre a seleção sexual ocupa mais páginas que a evolução do homem. De qualquer maneira, nada demonstra melhor o intenso interesse de Darwin sobre o tema do que sua vasta correspondência com Wallace a respeito das causas do diformismo sexual (Kottler, 1980). A correspondência entre ambos inaugurou uma controvérsia em relação ao sentido da seleção sexual, que ainda não chegou ao fim. (Para um comentário da primeira fase da controvérsia, veja Kellogg, 1907: 106-128.) O esforço de Darwin no sentido de separar a seleção sexual da seleção natural encontrou fortes objeções. Em 1876, o próprio Wallace abandonou a seleção sexual, e o mesmo fez a maioria dos biólogos experimentais nos anos seguintes, uma vez que, a exemplo de T. H. Morgan, eles se interessavam unicamente pelas causas próximas (por exemplo, quais os hormônios ou quais os genes que são responsáveis pelo dimorfismo sexual). Os geneticistas de populações matemáticos rejeitavam completamente o reconhecimento da seleção sexual, por considerarem a evolução uma mudança na frequência dos genes, e por definirem a aptidão como sendo simplesmente a contribuição de um gene ao patrimônio genético da próxima geração. Tendo em vista que essa definição efetivamente se aplica tanto à seleção natural quanto à seleção sexual, qualquer distinção entre os dois tipos de seleção foi negligenciada.

Em anos recentes, o indivíduo foi reinstalado na sua posição de alvo principal da evolução, e isso induziu a reavivar o conceito darwiniano da seleção sexual (Campbell, 1972). Não resta dúvida que Darwin havia incluído nela aspectos do dimorfismo sexual, que se enquandrariam melhor na seleção natural, tais como certas características da agressividade dos machos. Mas permanecem todos aqueles aspectos relacionados com o adorno dos machos (e do seu canto), que Darwin explicava como apelos à "escolha da fêmea". Embora o princípio da escolha feminina tivesse sido defendido por numerosos naturalistas, nos últimos cem anos, ele foi rejeitado pela maioria dos

biólogos e por praticamente todos os não-biólogos, pela razão de que ele atribuía às fêmeas uma capacidade de discriminação "que verossimilmente elas não poderiam ter". Todavia, estudos recentes de etologistas e de outros naturalistas de campo provaram de modo conclusivo que as fêmeas, não apenas entre os vertebrados, mas também entre os insetos e outros invertebrados, são normalmente muito "ariscas", e de forma alguma aceitam copular com o primeiro macho que encontram. Efetivamente, a escolha do macho, que por fim é aceito para cópula, é um processo muitas vezes bastante demorado. A escolha feita pela fêmea nesses casos é fato estabelecido, mesmo que ainda não se conheçam os critérios pelos quais isso acontece.

Esse fato representa um forte contraste com os machos, que normalmente estão prontos para cruzar com qualquer fêmea, e muitas vezes nem fazem discriminação entre fêmeas da mesma espécie ou de outra. As razões dessa drástica diferença entre machos e fêmeas foram apontadas por Bateman (1948), e elaboradas mais profundamente por Trivers (1972), com base no princípio de investimento. Um macho possui esperma suficiente para inseminar numerosas fêmeas, e por isso o seu investimento em uma única cópula é muito reduzido. A fêmea, ao contrário, produz relativamente poucos óvulos, pelo menos naquelas espécies onde há escolha feminina, e pode investir além disso muito tempo e recursos na incubação dos ovos ou no desenvolvimento do embrião, e no cuidado do filhotes depois da eclosão. Ao cometer um erro na escolha do seu parceiro, ela poderá perder todo o seu potencial reprodutivo (produzindo, por exemplo, híbridos inferiores, ou estéreis). O princípio da escolha feminina explica também muitos outros fenômenos que anteriormente permaneciam enigmáticos, como, por exemplo, o porquê de o polimorfismo das espécies de borboletas com mimetismo batesiano limitar-se normalmente às fêmeas. Estas recusariam os machos que se afastam demasiadamente da imagem, específica da espécie, do parceiro sexual (mecanismo disjuntor).

Existe hoje uma justificada tendência de interpretar a seleção sexual como algo bem mais amplo, como toda característica morfológica ou comportamental que confere uma vantagem reprodutiva. [8] Mayr (1963: 199-201) chamou a atenção para aspectos potencialmente "egoístas" de alguns tipos de seleção natural, especialmente para aqueles que aumentam o sucesso reprodutivo dos indivíduos, sem nada acrescentar à adequação geral da espécie. Hamilton (1964), Trivers (1972) e Dawkins (1976) mostraram como esse tipo de seleção sexual é muito difundido, e quão profundamente ele afeta o comportamento animal e as tendências evolutivas. Wilson (1975) passou em revista grande parte da literatura correspondente. O egoísmo reprodutivo afigura-se como sendo um equivalente da luta pela existência, mais suave do que "uma natureza vermelha de sangue por garras e dentes", segundo expressão proverbial dos darwinistas sociais.

Nas décadas de 1880 e 1890, quando o darwinismo social era confundido com o darwinismo verdadeiro, a cooperação e o altruísmo eram muitas vezes citados como uma evidência da evolução das tendências humanas éticas, o que verossimilmente não poderia ter sido um produto da seleção natural. Tal afirmação perdia de vista o fato de que a cooperação, particularmente em se tratando de organismos sociais, pode ser de vantagem seletiva. Darwin já havia reconhecido isso, ao dizer: "Eu emprego o termo Luta pela Existência num sentido amplo e metafórico, incluindo a dependência de um ser do outro" (1859: 62).

O problema do altruísmo e sua evolução, levantado por Haldane em 1932, estão hoje mais uma vez em foco. O altruísmo é normalmente definido como uma atividade que beneficia um outro indivíduo (o "recebedor"), com aparente desvantagem do altruísta. Haldane salientou que um traço altruísta seria favorecido pela seleção natural se o beneficiário fosse suficientemente parente

próximo, de tal sorte que a sua sobrevivência beneficiaria os genes que partilha com o altruísta. Por exemplo, se existe uma possibilidade em dez de que uma ato altruístico custaria a vida do altruísta, mas os beneficiários são os filhos, os irmãos, ou os netos dele próprio, com todos os quais ele partilha mais de dez por cem dos seus genes, a seleção favorecerá o desenvolvimento do altruísmo. Essa forma particular de seleção também foi designada *seleção de parentesco,* e a aptidão que se refere a todos os portadores do mesmo (ou semelhante) genótipo é conhecida como *aptidão inclusiva.* Essa teoria bastante simples de Haldane foi depois elaborada por Hamilton, Trivers, Maynard Smith, G. C. Williams, Alexander, West-Eberhard, e muitos outros, e passou a integrar a sociobiologia. [9]

A sociobiologia, falando de modo geral, trata do comportamento social dos organismos, à luz da evolução. Há poucas dúvidas de que grande parte, senão a quase totalidade, do comportamento social dos animais tem um forte componente genético. O aspecto da sociobiologia que sofre objeções é o que diz respeito ao homem. Pode o comportamento social humano ser comparado ao dos animais? Em que medida o comportamento social do homem é parte da sua herança primata? Estas, dentre outras, são questões que têm sido levantadas. A discussão parece ser em grande parte de ordem semântica. Por exemplo, E. O. Wilson e outros biólogos sociais têm sido acusados de pregar o determinismo genético do comportamento. Mas isso não representa exatamente os seus pontos de vista. Tudo o que eles afirmaram, embora não seja incontestável a sua afirmação, é que grande parte do comportamento social do homem possui um componente genético. Mas isso ainda não quer dizer determinismo genético. É preciso lembrar que um comportamento pode ser controlado por programas "fechados", ou por programas "abertos", e que mesmo estes últimos têm um considerável componente genético. As diferenças profundas que se observam no comportamento de grupos humanos, embora alguns deles sejam estreitamente aparentados, demonstram o quanto tal comportamento é mais de natureza cultural que genética.

O significado evolucionário do sexo

Diversos autores recentes ficaram intrigados com a possibilidade de um conflito entre a teoria weismanniana do sexo e o princípio do êxito reprodutivo. Uma espécie de reprodução uniparental pode gerar duas vezes mais reprodutores que uma espécie de reprodução sexual, que "desperdiça" metade dos seus zigotos com os machos. Segundo esse ponto de vista, poder-se-ia esperar que a seleção privilegiasse a reprodução uniparental (como, por exemplo, a partenogênese) em desfavor da reprodução sexual (Williams, 1975; Maynard Smith, 1978). É certo que a reprodução uniparental é largamente difundida tanto nas plantas como nos animais, e, no entanto, sua frequência é muito menor que a reprodução sexual. Até agora, não foi avançada nenhuma teoria satisfatória para explicar esse enigma. Indubitavelmente, a longo prazo, a seleção sexual é superior, porque ela proporciona uma alternativa, em caso de qualquer mudança importante no meio ambiente. Sem embargo, a curto prazo, em ambientes relativamente estáveis, poder-se-ia esperar que a fertilidade dupla dos organismos uniparentais levasse vantagem. Talvez se deva invocar mais uma vez o princípio do "excesso eliminável": mesmo no modo de reprodução sexual já existe um excesso eliminável bastante grande; sua duplicação não representaria, portanto, qualquer vantagem seletiva particular. Além disso, não resta dúvida que o abandono da sexualidade elimina drasticamente opções evolutivas futuras. As linhas evolutivas que passariam para uma reprodução uniparental, com toda probabilidade, se

extinguiriam, cedo ou tarde, extinguindo-se com isso também todo mecanismo que viesse a permitir esse trânsito. O que resta são as linhagens estritamente sexuais, incapazes do trânsito para o uniparentalismo, mas capazes de preencher aqueles nichos que foram deixados vazios pelas linhagens uniparentais extintas. Evidentemente, a reprodução sexual é obrigatória, sempre que um segundo genitor venha a participar dos cuidados parentais. Existem ainda muitas outras correlações entre sexualidade, comportamento e ocupação de nichos (Ghiselin, 1974a). Há muito tempo se sabe que há uma alternância regular entre gerações sexuais e partenogênicas em numerosos grupos de organismos (certos parasitos, plâncton de água doce, afídios), e que a passagem de um a outro estado está intimamente relacionada com as mudanças do ambiente.

Na verdade, em muitos pontos a seleção natural permanece enigmática, e o evolucionista moderno está tão perplexo diante dos aspectos seletivos de alguns fenômenos naturais quanto o estavam Darwin e Wallace. Considerando o quanto é útil um órgão como o cérebro, pergunta-se às vezes: Por que a seleção não produziu um cérebro tão grande em todos os organismos? Sim, por quê? Ou, invertendo o argumento, que espécie de pressão seletiva teria dotado o homem de Neanderthal de um cérebro tão grande como o de Darwin, Einstein, ou Freud? Foi essa incapacidade de explicar o tamanho do cérebro dos nossos ancestrais primitivos que levou Wallace a duvidar de que a origem do homem, *como homem,* fosse devida à seleção natural. O que ele perdeu de vista, porém, é que o momento crucial de toda seleção é uma emergência ou uma catástrofe. Um órgão ou uma função, normalmente, não se alteram pela seleção, em tempos normais, mas, sim, eles sofrem a seleção no momento em que caracterizam a extremidade da curva da variação, permitindo ao seu portador sobreviver em uma emergência, enquanto outros milhares, ou milhões, de indivíduos da espécie sucumbem. A "seleção catastrófica", como Lewis (1962) bem acentuou, é um processo evolutivo muito importante.

Os modos de especiação

Darwin, reconhecidamente o primeiro representante do pensamento de população, acentuava a gradualidade do processo da especiação geográfica (veja o Capítulo 11). Os mendelianos negavam enfaticamente a conclusão de Darwin, admitindo, em vez disso, como expresso por de Vries, que "as novas espécies e variedades são produzidas a partir de formas existentes, mediante determinados saltos". O modo de especiação constituía um grande pomo de discórdia entre os naturalistas e os mendelianos (Mayr e Provine, 1980). Os anatomistas comparativos, os estudiosos da filogenia e os próprios geneticistas experimentais pensavam na evolução em termos estritamente "verticais", sendo que para eles a unidade da evolução era a linha filética. Uma contribuição importante da nova sistemática consistiu em adotar a população como unidade evolutiva, e basear nesse conceito a explicação da especiação. Segundo os novos sistematizadores, as espécies novas aparecem quando as populações se isolam, e essa tese foi defendida por Mayr (1942), com abundância de detalhes ilustrativos. Nada se dizia, no começo, em relação ao tamanho dessas populações, exceto quanto a que Wright (1932) havia chamado a atenção para o fato de que o fluxo genético podia ocorrer em populações pequenas, e muito pequenas, como resultado de erros de amostragem.

A teoria da especiação geográfica tomou primariamente como base os pássaros, as borboletas, e outros insetos de distribuição vasta, alguns grupos de caramujos, e diversas populações de animais

detentores de padrões de variação geográfica bem definidos. A especiação geográfica está tão bem estabelecida nesses grupos, e é tão abundantemente documentada a sequência dos passos pelos quais as populações isoladas se diversificam, que, depois de 1942, já não podem mais persistir dúvidas de que a especiação geográfica é um modo importante, presumivelmente o mais importante, de especiação entre os animais.

Tendo em conta que o número de barreiras geográficas insuperáveis (montanhas, águas, entre outras) é bastante limitado, alguns outros tipos de barreiras devem ser responsáveis pela especiação, evidentemente ativa, dos continentes. Diversos autores (veja Mayr, 1942) sugeriram que podia tratar-se de barreiras vegetais, ou de outros tipos de áreas inóspitas. Keast (1961) demonstrou de modo bastante convincente a verdade dessa suposição em relação aos pássaros australianos. Haffer (1974) descobriu que a alternância dos períodos úmidos e secos do Pleistoceno, na bacia amazônica, tem sido responsável pela especiação extremamente ativa dos pássaros naquela área, tendo Williams e Vanzolini demonstrado o mesmo em relação aos répteis, e Tumer em relação às borboletas. A eficácia de qualquer cinturão vegetal, como uma barreira, depende das facilidades de dispersão de uma determinada espécie. Para gafanhotos não-voadores, ou para mamíferos subterrâneos, mesmo uma área muito pequena de terreno ecologicamente inadequado pode constituir efetiva barreira de dispersão. O fato de não levarem em consideração as barreiras de ordem vegetal induziu alguns autores (White, 1978) a postular mecanismos de especiação não-geográficos.

Até bem recentemente, as ilustrações dos manuais representavam usualmente a especiação geográfica num diagrama, em que uma espécie vastamente espalhada era cortada ao meio por uma barreira geográfica. As duas metades, permanecendo isoladas entre si, com o tempo se tomariam tão diferentes que acabariam por reagir, uma em relação à outra, como espécies diferentes, no caso de restabelecimento do contato em época posterior. Todavia, estudos mais detalhados dos padrões de distribuição de grupos em processo de especiação, e particularmente das espécies que parecem ter-se originado recentemente, estão a sugerir uma solução diferente. Quando Mayr, nos anos 1940 e 1950, resolveu a questão da variação geográfica das aves das ilhas dos mares do Sul, ficou impressionado pelo fato de que quase sempre a população mais distante na periferia era a que mais divergia, chegando muitas vezes a tal nível de distinção que podia ser classificada como uma espécie distinta, ou mesmo como um gênero distinto. Mayr, em 1942, registrou diversos casos de "gêneros" alopátricos altamente distintos, que em termos de distribuição nada mais eram que subespécies remotas. Naquela época, a sua ênfase concentrava-se em questões taxionômicas (modo de classificar essas populações), mas em seguida partiu para especulações sobre os fundamentos causais desse fenômeno. Tendo conhecimento da frequência de populações fundadoras, que se situam além da periferia do domínio principal da espécie, ocorreu-lhe finalmente que tais espécies fundadoras constituíam o lugar ideal para uma drástica reorganização genética do patrimônio dos genes, por não existir ali qualquer fluxo genético observável, e sendo estritamente diversas, em maior ou menor grau, as condições bióticas e físicas do meio ambiente (Mayr, 1954).

Houve duas razões pelas quais Mayr postulou a importância das populações fundadoras. Uma delas foi a observação de que as populações aberrantes de uma espécie estão quase invariavelmente isoladas na periferia, e que, no mais das vezes, a população que mais se desvia do padrão é justamente aquela que se situa mais distante, como *D. tristrami* (San Cristobal) no gênero *Dicaeum*, *D. galeata* (Marquesas) nos *Ducula,* e numerosos outros exemplos similares, listados por Mayr (1942; 1954). Em contrapartida, o volume da variação geográfica das espécies que ocupam domínios

contíguos é, via de regra, muito menor. A outra razão, que foi posta em relevo por Haldane (1937; 1957), é que as populações grandes, de distribuição vasta – na realidade, todas as espécies mais populosas-, são evolutivamente inertes, porque os alelos novos, mesmo que sejam favoráveis, demandam períodos de tempo muito longos para se estenderem a todo o domínio da espécie. A homeostase genética (Lemer, 1954), em um patrimônio genético grande e indiviso, resiste fortemente a qualquer mudança. Os fatos do isolamento geográfico parecem não confirmar o modelo de Sewall Wright, segundo o qual a evolução mais rápida ocorre nas espécies grandes, que apenas parcialmente consistem em demes isolados. Na realidade, as espécies populosas e vastamente difundidas muitas vezes seguem virtualmente inalteradas ao longo dos registros fósseis, desde a época do seu aparecimento até a sua extinção. Ao contrário, o destino evolutivo das populações perifericamente isoladas é muitas vezes assaz diferente. Normalmente, elas são fundadas por um número pequeno de indivíduos, de fato muitas vezes por uma única fêmea fertilizada, e contêm apenas uma pequena fração de toda a variabilidade genética da espécie parental. Tal fato, segundo postulado por Mayr, levaria a um aumento considerável da homozigoticidade e a uma mudança no valor de adaptação de muitos genes, por se encontrarem num meio genético radicalmente alterado. Muitas interações epistáticas seriam bem diferentes do que foram na população de origem. Por isso é que Mayr postulou que tais populações fundadoras possuem condições particularmente favoráveis para sofrerem uma reestruturação genética radical, culminando às vezes em uma verdadeira "revolução genética" (Mayr, 1954). Que tais populações fundadoras possam ser sujeitas a mudanças genéticas drásticas é fato que dificilmente pode ser posto em dúvida. As brilhantes pesquisas de Hampton Carson (1975) sobre a especiação do gênero *Drosophila,* realizadas nas ilhas havaianas, comprovaram de modo convincente a teoria de Mayr. Tais observações deixam poucas dúvidas quanto a que a especiação rápida acontece mais facilmente em populações bem pequenas.

Que os cromossomos possam desempenhar um papel importante na especiação era fato reconhecido desde o primeiro quartel deste século. Quase uma terça parte da primeira edição do livro de Dobzhansky, *Genetics and the Origin of Species* (1937), é dedicada à discussão dos fenômenos cromossômicos; e os cromossomos ocupam um lugar ainda mais importante na literatura botânica. Foi comprovado que as "mutações" nos *Oenothera,* de que fala de Vries, eram na realidade, principalmente, rearranjos cromossômicos, e não um mecanismo normal de especiação. Entretanto, pouco tempo depois foi descoberta a poliploidicidade, um processo pelo qual, por duplicação do conjunto de cromossomos, podem surgir novas espécies em um único passo (Stebbins, 1950; Grant, 1971). Todavia, a discussão do papel dos cromossomos na especiação padeceu de duas concepções errôneas.

O primeiro dos equívocos consiste na suposição de alguns especialistas de um grupo de organismos, no sentido de que as suas descobertas se aplicam a todos os organismos; a ilegitimidade dessa suposição foi enfatizada por numerosos pesquisadores. Por exemplo, a afirmação de que *toda* especiação é devida à reorganização cromossomática foi refutada por Carson (1975), ao demonstrar que a especiação ativa nas *Drosophila* do Havaí pode ocorrer sem qualquer alteração visível nos cromossomos. Considerando o fato de que essas espécies havaianas podem ser analisadas em grande detalhe, em vista dos seus cromossomos salivares gigantes, quaisquer mudanças cromossômicas estruturais, que possam ocorrer durante a especiação, devem ser mínimas. Em outras grupos de organismos, espécies muitas vezes estreitamente correlatas diferem de modo marcante no seu cariótipo, por inversões (paracêntricas ou pericêntricas), translocações, fusões e fissões

robertsonianas, ou outras mudanças na estrutura cromossômica. Grupos diferentes de organismos caracterizam-se por diferentes mecanismos de mudança nos cromossomos (Mayr, 1970: 310-319; White, 1974).

O segundo equívoco foi a admissão de que a especiação cromossomática é uma alternativa da especiação geográfica. Na realidade, a especiação cromossômica e a especiação geográfica representam duas dimensões inteiramente diferentes. As diversidades cromossômicas que se encontram nas espécies estreitamente aparentadas, responsáveis por sua diferenciação, quase sempre reduzem (contrariamente àquelas que caracterizam o polimorfismo cromossomático) a adaptabilidade dos heterozigotos, devido a toda sorte de perturbações durante a meiose. Tais rearranjos cromossomáticos teriam pouca chance de se estabelecer em uma população grande, onde teriam que passar por muitas gerações de heterozigoticidade. Somente em uma população fundadora pequena, com um alto nível de consanguinidade, é que eles teriam a oportunidade de passar rapidamente da heterozigoticidade para a condição homozigótica mais adaptada ao novo tipo cromossômico. Aquilo que é válido para os rearranjos cromossômicos é válido também para os novos equilíbrios epistáticos dos genes, para a aquisição de novos mecanismos de isolamento e para os novos esforços na utilização dos nichos. Todas essas características são mais facilmente adquiridas passando pelo gargalo de uma população fundadora que pelo processo de seleção, muito lento, de uma espécie grande e populosa. Não há contradição em se dizer que determinada espécie nova se originou por especiação geográfica *e* por especiação cromossômica. A expressão "perifericamente isolado" se toma por vezes ambígua, quando se trata de espécies de baixa densidade populacional e facilidades de dispersão muito reduzidas. Nesses casos, uma espécie pode consistir em muitas colônias mais ou menos isoladas, e uma nova colônia isolada pode vir a estabelecer-se em uma zona vazia, bem no meio da área da espécie. E, no entanto, mesmo essa população fundadora poderá passar pelos mesmos passos de intracruzamento e homozigoticidade, como se estivesse isolada para além da periferia do domínio da espécie.

Hoje em dia começaram a se apresentar algumas evidências no sentido de que a facilidade da especiação se correlaciona de modo amplo (e negativo também) com o tamanho da população, e que a especiação rápida não se limita necessariamente às populações fundadoras. Por exemplo, uma redução drástica do tamanho das populações, como ocorrido em muitos refúgios do Pleistoceno, também acelera o processo da especiação, o que foi demonstrado por Hoffer (1974) e outros, em relação aos refúgios florestais da bacia amazônica. Contudo, tais espécies aparentemente não são nem de longe tão aberrantes como o são algumas daquelas que se originaram em isolados periféricos.

Uma outra controvérsia importante no campo da especiação diz respeito à velha discussão entre Darwin e Wagner, nos anos 1860 e 1870, sobre se o isolamento geográfico é absolutamente necessário (Mayr, 1963; Sulloway, 1979). Sempre de novo foram sugeridos mecanismos que permitiriam a divisão de um único deme em dois outros reprodutivamente isolados (especiação simpátrica), sem a existência de qualquer barreira extrínseca para o fluxo genético. Três mecanismos de especiação simpátrica foram o mais das vezes apresentados: (1) a seleção diversificadora (disruptiva), que apartaria uma distribuição genética bimodal; (2) a especiação alocrônica, devida a um afastamento no período da procriação; e (3) a colonização por um novo hóspede, no caso de espécies especificamente hospedeiras. A especiação simpátrica, pela presença de uma espécie hóspede, era um conceito muito em voga, desde Darwin até a síntese evolucionista, e ainda hoje goza de considerável popularidade (Bush, 1974). Contudo, como pude acentuar em 1942, embora a

acomodação aos novos hóspedes possa ser um importante método de especiação simpátrica nas espécies monofágicas, particularmente nas que se alimentam de plantas, a ocorrência de tal especiação está sujeita a muitas limitações, e a frequência dos casos em que ela é mais provável que a especiação geográfica permanece uma questão em aberto (White, 1978). Tenho boas razões para suspeitar que também aqui se distorce um pouco o problema, ao se fazer uma estrita separação entre a especiação geográfica e a especiação por colonização de um novo hóspede. É evidente que a passagem para um novo hóspede é muito mais fácil nas populações fundadoras pequenas – tanto na natureza como no laboratório – que na área contínua de uma espécie grande e populosa. [10]

O problema maior e ainda não resolvido no estudo da especiação é o da sua base genética. Na descrição do fenômeno da especiação ainda se confia, principalmente, nas inferências que se extraem dos padrões da distribuição. Não será possível resolver as controvérsias sobre a frequência e a validade dos vários modos possíveis de especiação, a menos que se obtenha uma melhor compreensão dos processos genéticos subjacentes. Ainda em 1974 (p. 159), Lewontin afirmou acertadamente: "Nós não conhecemos virtualmente nada sobre as mudanças genéticas que ocorrem na formação das espécies". Infelizmente, isso ainda é amplamente verdadeiro hoje em dia. A literatura mais antiga (Jameson, 1977) tomou-se praticamente obsoleta, pela descoberta da heterogeneidade do DNA.

Pensava-se, de começo, que a comparação da frequência dos alelos de enzimas nas populações, antes e depois da especiação, forneceria uma resposta decisiva. Tais pesquisas procuravam, no espírito da genética-do-saco-de-feijão, "construir uma teoria quantitativa da especiação, em termos de frequências genotípicas" (Lewontin, 1974:159). Contudo, todas as evidências obtidas por essa linha de pesquisa indicavam que as frequências cambiantes dos alelos das enzimas não são o agente principal da especiação. Por exemplo, o grau de diferença das isozimas, nas espécies estreitamente aparentadas, varia muito de um gênero para outro. A passagem do limiar da espécie parece não coincidir com uma mudança radical da frequência dos genes. Isso foi interpretado por alguns autores como sendo uma negação da teoria de Mayr sobre a revolução genética nas populações fundadoras. E o seria efetivamente, se os genes das enzimas fossem o mecanismo genético principal do isolamento reprodutivo.

É bem provável que existam mecanismos genéticos especiais, ou sistemas reguladores, que controlam o grau do isolamento reprodutivo. Tais mecanismos podem limitar-se a um número relativamente pequeno de genes, ou a uma porção restrita do cariótipo (Carson, 1976). Eles poderão ser encontrados nos diversos tipos novos de DNA (como os DNA medianamente repetitivos), que foram identificados nos anos recentes. As descobertas rápidas e totalmente inesperadas na genética molecular acenam para a probabilidade de que esteja à vista uma importante revisão dos nossos conceitos sobre a genética da especiação.

Se apenas uma porção limitada de DNA for responsável pelo controle do isolamento reprodutivo no seio das espécies, seria perfeitamente possível que só um número limitado de etapas, ou uma reestruturação cariotípica restrita, possa dar início ao processo de especiação. Isso seria muito mais fácil em uma população composta de poucos indivíduos do que em uma espécie populosa e de vasta área de ocupação. Por outro lado, a multiplicidade dos mecanismos de isolamento que separam a maioria das espécies está a indicar que o estágio pleno de espécie só é alcançado, na maior parte dos casos, após um longo processo. Tendo em conta que a especiação é gradual, isto é, que se estende ao longo de diversas gerações, mesmo nas populações fundadoras, não se poderia

esperar que ela aconteça mediante uma única mutação. E tudo leva a crer que de fato não é assim. Mas o que exatamente se passa durante a especiação ainda permanece um enigma. Carson (1976: 220) sugere que existe "uma mudança no equilíbrio interno das interações entre os genes, onde os genes reguladores devem desempenhar um importante papel".

O que a teoria de Mayr deixou totalmente de explicar foi a irregularidade das revoluções genéticas. Elas acontecem em algumas, mas não em todas as populações fundadoras isoladas na periferia. Por quê? Muitos progressos foram feitos em relação à compreensão do genoma, desde 1954. Hoje ficou evidente que algumas partes do DNA, ou seja, os genes das isozimas, são menos afetadas pela revolução genética do que outras (presumivelmente alguns dos sistemas reguladores). Templeton (1980) especulou sobre alguns desses fatores e, em particular, sobre a razão por que a revolução genética acontece apenas sob certas condições. [11] É ainda muito cedo para avançarmos uma explicação definitiva, tendo em conta os nossos limitados conhecimentos em relação ao papel das várias classes de DNA repetitivo e de outros aspectos do genótipo, recentemente descobertos. De qualquer maneira, todas as pesquisas recentes trouxeram novas evidências em favor da teoria de Mayr, de que os eventos evolucionários decisivos acontecem, o mais das vezes, por via de revoluções genéticas, nas populações fundadoras isoladas na periferia.

Macroevolução

Uma terceira importante área de atividade, após a síntese evolucionista, além da seleção natural e da especiação, foi a macroevolução. A macroevolução tem sido definida de muitas maneiras: evolução acima do nível das espécies, evolução dos *taxa* superiores, ou evolução tal como estudada pelos paleontólogos e anatomistas comparativos. Pelo ano de 1910, a paleontologia, particularmente a paleontologia dos invertebrados, devido aos seus sucessos na determinação da estratigrafia, preocupava-se grandemente com as questões geológicas, preocupação essa que resultou numa perda do interesse pela história evolucionária. O estudo da macroevolução, antes da síntese evolucionista, era conduzido pelos paleontólogos, sem qualquer correlação efetiva com a genética. Somente pouquíssimos paleontólogos eram darwinianos estritos, aceitando a seleção natural como o agente predominante da evolução. A grande maioria dos paleontólogos acreditava ou na teoria dos saltos, ou em alguma forma de auto-gênese finalística. Os processos macroevolutivos e suas causas eram geralmente considerados como sendo de tipo especial, muito diferentes dos fenômenos populacionais, de que se ocupavam os geneticistas e os estudiosos da especiação.

Tudo isso mudou dramaticamente com a síntese evolucionista. O seu efeito maior foi ter lançado o descrédito sobre algumas das convicções que antes eram amplamente aceitas pelos estudiosos da macroevolução. Entre as importantes idéias, agora rejeitadas, contam-se as seguintes:

1. que os saltos de monta são indispensáveis para explicar a origem das espécies novas e dos *taxa* superiores;
2. que as tendências evolutivas e o contínuo melhoramento das adaptações requerem a existência de processos autogênicos; e
3. que a hereditariedade é tênue.

Deve-se a Rensch e a Simpson o mérito de haverem demonstrado que uma explicação dos

fenômenos da macroevolução não requer a aceitação de qualquer uma dessas três teorias e que, na realidade, os fenômenos da evolução acima do nível das espécies são coerentes com as novas descobertas da genética e da microssistemática. Obviamente, essa conclusão teve que basear-se na inferência, apoiada nos fenômenos morfológicos, taxionômicos e da distribuição, uma vez que os *taxa* superiores naquela época eram – e, exceto quanto à evidência molecular, ainda o são – inacessíveis à análise genética.

Em defesa da paleontologia, é preciso dizer que, embora os defensores da teoria dos saltos e dos processos autogenéticos constituíssem a maioria esmagadora, havia também um pequeno número de gradualistas e alguns defensores da seleção natural. Já em 1894, W. B. Scott defendia vigorosamente a gradualidade da mudança evolutiva, opondo-se a Bateson. Conquanto existisse em todas as espécies uma variação mais ou menos acentuada em tomo do tipo "normal", diz Scott, os novos pontos de partida, na filogenia, não procedem dos variantes externos, mas sim de uma alteração gradativa do normal (p. 359). Osbom e outros adeptos da ortogênese também defendiam a evolução gradual, contra a teoria dos saltos.

A seleção natural da mesma forma contava com seus defensores. Embora a maioria dos paleontólogos estivesse de acordo em que a seleção natural não era suficiente para explicar os fenômenos da macroevolução, restavam alguns que a defendiam valorosamente, como Dollo, Kovalevsky, Abel, Goodrich e Matthew. Entretanto, não transparece claramente dos seus escritos se eles consideravam a seleção natural por si só como suficiente para explicar os fenômenos evolucionários. As publicações deles, bem como de outros macroevolucionistas contemporâneos, ainda não foram suficientemente analisadas para que se possa esclarecer esse ponto.

Simpson, na introdução do seu *Tempo and Mode in Evolution* (1944), declarou que seu trabalho constituía uma tentativa de fazer uma síntese entre a paleontologia e a genética. Lançar uma ponte entre os dois campos era tarefa duplamente difícil, considerando que os geneticistas se concentravam quase exclusivamente nas mudanças da frequência dos genes, com base na suposição de que os efeitos genéticos não-aditivos eram de importância negligenciável. Tal restrição era adequada na interpretação de apenas alguns problemas macroevolutivos (como as tendências evolucionárias), mas não de outros (por exemplo, a origem da diversidade).

A síntese entre a genética e a paleontologia aconteceu, por assim dizer, em dois tempos, centrados nas seguintes questões: (1) Há fenômenos macroevolutivos que estão claramente em conflito com uma interpretação genética da teoria darwiniana? (2) Podem todas as leis e princípios da macroevolução ser desenvolvidos simplesmente pelo estudo das frequências genéticas das populações? Evidenciou-se, finalmente, que as duas perguntas deviam ter uma resposta negativa.

A primeira tarefa dos macroevolucionistas darwinianos consistia em refutar a afirmação dos antidarwinianos no sentido de que existem fenômenos macroevolutivos que conflitam com a fórmula "variação genética e seleção natural". Tal refutação foi realizada com êxito por Rensch e Simpson. Ambos, como também Julian Huxley, mostraram que não há necessidade de se inovar um misterioso fator autogenético para explicar as tendências evolucionárias, mas sim que fenômenos como o aumento do tamanho de todo o corpo, as mudanças na proporção de estruturas individuais (como os dentes), a redução de certas partes (por exemplo, os dedos das patas dos cavalos, os olhos dos animais cavernícolas) e outras regularidades evolutivas de longo curso podem ser facilmente explicados pela seleção natural. Foi acentuado desde então que os embaraços, tanto genéticos quanto funcionais, reforçam a efetividade da seleção natural no controle das tendências (Reif, 1975).

Diversos autores, já no tempo de Geoffroy Saint-Hilaire, haviam proposto "leis" evolutivas. Em cada caso foi mostrado que a lei em questão podia ser expressa em termos de seleção natural. Aplica-se a isso, por exemplo, a assim chamada "lei da irreversibilidade", de Dollo, segundo a qual as estruturas que se perderam ao longo da evolução jamais poderão ser recuperadas exatamente na mesma forma. Tal achado é consequência óbvia do fato de que o genótipo muda constantemente durante a evolução, e que, se de novo se apresentar a necessidade de uma estrutura que havia sido perdida, esta será produzida por um genótipo muito diferente daquele que deu origem ao órgão primitivo, e assim a nova estrutura não será idêntica àquela que foi perdida (Gregory, 1936).

A maioria dos fenômenos evolutivos relaciona-se com estruturas complexas, com sistemas de órgãos, com indivíduos inteiros e com populações. Nenhuma abordagem era menos apta a dar uma explicação completa que o método reducionista, que tudo expressava em termos de frequências genéticas. Esse reducionismo, porém, de forma alguma se identifica com o neodarwinismo. Muitas objeções dos antidarwinistas perderam todo o impacto, desde que foi abandonada uma confiança exclusiva na aproximação reducionista.

Simpson estava particularmente interessado nos ritmos da evolução. Ele mostrou que algumas linhas evolutivas mudam rapidamente, outras muito devagar, enquanto a maioria delas mantém uma proporção intermediária. Mostrou, além disso, que uma linha filética, no curso da evolução, pode acelerar o seu ritmo, ou reduzi-lo. A proporção mais veloz da mudança evolutiva foi designada por Simpson *evolução quântica,* que ele definiu como "a mudança relativamente rápida de uma população biótica em desequilíbrio para um estado de equilíbrio muito diferente da condição ancestral" (1944: 206). Segundo ele, isso explicava a observação bem conhecida de que "as transições mais importantes acontecem, com relativamente grande frequência, em períodos curtos de tempo, e em circunstâncias especiais" (p. 207). Do contexto da sua discussão, em 1944, e dos seus escritos posteriores (1949: 235; 1953: 350; 1964b: 211), transparece claramente que aquilo que Simpson tinha em mente era antes de tudo a grande aceleração da mudança evolutiva no seio de uma linha filética. Seu pensamento era claramente influenciado pelo modelo de Sewall Wright (1931), de uma fase de inadaptação do fluxo genético seguido pela seleção natural. Mudanças extremas no ritmo evolutivo, como sabido, são muito bem documentadas pela história fóssil. Os morcegos, aparentemente, se originaram de insetívoros, no período de poucos milhões de anos, mas desde então, nos próximos cinquenta milhões de anos, não conheceram modificações estruturais de importância. A passagem dos répteis tecodontes para o *Archaeopteryx* requereu, da mesma forma, um período relativamente curto de uns poucos milhões de anos, mas a classe dos pássaros como um todo não se modificou materialmente, desde o aparecimento dos primeiros pássaros modernos, há mais de setenta milhões de anos. Tais mudanças drásticas do ritmo da evolução não implicam minimamente um conflito entre a origem do morfotipo do morcego ou do pássaro e a teoria darwiniana.

Os problemas relacionados com a velocidade e as tendências da evolução podiam ser interpretados em termos da fórmula dos geneticistas, de que a evolução é uma mudança na frequência dos genes. Contudo, trata-se de uma formulação que faz pouco sentido em referência à maioria dos outros problemas da macroevolução, e constitui uma das razões por que a genética trouxe relativamente tão poucas contribuições para a solução das questões dessa área. Essa formulação imprópria também é responsável pelo longo tempo que se levou, desde a síntese, para dar a esses problemas um tratamento adequado.

Novidades evolutivas

Uma das objeções mais frequentemente levantadas contra o gradualismo darwiniano era que ele era incapaz de explicar a origem das "novidades evolutivas", ou seja, de órgãos inteiramente novos, de novas estruturas, de novas capacidades fisiológicas, e de novos padrões de comportamento. Perguntava-se, por exemplo, com pode uma asa rudimentar ser ampliada por seleção natural, antes de capacitar o seu dono a voar? Com efeito, como pode qualquer órgão incipiente ser favorecido pela seleção natural, antes de ser plenamente funcional? Darwin (1859; 1862) forneceu a resposta a essa pergunta, apontando para o fato de que a mudança na função de uma estrutura é o elemento-chave para a solução desse problema. A solução por ele indicada foi de modo geral ignorada, até que mais tarde fosse mais bem elaborada por Dohm (1875), Severtsov (1931) e Mayr (1960).

Durante essa mudança de função, uma estrutura sempre passa por um estágio em que pode desempenhar simultaneamente uma função dupla, como a antena de uma *Daphnia*, que é tanto um órgão sensorial como uma nadadeira. Essa dualidade de função toma-se possível porque o genótipo é um sistema altamente complexo, que produz sempre certos aspectos do fenótipo que não foram diretamente adrede selecionados, mas que são apenas "subprodutos" do genótipo selecionado. Tais subprodutos ficam então disponíveis como maquinária para novas funções. É isso que permite que uma extremidade anterior (munida de um patágio) de um tetrápode funcione como uma asa, ou o pulmão de um peixe como uma bexiga natatória. Existem numerosos "aspectos neutros" no fenótipo de qualquer organismo, os quais são "permitidos" pela seleção natural (não contra-selecionados), mas que não foram especificamente selecionados para isso. Esses componentes do fenótipo estão disponíveis para o desempenho de funções novas. Também são conhecidas mudanças de função nas macromoléculas e nos padrões do comportamento, como quando o alisar das penas com o bico se tomou uma manifestação de corte em certos patos.

Como Severtsov demonstrou, a intensificação de uma função é muitas vezes tudo o que é preciso para permitir que uma estrutura adote uma função aparentemente nova. É assim, por exemplo, que a extremidade anterior de um mamífero caminhante se converte na pá escavadeira de uma touperia, na asa de morcego, ou nas barbatanas de uma baleia. Tudo o que é necessário, como ponto de partida para o desenvolvimento de olhos, é a existência de células sensíveis à luz. A seleção natural então favorece a aquisição de qualquer outro mecanismo auxiliar necessário. É essa a razão por que fotorreceptores, ou olhos, se desenvolveram independentemente mais de quarenta vezes no reino animal (Plawen e Mayr, 1977). Na maioria dos casos, não é necessária uma mutação maior para dar início à aquisição da novidade evolutiva; muitas vezes, porém, uma mutação fenotipicamente drástica parece constituir o primeiro passo, como no caso do polimorfismo mimético. Mas, uma vez dado esse primeiro passo, modificações menores encarregam-se de completar os ajustes mais finos (Tumer, 1977). O fator crucial, todavia, na aquisição da maioria das novidades evolutivas é uma mudança de comportamento.

Comportamento e evolução

O comportamento era, para Lamarck, um importante mecanismo evolutivo. Os processos fisiológicos, iniciados pela atividade comportamental ("uso *versus* desuso"), combinados por uma

herança dos caracteres adquiridos, eram para ele as causas das mudanças evolucionárias. Depois que a genética demonstrou a invalidade desse mecanismo evolutivo, os mutacionistas passaram a um outro extremo. Segundo eles, as mutações maiores geram novas estruturas, e estas "vão em busca de uma função apropriada". O evolucionista moderno rejeita ambas as interpretações. Para ele, as alterações do comportamento são consideradas, por certo, meio importante para o início de mudanças evolutivas. Todavia, a cadeia causai é muito diferente do que pensavam Lamarck e outros mutacionistas. A interpretação moderna é no sentido de que as mudanças do comportamento geram novas forças seletivas, as quais modificam as estruturas envolvidas.

Mayr (1974a) mostrou como tipos diferentes de comportamento desempenham diferentes papéis na evolução. O comportamento que serve como comunicação, por exemplo o da aproximação sexual, deve ser estereotipado, para não ser mal entendido. O programa genético que controla esse comportamento deve ser "fechado", isto é, deve ser razoavelmente renitente a quaisquer mudanças durante o ciclo de vida individual. Outros comportamentos, como os que controlam a escolha do alimento ou do *habitat,* devem conter certa dose de flexibilidade, para permitir a incorporação das experiências novas; tais comportamentos devem ser controlados por um programa "aberto". As novas pressões seletivas, induzidas pelas mudanças do comportamento, podem levar a alterações morfológicas, para facilitar a ocupação de novos nichos ecológicos ou zonas de adaptação. Por exemplo, Bock (1959) mostrou que os primitivos pica-paus, que passaram ao comportamento de trepar em troncos e galhos, ainda possuíam essencialmente a estrutura ancestral dos pés. Todavia, o novo hábito criou forças seletivas em diversas linhagens de pica-paus, conduzindo a diversas especializações, altamente eficientes, na estrutura dos pés da cauda, adaptando-os a uma maior eficácia na ação de trepar em árvores. Muitas, senão a maioria, das aquisições de estruturas novas, no curso da evolução, podem ser atribuídas a forças seletivas exercidas por comportamentos recentemente adquiridos (Mayr, 1960). O comportamento, portanto, desempenha uma função importante como instrumento viabilizador da mudança evolutiva. Muitas irradiações adaptativas foram aparentemente causadas por mudanças comportamentais.

A pesquisa filogenética

A pesquisa filogenética clássica voltava-se quase inteiramente para o passado evolutivo. Sua pergunta era: Qual foi a estrutura do ancestral comum, e como pode ele ser reconstruído pelo estudo dos aspectos homólogos dos seus descendentes? O objetivo principal dessa disciplina era comprovar a validade da teoria darwiniana da descendência comum. Seu interesse maior consistia em determinar, em relação aos tipos isolados e às linhas filéticas, onde deviam ser situados na árvore filogenética. A descendência comum foi a ênfase principal da pesquisa anatômica comparada, desde T. H. Huxley e Gegenbaur até Remane e Romer.

Insatisfeito com os diminutos resultados produzidos por essa forma de abordagem, um grupo de jovens morfologistas evolucionários partiu para a formação de questões do porquê. Desenvolveram uma nova metodologia, virando por assim dizer de cima para baixo a árvore evolutiva, isto é, fazendo do ancestral comum o ponto de partida de suas buscas. Eles indagavam: Por que divergiram as linhas que se originaram de um ancestral comum? Quais fatores permitiram que certos descendentes entrassem em novos nichos e zonas de adaptação? Teria sido a mudança de comportamento um componente crucial da alteração adaptativa? A ênfase dessa nova abordagem

concentrava-se claramente na natureza das forças seletivas. Severtsov, Böker, Dwight Davis, Bock, von Wahlert e Gans contavam-se entre os pioneiros dessa nova morfologia evolucionária. O seu tratamento lançou uma ponte entre a morfologia e a ecologia, levando ao estabelecimento de uma nova área de fronteira, que ainda está no começo e no limiar de desdobramentos ulteriores e interessantes.

Podem-se mencionar alguns dos resultados mais notáveis dessas pesquisas. Um deles foi a refutação do conceito de "desenvolvimento harmonioso de tipo", dogma importante da morfologia idealística. Quando foi descoberto o *Australopithecus,* por exemplo, o anatomista Weidenreich observou-me que ele não podia ser o ancestral do homem. Não podia ser um elo entre o antropóide e o homem, por causa do seu "tipo desarmonioso" (pélvis e extremidades desenvolvidas, crânio e face primitivos).

Na realidade, o conceito de desenvolvimento harmonioso do tipo já havia sido refutado muitas vezes. Ao estudar a estrutura do *Archaeopteryx,* o elo entre os répteis e as aves, de Beer (1954) chamou a atenção para o fato de que esse tipo de passagem, em certos aspectos, já era muito parecido com os pássaros mais recentes (penas e asas), enquanto em outros aspectos permanecia um réptil (dentes e cauda). Ele designou esse tipo de proporção evolutiva desigual como "evolução mosaica". Mas mesmo assim não se tratava de uma descoberta propriamente nova. O mesmo princípio já havia sido discutido de modo bastante detalhado por Abel (1924: 21), que por sua vez o colheu de Dollo (1888), que foi profundamente influenciado por Lamarck (1808: 58):

> De fato, os órgãos que têm pouca importância, ou que não são essenciais para a vida, nem sempre se encontram no mesmo estágio de perfeição ou degradação; assim é que, se observarmos todas as espécies de uma classe, veremos que determinado órgão de uma espécie alcança a sua mais elevada perfeição, enquanto outro, que na mesma espécie está subdesenvolvido ou imperfeito, se encontra em alto estado de perfeição em alguma outra espécie.

Nosso raciocínio hoje é muito diferente do de Lamarck, mas sua observação das taxas altamente desiguais da evolução das diversas estruturas e sistemas orgânicos era inteiramente válida.

O caráter-chave

Fato muito interessante em relação à evolução desigual do tipo é que muitas vezes um único aspecto, dito o *caráter-chave*, está envolvido no novo ponto de partida. No caso da evolução das aves a partir dos répteis, foi o desenvolvimento das penas que certamente precedeu ao ato de voar. No caso da evolução dos répteis terrestres a partir dos anfíbios aquáticos, foi a fertilização interna. A procura do caráter-chave constitui um objetivo maior no estudo da evolução dos *taxa* superiores. Na evolução do homem, por exemplo, estava envolvida uma série de caracteres-chave, na sua transição do estágio antropóide arborícola para o estágio do *Homo sapiens*. A postura ereta, a habilidade manual, a confecção de utensílios, a caça aos ungulados grandes e um sistema de comunicação baseado na linguagem são indicados como outros tantos caracteres-chave sucessivos.

Os anatomistas da escola da morfologia idealista sempre acentuaram a natureza conservadora do tipo. Existe efetivamente algo de muito conservador no conjunto dos caracteres que formam o tipo

vertebrado, ou o tipo mamífero, ou o tipo aviário. Hoje se tem certeza de que grande parte da evolução se restringe virtualmente ao caráter-chave e a um pequeno número de outros que com ele se correlacionam. Um morcego, em toda a sua estrutura, é ainda muito mais um insetívoro, exceto quanto à sua adaptação para o vôo (incluindo os seus órgãos sensoriais). A própria baleia ainda é muito mais um mamífero, exceto na sua adaptação para a vida nos oceanos. Por sua vez, dificilmente existe um caráter mamífero que não possa ser seguido diretamente até os répteis. A "unidade de tipo" tem evidentemente uma base genética, em que a interação genética e os genes reguladores funcionam como um elemento conservador, ou quase inerte.

Os graus

Um dos aspectos mais característicos da macroevolução é a relativa rapidez com que acontecem as passagens para novas zonas adaptativas, como a de insetívoros para morcegos, ou de répteis para aves. Quando uma linha filética adentra uma nova zona de adaptação, como quando as aves entram no espaço do vôo, ela sofre primeiro uma reorganização muito rápida, até alcançar um novo nível de adaptação. Uma vez atingido esse novo *grau,* ela pode irradiar-se para toda sorte de nichos menores, sem qualquer modificação de monta na sua estrutura básica. Por exemplo, todas as aves têm entre si uma notável semelhança anatômica, não passando de meras variações de um mesmo tema. A importância do fenômeno dos graus era reconhecida há muito tempo (veja Bather, 1927), e foi mais uma vez acentuada por Huxley (1958).

O conhecimento claro da existência de ritmos desiguais na evolução, como sublinhado particularmente por Simpson (1953), com períodos de notável estabilidade, como indicado pelo termo "grau", adquire importância tanto para a teoria da classificação (veja o Capítulo 5) como para uma interpretação das relações entre evolução e ecologia.

A morfologia evolucionária dos animais ainda se encontra nos primeiros estágios do seu desenvolvimento. Sua maior conquista talvez seja uma considerável clarificação dos conceitos. Nesse sentido, é importante a nítida distinção feita entre o funcionamento de uma estrutura e o seu papel biológico, em relação ao meio ambiente do organismo. O conceito de pré-adaptação foi redefinido, com vistas a expressar o potencial de um caráter para a adoção de novas funções e de novos desempenhos biológicos. Bock (1959) desenvolveu o conceito de caminhos múltiplos, e Mayr (1960) esclareceu o das múltiplas funções. A ênfase maior do novo pensamento reside no significado biológico dos aspectos estruturais, fisiológicos e comportamentais dos organismos, e nas vias pelas quais as forças da seleção podem modificar gradualmente esses caracteres. [12] Darwin teria ficado muito satisfeito com a conclusão final dessas pesquisas: mesmo as mais drásticas reconstruções estruturais acontecem gradualmente, em particular quando as populações (inclusive as fundadoras) ingressam em novos *habitats* e moldam os seus nichos.

A despeito dos sérios e determinados esforços dos botânicos, a reconstrução da filogenia das plantas atrasou-se muito em relação à dos animais, e isso por duas razões mais importantes: (1) O registro fóssil da maioria dos grupos de plantas é infinitamente mais pobre que o dos animais, em particular porque os remanescentes do sistema reprodutivo das plantas, importantes para o diagnóstico, são muito mais raros que os do sistema vegetativo. (2) As diferenças na anatomia interna (estruturas vasculares) das ordens de angiospermas são muito menores que as diferenças na anatomia interna dos 24 filos dos animais. Entretanto, o estudo do pólen fóssil e dos vários componentes

químicos e macromoléculas das plantas está começando a descortinar dimensões inteiramente novas para a compreensão. Devido às dificuldades encontradas pelos morfologistas das plantas, só nas duas últimas décadas é que se tomou possível empreender o tipo de pesquisas causais das plantas, que já haviam sido realizadas pelos morfologistas evolucionários dos animais. A obra pioneira, nessa nova morfologia causai, é o estudo de Stebbins (1974a) sobre a evolução das plantas floríferas. Ele procura encontrar o significado adaptativo de toda estrutura, indagando o seguinte: "Que tipos de condições ecológicas e de mudanças ambientais mais plausivelmente teriam dado origem às diferenças morfológicas que se observam?" Tal acento no significado de adaptação dos caracteres é radicalmente diferente da abordagem do taxionomista tradicional, cujo único interesse eram os sinais da descendência comum. O mesmo caráter adaptativo pode, evidentemente, ser adquirido repetidas vezes, em linhagens não-correlatas, pelo fenômeno da convergência, fato esse que é perturbador para o taxionomista, mas fonte valiosa de informação para o estudioso das causas evolutivas. Outro estudo balizador na morfologia evolutiva das plantas é a obra de Carlquist, sobre as adaptações convergentes (como a aquisição de Lenho) das plantas ilhotas (1965) e sobre as estratégias ecológicas da evolução do xilema. (1975.)

Uma fronteira ainda mais recente é o estudo da evolução dos microorganismos. Ele está avançando em duas frentes. Uma delas é o estudo dos microfósseis, iniciado por Barghoom, Cloud e Schopft; a outra é o estudo comparativo das macromoléculas e das formas de metabolismo dos fungos, dos protistas e dos procariotos. Infelizmente, a falta de espaço me impede mesmo de mencionar o conjunto dos problemas interessantes desencadeados por essas pesquisas.

A origem da diversidade macroevolutiva

Há um aspecto da macroevolução que foi profundamente negligenciado nos cem anos posteriores a Darwin: a origem dos *taxa* superiores, ou expresso em outras palavras, a origem da diversidade macroevolutiva. Mesmo durante e depois da síntese, esse problema foi esquecido pelos paleontólogos, que discutiram, isto sim, a irradiação adaptativa, mas de forma alguma se debruçaram sobre o problema de como tiveram origem esses *taxa* que se irradiaram para diferentes nichos e zonas adaptativas. Esse descaso tinha diversas razões (por ninguém ainda analisadas). Duas delas eu gostaria de destacar aqui.

A primeira, evidentemente, era o generalizado pensamento essencialista que dominava os morfologistas e, de modo ainda mais acentuado, as escolas de morfologia idealista. Esses anatomistas impressionavam-se muito com a natureza conservadora do conjunto dos aspectos que perfazem o tipo morfológico, ou o arquétipo, fosse ele o mamífero, o vertebrado ou o tipo artrópode. Uma vez formado esse tipo, como Schindewolf (1969) e outros paleontólogos acentuaram com inteira razão, ele virtualmente era imune a reestruturações de monta. E, além disso, os estágios intermediários entre um tipo e outro, fossem eles ainda vivos ou constassem dos registros fósseis, eram muito raros ou ausentes. O estudo da frequência dos genes na genética de populações era totalmente incapaz de fornecer alguma solução para esse problema das origens.

A segunda razão desse branco total no estudo da origem dos tipos novos era a concentração dos paleontólogos em uma evolução filética retilínea, vale dizer, no componente "vertical" da evolução. Todos os grandes mestres da paleontologia, anteriores à síntese – Cope, Marsh, Dollo, Abel, Osbom e Matthew-, preocupavam-se, antes de tudo, com leis evolutivas, tendências evolutivas, e com a

evolução da adaptação. Tudo isso dizia respeito a uma melhor adaptação, mas não a uma maior diversidade. A questão da origem da diversidade era explicada ou em termos de saltos essencialistas, ou simplesmente não era mencionada. Este último ponto se aplicava inclusive a Simpson (1944; 1953), cuja definição da espécie evolucionária (isto é, vertical) lhe dificultou a análise do problema da ramificação das linhas filéticas.

Curiosamente, a resposta estava disponível desde a síntese (Mayr, 1942; 1954), mas foi ignorada pelos paleontólogos, até que finalmente Eldredge e Gould (1972) a aproveitaram, no seu modelo dos assim chamados *equilíbrios pontuados*. Eles chamaram a atenção para o fato de que, quando se olha para os registros fósseis, descobre-se que a maioria dessas relíquias pertence a espécies populosas e largamente difundidas, mostrando poucas alterações na medição do tempo, até sua extinção. Um certo número de linhagens sofre um processo de evolução filética vertical (Gingerich, 1976), em que a espécie de um período cronológico evolui para uma espécie, ou espécies, descendente, no próximo período. Com muito maior frequência, as espécies existentes são suplementadas – ou as extintas são substituídas – por espécies novas, que aparecem subitamente no registro fóssil. Na literatura clássica, essa introdução súbita de novas espécies era usualmente atribuída a saltos instantâneos. Eldredge e Gould, porém, aceitaram a interpretação de Mayr de que tais espécies novas se originaram alhures, em um isolado (periférico ou não), e que, tendo sucesso como espécie, foram capazes de se difundir vastamente. Essa interpretação da "introdução de espécies novas" (expressão usada por Lyell, 150 anos antes) encaixa-se perfeitamente aos arquivos fósseis (Boucot, 1978; Stanley, 1979). Uma tal origem dos tipos novos não é o resultado da pura especulação, porquanto o aparecimento de tipos novos menores é comprovado nas faunas vivas dos isolados periféricos.

Em um ponto Gould e Eldredge divergem profundamente de Mayr. Eles sustentam que os equilíbrios pontuados são produzidos por descontinuidades de tal porte, que correspondem aos monstros promissores de Goldschmidt: "A macroevolução procede dos raros sucessos desses monstros promissores, não de mudanças pequenas e contínuas no seio das populações" (Gould, 1977: 30). O que Goldschmidt postulava, e segundo parece foi endossado por Gould, era a produção de novas espécies, ou de *taxa* superiores, mediante um único passo, e por intervenção de um único indivíduo. Mayr, ao contrário, considera que a evolução nas populações fundadoras é um processo populacional, que representa uma evolução gradual na escala de tempo humana (Bock, 1979). Ela só se afigura como produzida por salto quando é medida pela escala de tempo geológico. Sem dúvida alguma, os genes reguladores participam dessa mudanças, ou são amplamente responsáveis por elas, mas isso não requer saltos.

O fato crucial é que os sistemas reguladores e epistáticos anteriores são quebrados durante uma revolução genética numa população fundadora, abrindo espaço para sistemas novos. Isso facilita e acelera grandemente a aquisição de novas adaptações. Estas, evidentemente, não se realizam num único momento, mas prossegue a seleção para a sua melhoria. Esta pode, inclusive, ser acelerada pelo estabelecimento de populações fundadoras descendentes. Ignora-se – sendo presumivelmente algo variável – se essa mudança evolutiva requer umas poucas, muitas, centenas ou milhares de gerações, mas com certeza é mais rápida, em diversas ordens de grandeza, que a evolução filética tradicional, descrita na literatura paleontológica e que requer milhões de anos. Mas, mesmo assim, a evolução que ocorre por mudanças nas populações fundadoras não é um processo de saltos, porém uma evolução gradual. A inovação mais importante dessa nova maneira de pensar é encarar o assunto

como um fenômeno populacional.

Em algumas poucas situações contemporâneas, existem constelações geográficas privilegiadas, bem como oportunidades ecológicas, que nos permitem demonstrar as origens graduais, passo a passo, desses fenômenos macroevolutivos. O arquipélago havaiano, em que as várias ilhas da cadeia foram colonizadas do oeste (Kauai) para o leste (Havaí), fornece uma ilustração gráfica desses passos evolutivos quase graduais. Isso foi demonstrado por Bock (1970), em relação às espécies e gêneros dos pássaros Drepanídios, e por Carson e Kaneshiro (1976), em relação às *Drosophila.*

A introdução contínua de espécies novas, pelo processo da especiação geográfica (Stanley, 1979), tomou-se possível porque existe ao mesmo tempo uma perda contínua de espécies, por extinção. Dessa forma, a extinção é a contrapartida da especiação, como já Lyell havia constatado, constituindo um problema não menos importante, particularmente para os ecologistas.

A extinção

Ao observarmos com que extraordinária fidelidade uma espécie mimética pode mesmo copiar características muito incidentais do seu próprio modelo, persuadimo-nos de que nada é impossível para a seleção. Isso, no entanto, é contradito pela frequência da extinção na natureza. Se ordens e filos de animais tão bem sucedidos, como os trilobitas, os amonitas e os dinossauros, se extinguiram, pergunta-se por que a seleção natural não foi capaz de reconstruir sequer uma única espécie desses grandes *taxa,* de sorte a permitir a sua sobrevivência? Como é fato conhecido, os amonitas passaram por pelo menos quatro períodos anteriores de extinção em massa, em cada um dos quais sobreviveu uma única linhagem, que iniciou uma nova irradiação adaptativa. Todavia, na última dessas "implosões", nem uma única espécie possuía a constelação apropriada de genes, para poder fazer face vitoriosamente aos desafios do meio ambiente que encontrou, qualquer que tenha sido.

A extinção, como cada vez mais se evidencia, é um problema altamente complexo. Os dinossauros só se extinguiram depois que dezenas ou centenas de espécies já estavam extintas. A pergunta, então, é a seguinte: Por que esse inteiro táxon superior se tomou obsoleto? Um olhar para a história dos filos e das ordens de plantas e animais revela que eles diferem grandemente na sua tendência para a extinção. Na realidade, é possível estabelecer regularidades bem determinadas nos padrões da extinção, como foi demonstrado por Van Valen (1973). Pessoalmente, estou persuadido de que a extinção é algo que de alguma maneira se relaciona com a coesão do genótipo. Com certeza, as taxas da mutação devem ser aproximadamente as mesmas nas diferentes espécies de organismos. Sem dúvida, algumas delas possuem um genótipo de tal maneira integrado, tomando-se por isso inflexível, que já não pode mais proporcionar um afastamento da norma tradicional, para permitir uma alteração no uso dos recursos, ou uma resposta às ameaças de um concorrente ou a um patógeno. Mas isso, evidentemente, não passa de palavras, até que saibamos algo mais sobre a estrutura do genótipo do eucarioto e seu sistema regulador.

A diversidade de uma fauna ou de uma flora depende do equilíbrio entre os eventos da especiação e da extinção. Nosso conhecimento acumulado das biotas fósseis tomou possível, nos anos recentes, seguir a diversidade das espécies ao longo do tempo geológico. As análises mostram que existem períodos de um aumento exponencial da diversidade, como aconteceu no início do Cambriano e no Ordoviciano; períodos de estabilidade, em que a diversidade permanece praticamente inalterada por milhões, quando não por centenas de milhões, de anos; e períodos de

extinção maciça (Sepkoski, 1979). Talvez o fato mais interessante seja a extraordinária estabilidade de certas associações ecológicas. Em vez do gradual enriquecimento dessas faunas, a diversidade das espécies permaneceu a mesma por períodos geológicos inteiros, e as quebras limitavam-se à proporção de 1/1, substituindo-se uma espécie extinta por outra que passava a ocupar o seu espaço. A "explosão das espécies" do Ordoviciano pode ter sido atribuída à substituição das generalistas pelas especialistas; mudanças mais recentes, particularmente nos oceanos, poderiam ser explicadas pelo movimento das placas, pela ampliação das plataformas marítimas rasas e pelos eventos climáticos (inclusive eras glaciais). As pesquisas recentes e pioneiras nessa área estão ainda nos seus começos.

Houve um número considerável de períodos de extinção em massa, como no fim do Permiano, e depois de novo no fim do Cretáceo. E é certo que o fim do Paleozóico e do Mesozóico é definido exatamente por essas extinções em massa. Diversas sugestões foram levantadas, no sentido de uma causa extraterrestre para a extinção, como a passagem da terra por uma nuvem de poeira cósmica. Outros explicaram o fenômeno por mudanças drásticas de clima, devidas, por sua vez, às placas tectônicas. A descoberta de que no limite entre o Cretáceo e o Terciário existe um depósito muito enriquecido de irídio induziu Alvarez e seus colegas (1980) a levantar a hipótese de que a terra foi sacudida por um asteróide, onde a nuvem de poeira vedou completamente a luz do sol por diversos anos. Por mais excitante que seja essa teoria à primeira vista, ela suscita numerosas questões insolúveis, por exemplo: como explicar então a sobrevivência dos mamíferos, das aves, das angioespermas, dos répteis não-dinossáurios, e outros? Está claro que o estudo da extinção permanece uma fronteira largamente aberta.

A evolução do homem

Nenhuma idéia era mais perturbadora para a imaginação victoriana que a de que o homem pudesse ter descendido dos macacos. Mesmo que a evolução pudesse ser demonstrada em relação a todos os outros organismos, certamente o homem, com todas as suas características humanas únicas, deve ter sido criado especialmente. O próprio A. R. Wallace recusou-se a atribuir a evolução do homem à seleção natural, para grande desapontamento de Darwin. Na realidade, como os anatomistas muito bem sabiam, o homem, na sua morfologia, é notavelmente semelhante aos macacos antropóides. É esse o motivo por que Lineu não hesitou em incluí-lo entre os Primatas. Dentro de poucos anos, após a publicação do *Origin,* Haeckel, na Alemanha (1866, 1868), e T. H. Huxley, na Inglaterra (1963), publicaram volumes, onde se postulava que o homem descendia do macaco. O próprio Lyell (1863) admitiu finalmente, pelo menos, a antiguidade do homem; e Darwin, em 1871, publicou uma obra importante, *The Descent of Man,* em que os problemas da evolução do homem foram discutidos de maneira muito detalhada.

Nesse meio tempo (na realidade, já antes da publicação do *Origin*), foram encontrados os primeiros fósseis hominídeos, particularmente o homem de Neanderthal (1856). Haeckel, com sua habitual imaginação romântica, chegou ao ponto de reconstruir o "elo perdido" entre o homem e os macacos, chamando-o de *Pithecanthropus.* Inesperadamente, a busca desse elo perdido foi pouco depois coroada de êxito, quando o médico da Armada Holandesa e antropólogo amador, E. Dubois, encontrou o crânio do *Pithecanthropus* (hoje incluído no *Homo erectus),* em Java, no ano de 1891.

Desde aquele momento, o número de achados do homem fóssil não parou de crescer, o mais importante deles tendo sido a criança de Taung (*Australopithecus africanus)* descrito por Dart, na África do Sul, em 1924. Numerosas outras descobertas de australopitecíneos, por parte de Broom, dos Leackey e de outros, permitiram a reconstrução dessa notável criatura. Na sua pélvis e nas suas extremidades posteriores, ele pouco difere do homem moderno; na sua dentição e na sua face, ele é mais ou menos o intermediário entre os macacos e o homem; e no seu crânio (cerca de 450 cm^3, comparado com os 1.500 cm^3 do homem), ele ainda se situa essencialmente no nível do macaco, antropóide.

Ulteriores descobertas feitas no sudeste da Ásia, na Etiópia, no Kênia e na Tanzânia permitem hoje reconstruir uma cadeia praticamente ininterrupta, desde o mais antigo *Australopithecus (afarensis),* passando pelo *A. africanus,* o *Homo habilis,* até o *Homo sapiens*. Considerações, tanto de ordem cronológica como de ordem morfológica, sugerem que o A. *africanus* constituía uma espécie politípica, cujas populações isoladas deram origem tanto ao robusto *Australopithecus robustus* (uma linha lateral) como ao *Homo habilis*. É muito pouco provável que venhamos a recuperar fósseis o bastante para podermos determinar onde estavam localizados os isolados em que essas espécies se desenvolveram, bem como identificar as causas do seu afastamento do A. *africanus*. O *Australopithecus robustus,* que coexistiu com o *Homo habilis,* extinguiu-se há mais de um milhão de anos. Embora hoje o *Australopithecus* possa ser seguido retrogressivamente até mais ou menos quatro milhões de anos, permanece assunto de controvérsia há quantos milhões de anos essa linhagem hominídea fez desabrochar a linha que conduziu aos macacos africanos, aos chimpanzés e aos gorilas. Uma decisão final dependerá, em grande parte, da questão de onde situar o fóssil *Ramapithecus,* e determinar se ele deve ser considerado o ancestral só dos hominídeos ou também dos macacos africanos, ou apenas um ramo lateral. Afigura-se cada vez mais provável que a passagem do ancestral simióide (*Ramapithecus*) para a condição hominóide tenha ocorrido de modo muito rápido, talvez apenas há cinco ou sete milhões de anos. Somente novas descobertas fósseis poderão trazer-nos maior certeza.

O que é muito espantoso é o fato da extraordinária semelhança entre o homem e os grandes macacos africanos, no tocante às características moleculares e à estrutura cromossômica. Estamos diante de um caso evidente de "evolução mosaica", em que alguns segmentos do genótipo (as macromoléculas básicas) permaneceram conservadores, enquanto outros segmentos, os que controlam a anatomia geral e particularmente o sistema nervoso central, evoluíram numa proporção extremamente rápida. De qualquer maneira, hoje não se tem mais dúvidas sobre o fato crucial de que a linhagem hominóide brotou da linha que levou aos macacos africanos.

O que é muito mais importante que as incertezas sobre a cronologia é o nosso conhecimento cada vez maior das etapas que conduziram do antropóide à condição humana. O haver assumido a postura ereta, quando nossos ancestrais desceram das árvores, constituiu apararentemente o primeiro passo, e talvez o mais decisivo. Ele liberou as extremidades anteriores para a função de manipulação, permitindo carregar objetos, e fazer muito mais vasto uso de utensílios do que se constata em qualquer tipo de macaco, e conduzindo finalmente à confecção dos utensílios. A caça aos animais de porte e o desenvolvimento de uma verdadeira linhagem foram, ao que parece, outras etapas importantes da evolução do homem. Caracterizar o homem por critérios tais como a consciência, ou por possuir uma mente e uma inteligência, não é de muita utilidade, porquanto há indícios suficientes no sentido de que o homem difere dos macacos e de muitos outros animais (o

próprio cão!), nessas características, de maneira apenas quantitativa. Mais do que qualquer outra coisa, é a linhagem que permite a transmissão de informações de uma geração a outra, e com isso o desenvolvimento de uma cultura não-material. A linguagem, portanto, constitui o aspecto humano mais característico. Diz-se muitas vezes que a cultura é a característica mais primitiva do homem. Na verdade, trata-se muito mais de uma questão de definição. Se definirmos a cultura como sendo aquilo que é transmitido (pelo exemplo e pelo aprendizado) dos indivíduos mais velhos para os mais jovens, então a cultura está muito difundida entre os animais (Bonner, 1980). Assim, mesmo na evolução da cultura, não existe uma nítida ruptura entre o animal e o homem. Conquanto a cultura seja mais importante no homem, talvez por diversas ordens de grandeza, a capacidade de produzi-la não lhe é exclusiva, sendo muito mais um resultado da evolução gradual.

Uma das mais surpreendentes descobertas da pesquisa antropológica tem sido a rapidez com que o *Homo* evoluiu. Mesmo se levando em conta o concomitante aumento do tamanho corporal, o crescimento do cérebro hominóide, de 450 para 1.600 cm^3, foi extremamente rápido. Talvez outro fato igualmente notável seja que, uma vez atingido o estado de *Homo sapiens* (há mais de 100.000 anos), não se verificou mais nenhum aumento visível do seu cérebro. É muito difícil entender por que o homem primitivo teria sido selecionado para um cérebro de uma perfeição tal que, 100.000 anos depois, iria permitir as realizações de um Descartes, de um Darwin, de Kant, ou a invenção do computador ou as idas à lua, ou as criações literárias de Shakespeare e de Goethe. Mas então, com certeza, o homem será sempre um mistério para o homem.

A eugenia

O reconhecimento de que a seleção natural, e somente ela, içou o homem do nível de um macaco para o de uma criatura humana despertou em Galton, logo após a morte de Darwin, a idéia de que era possível aplicar esse princípio da seleção com o objetivo de realizar um melhoramento biológico do homem. Esse projeto utópico, a que deu o nome de *eugenia,* encontrou no princípio muitos adeptos. De fato, grande número de geneticistas e de outros biólogos consentia, nos seus escritos, em que seria uma idéia nobre melhorar a humanidade, facilitando a reprodução dos "melhores" membros da espécie, e prevenindo a reprodução dos indivíduos que tivessem doenças genéticas, ou que fossem de alguma outra forma inferiores. Na verdade, deve-se fazer distinção entre dois tipos de eugenia. A eugenia negativa busca reduzir o número dos genes deletérios de uma população, impedindo a reprodução dos portadores de genes dominantes, e diminuindo a taxa de reprodução dos portadores heterozigotos de genes recessivos (quando tais heterozigotos podem ser diagnosticados. A eugenia positiva procura favorecer a capacidade reprodutiva dos indivíduos "superiores" (Haller, 1963; Osbom, 1968). Quando se lêem os escritos desses antigos defensores da eugenia, fica-se impressionado com o seu idealismo e humanidade. Eles enxergavam na eugenia um meio de ir-se além das melhorias proporcionadas pela educação e de elevar o padrão de vida. No começo não havia qualquer conotação política ligada à eugenia, sendo admitida por todo mundo, da extrema esquerda à extrema direita. Mas isso não durou muito tempo. Não demorou a tomar-se instrumento dos racistas e reacionários. Em vez de ser aplicada estritamente ao pensamento de população, ela foi interpretada em termos tipológicos; bem depressa, sem que existisse qualquer evidência, raças inteiras da humanidade foram designadas superiores ou inferiores. A longo prazo, ela conduziu aos horrores do holocausto de Hitler.

Em decorrência disso, tomou-se praticamente impossível, desde 1933, discutir sobre a eugenia com objetividade. Mas, de qualquer maneira, isso não invalida o fato de que foi por meio da seleção que o homem chegou à humanidade, e é igualmente verdadeiro que não se conhece outro método que não a seleção para melhorar o genótipo humano. Contudo, é impossível aplicar a seleção artificial ao homem, pelo menos por enquanto, e isso por diversas razões. Em primeiro lugar, porque se ignora completamente em que medida as características humanas não-físicas têm uma base genética. Em segundo lugar, a humanidade floresce na diversidade dos talentos e das capacidades dos seus membros; mesmo que tivéssemos a capacidade de manipular a seleção, não teríamos qualquer idéia a que particular mistura de talentos conduziria essa iniciativa. Por último, o conceito de que as pessoas são geneticamente diferentes, mesmo se isso fosse estabelecido cientificamente melhor do que é hoje, não é aceitável para a maioria da opinião pública ocidental. Há um conflito ideológico total entre os conceitos de igualitarismo e eugenia. Temos que lembrar que os princípios da Constituição dos Estados Unidos basearam-se nas idéias dos líderes do Iluminismo, cujos ideais eram magníficos, mas cujo conhecimento de biologia era deficiente, para usar uma expressão suave. Como Bateson disse há muitos anos:

> Nem mesmo os escritos da Patrística contêm fantasias tão distantes da verdade fisiológica como as que os racionalistas da "Enciclopéia" adotaram como base dos seus modelos sociais (1914:7).

Nos dias de hoje, a eugenia está em ponto morto, e assim irá permanecer até que seja mais amplamente adotado o pensamento de população, e até que saibamos muito mais sobre o componente genético das características humanas. [13]

Se perguntarmos qual é o aspecto mais característico da pesquisa evolucionista atual, temos que empregar o termo *interação*. Na época em que predominava o reducionismo, a atenção se concentrava na atividade e na adaptação dos genes individuais; hoje, presta-se cada vez mais atenção na interação dos genes, nos mecanismos reguladores e no genótipo como um sistema ativo. Os estudos sobre a adaptação do indivíduo isolado são suplementados por estudos da seleção de parentesco, da adaptação inclusiva, do altruísmo recíproco, das relações de pais e filhos, e assim por diante. O estudo da evolução das plantas e animais é enriquecido pelo estudo de sua co-evolução (Ehrlich e Raven, 1965). A evolução dos herbívoros não pode ser entendida a não ser como uma resposta à evolução das plantas que lhes servem de alimento. Disso já se tinha conhecimento há muito tempo, como o comprovam as frequentes referências ao efeito da passagem de comer arbustos a comer grama, na evolução dos cavalos e de outros mamíferos da zona temperada, durante o Terciário. Grande parte da evolução dos insetos, a partir do Cretáceo, está intimamente correlacionada com a evolução dos angiospermas. Os estudos da evolução dos sistemas sociais e dos ecossistemas concentram-se fortemente nos efeitos da interação. Tudo isso, evidentemente, é uma consequência óbvia da seleção natural. Esta é exercida pelo meio ambiente; e o meio ambiente de um indivíduo não consiste apenas na natureza inanimada, mas também em outros indivíduos da mesma espécie, bem como em indivíduos de outras espécies (tanto plantas como animais). Em última instância, portanto, os estudos da interação durante o processo evolutivo nada mais são que uma extensão do exercício da pesquisa sobre a seleção natural. Isso é muito bem demonstrado pelos modernos manuais de biologia evolucionista (Futuyma, 1979), do comportamento (Alcock, 1980), e

da ecologia (Rickleffs, 1978).

Problemas não resolvidos da biologia evolucionista

Muitas vezes se pergunta ao biólogo evolucionista quais são os problemas não resolvidos da sua área. Acontece que poucos desses problemas dizem respeito aos princípios básicos, uma vez que uma alternativa para o darwinismo se tomou cada vez menos provável, quanto mais se tem aprendido sobre a vida. Quanto aos problemas, pode-se talvez mencionar a questão: Que proporção da variabilidade observada na vida é o produto da seleção, e que outra é devida a processos estocásticos? Os problemas mais específicos são: a origem da vida (como os ácidos nucléicos e os polipeptídios se dissociaram); a origem dos vírus; os detalhes da conversão de procariotos em eucariotos; o funcionamento do cromossomo eucarioto; a classificação dos vários tipos de DNA (estrutural, regulador, repetitivo, e assim por diante) e suas respectivas funções na evolução e na especiação; o parentesco e a filogenia dos tipos mais importantes de plantas e de invertebrados; os respectivos papéis da competição intra-específica e interespecífica na evolução; a evolução dos diferentes tipos de comportamento e sua função como viabilizadores da evolução; e as razões da frequência extraordinariamente elevada da extinção (por que a seleção se mostra tão incapaz de evitá-la?). Qualquer especialista poderia acrescer esse elenco de problemas. Uma área de investigação particularmente rica é o pluralismo (caminhos múltiplos) que se verifica na evolução. Para quase todo o tipo de desafio apresentado pelo meio ambiente, as diversas linhas evolutivas encontraram respostas diferentes. Que tipo de empecilhos as diferentes respostas (como o esqueleto externo dos artrópodes *versus* esqueleto interno dos vertebrados) acarretam para a evolução futura dessas linhagens? Pode-se dizer que, no seu conjunto, os entraves evolutivos representam uma área ainda virtualmente intacta. A fusão da biologia evolucionária com a ecologia, com a biologia do comportamento e com a biologia molecular levantou um número, por assim dizer, interminável de novas questões. Entretanto, repetindo o que já foi dito, é pouco provável que qualquer nova descoberta venha a impor uma modificação importante no aparato teórico básico a que se chegou durante a síntese evolucionista.

Evolução no pensamento moderno

A frequência, e muitas vezes a violência, das controvérsias entre os evolucionistas tem deixado confusos alguns não-biólogos. Em decorrência disso, instalou-se na sua mente o ceticismo em relação a todo o conceito da evolução, ou pelo menos em relação ao princípio darwiniano da seleção natural. Por isso, é legítima a questão sobre qual o papel que a evolução e o darwinismo desempenham no pensamento moderno. Talvez seja preciso dizer desde logo que nenhum biólogo bem informado duvida da evolução. Na realidade, muitos biólogos consideram-na não uma teoria, mas simplesmente um fato, documentado pela mudança dos patrimônios genéticos de geração em geração, e pelas alterações na sequência dos fósseis, nos estratos geológicos sucessivos cuidadosamente datados. Provavelmente, também é legítimo dizer que a grande maioria dos leigos bem informados aceita a evolução com a naturalidade com que aceitam o fato de que a terra gira ao

redor do sol, e não o inverso. Qualquer oposição à evolução que ainda persiste hoje em dia restringe-se às pessoas que têm compromissos de religião. Certas seitas fundamentalistas ainda insistem numa aceitação inquestionável da história literal do Gênese, a despeito do seu desmentido pela mais avassaladora evidência científica. Um debate racional entre cientistas e fundamentalistas é impossível, porque uma das partes rejeita a revelação sobrenatural, a outra rejeita o fato científico.

De maior interesse é o ocasional ressurgimento do anti-selecionismo. Os mais destacados autores da literatura anti-selecionista são em geral jornalistas, juristas, escritores e filósofos, e os seus argumentos se baseiam numa tal ignorância dos fatos da genética, da sistemática, da biogeografia, da ecologia, e de outros ramos da biologia, que um debate racional se toma impossível. Entretanto, o que mais perturba é o fato de que uns poucos cientistas sérios e bem informados endossaram os argumentos dos anti-selecionistas leigos, e também proclamaram que a fórmula "variação e seleção" não pode explicar plenamente a evolução. Esses anti-selecionistas cientificamente qualificados constituem uma minoria

muito pequena. Seus argumentos normalmente se apoiam numa incapacidade de reconhecer a natureza probabilística da seleção, na falha em perceber que o alvo da seleção é o indivíduo como um todo, e na falta de percepção dos numerosos entraves que a seleção enfrenta. Os evolucionistas não se preocupam muito em refutar esses autores, porque os contra-argumentos já foram todos expressos na literatura, vezes frequentes e em considerável detalhe.

Tais controvérsias menores foram incapazes de retardar, e muito menos de paralisar, o impacto geral do pensamento evolucionista em todas as esferas do pensamento humano. O pensamento evolutivo já não é prerrogativa da biologia; não existe nenhuma área de reflexão humana, em que entre o aspecto histórico, que não tenha adotado o pensamento e a metodologia evolucionários. Empregamos hoje a palavra "evolução" com toda liberdade, começando com a evolução do universo até a evolução da sociedade humana, a evolução das linguagens, a evolução das formas de arte, e a evolução dos princípios éticos.

Todavia, a aplicação indiscriminada do termo "evolução" conduziu a algumas formulações infelizes, quando não a absurdos. Os não-biólogos favoráveis à conceituação evolucionista muitas vezes desconhecem a teoria darwiniana ou neodarwiniana, sujeitando-se, por exemplo, a incorrer em esquemas ortogenéticos, como a teoria de que a cultura humana passa automaticamente por uma série de estágios, desde o de caçador – colhedor até o das megalópoles urbanas. Foram muito utilizados princípios teleológicos por aqueles que empregavam a linguagem evolucionista fora da biologia, e quando tais esquemas teleológicos eram refutados, pensou-se que isso significava a refutação do conceito de evolução como um todo. O estudo dessa literatura lamentavelmente demonstra que ninguém deveria fazer afirmações perfunctórias sobre a evolução, em campos exteriores ao mundo da biologia, sem antes estar bem familiarizado com os conceitos consolidados da evolução orgânica e, acima de tudo, sem a mais rigorosa análise dos conceitos que pretende utilizar. O pensamento evolutivo é indispensável em qualquer campo que envolva mudanças na dimensão tempo. De qualquer maneira, há muitos "tipos" de evolução, dependendo da natureza das causas responsáveis pela mudança, da natureza dos entraves, e da natureza do êxito das mudanças. Ainda não foi empreendida uma análise apropriada dos diversos tipos da assim chamada evolução nas diferentes áreas. Mas não há dúvida de que a aplicação dos princípios evolucionistas tenha enriquecido grandemente muitos campos do pensamento humano.

PARTE III

A VARIAÇÃO E SUA HEREDITARIEDADE

Já os povos primitivos eram bem cientes de dois aspectos da natureza viva: uma imensa variabilidade no seio de cada espécie, e uma tendência a que as características do pais se transmitam à sua progênie. Filósofos e cientistas tentaram explicações para a hereditariedade, desde os tempos dos pré-socráticos até o final do século XIX, mas foi preciso esperar até o ano de 1900, quando foi redescoberta a obra de Mendel, para que o amadurecimento dos conceitos permitisse o estabelecimento da genética, como uma ciência autônoma da hereditariedade. Outros cinquenta anos, todavia, se passaram antes que os biólogos chegassem a entender plenamente qual era o aspecto mais significativo da hereditariedade, qual fosse, a existência de um programa genético. Tal programa constitui a diferença mais fundamental entre os organismos vivos e o mundo dos objetos inanimados; e não existe nenhum fenômeno biológico em que o programa genético não esteja envolvido. Por isso, os geneticistas, com boas justificativas, puderam afirmar que a genética é a mais básica de todas as disciplinas biológicas. [1]

A particular importância da genética reside em que, na hierarquia dos fenômenos biológicos, ela atua num nível que permite fazer a ponte entre aquelas disciplinas da biologia que se ocupam de organismos plenos, como os sistemas e a maior parte da biologia evolucionária, e aquelas que tratam puramente de fenômenos moleculares. Dessa forma, ela contribuiu para a unificação da biologia, justamente por ter mostrado que os processos genéticos, nos animais e nas plantas superiores, são exatamente os mesmos. Mais importante ainda, a genética ajudou a resolver os problemas relativos aos mecanismos da evolução e do desenvolvimento. Uma compreensão dos princípios fundamentais é o pré-requisito para um entendimento pleno de virtualmente todos os outros ramos da biologia – trata-se da biologia fisiológica, do desenvolvimento, ou evolucionária. Grande parte do progresso acelerado da biologia, no século XX, deve-se a uma melhor compreensão dos mecanismos da hereditariedade. Correlativamente, muitas controvérsias da biologia, durante a primeira metade do século XX, assentavam-se nas dificuldades de integrar as descobertas e os conceitos da genética aos ramos mais antigos e já estabelecidos da biologia. Ao mesmo tempo, uma importante contribuição para o amadurecimento da genética foi fornecida pela introdução dos conceitos de áreas vizinhas, conceitos esses anteriormente ausentes na genética. Tais conceitos provieram da sistemática (pensamento de população), da teoria da informação (programa) e da bioquímica.

Poder-se-ia até levantar a questão se a intensa interação entre a genética e os outros ramos da biologia não teria conduzido ao desaparecimento da genética como uma ciência em separado. A genética de populações tomou-se um ramo da biologia evolutiva; o estudo da atuação do gene tomou-se parte da biologia molecular; e os aspectos de desenvolvimento da genética converteram-se no domínio da biologia do desenvolvimento. Alguns partidários particularmente zelosos da genética chegaram ao extremo oposto de dizer que, no fundo, todas as disciplinas da biologia não passam de ramos da genética. Levando-se em consideração o fato de que o programa genético, de uma ou outra forma, está envolvido em todas as atividades biológicas (mesmo quando programas abertos controlam uma certa ação), aquela assertiva não é tão completamente absurda como poderia parecer. Esses pontos de vista conflitantes têm o mérito de enfatizar o papel central e integrador da genética no pensamento biológico.

A universalidade dos fenômenos genéticos é, necessariamente, a causa de uma considerável heterogeneidade no seio da ciência da genética. O estudo da origem de novos programas genéticos (mutação, recombinação), de sua transferência à próxima geração (genética de transmissão), do comportamento dos fatores genéticos em conjuntos de genes (genética de populações), bem como da

tradução de programas genéticos em fenótipos (genética fisiológica ou do desenvolvimento), está a requerer disciplinas separadas. As interações mais frequentes de qualquer dessas disciplinas acontecem muitas vezes não entre elas mesmas, mas com ramos da biologia exteriores à genética, tais como a sistemática, a embriologia, a fisiologia, ou a bioquímica.

O meu tratamento aqui se concentra na genética de transmissão e seus componentes, isto é, nas unidades da hereditariedade (os genes), suas mudanças (mutações), seus arranjos (em cromossomos), seu reagrupamento (recombinação, desvios devidos a erros de amostragem), e sua transferência à próxima geração. A história daqueles aspectos da genética que se apresentam como mais importantes para a explicação causai da evolução, como por exemplo a genética de populações, já foi descrita nos Capítulos 11 e 12. Por fim, a genética fisiológica é inseparável da biologia do desenvolvimento, e por isso será tratada num volume em separado. Cada um desses ramos da genética possui seu próprio aparato conceitual e sua própria história.

Embora alguns historiadores, como Barthelmess (1952) e Stubbe (1965), não hesitem em começar a sua história da genética com as idéias sobre a hereditariedade mantidas pelos antigos, outros são de opinião que "fazer remontar as origens da genética aos tempos anteriores ao início da ciência moderna se afigura … perder de vista a sua essência" (Dunn, 1965: XIV). Nesse particular, coloco-me do lado de Barthelmess e Stubbe. Desde os tempos do homem primitivo, os homens tinham idéias sobre a hereditariedade, sobre as causas das semelhanças, e sobre a origem de novos tipos de organismos e de novas características. A maioria daquelas idéias era errônea, mas mesmo que tivéssemos de afirmar que nenhum dos conceitos e das crenças de Hipócrates ou de Aristóteles sobreviveu aos tempos modernos, nem por isso o historiador das idéias poderia deixar de estudá-las cuidadosamente. Antes de podermos entender as bases sobre as quais se desenvolveram as idéias novas, é preciso entender a maneira por que as idéias antigas foram modificadas, ou por que elas foram eliminadas. Mais do que isso, as idéias sobre a hereditariedade muitas vezes fizeram parte de ideologias mais universais, como o animismo, o atomismo, o essencialismo, o criacionismo, o mecanicismo fisiológico, ou o holismo, e certas teorias genéticas não podem ser compreendidas, a menos que nos capacitemos dos seus fundamentos filosóficos. A genética mendeliana não se defrontou com um vazio, mas muito mais com teorias da hereditariedade já existentes, tais como a pangênese, a hereditariedade por miscigenação, ou as várias teorias de determinantes múltiplos. Nunca poderíamos ter uma compreensão plena da força intelectual da revolução mendeliana, a menos que se conheçam as teorias em vigor que ela removeu.

14. TEORIAS PRIMITIVAS E EXPERIMENTOS DE CRUZAMENTO

Todo indivíduo de uma espécie sexualmente reprodutiva (à exceção de gêmeos idênticos) é único. Esse montante de unicidade é muito maior do que o que se encontra no mundo dos objetos inanimados. Conquanto no nível macrocósmico também se verifiquem "indivíduos" únicos (como planetas e vulcões) e sistemas únicos (galáxias e sistemas climáticos), os mais abundantes de todos os indivíduos, os componentes da matéria (moléculas, átomos, partículas elementares) nunca são únicos. A maioria das leis das ciências físicas baseia-se nessa ausência de unicidade (veja o Capítulo 2).

Um correlato da individualidade nos organismos é a variação; qualquer grupo vivo que consiste em indivíduos únicos se reveste necessariamente da variação. A origem e a natureza da variação nos organismos vivos não foram entendidas anteriormente ao século XX, e a ausência de uma teoria consolidada da variabilidade constituiu um grande empecilho para a biologia novecentista. Foi o elo mais fraco da cadeia dos argumentos de Darwin para a teoria da seleção natural, um fato de que ele mesmo estava honestamente consciente. De fato, isso foi para ele motivo de preocupação durante toda a sua vida.

Que a variação, ou parte dela, seja por vezes correlacionada com a hereditariedade é fato que deve ter sido obscuramente conhecido pelo homem primitivo. Que uma prole possa assemelhar-se, em certos traços, aos seus pais ou avós era, evidentemente, um saber antigo. Toda criação de animais e de plantas está baseada na consciência de que algumas qualidades são herdadas. Todo esforço para a melhoria de um cultivo, seja por seleção seja por cruzamento, apoiava-se implicitamente no postulado da hereditariedade. O próprio papel dos sexos, na fertilização, era bem conhecido em certas culturas. Os assírios, pelo menos nos tempos remotos de 2.000 anos a. C., fertilizavam as flores das tamareiras fêmeas com o pólen derramado pelas flores das tamareiras machos.

No entanto, a natureza da hereditariedade e seu mecanismo permaneciam um grande mistério. As primeiras observações dos naturalistas primitivos e dos cultivadores, bem como as especulações de médicos e filósofos, levantaram numerosas questões, a maioria das quais constituiu objeto de debates até o início do século XX. Talvez não exista outra área da biologia em que a refutação de idéias errôneas e de dogmas tenha sido mais importante, para o avanço do conhecimento, do que a genética. Algumas dessas idéias erradas e dogmas eram:

1. que um pneuma parental, muito mais do que a grosseira transmissão da substância física, era o agente da hereditariedade;
2. que somente um dos pais transmitia os elementos genéticos (ao que se opunham Buffon e Kölreuter);
3. que a contribuição do pai é quantitativa e qualitativamente diferente da contribuição da mãe (desde Aristóteles até Lineu);
4. que o meio ambiente e as atividades do corpo (uso e desuso) têm uma influência forte e determinante sobre o material genético (herança dos caracteres adquiridos);
5. que existem dois tipos nitidamente distintos de propriedades hereditárias – as que variam de modo descontínuo (aos saltos), e as que variam de modo contínuo, por

gradações infinitesimalmente pequena;
6. que os próprios caracteres (propriedades) são herdados diretamente, em vez de só o potencial para a sua formação (na forma do programa genético);
7. que as contribuições genéticas de ambos os genitores se fundem na prole (hereditariedade de mistura).

Trata-se apenas de uma pequena amostra dos equívocos largamente difundidos concernentes à hereditariedade. Sendo esta um fenômeno tão notável, ela se tomou objeto de uma variada "ciência" folclórica, cujos resquícios ainda hoje podem ser encontrados entre as pessoas leigas. Os criadores de animais, por exemplo, insistiam em que a fêmea de uma raça pura, uma vez inseminada por um macho de raça diferente, ou por um mestiço, ficaria para sempre com um "sangue" impuro, não podendo mais ser usada para objetivos de procriação. Tal crença foi também muitas vezes aplicada ao homem, particularmente na literatura racista. Acreditava-se também amplamente que um só filho podia ter uma paternidade múltipla, de sorte que a cria de uma fêmea, que tivesse aceito diversos machos no período da concepção, combinaria as características desses diversos pais. Admitia-se também uma grande plasticidade do material genético; pensava-se, por exemplo, que qualquer acidente com a mãe, como o susto diante de uma cobra, podia afetar o feto.

Um dos aspectos mais característicos dos conceitos tradicionais sobre a hereditariedade, quando se os examinam retrospectivamente, era a frequente incompatibilidade de idéias aceitas simultaneamente. A crença numa essência constante e invisível era combinada com a aceitação de fortes influências do meio ambiente, ou com o reconhecimento de uma contribuição diferenciada de ambos os genitores. Conceitos estritamente quantitativos (como "a força da influência do pai") eram sustentados a par de conceitos puramente qualitativos (a herança de traços individuais, como na eugenia de Platão). Era quase universalmente admitida a herança de injúrias corporais (mutilações), embora se pudesse constatar facilmente que um guerreiro que tivesse perdido um braço não produziria filhos sem braço, sem mencionar a ineficácia genética de milhares de anos de circuncisão entre os judeus.

As teorias da hereditariedade entre os antigos

Conquanto diversos filósofos gregos tenham feito suas reflexões e análises críticas, os antigos ainda não haviam desenvolvido uma teoria unificada, seja da variação, seja da hereditariedade, e as idéias desses filósofos diferem grandemente entre si. No entanto, havia um princípio da hereditariedade que era aceito de modo generalizado, dando continuidade à tradição da *Ilíada* e de outras épicas, em que a herança das qualidades heróicas do pai pelo filho era tida como certa. Todavia, os filósofos gregos tinham apenas idéias muito vagas sobre o modo como as características dos pais se transmitiam à sua prole. Os dois autores que exerceram maior influência nos séculos seguintes sobre o pensamento relativo à geração e à hereditariedade foram Hipócrates e Aristóteles. [1]

O famoso médico Hipócrates (cerca de 460-377 a. C.) pensava que a "substância seminal" provinha de todas as partes do corpo, e era conduzida pelos humores aos órgãos genitais *(De Generatione,* seções 1 e 3). A fertilização consiste na mistura da matéria seminal do pai e da mãe. Que todas as partes do corpo participavam na produção da matéria seminal era comprovado pelo

fato de que indivíduos de olhos azuis têm filhos de olhos azuis, e que homens calvos têm filhos que se tomam calvos. Se algumas partes do corpo eram enfermiças, a parte correspondente da prole também podia ser enfermiça.

A idéia de uma tal panspermia, ou pangênese, foi expressa pela primeira vez, ao que parece, por Anaxágoras (pelos anos 500-428 a. C.), e teve os seus representantes pelo menos até o final do século XIX, entre eles Charles Darwin (veja o Capítulo 16). Se admitirmos o efeito do uso e desuso, ou alguma outra forma de herança dos caracteres adquiridos, como quase todo mundo admitia desde Hipócrates até o século XIX, somos virtualmente obrigados a aceitar aquela teoria. Uma característica da teoria da pangênese é também a alternância entre a formação do corpo (fenótipo, soma) e, por meio dele, a formação da susbstância seminal (esperma, genótipo), a qual, então, diretamente pelo crescimento, se converte de novo no corpo da geração seguinte. Essa concepção era essencialmente mantida, até ser ameaçada pela primeira vez nos anos 1870 e 1880 (Galton, Weismann).

Aristóteles

Nenhum dos antigos tinha um interesse mais profundo pelas questões da geração que Aristóteles, que consagrou a esse problema uma de suas obras mais importantes *(De generatione)*. Ele discutiu a variação e a hereditariedade também em outros escritos, como no *De partibus*. Aristóteles era totalmente contrário à interpretação atomista da hereditariedade, assim como defendida por Hipócrates e seus precursores. Como podia ela explicar a herança de caracteres que não produzem sementes, como os tecidos mortos (unhas e cabelos), ou de características comportamentais, como a voz ou locomoção? Além disso, o pai pode transmitir caracteres numa idade em que eles ainda não se manifestaram, como a calvície ou a canície prematura. Aristóteles igualmente rejeita a possibilidade de que o produto sexual do macho seja um animal minusculamente pré-formado, como mais tarde foi admitido por alguns autores dos séculos XVII e XVIII.

A teoria aristotélica da hereditariedade era uma teoria holística. Ele sustentava, como alguns de seus antecessores, que a contribuição do macho e a da fêmea eram algo diferentes. O sêmen do macho fornece o princípio gerador da forma (*eidos*), enquanto o sangue menstruai (*catamenia*)[{†††††††}] da fêmea é a substância informe a ser moldada pelo *eidos* do sêmen. Ele compara o efeito do sêmen ao das ferramentas do carpinteiro sobre a madeira. A "fêmea sempre fornece o material, o macho aquilo que molda a matéria, dando-lhe forma; é isso, na nossa maneira de pensar, a característica específica de cada um dos sexos: é o que significa ser macho ou ser fêmea".

Essa afirmação poderia sugerir uma diferença marcante no papel do sêmen e do catamênio; mas, em outros passos, Aristóteles postula uma luta, como que uma competição, entre as substâncias seminais do macho e da fêmea. Quando predomina o material masculino, nascerá um menino. Se houver apenas uma vitória parcial, pode ser um menino com as características da mãe; ou, se a força dos pais for inferior à dos avós, será uma criança com as características dos avós, e assim por diante.

O que é muito importante no pensamento de Aristóteles é o papel do *eidos* de cada indivíduo. Certo é que cada criança possui as características da espécie à qual pertence, mas ela também tem a sua própria individualidade específica. Um filho de Sócrates, diz Aristóteles, é apto a possuir as características de Sócrates.

Já foi dito, e não sem justificativa, que a separação feita por Aristóteles entre um princípio formador *(eidos)* e o material a ser formado não difere muito do moderno conceito de um programa genético que controla a moldagem do fenótipo (Delbrück, 1971). Isso, todavia, ignora o fato de que o *eidos* de Aristóteles era um princípio não-material; e, além disso, tal princípio, por obra de autores subsequentes, foi seriamente confundido com o conceito de *eidos,* completamente diferente de Platão. Em consequência, o conceito aristotélico foi virtualmente ignorado, até após 1880. (O conceito de Buffon de um *moule intérieur* assemelha-se superficialmente ao *eidos* de Aristóteles, mas parece não haver conexão histórica entre eles [Roger, 1963]. O molde de que fala Buffon era uma entidade estritamente material.) A similaridade entre as idéias de Aristóteles e as idéias modernas só começou a ser reconhecida a partir de 1970.

Como em outras áreas da biologia, a contribuição mais importante trazida pelos gregos foi o fato de haverem introduzido uma atitude inteiramente nova em relação à hereditariedade. Já não a consideravam mais algo misterioso, dado pelos deuses, mas sim a ser estudado e sobre o qual se podia exercer a reflexão. Em outras palavras, reivindicaram para a hereditariedade o tratamento de ciência. Com efeito, eles foram os primeiros a formular muitas questões, que constituíram depois objeto das grandes controvérsias genéticas do século XIX e do começo do XX. E uma das escolas de filosofia, a dos epicuristas, introduziu um conceito novo – o da existência de partículas muito pequenas e invisíveis, o que mais tarde se tomou um dos conceitos dominantes da genética.

Por uns dois mil anos depois dos tempos de Aristóteles e dos atomistas gregos, quase nada de novo foi acrescentado ao assunto da geração e da hereditariedade. Isso é válido também para o período alexandrino e para o romano; e as disputas medievais seguiram amplamente nos termos desses modelos clássicos, disponíveis à época. Muitas das questões levantadas pelos gregos, mas que foram incapazes de responder, eram efetivamente as questões mais importantes de que se ocupou a ciência nova do Renascimento. Algumas dessas questões, nem todas articuladas claramente pelos gregos, foram as seguintes:

1. Qual é a natureza da fertilização? O que é que se transmite durante a cópula, e é responsável pela concepção?
2. Podem os seres vivos originar-se espontaneamente, ou é sempre necessária uma união sexual para a produção de indivíduos novos?
3. Quais são as contribuições respectivas do pai e da mãe para as características do filho? Daria a mãe uma contribuição adicional (hoje diríamos "genética"), servindo como nutriz do embrião em desenvolvimento?
4. Onde é que se forma a sêmen masculino – em um órgão especial, ou por todo o corpo?
5. Como é determinado o sexo da prole?
6. Em que medida os caracteres hereditários são afetados pelo uso e o desuso, pelo meio ambiente, ou por outros fatores?

Todas essas questões, e muitas outras, deviam ser respondidas – de fato, formuladas antes de tudo de modo apropriado – para que uma ciência da genética fosse possível.

Novos começos

Quando, na Idade Média Alta, ressurgiu um interesse pela natureza, havia um clima espiritual e intelectual inteiramente diferente do dos gregos. Via-se a vontade de Deus e o seu poder de criador em cada objeto e em cada processo. A ênfase era colocada nas "origens", na geração de indivíduos novos, e não no princípio da continuidade, implícito na hereditariedade. Esse espírito, que se caracterizou particularmente no século XVI, foi descrito de modo soberbo por Jacob (1970: 19-28). A geração espontânea e a infusão da vida na matéria orgânica não-viva eram consideradas tão naturais como a reprodução regular. A produção de monstros dificilmente era motivo de espanto maior. A conversão das sementes ou das mudas de um planta nas de uma outra (heterogenia) era considerada um fenômeno cotidiano. A origem de novos seres era sempre considerada uma *generatio ab initio*. Tendo em vista que a ênfase era posta no desenvolvimento que segue à geração original, esse período do pensamento humano é particularmente importante para a história da disciplina que, depois dos anos 1828, foi designada embriologia.

É preciso lembrar que, do século XV ao XVIII, a biologia como tal ainda não existia. O que existia eram apenas duas esferas de interesse, com apenas tênue correlação, a história natural e a medicina (incluindo fisiologia). A geração foi primeiramente estudada por professores de anatomia e por médicos flsiologistas, que investigavam as causas próximas, raramente indagando questões relativas à hereditariedade. O seu interesse concentrava-se na biologia do desenvolvimento. Ao contrário, os estudiosos da história natural debruçavam-se principalmente sobre a diversidade da natureza, resultado das causas últimas.

Considerando que todos os membros da espécie compartilham a mesma essência, a hereditariedade era uma necessidade óbvia e não um problema científico. Quando de fato era abordada, isso acontecia no contexto da questão das espécies. A variação, porém, despertava o interesse de todos, particularmente dos naturalistas. Os herbalistas, os botânicos, os caçadores, os criadores de animais, todos ficavam encantados com indivíduos aberrantes. De início, isso se restringia às "mutações" nitidamente diferentes (veja adiante), mas, finalmente, à medida que mais e mais espécimens se acumulavam nos viveiros e nos museus, começou-se a perceber também a variação individual ordinária, e começou a ser objeto de estudo. Oportunamente, passou a ser importante fonte de evidência contra a validade do essencialismo.

Desde a Idade Média até o século XIX, o pensamento do homem ocidental era completamente dominado pelo essencialismo (veja Capítulo 2). Uma vez que, segundo essa filosofia, todos os membros de uma espécie compartilham de uma mesma essência (não afetada por influências externas ou acidentes ocasionais), o estudo da natureza não é nada mais que o estudo das espécies. O pensamento essencialista, ao longo dos séculos XVI, XVII, e quase todo o XVIII, era tão absoluto que aparentemente não foi feita nenhuma investigação sistemática sobre a variação das características individuais. Quando os naturalistas encontravam desvios da expressão típica da espécie, chegavam a admitir "variedades" intra-específicas (concebidas de maneira tipológica), mas elas não mereciam especial atenção. Com tamanha ênfase sobre as espécies, não é de surpreender que foi o problema da espécie que despertou as primeiras idéias sobre a hereditariedade – as de Lineu, Kölreuter, Unger e Mendel.

Qualquer estudo dos mecanismos da hereditariedade deve basear-se no cruzamento de indivíduos que diferem em características definidas e aparentemente constantes. Dessa forma, a variação é o problema número um a ser explicado por uma teoria da hereditariedade. Todavia, um essencialista não sabe como lidar com a variação. O dilema conceitual para ele consiste em que

"essencialmente" todos os indivíduos de uma espécie são idênticos. Em decorrência disso, tipos diferentes de variação, pelo fim do século XIX e mesmo no XX, estavam irremediavelmente confundidos uns com os outros. Tal confusão só ficou resolvida quando o pensamento de população substituiu o essencialismo na sistemática e na biologia evolucionária. Pode-se entender melhor a natureza das dificuldades mediante um rápido apanhado histórico. Ele mostrará como a heterogeneidade da variação foi gradualmente percebida, e como foram entendidas as diferenças entre os seus elementos componentes.

Lineu

No conceito de um especialista, a espécie, por definição, não comporta nenhuma variação essencial. Toda variação é "acidental", não afetando a essência (para maiores detalhes, veja Capítulo 6). Uma variante não é uma espécie diferente; ela é uma "variedade". Embora as variantes e as variedades já fossem há muito tempo do conhecimento dos naturalistas e horticultores, geralmente se atribui a Lineu o haver formalizado o conceito de variedade. Ele tinha um desprezo considerável pelas variedades, ria-se dos amantes das flores, que lhes davam nomes com tanta^entusiasmo. De modo geral, ele considerava as variedades desimportantes, modificações reversíveis, causadas por condições de clima ou de solo. Ele também tinha conhecimento das monstruosidades, que da mesma forma considerava irrelevantes. Jamais lhe ocorreu indagar sobre a importância biológica que podia estar contida na variação. "As variedades são plantas modificadas por alguma causa acidental" (*Phil. Bot.,* 1751: parágrafo 158).

No seu *Philosophia Botanica* (parágrafo citado), Lineu caracterizou a variedade do modo seguinte:

> Existem tantas variedades quantas são as diferentes plantas produzidas pela semente da mesma espécie. Uma variedade é uma planta modificada por uma causa acidental: clima, solo, temperatura, ventos, etc. Consequentemente, a variedade reverte à sua condição original quando se muda o solo.

Aqui a variedade é definida como o que hoje chamaríamos uma modificação não-genética do fenótipo. Na sua discussão sobre as variedades no reino animal (parágrafo 259), Lineu assinala que ele inclui sob o termo "variedade" não apenas as variantes climáticas não-genéticas, mas também as raças de animais domésticos e as variantes genéticas intrapopulacionais. Se percorrermos atentamente os seus escritos, descobriremos que, sob a palavra "variedade", ele inclui pelo menos quatro conjuntos de fenômenos inteiramente diferentes: (1) modificações não-genéticas, devidas a diferenças de nutrição, clima, cultivo, ou outras influências ambientais sobre o fenótipo; (2) raças de animais domésticos ou de plantas cultivadas; (3) variantes genéticas intrapopulacionais; e (4) raças geográficas, como as do homem.

Com o passar do tempo, quando foi descoberta a heterogeneidade dos fenômenos que haviam sido agrupados sob o termo "variedade", foram propostos novos termos para os diversos tipos de variedade. Contudo, a terminologia elaborada que resultou desses esforços (veja Plate, 1914: 124-143) não eliminou o problema, porque não eliminou a confusão conceitual subjacente. Muitos autores não faziam a correta distinção entre (1) variação genética e não-genética; (2) variação contínua e

descontínua (veja o Capítulo 16); e (3) variação individual e geográfica. Em decorrência, quando autores diferentes falavam de "variedades, muitas vezes tinham em mente fenômenos de todo diversos. A situação agravou-se pelo fato de que, a partir de Lineu, começaram a desenvolver-se duas diferentes tradições, que dividiram os botânicos e os zoólogos. Quando os zoologistas falavam de variedades, geralmente se referiam a raças geográficas; quando os botânicos assim procediam, normalmente significavam variedades cultivadas ou variantes intrapopulacionais. No entanto, essa diferença de tradição foi o primeiro sinal a indicar a diferenciação necessária dos tipos distintos de variedade.

Os precursores de Mendel

Foi na época de Lineu que foram dados os primeiros e hesitantes passos na pista que finalmente levou à descoberta da genética. Metodologicamente, há duas maneiras de estudar a hereditariedade. Uma delas é o estudo de genealogias. É bastante fácil seguir características marcantes na espécie humana, ao longo de diversas gerações, e foi por esse método que Maupertius, em 1745, conseguiu registrar a ocorrência do caráter polidáctilo (a presença de um sexto dedo na mão e no pé), no curso de quatro gerações. Sabe-se hoje que é um fenômeno devido a um gene dominante. Por extraordinária coincidência, Réaumur, quase ao mesmo tempo (1751), demonstrou também a herança dominante do caráter polidáctilo no homem (Glass, 1959). Logo mais seguiram-se estudos semelhantes sobre hemofilia e daltonismo. Embora tais genealogias fossem bem conhecidas dos biólogos do século XIX, não foram utilizadas como base das teorias da genética de transmissão.

O outro método do estudo da hereditariedade é por meio de cruzamentos. Tal método foi empregado por duas escolas, os hibridadores de espécies e os criadores de plantas e animais, com interesses e objetivos muito diferentes. [2]

Os hibridadores de espécies

Lineu muitas vezes é descrito como sendo um mestre-escola pedante, interessado unicamente em classificações artificiais. De fato, era simplesmente um fanático no seu esforço de classificar qualquer coisa debaixo do sol que ostentasse variação. Por outro lado, ele surpreende seus leitores por suas idéias altamente heterodoxas em relação a todo tipo de assuntos de história natural. Como acontece com qualquer autor em cujo cérebro procede uma rica fermentação de idéias, ele muitas vezes promoveu simultaneamente, ou pelo menos consecutivamente, idéias que se afiguravam estranhamente em conflito umas com as outras. Esse fato é bem ilustrado por sua mudança de pensamento em relação à natureza das espécies. A constância da espécie era a pedra angular dos primeiros trabalhos de Lineu, e a sua afirmação (1735) "*Tot sunt especies ...*" talvez seja seu dogma mais famoso (veja o Capítulo 6). Contudo, anos mais tarde ele brincou com a idéia (dificilmente se pode evitar esta expressão) de que as espécies naturais se hibridam livremente entre si. Em uma de suas teses (Haartman, 1764; *Amoen. Acad.,* 3: 28-62), vêm listados nada menos que cem supostos híbridos de espécies, 59 dos quais são descritos em detalhe. Num ensaio (1760) que tratava da natureza do sexo das plantas, escrito para a Academia de Ciências de São Petersburgo, Lineu descreve dois híbridos, declarando que foram produzidos artificialmente por polinização cruzada,

feita à mão. Um era um híbrido de barba-de-bode (*Tragopogon pratensis* X *T. Porrifolius*), o outro um híbrido de verônica (*Verônica marítima* X *Verbena officinalis*).

Não é importante saber se as plantas produzidas por Lineu eram realmente o resultado das espécies parentais mencionadas (o que é bastante duvidoso); o que importa é que Lineu aqui afirma que uma nova espécie constante – isto é, uma essência inteiramente nova – havia sido produzida pela hibridação de duas espécies. Tal assertiva estava totalmente em conflito com todas as idéias anteriores de Lineu e de outros essencialistas. O híbrido, a menos que tivesse as duas essências, deveria possuir uma essência intermediária, e se mais uma vez fosse hibridado com um dos genitores ou com uma espécie, virtualmente produziria uma continuidade de essências – conclusão inteiramente contraditada pelas descontinuidades bem definidas das espécies que se encontram na natureza. Não obstante isso, Lineu estava tão convencido da produção das novas essências, a ponto de conferir nomes de espécies novas aos seus dois híbridos, e incluí-los no seu autorizado *Species Plantarum* (1753).

Lineu mandou algumas sementes do seu barba-de-bode híbrido a São Petersburgo, onde foram cultivadas pelo botânico alemão Kölreuter, que também se ocupava com o cruzamento de espécies de plantas. Os barbas-de-bode desenvolvidos por Kölreuter em 1761, presumivelmente a geração F2, revelaram uma considerável variação, negando redondamente a afirmação de Lineu no sentido de haver produzido uma nova espécie constante.

Kölreuter

Joseph Gottlieb Kölreuter (1733-1806), como quase todos os outros biólogos do século XVIII, obteve sua formação em uma faculdade de medicina (na Universidade de Tübingen). Recebeu seu diploma em 1755, após sete anos de estudos, passando a residir nos próximos seis anos em São Petersburgo, onde foi nomeado para a Academia de Ciências como especialista de história natural. Ali, entre outras atividades, ocupou-se com a fertilização (polinização) de plantas floríferas e com a produção de híbridos. Tendo em vista que Kölreuter foi mais tarde apontado muitas vezes como um precursor de Meridel, é importante que se diga que ele empreendeu seu trabalho com o cruzamento de plantas sem qualquer *Fragestellung* de ordem puramente genética. Seu interesse residia em problemas, tais como a biologia das flores e a natureza das espécies.

O seu primeiro cruzamento bem-sucedido foi com duas espécies de tabaco, a *Nicotiana rústica* e a *N. paniculata.* Os híbridos desenvolveram-se extraordinariamente bem, e "o olho mais agudo não consegue distinguir qualquer imperfeição, desde o embrião até a formação mais ou menos completa das suas flores". Na verdade, parecia que, tal como Lineu, ele tivesse conseguido produzir uma espécie nova. Contudo, todos os esforços para polinizar as flores híbridas entre si revelaram-se em vão. O híbrido não produzia uma semente sequer, enquanto uma flor normal produziria cinquenta mil sementes. Isso deixou Kölreuter muito impressionado, taxando o fato como "um dos mais admiráveis eventos que jamais ocorreram no vasto mundo da natureza". Essa descoberta significou para ele um grande alívio, porque restaurava a sua fé num conceito essencialista da espécie. Nos anos que se seguiram, Kölreuter deu continuidade ao seu trabalho de cruzamento de espécies, abrangendo grande número de gêneros de plantas diferentes. De fato, ele realizou mais de quinhentas hibridações diferentes, envolvendo 138 espécies. Os achados eram invariavelmente semelhantes. Havia uma drástica redução da fertilidade dos híbridos, quando não a sua completa esterilidade. Na realidade,

quando ele se deparava com a fertilidade normal de algumas suas "espécies" cruzadas, descartava as mesmas, dizendo que evidentemente não eram espécies boas. E ele estava certo. Deixou-nos uma descrição exata de todos os seus cruzamentos, e, numa visão retrospectiva, não podemos deixar de concordar com ele. Os cruzamentos por ele descartados eram realmente cruzas entre variantes intra-específicas.

Ao examinar o pólen das plantas híbridas sob o microscópio, ele descobriu que quase em todos os casos os grão individuais eram chochos – na realidade, eram apenas cascas vazias. Nenhuma surpresa, portanto, que a polinização não acontecesse. Ele encontrou grãos de pólen bem formados apenas em alguns casos, conseguindo então produzir algumas gerações F_2 de plantas. A fertilidade era maior nos retracruzamentos, vale dizer, quando polinizava a planta híbrida com o pólen de uma ou de outra das espécies parentais. Continuando tais retrocruzamentos por diversas gerações, ele obteve finalmente plantas que eram indistinguíveis das espécies com as quais os híbridos foram cruzados no processo retroativo. Descreveu esse resultado numa linguagem um tanto quanto bizarra, indicando que era possível restabelecer a espécie original.

Em seus outros experimentos de cruzamentos, por exemplo, com diversas espécies de cravos (*Dianthus*), houve por vezes uma redução muito menor da fertilidade, e as gerações F_2 e F3 eram produzidas com maior facilidade; mas, em princípio, os resultados eram sempre os mesmos. Todas as espécies, em grau maior ou menor, eram protegidas por uma barreira de esterilidade. O fato, evidentemente, já fora mostrado por Buffon, nos seus estudos sobre o mulo e outros animais híbridos, mas ainda não haviam sido extraídas regras gerais.

Uma outra descoberta importante de Kölreuter dizia respeito à aparência da primeira e da segunda geração de híbridos, bem como de cruzamentos retrogressivos. Verificou que os híbridos F_1 eram mais ou menos sempre iguais, e que na maioria dos seus caracteres revelavam-se como intermediários entre as duas espécies parentais. Como muitas vezes foi expresso, os caracteres das espécies parentais "misturaram-se" na prole F_1. Os híbridos F_2, por outro lado, mostravam grande dose de variabilidade, alguns mais se assemelhando aos avós que seus próprios pais da geração F_1. Tais achados foram sempre de novo confirmados, no período dos cem anos subsequentes, entre Kölreuter e Mendel, pelo menos no que se referia ao cruzamento de espécies.

Kölreuter pertencia à escola segundo a qual uma explicação científica na biologia, para ser convincente, devia ser física ou química. E essa a razão por que explicou a diferença entre as gerações F_1 e F_2 mediante recurso a um modelo químico. Da mesma forma como um ácido e uma base formam um sal neutro, diz Kölreuter, assim no híbrido F_1 a "matéria seminal" feminina une-se à "matéria seminal" masculina para formarem um "composto material". Nos híbridos F_2, eles não se combinam em iguais proporções, aparecendo uma variedade de rebentos, que ora se assemelham mais a um ora mais ao outro dos avós. Ele foi incapaz de explicar por que isto assim aconteceu, mas está claro que não chegou a considerar a combinação da "matéria seminal" dos genitores um processo de mistura. Na realidade, de meu conhecimento, nenhum criador experimentado, afora Nägeli, jamais afirmou que a herança por mistura fosse um mecanismo exclusivo.

Kölreuter tinha pleno conhecimento de que os híbridos F_2, em alguns cruzamentos, incidem em três tipos, dois deles se assemelhando às duas espécies avós e o terceiro assemelhando-se ao híbrido F_1. Contudo, dado que seu foco de atenção se concentrava sobre o problema das espécies e não sobre os caracteres individuais, Kölreuter encontrou apenas poucos casos de uma tão nítida segregação. Seu objetivo básico era provar que a hibridação de duas espécies não produz uma terceira espécie,

e, com poucas exceções, essa conclusão é tão válida hoje quanto o era cem anos atrás. As únicas exceções são os alotetraplóides, descobertos 150 anos depois de Kölreuter.

Lendo os relatórios meticulosos e detalhados de Kölreuter sobre os seu numerosos cruzamentos, ficamos cheios de admiração, não apenas pela sua engenhosidade, mas também pela argúcia de sua inquirição. Sua demonstração de que as flores são estéreis se o pólen ficar impedido de alcançar o pistilo da flor fêmea comprovou, de modo decisivo, que o material da semente masculina era necessário para a fertilização. Comparando as várias características dos híbridos com as das duas espécies parentais, e pela produção de híbridos recíprocos, ele foi o primeiro a provar a contribuição igual dos dois genitores, como claramente depreendido da natureza meio a meio dos híbridos F_1. Com isso, estabeleceu de modo definitivo o significado tanto do sexo como da fertilização, dois pontos que ainda eram perfeitamente controvertidos no seu tempo. E além disso, ele refutou definitivamente a pré-formação, seja do tipo ovulista ou espermista.

Para um homem moderno, é simplesmente evidente que tanto o pai como a mãe contribuem para o acervo genético do filho. Curiosamente, isso não era nem de longe tão evidente para as gerações passadas. A incerteza remota até os gregos, onde "machos chauvinistas" atribuíam as principais qualidades formadoras do caráter ao pai, e onde, nos escritos de Aristóteles e de outros, o pai fornecida a forma e a mãe apenas o substrato, a ser moldado por essa forma. Nos séculos XVII e XVIII, os problemas misturaram-se irremediavelmente com o problema do desenvolvimento. Haverí a pré-formação (ou mesmo preexistência) do germe, ou a "epigênese" de um óvulo informe? Os pré-formacionistas, necessariamente, tinham que escolher entre um embrião preexistente localizado no óvulo ("ovulistas") ou um embrião preexistente localizado no esperma ("espermistas"). Quase todos os biólogos mais proeminentes dos séculos XVII e XVIII (Malpighi, Spallanzani, Haller, Bonnet) eram ovulistas, e por isso atribuíam a maior parte do potencial genético à fêmea. Van Leeuwenhoek e Boerhaave contavam-se entre os espermistas, o que não surpreende quanto ao primeiro, sendo o co-descobridor do espermatozóide. Como esses autores, extraordinariamente bem formados e inteligentes, podiam ter teorias tão unilaterais é algo difícil de explicar. Todos eles devem ter tido pleno conhecimento do fato de que, na espécie humana, toda criança revela um misto dos traços de ambos os pais. Sabiam que os mulatos, o produto do cruzamento entre uma pessoa branca e uma preta, eram tipos intermediários. Sabiam que os híbridos de espécies, como a mula procedente da égua e do jumento, eram intermediários entre as duas espécies. Todos esses fatos bem conhecidos, e outros mais, refutavam claramente não apenas a crença ingênua em uma preexistência (*emboitement*), mas também qualquer conceito de uma contribuição puramente unilateral, seja do macho ou da fêmea. E no entanto, tais fatos da observação não abalavam nem os ovulistas, nem os espermistas, como se esses autores guardassem essas observações em dois compartimentos dissociados no seu cérebro.

Alguns de seus contemporâneos foram mais perspicazes. Buffon percebeu claramente que tanto o pai como a mãe davam uma contribuição genética, mas é a P. M. Maupertius, mais do que a qualquer outro, que se deve o desenvolvimento de uma teoria da hereditariedade, que pode ser considerada premindo dos desenvolvimentos posteriores (Glass, 1959; Stubbe, 1965). Maupertius esposava a teoria da pangênese, baseada no pensamento de Anaxágoras e Hipócrates, que postulava a existência de partículas ("elementos") tanto do pai como da mãe, como responsáveis pelos caracteres da prole. Muitos componentes dessa teoria podem ser encontrados nas teorias posteriores de Naudin, Darwin e Galton.

Por mais fundamentais que tenham sido as descobertas de Kölreuter para a compreensão da

sexualidade e reprodução das plantas, seria um equívoco considerá-lo um precursor de Mendel. Kölreuter sempre encarou a espécie como algo monolítico. O próprio fato da natureza intermediária do híbrido F_1, por ele constatado na maioria dos casos, parecia-lhe confirmar sua interpretação holística. Em momento algum teve a idéia de separar o fenótipo nos seus caracteres individuais, e seguir o destino de um dado caráter, em combinações diferentes, no decurso de diversas gerações. É isso precisamente que era necessário para estabelecer as leis da genética, como Mendel e de Vries foram os primeiros a reconhecê-lo.

Kölreuter deve ser admirado não apenas pela importância de suas descobertas sobre a biologia das flores e a natureza dos híbridos, mas também porque o seu método experimental revelava uma excelência de planejamento e execução, desconhecida entre os seus contemporâneos. A propósito, como no caso de muitos pioneiros, ele estava muito à frente dos interesses do seu tempo, e teve que dedicar um de seus mais elegantes experimentos à demonstração daquilo que hoje nos parece óbvio: a sexualidade das plantas.

Os resultados de Kölreuter com as espécies híbridas estavam a tal ponto em conflito com o dogma corrente, e tão novas e revolucionárias eram suas descobertas, que não foram aceitos por seus contemporâneos. Ainda em 1812 e 1820, foram publicados volumes eruditos, onde a existência da sexualidade nas plantas era negada, e a credibilidade dos experimentos de Kölreuter posta em causa. Em face dessa situação, as academias da Prússia e da Holanda chegaram a oferecer prêmios, entre os anos 1820 e 1830, visando ordenar o problema da hibridação das plantas, para o seu emprego na produção de espécies e de variedades úteis. Isso estimulou o trabalho de Wiegmann, Gärtner, Godron, Naudin, Vichura, e outros hibridadores, cujas atividades foram bem descritas por Roberts (1929), Stubbe (1965: 97-110) e por Olby (1966: 37-54, 62-66). Todas essas pesquisas foram realizadas na linha de Kölreuter. Tratavam da sexualidade das plantas e da natureza das espécies.

Somente alguns desses cruzamentos foram realizados com variedades mendelianas no seio da espécie, mas, como no caso de Kölreuter, os resultados, mesmo quando publicados, não tiveram sequência. Todos esses autores confirmaram repetidas vezes os resultados de Kölreuter, tais como o caráter intermediário e a relativa uniformidade da geração F_1, o aumento da variabilidade da geração F2 (com claras indicações de reversão às espécies parentais), a identidade dos cruzamentos recíprocos, uma contribuição tanto do pai como da mãe (normalmente mais ou menos igual) para os caracteres do híbrido, e a ocorrência ocasional de um vigor híbrido somático, mesmo em híbridos estéreis. Raramente aconteceu uma nítida segregação mendeliana, mesmo na F2, o que não constitui surpresa, porque muitas vezes, senão normalmente, as diferenças das espécies são altamente poligênicas. Além disso, a espécie *Nicotiana,* de Kölreuter, bem como muitas das espécies com que trabalhavam os outros hibridadores eram poliplóides, e o número de cromossomos muitas vezes era maior em um dos genitores que no outro, e então o genitor que possuísse um conjunto maior de cromossomos predominava na aparência do híbrido.

É preciso acentuar uma vez mais que esses estudiosos não estavam engajados na pesquisa das leis que regulavam a hereditariedade dos caracteres individuais. Eles estavam interessados na essência da espécie como um todo, e de certa forma entendiam disso melhor do que aqueles que praticavam a genética-do-saco-de-feijão do primeiro período mendeliano. A grande divisão que reinava na biologia evolucionária no período de 1900 até a síntese evolucionista dos anos 1930 tem, de certa forma, suas raízes em algumas das correntes de hibridadores de plantas do começo do século XIX.

Gärtner

Carl Friedrich von Gärtner (1772-1850) foi de longe o mais erudito e o mais industrioso dos hibridadores de espécies pré-mendelianos. Na sua obra mais importante (1849), ele faz o balanço dos resultados de cerca de dez mil experimentos individuais de cruzamentos com setecentas espécies, obtendo 250 híbridos diferentes. Darwin disse desse trabalho que "ele contém matéria mais valiosa que a de todos os outros escritores juntos, e que renderia grande serviço se fosse melhor conhecida".

A prevalecerem as idéias dos indutivistas, o enorme acúmulo de informações reunidas por Gärtner deveria ter levado à formulação de muitas leis gerais. Isso, porém, não aconteceu. Nem Darwin, que estudou essa obra tão cuidadosamente, nem qualquer outro de seus contemporâneos viram emergir algum princípio geral dos fatos acumulados por Gärtner. Na realidade, Gärtner se propunha o mesmo tipo de questões de que se ocupava Kölreuter, quase cem anos antes, e, de modo geral, deu-se por satisfeito por simplesmente descrever os resultados de seus cruzamentos. Talvez possamos dar-lhe um cumprimento indireto, dizendo que ele mostrou de modo tão conclusivo quais dessas questões podiam ser respondidas e quais não, o que abriu o espaço para uma abordagem inteiramente nova. É sabido que Mendel, possuidor de uma cópia do livro de Gärtner, a havia estudado com muita atenção, e é mais do que plausível que isso o tenha auxiliado a formular as novas questões que resultaram depois na sua espetacular realização. Entre os milhares de cruzamentos efetuados por Gärtner, havia alguns que se ocuparam com variedades intra-específicas de ervilhas e milho. Nesse ponto, como agora podemos perceber, ele foi realmente um precursor de Mendel.

Gärtner não foi o único hibridador de plantas alemão desse período, mas os outros (a exemplo de Wiegmann ou Wichura), como os demais, limitaram-se a um trabalho dentro do esquema tradicional, e por isso não acrescentaram nada de significativo ao nosso entendimento da hereditariedade.

Naudin

O hibridador francês Charles Naudin (1815-1899) [3] divergia de Gärtner por ter uma teoria bem definida, mas no seu pensamento básico não se afastava muito dele. Era de opinião que juntar as essências de duas espécies na produção de híbridos era um processo completamente inatural. Isso se revelava automaticamente por sua esterilidade e pela reversão das gerações ulteriores de híbridos a uma ou a outra das espécies parentais. Não havia a mistura das essências parentais. Além disso, Naudin tratou a essência das espécies como um todo, não como um mosaico de caracteres independentes, como haveria de fazer Mendel na sua obra. Algumas das espécies de Naudin, aparentemente, eram variedades mendelianas (por exemplo as de *Datura),* e aqui, ao que aparece, ele chegou a nítidas proporções mendelianas, que eram completamente coerentes com a sua interpretação de uma perfeita segregação das essências parentais. Mesmo que o resultado de alguns de seus cruzamentos, como a uniformidade da primeira geração de híbridos e a variabilidade da segunda, fossem perfeitamente "mendelianos", Naudin não foi um precursor de Mendel, nem na teoria e nem no método, como evidenciado pelo fato de não haver procurado estabelecer proporções repetíveis. [4] O mesmo se aplica ao seu compatriota D. A. Godron (1807-1880), que se preocupou

exclusivamente com as mesmas questões de Kölreuter, há quase cem anos antes (fertilidade dos híbridos, o seu retorno ao tipo parental, e outras). Como mostram suas outras publicações, seu interesse maior residia na natureza das espécies.

Os cultivadores de plantas

Paralelamente às atividades dos hibridadores de espécies, desenvolvia-se uma tradição inteiramente diferente – a dos criadores de plantas práticos. Seu interesse, de ordem puramente utilitária, consistia em melhorar a produtividade das plantas cultivadas, aumentar a sua resistência às doenças e à geada, e em produzir variedades novas. Embora eles também fizessem uso do cruzamento de espécies, o seu objetivo maior era cruzar variedades, muitas das quais diferiam apenas em um ou em uns poucos caracteres mendelianos, como se diria hoje. Esses cultivadores de plantas têm um motivo muito melhor do que os hibridadores para serem considerados precursores diretos de Mendel.

O primeiro deles foi Thomas Andrew Knight (1759-1853), que trabalhou particularmente com árvores frutíferas. Ele representa para nós um interesse especial, por ter reconhecido a vantagem das ervilhas comestíveis (*Pisum sativum*) como um material genético, porque

> as numerosas variedades de ervilhas de hábitos estritamente permanentes – a sua vida anual, e o caráter distinto da forma, caráter e cor de muitas dessas variedades – induziram-me, há muitos anos, a escolhê-las como objeto de averiguação, ao longo de uma série de experimentos, dos efeitos da introdução do pólen de uma variedade na flor preparada de outra (1823).

Aparentemente, essa especial adequação das ervilhas comestíveis era bem conhecida dos cultivadores de plantas (inclusive Gärtner), e foi sem dúvida a razão por que Mendel efetivamente consagrou a maior parte de seus esforços ao estudo dessa espécie. Knight era um experimentador cuidadoso que sempre emasculava as flores antes de aplicar-lhes o pólen de plantas diferentes, e que usava flores não-polinizadas ou abertamente polinizadas, como controle. Ele descreveu tanto a dominância como a segregação (nos retrocruzamentos), mas não contou os diferentes tipos de sementes que obteve, e por isso não efetuou o cálculo das proporções.

Dois contemporâneos de Knight, Alexander Seton (1824) e John Goss (1820), confirmaram a dominância e a segregação e estabeleceram o verdadeiro caráter procriativo daquilo que hoje chamaríamos os recessivos. Alguns dos experimentos desses três cultivadores revelaram-se contraditórios, porque não levaram em conta que, na geração F_1 das ervilhas, a aparência do revestimento da semente (transparente ou opaco) era determinada pela mãe, enquanto a cor da própria ervilha (cotilédones) era determinada pela constituição genética de ambos os genitores. Gärtner, em data posterior, ao realizar experimentos de cruzamentos com milho, deparou-se com dificuldades semelhantes em relação à casca da semente (pericarpo), o que contribuiu para o seu insucesso na obtenção de estritas proporções mendelianas. A confusão foi resolvida somente muitos anos mais tarde. O endosperma é formado pela fusão de dois núcleos matemos e de um núcleo de pólen, e por isso pode ostentar caracteres paternos, fenômeno (pesquisado mais tarde por de Vries e Correns) chamado *xenia* pelos geneticistas de plantas (Dunn, 1966).

A diferença crucial entre os hibridadores de espécies e os numerosos cultivadores de plantas (veja Roberts, 1929) residia em que estes últimos muitas vezes estudavam caracteres individuais e seguiam o seu destino por uma série de gerações. Uma aplicação particularmente bem-sucedida dessa nova metodologia foi efetuada pelo agrônomo francês Augustin Sageret (1763-1851). Ao cruzar duas variedades do melão *Cucumis melo,* ele ordenou os caracteres num conjunto de cinco pares:

Variedade1	*Variedade 2*
Polpa amarela	Polpa branca
Sementes amarelas	Sementes brancas
Casca reticulada	Casca lisa
Frisos pronunciados	Frisos escassamente delineados
Gosto doce	Gosto agridoce

Os híbridos que ele obteve não eram intermediários entre os dois genitores; em vez disso, havia uma estreita semelhança de cada caráter ou com um ou com o outro dos pais. Ele chegou à conclusão de que

> a semelhança de um híbrido com os seus dois genitores consiste, em geral, não em uma fusão íntima dos vários caracteres que são peculiares a cada um dos dois, mas muito mais em uma distribuição igual ou desigual dos caracteres imutáveis; digo igual ou desigual porque essa distribuição está muito longe de ser a mesma em todos os indivíduos híbridos da mesma procedência, e há entre elas uma diversidade muito grande (1826:302).

Na descrição dos seus cruzamentos, ele designa claramente os caracteres de um ou de outro dos genitores como "dominantes". Ninguém antes dele havia usado essa terminologia de modo tão inequívoco. Sageret não apenas confirmou o fenômeno da dominância e descobriu a segregação independente dos diversos caracteres, mas estava também plenamente consciente da importância da recombinação.

> Não poderíamos ficar mais admirados com a simplicidade dos meios com que a natureza dotou a si mesma da capacidade de variar infinitamente as suas produções e evitar a monotonia. Dois desses meios, a união e a segregação dos caracteres, combinados de diversas formas, podem levar a um número infinito de variedades.

Sageret também constatou que caracteres ancestrais, ocasionalmente, podem reaparecer nesses cruzamentos; "o seu potencial existia, mas o seu desenvolvimento não havia sido favorecido". Como haveremos de ver, Darwin mais tarde interessou-se grandemente por essas inversões. Infelizmente, Sareget nunca deu continuidade às suas pesquisas imaginosas e inovadoras.

Nos anos recentes, muitas vezes se tem levantado a pergunta por que esses cultivadores de plantas se detiveram aparentemente tão perto da realização de uma teoria genética. As respostas dadas foram muitas, a maioria das quais claramente impróprias. Um insuficiente conhecimento da citologia certamente não foi o responsável por isso, porque a explicação de Mendel não estava

baseada nessa teoria, e nem isso é necessário.

O insucesso desses cultivadores no desenvolvimento de uma teoria genética não pode ser atribuído a falhas da sua técnica, porque muitos deles eram extremamente escrupulosos no cuidado de evitar polinizações não-desejadas e providenciar experimentos de controle. Tem-se a impressão de que eles se davam por plenamente satisfeitos por apenas obter resultados nítidos. Deixaram simplesmente de indagar sobre os mecanismos subjacentes; se tivessem feito isso, como Mendel o fez mais tarde, com certeza teriam que ter acrescentado à sua técnica uma cuidadosa contagem dos rebentos obtidos e o cálculo das proporções. Em outras palavras, o seu fracasso, se assim quisermos chamá-lo, consistiu, em última análise, em não haver formulado as questões decisivas. Fracassaram nisso porque não pensavam em termos de populações variáveis. Uma interpretação populacional era o pré-requisito para a nova abordagem da hereditariedade.

No entanto, por volta dos anos 1850, uma ampla base já havia sido lançada, tanto pelos hibridadores como pelos cultivadores de plantas. Eles haviam estabelecido claramente a maioria dos fatos necessários para uma teoria genética, tais como a contribuição igual de ambos os genitores, a relativa uniformidade da primeira geração filial (F_1), a segregação (aumento da variabilidade da F_2) e a identidade usual dos cruzamentos recíprocos.

O cenário estava preparado para o aparecimento, cedo ou tarde, de um indivíduo de talento excepcional, que haveria de formular as questões anteriormente não formuladas, e resolvê-las com métodos novos de pesquisa. Essa pessoa foi Gregor Mendel (Veja o Capítulo 16).

15. CÉLULAS GERMINAIS, VEÍCULOS DA HEREDITARIEDADE

Ao dizermos que um filho herdou esta ou aquela característica de um dos seus pais, estamos postulando a existência de um processo que garante a continuidade de uma geração para outra. De fato, a continuidade é a essência de todo o conceito de hereditariedade. Os gregos já tinham vagamente entendido que a união sexual era a chave para a solução do problema da hereditariedade; mas de que forma o "material genético" (como foi chamado mais tarde) se transmitia de uma geração para outra era assunto de pura especulação (veja o Capítulo 14). Algumas das teorias propostas eram altamente improváveis, porque a herança das características físicas e comportamentais era excessivamente precisa e detalhada para ser explicada em termos de "calor" ou de "pneuma", ou de outras forças físicas generalizadas, como proposto pela maioria dos filósofos antigos. A escola de Hipócrates parece ter chegado muito mais perto da verdade, quando explicou a hereditariedade como sendo devida à transmissão da substância seminal. Lucrécio propôs uma teoria qualitativa, segundo a qual as características dos cabelos, da voz, da face, e de outras partes do corpo, são determinadas pela mistura de átomos contidos na semente herdada dos ancestrais. Todas as observações sobre a hereditariedade sugeriam que algo de corpuscular-qualitativo era transmitido, mas, o que quer que fosse, era muito pequeno para ser visto a olho nu. Foi preciso que se desenvolvesse primeiro um ramo inteiramente novo da biologia, a citologia, para que fosse possível enfrentar o desafio da natureza do material genético. O desenvolvimento de tal disciplina não foi possível antes da descoberta do microscópio e sua aplicação no estudo das células. [1]

Que os ovos eram necessários para o desenvolvimento de um indivíduo novo era algo de há muito evidente, e que o sêmen do macho também é importante era outra convicção amplamente aceita pelos gregos, admitida também de alguma forma pelos próprios assim chamados ovulistas dos séculos XVII e XVIII. Todavia, não se dispunha de uma prova definida antes dos anos 1760. A semelhança, quando não a identidade, dos híbridos produzidos por cruzamentos recíprocos (como no trabalho de Kölreuter) conduziu à inevitável conclusão de que as contribuições genéticas do pai e da mãe eram equivalentes. Mas essa idéia levantou novas perguntas: Como poderiam os óvulos e os espermatozóides ser equivalentes, a despeito das suas notáveis diferenças no tamanho e na forma? Em que parte do corpo do macho e da fêmea se forma a substância seminal que atua como o veículo das características parentais? E como está estruturada a substância seminal, para ser apta a transmitir as complexas características de um indivíduo à sua prole? Tais perguntas não podiam ser resolvidas antes do estabelecimento da teoria da célula.

A descoberta de que todos os organismos vivos (estritamente falando, só os eucariotos) consistem em células e produtos celulares foi possível graças a um dos maiores avanços tecnológicos na história da biologia, o invento do microscópio. Os microscópios mais primitivos e simples foram aparentemente inventados em tomo do ano 1590, por alguns fabricantes de óculos holandeses; mas apenas em 1665, Hooke, no seu *Micrographia,* descreveu e ilustrou alguns poros e estruturas em forma de caixa numa tênue fatia de um pedaço de cortiça. Novas e melhores imagens foram divulgadas por Nehemiah Grew, nos anos 1672 a 1682, e por Malpighi, em 1675 e 1679. O que esses autores enxergavam eram como que paredes, o que se evidenciou pela palavra "célula", e

nada ficou dito sobre o possível significado biológico de suas descobertas. Pouco tempo depois, os estudiosos dos tecidos animais, particularmente dos embriões, como Swammerdam (1737), C. F. Wolff (1764), Meckel (1821), Oken (1805; 1839), e outros, descreveram glóbulos ou bolhas. Hoje não é mais possível determinar quais daqueles glóbulos eram células reais e quais outros apenas artefatos (Baker, 1948; Pickstone, 1973). Levou ainda um século e meio, depois da primeira descrição de Hooke, antes que se fizesse um real progresso no estudo das células, progresso que se tomou possível graças aos avanços tecnológicos na construção de lentes mais aperfeiçoadas para o microscópio.

Nesse meio tempo, diversos autores – talvez em parte estimulados pelas especulações atômicas da ciência física – começaram a indagar quais eram os componentes últimos do corpo humano (e animal). Segundo o dogma de Hipócrates, o corpo consiste em líquidos e sólidos, e Boerhaave e também outros anatomistas e fisiologistas do século XVIII acreditavam que esses sólidos consistiam em pequeninas fibras. [2] Haller tomou-se o principal defensor da teoria das fibras, que foi adotada também por Erasmus Darwin. Embora essa teoria estivesse errada, ela teve o mérito de chamar a atenção para o problema das partículas últimas constitutivas do corpo.

Tendo em vista que uns autores falavam de fibras, outros de glóbulos, outros ainda de células, e que os resultados dos botânicos e dos zoologistas pareciam muitas vezes contraditórios, apresentou-se a necessidade de uma unificação nesse campo da biologia. Bichat havia reconhecido 21 categorias diferentes de tecidos animais. Seriam todos eles constituídos dos mesmos materiais de construção? E em caso positivo, quais eram eles? A pesquisa desses elementos comuns foi um tema importante, naquela época de morfologia idealista.

No decurso dos anos 1820 e 1830, começaram a ser fabricados microscópios na Inglaterra, na França, na Alemanha e na Áustria, e eles passaram logo a fazer parte dos equipamentos normais dos melhores laboratórios. Esses novos instrumentos beneficiavam-se dos melhoramentos mais recentes, e estimularam as pesquisas microscópicas como nunca dantes. Estas não apenas permitiram constatar que muitas das observações feitas no século XVIII na realidade diziam respeito a artefatos e, mais importante do que isso, revelaram que as células consistiam em algo muito diferente do que em paredes. Até aquela época, o termo "célula" (tal como utilizado por Haller e Lamarck) não passava de uma palavra. Considerava-se a célula, sobretudo, um elemento estrutural, com ênfase na parede celular, e nada se dizia sobre suas funções. Só muito gradativamente, com a melhoria dos microscópios, começou-se a dar alguma atenção ao seu conteúdo. Percebeu-se então que as células vivas eram preenchidas de um fluido viscoso, que o zoólogo francês Dujardin (1835) chamou *sarcódio,* e Purkinje (1839) e von Mohl (1845), *protoplasma.* Este último termo representava mais que uma palavra técnica destinada a designar o conteúdo da célula (afora o núcleo). Percorrendo a literatura desse período, vê-se que ele é tomado no sentido de "substância da vida", com uma conotação vitalista (veja-se o verbete *protoplasme* do *Oxford English Dictionary* daquela época). Considerava-se que o protoplasma era o material de construção último de todo ser vivo, e durante mais de cem anos ele foi encarado como o agente real de todos os processos fisiológicos.

Mais tarde, quando a bioquímica começou a distinguir o conteúdo da célula, ficou evidente que não existia uma substância unitária que merecesse o nome de protoplasma; mas foi preciso esperar pela introdução do microscópio eletrônico, depois de 1940, para se ver que o conteúdo celular consiste em um conjunto de estruturas complexas, cada uma delas dotada de funções que os primeiros pesquisadores que se debruçaram sobre o protoplasma nunca teriam podido imaginar. Esse termo praticamente desapareceu da literatura biológica, e hoje em dia o conjunto das estruturas celulares e dos líquidos celulares (menos o núcleo) é designado pelo nome *citoplasma.* Houve cada vez menos preocupação com as paredes rígidas da célula; Leydig (1857) e M. J. S. Schultze (1861) mostraram, de resto, que as células animais não possuíam paredes rígidas, sendo nuas na sua maioria e apenas envoltas em uma membrana.

O outro componente, perfeitamente identificado no interior da célula, é o núcelo. Embora já tivessem sido observados núcleos nas células das plantas e mesmo em certas células de animais, pelo menos desde o princípio do século XVIII, o inglês Robert Brown (1773-1858) leva o mérito de ser considerado o primeiro (1833) a ter reconhecido o núcleo como um componente normal da célula viva. Não foi compreendida desde logo sua função. Até os anos 1870, considerava-se que a célula e o protoplasma eram quase sinônimos, e o núcleo era encarado como um componente de pouca importância na célula, podendo estar presente ou não. De fato, pensava-se que ele estava ausente na maioria das células, no decurso de uma parte do ciclo celular. Tratava-se de uma conclusão compreensível, uma vez que o núcleo esférico, envolto em uma membrana, desaparecia efetivamente durante a divisão celular.

A teoria celular de Schwann e Schleiden

No final dos anos 1830, as indagações sobre o assunto da célula foram agrupadas em tomo de duas grandes questões: Qual é o papel da célula no organismo?; e como nascem as novas células? A teoria celular de Schwann e Schleiden trouxe um início de respostas.

O citologista mais influente do período foi o botânico M. J. Schleiden (1804-1881). Ele não apenas engajou o zoólogo Theodor Schwann (1810-1882) na pesquisa citológica, mas também foi o responsável pela formação de alguns dos mais eminentes botânicos do século, como Hofmeister e Nägeli. Foi ele que estimulou o jovem Carl Zeiss a fundar a sua firma de ótica, que logo em seguida se expandiu enormemente (Zeiss, por sua vez, prestou serviço à biologia, aperfeiçoando os instrumentos de ótica, particularmente microscópios.)

Schleiden pertencia à geração dos jovens biólogos alemães que reagiram enfaticamente contra a *Naturphilosophie,* e que tentaram explicar todas as coisas por meio de uma abordagem reducionista físico-química (Buchdahl, 1973). Para ele, era fora de cogitação responder à pergunta "como nascem as novas células?" com a resposta "a partir de células existentes". Isto seria por demais parecido com a pré-formação, teoria completamente desacreditada naquela época. Em seguida, Schleiden aplicou o princípio da epigênese à formação das células e propôs, em 1838, uma teoria chamada "formação livre das células". Sugeriu que o primeiro passo na formação da célula era a constituição de um núcleo, por cristalização da matéria granular dos componentes celulares. [3] Esse núcleo cresceria e finalmente formaria uma nova célula em tomo de si mesmo, tomando-se a membrana nuclear exterior a parede da célula (Schleiden fez disso um relato detalhado, 1842: 191). Novos núcleos podiam formar-se no seio das células existentes, ou mesmo cristalizar-se no interior do fluido orgânico informe. Nas duas décadas seguintes, estabeleceu-se uma importante controvérsia sobre se tal formação livre das células acontecia ou não, e a resposta certa era negativa. Embora se revelasse que ele estava errado, Schleiden decisivamente fez a citologia progredir, centrando a atenção sobre um problema e propondo uma teoria sucinta, passível de verificação. A longo prazo, revelou-se mais importante ainda a sua insistência em que a planta consiste inteiramente em células e que todos os elementos estruturais altamente diversos das plantas eram células, ou seus produtos.

Em uma publicação clássica, *Mikroskopische Untersuchungen über die Übereinstimmung in der Struktur und dem Wachstum der Tiere und Pflanzen* (1839), Schwann mostrou que a conclusão de Schleiden também se aplica aos animais. (De forma independente, isso também foi afirmado por Owen, em 1839.) Examinando tecidos embrionários de animais e seguindo o seu desenvolvimento subsequente, ele conseguiu demonstrar a origem celular, inclusive dos tecidos do osso, que – quando plenamente formado – não mostra mais sinal algum de tal origem. O fato de que tanto os animais como as plantas consistem no mesmo elemento fundamental, as células, constituiu uma peça adicional de evidência da unidade da vida, e foi celebrado como uma das grandes teorias biológicas, a teoria celular. Isso ajudou a conferir substância à palavra "biologia" (cunhada por Lamarck e Treviranus), que era até então um programa bastante vago.

Por mais importante que tenha sido esse novo ponto de vista, fica-se um tanto espantado com a imensa excitação provocada pela teoria da célula. Ninguém ainda compreendia realmente a célula e as funções, tanto do núcleo como do citoplasma. Naquele tempo, a expressão "teoria celular" era aplicada principalmente à teoria de Schleiden da livre formação da célula (Virchow, 1858), mas talvez a idéia da formação puramente físico-química do núcleo e das células (por cristalização)

gozasse de considerável prestígio, num clima prevalecente de um fisicalismo e de um reducionismo extremos.

Uma razão muito diferente é indicada pelo fato de que Brücke e outros referiam-se às células como "organismos elementares". O seu pensamento era evidentemente influenciado pela morfologia idealista. Da mesma forma como Goethe "reduziu" todas as partes da planta à folha, assim Brücke reduziu todas as partes de qualquer organismo à célula. De fato, Wigand (1846) chamou a célula a *eigentliche Urplanze*.

Algumas dessas afirmações (feitas também por outros autores que diziam coisas do gênero) revelam por vezes um saibo de vitalismo. Isso conduziu à reação dos fisicalistas, como evidenciado pela declaração de Sachs (1887) de que as forças formadoras residiam ao longo de toda a substância orgânica. Outros ainda faziam pouco caso da célula, porque para eles o protoplasma era a substância básica da vida. Evidentemente, a célula não se adequava a um modelo explicativo apoiado na universalidade de "forças". Afirmações como as de Sachs foram vigorosamente combatidas por E. B. Wilson, na introdução de *The Cell* (1896).

Independentemente do que ela significava para os vários autores, a teoria da célula contribuiu para o estabelecimento mais firme da unidade do mundo vivo. Além disso, ela conduziu ao conceito dos organismos como repúblicas de unidades vivas elementares. "As características e a unidade da vida não podem ser limitadas a um ponto particular num organismo altamente desenvolvido (por exemplo, o cérebro do homem)" (Virchow, 1971/1858/: 40); em vez disso, a vida se encontra de igual maneira em cada célula. De certo modo, à época, isso era considerado um forte argumento contra o vitalismo. Até que ponto Virchow foi influenciado pelas idéias um tanto semelhantes de Oken, permanece assunto a ser analisado.

Para Schwann e Schleiden a célula ainda era antes de tudo um elemento estrutural, mas já nos anos 1840 outros autores acentuavam a função fisiológica, em particular de desenvolvimento, e nutricional das células. Quando aumentou o conhecimento sobre as células e os seus componentes (especialmente o núcleo), o significado do conceito "teoria celular" começou gradualmente a mudar. A teoria de Schleiden teve o efeito imediato de estimular pesquisas muito ativas sobre a divisão das células de animais e plantas. Em 1852, R. Remak (1815-1865) mostrou que o ovo da rã é uma célula, e que novas células se formam no desenvolvimento do embrião, pela divisão de células previamente existentes.

Ele rejeitou firmemente a formação livre das células. Nisso ele foi acompanhado por Rudolf Virchow (1855), que demonstrou, em relação a muitos tecidos normais e patológicos do animal e do homem, que toda célula se origina por divisão a partir de uma célula preexistente. Ele estabeleceu "como um princípio geral que nenhum desenvolvimento, seja ele qual for, começa *de novo*, e consequentemente [é preciso] rejeitar a teoria da geração [espontânea], tanto na história do desenvolvimento das partes individuais como na história do organismo inteiro" (Virchow, 1858: 54).

Kölliker, bem como diversos botânicos, chegou à mesma conclusão quase ao mesmo tempo, embora a autoridade de Schleiden tendesse a retardar a sua aceitação na botânica. Em 1868 (II: 370), Darwin ainda hesitava sobre a questão da formação livre das células. Com o tempo, o famoso aforisma de Virchow *omnis cellula e cellula* (1855) – "toda célula a partir da célula" – foi aceito por todos, mesmo que os detalhes do processo da divisão, particularmente do núcleo, não fossem entendidos naquela época (veja adiante, sob "Mitose").

Com essa nova interpretação da célula, estava preparado o terreno para um reexame do

processo da fertilização. Se todas as partes do corpo consistem em células, será isso válido também para as gônadas (ovários e testículos)? E que dizer sobre a "substância seminal" do macho e da fêmea? Essas perguntas bem definidas não foram evidentemente formuladas no começo, mas eram a consequência lógica da teoria celular, e oportunamente ficou claro que nenhuma teoria viável sobre a hereditariedade poderia desenvolver-se sem que antes fosse esclarecido o papel das células na fertilização. Foi nessas décadas que se formou o conceito de células germinais.

O significado do sexo e da fertilização

Desde os tempos mais remotos, sabia-se da existência de dois sexos diferentes nos animais, sendo incontestável a analogia com o homem.[4] Mas a sexualidade das plantas, pelo menos na sua ocorrência quase universal, foi uma descoberta muito posterior. Bem entendido, é perfeitamente óbvia a sexualidade de certas espécies de plantas dióicas (quer dizer, espécies em que um indivíduo carrega apenas flores macho, outro apenas flores fêmea). Tal conhecimento foi utilizado pelos antigos assírios, quando fertilizavam tamareiras fêmea com o pólen derramado pelas flores de tamareiras macho (veja o Capítulo 13).

Depois da Idade Média, N. Grew (1672) especulou sobre o papel do pólen como agente da fertilização. Mas a natureza sexual da reprodução das plantas só foi firmemente estabelecida com a publicação do *De Sexu Plantarum Epístola* (1694), de Rudolf Jakob Camerarius (1665-1721). Ele designou claramente as anteras como sendo os órgãos sexuais masculinos, e acentuou que o pólen é necessário para a fertilização, segundo averiguou por experimentação. Camerarius estava plenamente convencido de que a reprodução sexual nas plantas era o exato equivalente da reprodução sexual nos animais. Ele formulou algumas questões muito penetrantes acerca do exato papel desempenhado pelos grãos do pólen durante a fertilização:

> Seria muito desejável … se pudéssemos saber daqueles que têm acesso aos microscópios qual é o conteúdo dos grãos do pólen, a que profundidade eles penetram no aparelho feminino, se chegam intactos ao lugar em que a semente [esperma] é acolhida, e que é feito deles, uma vez que estalam (1694: 30).

Esse desafio foi depois assumido por Kölreuter e outros hibridadores, mas só alcançou um esclarecimento completo depois do trabalho de Amici, Hofmeister e Pringsheim (de 1830 a 1856; veja Hughes, 1959: 59-60, e adiante).

Camerarius também reconheceu o papel do vento na polinização, bem como o fato de que pode ocorrer a produção de grãos, em certas condições, mesmo que a polinização tenha sido evitada. A sua *Epístola* exerceu grande impacto sobre os seus contemporâneos, e aparentemente foi responsável pelo crescente número de tentativas na hibridação experimental de plantas, no século XVIII, culminando com o trabalho de Lineu e de Kölreuter (veja o Capítulo 14; e Zirkle, 1935). Entretanto, a sexualidade das plantas continuou a ser amplamente negada até em pleno século XIX.

Os próprios Kölreuter e Lineu não acentuaram suficientemente a universalidade da reprodução sexual nas plantas, e bem assim a polinização cruzada obrigatória na maioria das espécies. De modo geral, também não se tinha conhecimento claro de que as plantas com "flores" (assim como

entendidas por leigos) têm invariavelmente polinização animal. Em 1795, Christian Konrad Sprengel (1750-1816) publicou um tratado clássico sobre a polinização das flores por insetos, acentuando todos esses pontos, mas essa obra tanto se afastava dos padrões de pensamento e dos interesses daquele período, que foi quase completamente ignorada.

O aspecto mais notável desse volume é o fato de Sprengel ter descrito meticulosamente as numerosas adaptações mútuas de plantas e insetos, no sentido de facilitar a fertilização cruzada, ou tomar impossível a auto-fertilização. Essa obra foi a primeira "biologia das flores", um fato que Darwin soube apreciar devidamente (*Origin*: 98; 1862). Uma inferência óbvia do trabalho de Sprengel, embora só efetuada mais de um século depois, é que os indivíduos das espécies que se reproduzem sexualmente não são tipos ou linhas puras, mas sim membros de populações.

A natureza da fertilização

Depois de estabelecida a teoria celular, pareceria bem óbvio que se perguntasse se essa teoria se aplicava também aos ovos e aos espermatozóides. Isso aconteceu bem depressa em relação aos espermatozóides, que von Baer ainda considerava vermes parasitas dentro do sêmen. Já em 1841, Kölliker havia esclarecido que eles são células, como pode ser demonstrado pelo estudo da espermatogênese. No caso do ovo, as coisas andaram mais devagar. Nem von Baer, que em 1827 descobriu o ovo dos mamíferos, nem Purkinje, que em 1830 descobriu o grande núcleo do óvulo (por ele chamado vesícula seminal), tinham conhecimento da natureza celular dessas estruturas. Deve-se a Remak, em 1852, o haver mostrado que o ovo da rã é uma célula única, e a Gegenbaur, em 1861, o haver estendido essa conclusão aos ovos de todos os vertebrados, demonstrando que os grânulos da gema não são células.

Encarando retrospectivamente aquele período, poder-se-ia pensar que a natureza da fertilização nos animais seria rapidamente inferida, considerando que existia o conhecimento de que o ovo era uma célula e que o espermatozóide também o era. Evidentemente, como diríamos hoje, a fertilização é a fusão dessas duas células germinais, dando assim origem a um novo indivíduo. Na realidade, foram necessárias muitas décadas para que esse conhecimento se firmasse. Conclusões iguais poderiam ter sido tiradas em relação à polinização das plantas, com base nas observações de Kölreuter, Amici, Mendel e outros. Entre os anos 1824 e 1873, foram feitas sucessivas indicações nesse sentido, apenas para serem ignoradas, ou para serem interpretadas de uma maneira que para nós se afigura claramente desmentida pela observação. Ainda em 1840, um botânico tão progressista como Schleiden colocou em dúvida a sexualidade das plantas. Mas então, de 1873 a 1884, subitamente, todas as coisas caíram nos seus lugares. Por que o fenômeno da fertilização causou tantas dificuldades de interpretação, e por tão longo tempo?

Há muitas razões para isso, mas talvez a mais importante seja o fato de que esse fenômeno pertence tanto à biologia funcional como à biologia evolucionista. Os embriologistas impressionavam-se com o fato de que um ovo não-fertilizado podia ficar longo tempo dormente, e que só inicia o desenvolvimento após a fertilização. Por isso, eles atribuíam ao espermatozóide um papel puramente mecânico, como de fato isso procede em relação ao fenômeno excepcional da pseudogamia, correspondendo à introdução de uma moeda numa caixa de música. Ao contrário, aqueles que se interessavam pela hereditariedade viam na fertilização um processo que resultava na mistura das qualidades hereditárias paternas e maternas. Não é de se admirar, então, que os adeptos

de interpretações tão divergentes quanto ao significado da fertilização adotassem modelos explicativos inteiramente diferentes. Foi preciso esperar até os dois últimos decênios do século XIX para se chegar ao conhecimento de que a fecundação tinha um significado duplo, e que essas interpretações opostas eram ambas corretas.

Considerando que a controvérsia sobre a fertilização é uma das mais interessantes na história da biologia, levando a um confronto direto entre os estudiosos das causas últimas, valeria a pena fazermos uma breve análise dos argumentos opostos.

Conquanto diferissem no detalhe, as teorias da fertilização, desde os gregos até o começo do século XIX, postulavam que a mãe contribuía com uma só unidade de matéria, mais ou menos uniforme, mais tarde designada um *ovum,* enquanto o macho fornecia uma potência, envolvendo pneuma, calor, ou certas forças físicas ou vitais que induziam o desenvolvimento do ovo. Ainda em 1764, Wolff admitia que o pólen e o sêmen animal apenas serviam como uma nutrição refinada, necessária para estimular o crescimento e o desenvolvimento do embrião. As próprias explicações de von Baer (1828) contêm uma notável ressonância aristotélica. Em termos aristotélicos, a fêmea contribui com a causa material, e o macho com as causas eficiente, formal e final.

Essa interpretação pareceu confirmar-se quando Bonnet descobriu, em 1740, que os ovos dos piolhos de plantas (afídios) podem desenvolver-se sem a presença de machos (partenogênese). Parecia claro que o potencial de desenvolvimento dos ovos podia ser induzido por uma força geradora exercida pela própria fêmea. Isso foi uma descoberta chocante para os contemporâneos de Bonnet, mas as pesquisas do século XIX

mostraram que tais "nascimentos virginais" eram bastante frequentes no reino animai, seja como um fenômeno sazonal (como nos afídios e rotíferos), seja como um fenômeno permanente (Churchill, 1979). Nos anos 1840, foi descoberto um tipo especial de partenogênese (arrenotoquia) entre os himenópteros, onde ovos não-fertilizantes davam origem a um rebento macho haplóide. O descobridor desse processo extraordinário foi Joham Dzierzon, um contemporâneo de Mendel e, como ele, um padre católico, nascido na Silésia, e apicultor. Ele comprovou a sua hipótese (1845) de que os zangões procedem de ovos não-fertilizados da abelha de mel, mediante engenhosas experiências de cruzamentos entre abelhas da Alemanha e da Ligúria. Um processo de reprodução uniparental (apomixia), análogo à partenogênese, é ainda mais difundido no reino vegetal, onde foi motivo de grande confusão durante o primeiro período da genética (veja os cruzamentos mendelianos de *Hieracium,* Capítulo 16). O papel especial da partenogênese como uma estratégia evolucionária foi objeto de grande discussão em anos recentes. [5]

Constata-se mais uma vez como na história da biologia os problemas passam por altos e baixos. O problema da fertilização é um exemplo disso. Após um começo magnífico por parte de Camerarius, Kölreuter e Sprezgel, seguiu-se um período de calmaria no primeiro quartel do século XIX. Quando, nos anos 1830 e 1840, o problema mais uma vez começou a atrair a atenção, foi numa época de um fisicalismo extremo. Segundo von Liebig, toda a atividade química depende da agitação molecular, induzida pelo estreito contato de duas substâncias e suas partículas constitutivas (Coleman, 1965). T. L. W. Bischoff (1847) articulou esse conceito de modo mais explícito, aplicando-o à fertilização:

> O sêmen age por contato através de uma força catalítica, isto é, ele constitui uma forma particular de matéria caracterizada por movimento intrínseco que é transmitido ao ovo … no

qual ele causa uma organização de átomos igual ou semelhante.

Não se cogitava de uma penetração do espermatozóide no ovo, nem no efeito dos seus movimentos primários. Tudo era devido à "excitação molecular". Essa interpretação encaixava-se tão esplendidamente no dogma mecânico-reducionista, que então imperava nas escolas de Schwann, du Bois-Reymond e Ludwig, que sua aceitação era quase universal. Um dos mais eminentes defensores dessa teoria foi o grande morfologista Wilhelm His, que pretendia reduzir todos os fenômenos biológicos à química, à matemática, e sobretudo à mecânica.

> O ovo fertilizado contém a excitação para o crescimento. Essa excitação abrange todos os componentes da transmissão genética, tanto do lado paterno como do materno. Não é uma forma que é transmitida, nem uma substância particular capaz de engendrar formas, mas simplesmente uma excitação que induz a um crescimento gerador de formas; não os próprios caracteres, mas o início de um processo uniforme de crescimento (1874): 152).

O fato de que His tenha influenciado grandemente seu sobrinho, F. Miescher, constituiu uma das tragédias da biologia e da bioquímica. Em parte, isso foi responsável pelo fato de que Miescher passou completamente ao largo do significado da sua própria descoberta, o ácido nucléico (veja o Capítulo 19). Ainda em 1899, Jacques Loeb pôde escrever: "Os íons, não as nucleínas do espermatozóide, é que são essenciais ao processo da fertilização".

Devido à poderosa influência da interpretação física da fertilização, numerosos dados da observação foram simplesmente ignorados, mesmo quando apresentavam uma clara contradição da interpretação reducionista, ou pelo menos demonstravam que ela apenas fornecia uma solução parcial. Vejamos a história das descobertas que finalmente forneceram a chave para o enigma da fertilização.

O processo da fertilização

A questão primeira a ser respondida era a seguinte: a fertilização é efetuada pelo fluido seminal como um todo, ou pelos espermatozóides nele contidos? Já nos anos 1780, L. Spallanzani realizou algumas experiências que poderiam ter-lhe dado a resposta certa, mas isso não aconteceu. Machos de rãs, por ele vestidos com uma espécie de fraldinha, permeável a uma parte do líquido seminal mas não aos espermatozóides, foram incapazes de fertilizar os ovos das fêmeas com as quais se juntavam. Em 1824, dois fisiólogos suíços, J. L. Prévost e J. B. Dumas, publicaram os resultados de uma série de experimentos imaginosos e decisivos com rãs, demonstrando de modo conclusivo que os espermatozóides eram o elemento fecundante, e o líquido seminal apenas o veículo. A presença de espermatozóides no interior do ovo fertilizado foi mostrada em 1843 por M. Barry, em relação aos coelhos, o mesmo fazendo G. Newport em 1851 em relação às rãs, mas nenhum dos dois pôde observar a efetiva entrada do espermatozóide no ovo ou determinar o seu destino subsequente. Essas observações, por isso, foram incapazes de desalojar as teorias físicas da fertilização. Em 1854, Thuret mostrou em relação ao *Fucus* (uma alga marinha comum) que espermatozóides ciliados cercavam o ovo e entravam nele. Feita essa observação, ele foi capaz de realizar fertilizações artificiais.

A primeira descrição conclusiva do processo da fertilização foi fornecida em 1856 por N. Pringsheim, em relação à alga de água doce *Oedogonium.* Ele de fato observou a entrada do gameta masculino no oogônio feminino, e dessa observação extraiu a conclusão correta de que a primeira célula (o zigoto) do novo organismo é formada pela fusão do gameta do macho e da célula ovária da fêmea, e que a fertilização é efetuada por um único espermatozóide. Sendo, porém, que a sexualidade dos criptógamos era naquela época ainda assunto controvertido, essa observação foi igualmente ignorada, a despeito do caráter decisivo da demonstração de Pringsheim. As coisas ainda pioraram, quando nos anos 1850 e 1860 diversos autores enfatizavam que o vigor de uma planta era favorecido se o germe fosse o produto da fertilização por diversos grãos de pólen.

Foi Mendel (carta de Nägeli, 3 de julho de 1870) que saiu a campo para refutar "a opinião de … Darwin de que um único grão de pólen não é suficiente para fertilizar o óvulo". (A opinião de Darwin estava amplamente baseada numa má interpretação da obra de Naudin, que realmente adotava a hipótese de "um grão de pólen".) Mendel, fazendo experimentos com a *Mirabilis jalappa,* obteve 18 sementes bem desenvolvidas, a partir da fertilização com grãos únicos de pólen. "A maioria das plantas [nascidas dessas sementes] é exatamente tão vigorosa como aquelas que se originaram de uma autofecundação ao natural". Isso colocou o problema nos seus justos termos e sem equívocos. Infelizmente, devido ao desleixo de Nägeli, essa correspondência só foi publicada em 1905 (Correns, 1905).

Outros pesquisadores, no mesmo período, elucidaram a sequência dos passos durante o processo da fertilização das plantas. J. B. Amici, em 1823, observou como um grão isolado de pólen emitia um tubo polínico, e em 1846 conseguiu mostrar que uma célula ovária no óvulo, depois da chegada do tubo de pólen, ficava estimulada para desenvolver-se num embrião. Nem ele, nem Hofmeister, que era 1849 confirmara a sequência dos eventos, tinham qualquer idéia da função desempenhada pelo tubo polínico.

Na primeira metade do século XIX, os botânicos eram os pioneiros na pesquisa celular. Mas a partir mais ou menos dos anos 1850, quando se começou a dispor de métodos adequados de fixação dos tecidos, os citologistas animais assumiram a liderança. [6] A ausência de uma parede celular nas células animais facilitava muito a concentração sobre o núcleo e suas mudanças durante a divisão celular, e, além disso, a fertilização não era complicada pelos fenômenos do tubo polínico, bolsas embrionárias, e assim por diante.

Depois que Kölliker e Gegenbaur provaram a natureza celular, tanto do ovo como do espermatozóide, e com a redefinição da célula como sendo um núcleo envolto em protoplasma, tudo estava preparado para a seguinte pergunta: O que acontece com o núcleo do macho e da fêmea, quando o espermatozóide penetra no ovo?

No período dos 25 anos após 1850, as idéias sobre a fertilização refletiam duas teorias alternativas: a teoria do contato e a teoria da fusão. Os fisicalistas, que viam na fecundação uma transmissão de excitações, pensavam que o simples contato do espermatozóide com a célula ovária constituía a essência da fertilização; e se estivermos unicamente interessados no início da divagem dos ovos fertilizados (vale dizer, nas causas próximas), a explicação até que pode ser concebível. Mas, de qualquer maneira, era preciso ter uma considerável credulidade e uma completa falta de interesse pelas causas últimas para aceitar a tese de que o mero intercâmbio de excitações pudesse explicar a combinação das características paternas e maternas dos indivíduos recém-formados. A oposição a esse ponto de vista foi reforçada pelos resultados das análises microscópicas cada vez

mais precisas do processo da fertilização. Isso, finalmente, levou ao abandono da teoria do contato, dos fisicalistas.

O papel do núcleo

Embora naquela época fosse amplamente aceito que o espermatozóide consistia em grande medida de material nuclear, a conclusão de que o núcleo fosse efetivamente o elemento crucial da fertilização, de modo geral, não era aceita. A razão dessas dúvidas residia na crença comum de que o espermatozóide, tão logo tivesse penetrado no ovo, se dissolvia. E certo que alguns autores observaram dois núcleos em ovos recém-fertilizados, chegando um deles a ver, inclusive, que eles se fundiam, mas deixaram de tirar a conclusão de que um desses núcleos nada mais era que o espermatozóide reconvertido em um núcleo.

Houve dois avanços técnicos que ajudaram grandemente a se chegar a uma solução final. Um deles consistiu na descoberta de que nem o ovo dos mamíferos, nem o ovo das aves se prestavam muito para os estudos da fecundação. Em decorrência disso, os zoólogos testaram ovos de numerosos outros tipos de organismo, e finalmente descobriram que, dependendo do particular problema a ser resolvido – ou fertilização, ou mitose, ou continuidade cromossômica-, várias outras espécies eram muito mais apropriadas. Mais importante ainda foi o rápido desenvolvimento da técnica microscópica.

Os microscópios e as lentes foram constantemente aperfeiçoados, culminando com a introdução de lentes de imersão em óleo, em 1870. Wilhelm His inventou o micrótomo (pelos anos 1866), e, nos anos que se seguiram, tipos novos de micrótomos permitiram a preparação de secções de tecidos cada vez mais finas. Também foram descobertos novos métodos de fixação dos vários tipos de materiais biológicos; e, finalmente, a descoberta dos corantes de anilina permitiu dispor de uma vasta gama de colorações, muitas delas com uma afinidade altamente específica em relação a certos componentes celulares ou moléculas. Esses avanços técnicos ampliaram a quantidade de detalhes microscópicos visíveis, em pelo menos uma ordem de grandeza. ‘

Bütschli (1873; 1875) e Auerbach (1874), nos nematódeos, e Schneider, num platelminto, foram talvez os primeiros a observar e entender que o núcleo do zigoto era formado pela fusão do núcleo do ovo e de um núcleo masculino oriundo de um espermatozóide; mas as suas observações um tanto causais não mereceram a devida atenção. Deve-se a Oskar Hertwig o mérito de haver estabelecido de uma vez por todas a natureza da fertilização. Munido de excelentes equipamentos, estudou, na primavera de 1875, o processo da fertilização do ouriço-do-mar do Mediterrâneo *Toxopneustes (=Paracentrotus) lividus*. Os ovos dessa espécie são pequenos, com muito pouca gema, e por isso transparentes, mesmo nas mais elevadas ampliações. Tanto o ovo como o esperma eram fáceis de conservar, fixar e colorir. Hertwig mostrou com toda clareza que o segundo núcleo observado no ovo imediatamente após a fertilização provinha de um espermatozóide. Mostrou também que um único espermatozóide está envolvido na fecundação. E, finalmente, mostrou que os núcleos do macho e da fêmea se fundem num núcleo único e dão origem, por divisão, a todos os núcleos do embrião em desenvolvimento. O núcleo de uma célula ovária fertilizada (zigoto) jamais desaparece, e existe uma perfeita continuidade entre ele e todos os núcleos do organismo recentemente em formação, como já havia sido observado por Schneider, Bütschli, e outros. Flemming formulou isso num aforisma sucinto: *Omnis nucleus et núcleo.*

A pesquisa citológica, durante os anos 1870 e começo dos anos 1880, chegou a um nível de atividade nunca dantes visto em qualquer ramo da ciência:

> Naquele tempo, não era fato incomum que os citologistas de proa, a maioria deles trabalhando em laboratórios da Alemanha, publicassem até sete matérias por ano (Hughes, 1959: 61).

O relatório de Hertwig (1876) ainda continha alguns erros, e por isso não foi aceito de pronto por outros eminentes estudiosos da fertilização (veja a literatura especializada, quanto às reivindicações de van Beneden e Stransburger). Todavia, esses erros foram rapidamente corrigidos, e as observações válidas de Hertwig confirmadas pelas soberbas análises de Hermann Foi (1845-1892). Ele descreveu corretamente as duas divisões de maturação do núcleo ovário (veja adiante) e, com uma enorme perseverança, foi capaz de observar a efetiva penetração de um espermatozóide no ovo. Confirmou plenamente que o núcleo masculino se funde com o núcleo feminino, dando origem, como Hertwig havia proclamado, ao núcleo de todas as células do novo organismo. Foi induziu experimentalmente uma fertilização simultânea por diversos espermatozóides, e mostrou que esse processo resulta sempre em uma divagem aberrante e em larvas inviáveis. A fertilização é sempre efetuada por um único espermatozóide (Foi, 1879), confirmando-se assim as observações de Mendel quanto às plantas. Praticamente todos os estudiosos da fertilização, tanto nos animais como nas plantas, concordaram desde então em que a fusão dos núcleos era o elemento decisivo.

Essas descobertas refutaram em definitivo as reivindicações dos fisicalistas, no sentido de que a essência da fertilização era a transmissão de uma excitação. Certo é que partenogêneses naturais, ou induzidas quimicamente, comprovaram que o processo de divagem podia ser induzido nos ovos, sem a fertilização. Mas a fertilização genuína sempre consiste na mistura da substância contida nos núcleos das gametas do macho e da fêmea. A aceitação dessas conclusões foi apenas uma das manifestações da crescente rebelião contra os dogmas do fisicalismo na segunda metade dos século XIX. A preocupação excessiva e bastante paralisadora com forças, movimentos e quantidades foi substituída por um reconhecimento cada vez maior da importância da forma e da qualidade. Uma emancipação semelhante aconteceu quase ao mesmo tempo na química (Fruton, 1972). Contudo, nos anos 1870, a fascinação pelas "forças" ainda era tão grande que muitos citologistas dedicavam mais atenção ao "aparelho locomotor" da célula, áster e fibras em fuso do que ao núcleo e aos cromossomos. Outros reconheciam abertamente que a natureza verdadeira da fertilização era uma mistura de substâncias, e que esse ponto de vista levantava um conjunto de questões inteiramente novas, como haveremos de ver na próxima seção. Acima de tudo, isso encorajou, na realidade exigiu, um estudo da microestrutura da célula e do núcleo.

A base material da variação e da hereditariedade

Quando se começou a perceber a importância da variação, no final do século XVIII e começo do XIX, apresentou-se o interesse de indagar por suas causas. A variação pode estar afeta a qualquer aspecto de um organismo, a qualquer um dos seus assim chamados caracteres, tanto morfológicos como não-morfológicos. Devia haver algum elemento subjacente, algum elemento fisiológico ou químico, que fosse o responsável por essa variação. No princípio, não havia muita clareza sobre o

tipo de questões a serem levantadas, e somente de um ponto de vista retrospectivo se toma possível formulá-las de uma maneira precisa.

As questões a serem respondidas eram as seguintes: A totalidade dos caracteres (de uma espécie) é controlada por uma substância única, uniforme e específica da espécie, ou cada caráter é determinado por uma partícula em separado que pode variar independentemente? O material genético é "flexível", podendo mudar gradualmente durante a existência do indivíduo ou ao longo das gerações, ou é ele "rígido", isto é, perfeitamente constante e só mutável mediante alteração súbita e radical, uma "mutação", como foi chamada depois? Como são formadas as partículas hereditárias no corpo? As partículas que representam a contribuição do pai e da mãe durante a reprodução mantêm a sua integridade após a fertilização, ou elas se fundem completamente?

Estas eram as questões mais relevantes, relativas à geração e à hereditariedade, que se apresentavam na segunda metade do século XIX. Alguns dos espíritos mais brilhantes de toda a história da biologia debruçaram-se sobre elas, e conseguiam o feito de reduzir grandemente o número das respostas possíveis. Aventaram muitas hipóteses engenhosas, algumas corretas e muitas não, mas repetidamente se defrontavam com contradições aparentemente irreconciliáveis. Como poderiam eles ter adivinhado a resposta final para perguntas, que foi encontrada quase cem anos mais tarde pela biologia molecular? A resposta inaudita era que o material genético é meramente um "plano", um programa de informação, de forma alguma fazendo parte do organismo em desenvolvimento, e quimicamente bem diferente dele. Mas, até finalmente se chegar ao domínio desse conhecimento, foi um longo caminho. Tomemos ao ano de 1850.

Mal o protoplasma havia sido identificado, e proclamado como sendo a substância fundamental do organismo vivo, quando se postulou (Brücke, 1861) que ele não tinha como cumprir as suas funções, a menos que fosse composto de "unidades últimas", uma espécie de elementos estruturais. Com efeito, todos aqueles que refletiram mais profundamente sobre a hereditariedade convenceram-se de que a célula, como um todo, não podia servir como o elemento básico da mesma. Além de tudo, cada gameta é apenas uma célula única; de que maneira essa unidade sozinha poderia controlar, como unidade, os dez mil ou mais caracteres de um indivíduo?

Os precursores do conceito de gene

De 1860 a 1900, a natureza dos elementos estruturais do citoplasma e do núcleo era objeto de especulações infindáveis,[7] a maioria delas com pouca ou nenhuma base experimental ou de observação. Essa orgia de especulação desinibida, no período que medeia entre Spencer (1864) e Weismann (1892), está em perfeito contraste com a atitude dos trinta anos precedentes (1835-1864), que constituíram um período relativamente sóbrio, reação evidente ao período anterior, excessivamente especulativo, da *Naturphilosophie* (mais ou menos de 1800 a 1835). Durante o período sóbrio, muitos autores escreviam relatos puramente descritivos sobre os assuntos mais excitantes, recusando-se, resolutamente, a fazer generalizações, mesmo quando estas lhes saltavam aos olhos.

Em um outro período sóbrio (depois de 1895), T. H. Morgan ridicularizava Weismann, chamando-o "o filósofo de Freiburg", e, encontrando-se o reducionismo e o positivismo na crista da onda, votava-se à "especulação" apenas o desprezo. Algumas dessas críticas eram merecidas (veja a seguir). Todavia, somos hoje inclinados a uma consideração mais gentil para com os autores

daquelas especulações, porque eles prestaram uma inapreciável colaboração. Embora as suas respostas possam ter sido erradas, eles foram os elementos que começaram a levantar as questões certas. Como é possível encontrar respostas quando não se sabe o que perguntar? Teorias erradas trazem com muita frequência vida nova a uma área estagnada, e as novas observações que engendram muitas vezes conduzem quase automaticamente à sua própria refutação.

Virtualmente, todos esses autores postulavam que o corpo, inclusive as células, consistia em partículas diminutas ou corpúsculos. Esses corpúsculos deviam desempenhar uma função dupla, no desenvolvimento ontogenético e na hereditariedade. Mas só até ali ia o consenso. Em todos os outros pontos, aqueles autores discordavam entre si. Havia grande desentendimento quanto à natureza dessas partículas, seu papel no desenvolvimento e sua transmissão de uma geração para outra. Cada um deles cunharia um novo termo para essas partículas, e passaria a propor uma nova teoria do desenvolvimento e da hereditariedade. [8]

A capacidade de auto-replicação devia ser uma das propriedades dessas partículas. E isso, de relance, chamou a atenção para a diferença drástica com a natureza inanimada, onde a auto-replicação é um fenômeno inexistente. O crescimento de um cristal, por exemplo, acontece de uma maneira totalmente diferente do crescimento de uma célula.

Finalmente, para que a evolução pudesse acontecer, aquelas partículas deviam ter a capacidade ou de mudança contínua (hereditariedade "tênue") ou de serem praticamente constantes (hereditariedade "sólida"). Uma constância completa excluiria a evolução, e dessa forma as partículas devem ter a capacidade de "mutar" ocasionalmente, valer dizer, de passar de um estado constante a outro. Por isso, uma teoria de genética de transmissão só seria completa no caso em que viesse a fornecer uma explicação simultaneamente para a natureza física dessas partículas, para a sua localização e arranjo nas células, para a sua replicação, e para a sua mutação. De uma maneira mais ou menos completa, essas teorias da hereditariedade, propostas nos noventa anos entre 1860 a 1950, tentaram encontrar soluções para esses problemas.

A primeira teoria geral da hereditariedade e do desenvolvimento foi puramente dedutiva, proposta pelo filósofo Herbert Spencer (1920-1903). Ela foi influenciada fortemente pelo fenômeno da regeneração, como por exemplo a capacidade de certos animais de regenerarem uma cauda perdida. Spencer (1864) postulava a existência de *unidades fisiológicas,* intermediárias em tamanho, entre as células e as moléculas orgânicas simples. Imaginava-se que essas unidades fossem auto-replicativas, específicas da espécies e idênticas entre si (no interior de um indivíduo dado).

Spencer faz afirmações aparentemente contraditórias em relação ao montante da diferença entre as unidades de indivíduos diferentes da mesma espécie. As diferenças entre gêmeos são atribuídas a diferenças no número de unidades contidas nos respectivos gametas recebidos do pai e da mãe. A forma de um organismo é determinada pela capacidade dessas unidades de se arranjarem umas ao lado das outras, de maneira predeterminada, do mesmo modo como fazem as moléculas para formarem um cristal. Além disso, as unidades fisiológicas possuem o poder de resposta ao meio ambiente, efetuando assim uma herança dos caracteres adquiridos.

A seguinte mais importante teoria da hereditariedade foi a teoria da pangênese, de Charles Darwin, publicada em 1868 no *The Variation of Animais and Plants under Domestication.* Como de Vries (1889) muito bem acentuou, a teoria de Darwin de fato consiste em dois componentes, sendo um deles a hipótese de que as qualidades hereditárias de um organismo são representadas nas células germinais por um grande número de pequenas partículas invisíveis, individualmente diferentes, assim

chamadas *gêmulas*. Estas se multiplicam por divisão, e são transmitidas da célula-mãe para as células-filhas, durante a divisão celular.

O aspecto mais importante dessa hipótese é que ele postula a existência de um número enorme de tipos *diferentes* de gêmulas – uma população de gêmulas, por assim dizer – em contraste com as unidades fisiológicas de Spencer, concebidas de modo essencialista, todas elas idênticas num dado indivíduo. O segundo componente da teoria de Darwin, a pangênese, será discutido mais adiante.

Nos cinquenta anos seguintes, vários outros autores postularam semelhantes partículas hereditárias, como os plastídulos de Ellsberg (1874) e Haeckel (1876), ou todas idênticas (como as de Spencer), ou individualmente diferentes (como as de Darwin), sem contudo acrescentarem qualquer idéia essencialmente nova.

Entretanto, uma teoria da hereditariedade, de longe a mais ambiciosa e especulativa do período, foi proposta pelo botânico Nägeli (1884). Ele afirmou, mais claramente do que a maioria dos outros antes dele, que o protoplasma de um organismo consiste em dois componentes, o protoplasma ordinário ou nutritivo e o "idioplasma", nome dado àquela porção do protoplasma que é responsável pela constituição genética do organismo. Inferiu tal separação a partir da observação de que normalmente o pai e a mãe contribuem em igual medida para a constituição genética do filho, não obstante o óvulo tenha uma massa mais de mil vezes superior à do espermatozóide. Consequentemente, apenas uma pequena fração do óvulo, aproximadamente igual à massa do espermatozóide, pode consistir em idioplasma. Poder-se-ia pensar que essa conclusão induziria Nägeli a postular que o idioplasma se restringia ao núcleo. Mas curiosamente, isso não aconteceu; o seu idioplasma, em vez disso, consiste em longos filamentos que se estendem de uma célula para outra (independentes dos núcleos). Cada filamento consiste em numerosos grupos de moléculas (micélios), sendo o corte transversal ao longo do filamento por toda parte idêntico. Cada filamento possui propriedades específicas, e feixes dessas fibras controlam as propriedades das células, dos sistemas de tecidos e dos órgãos. O crescimento consiste no prolongamento dessas fibras, sem qualquer mudança na sua consistência.

Nägeli explica a atividade do idioplasma como sendo devida a diferentes estados de excitação dos diversos grupos de moléculas no interior dos filamentos. É essa a razão por que ele intitulou suas especulações de "teoria mecânico-fisiológica da evolução". Conclui as suas centenas de páginas de especulações com esta afirmação modesta:

> A teoria do idioplasma … é a única que permite uma interpretação possível de como a hereditariedade e a mudança filogenética acontecem naturalmente, isto é, mecanicamente (1884: 81).

Barthelmess (1952) diz ter reservado tanto espaço às especulações de Nägeli porque elas talvez sejam o exemplo mais extremo das elucubrações do período:

> Estamos hoje assombrados com o tamanho castelo de fantasias, e pasmos com a auto-segurança com que o autor proclama que a sua é a única solução possível para o grande enigma da evolução orgânica.

Não obstante isso, justamente por haver especulado sobre todos os aspectos concebíveis do

processo da hereditariedade e do desenvolvimento, a influência que Nägeli exerceu foi enorme. De fato, nos vinte anos que se seguiram, não encontramos sequer uma publicação nessa área que não o cite de modo extenso, e normalmente com uma considerável reverência. Além de tudo, o grande Nägeli era uma das figuras proeminentes do seu tempo. Nada disso, porém, impede que quase todos os detalhes da sua teoria fossem radicalmente falsos e que quase nenhum deles estivesse baseado em qualquer fato conhecido. Um ponto que é preciso ter-se em mente, ao avaliar a teoria da hereditariedade de Nägeli, é que ele se interessava muito pelos híbridos de espécies em que a segregação mendeliana dos caracteres é rara ou ausente. É uma das razões por que não podia entender as descobertas de Mendel com as ervilhas (veja Capítulo 16).

A única idéia de Nägeli a ter um verdadeiro impacto positivo foi a sua insistência na separação estrita do idioplasma do restante do protoplasma. Quase ao mesmo tempo em que ele publicava as suas idéias, três outros autores chegaram independentemente à mesma conclusão e inferiram, além disso, que o material genético estava contido no núcleo (veja a seguir). Na realidade, é simplesmente incompreensível a falha de Nägeli em não ter reconhecido o núcleo como a sede do seu idioplasma. Além disso, em 1884 a importância do núcleo na fertilização já era amplamente admitida; também a relativa igualdade do idioplasma materno e paterno, que constituiu o ímpeto original de suas especulações, da mesma forma devia ter-lhe sugerido o papel do núcleo. Haeckel, com base em evidência muito menor, já no ano 1886 (I: 287-288) havia concluído que o núcleo deve ser o que cuida da herança dos caracteres hereditários, enquanto o citoplasma que o envolve encarrega-se da acomodação ou adaptação ao meio ambiente.

Por volta de 1884, já estava razoavelmente bem estabelecida e aceita a idéia de que a fertilização, tanto nos animais como nas plantas, consistia na fusão de uma célula germinal paterna e de um célula germinal materna (gametas), que ambos os gametas trazem uma constituição igual para a formação do novo zigoto, e que o processo crucial reside na fusão dos respectivos núcleos. As atenções passaram então a concentrar-se sobre os núcleos. Seriam eles nada mais que uma massa amorfa de substância germinal, como tacitamente admitiam os epigenistas – talvez apenas a espoleta que detona o processo de desenvolvimento da célula ovular – ou seria o núcleo, a despeito de seu tamanho minúsculo, um elemento altamente estruturado, detendo a sua invisível microestrutura a chave do desenvolvimento extraordinário preciso e específico que se inicia com a fertilização? Se o núcleo for encarado como nada mais que o detonador do desenvolvimento da célula e da sua divisão, deve-se admitir que ele se dissolve depois de cumprida sua tarefa, para depois ser novamente formado, ao iniciar-se o processo de nova divisão celular, ou pelo menos de nova formação de gametas.

Tendo em conta que quase todos os citologistas da segunda metade do século XIX tinham formação de fisiólogos ou embriologistas, o interesse principal do período estava voltado para os problemas do desenvolvimento, e parecia não haver nenhuma necessidade de postular a continuidade dos núcleos. Praticamente ninguém se preocupava com a questão genética da transmissão dos caracteres da geração-mãe para a geração-filha.

Os últimos resquícios de uma crença em uma "formação celular livre", ou na formação de núcleos *de novo,* foram finalmente eliminados nos anos 1875 a 1880, quando cinco pesquisadores – Balbiani, van Beneden, Flemming, Schleicher e Strasburger – chegaram ao ponto de acompanhar passo a passo os eventos da divisão celular. Eles comprovaram três fatos importantes: (1) que a divisão do núcleo começa antes da divisão da célula; (2) que existe uma sequência regular nas

mudanças da substância do núcleo; (3) que os fenômenos básicos da divisão nuclear e da divisão celular são os mesmos, tanto no reino vegetal como no animal.

Ficou cada vez mais evidente que o papel do núcleo não é puramente fisiológico (isto é, servindo como elemento desencadeador do desenvolvimento da célula, num sentido meramente físico). Muito pelo contrário, ele é um órgão altamente estruturado e de uma composição muito específica. A questão da natureza dessa composição continuou a concentrar as atenções dos estudiosos da célula, desde aquele momento, mas as respostas finais ainda estão por ser encontradas.

O progresso nessas pesquisas caracterizou-se por análises cada vez mais refinadas. Os passos envolvidos abrangeram a passagem do indivíduo como um todo para a célula, da célula como um todo para o núcleo, e agora do núcleo como um todo para os seus elementos estruturais mais. importantes, os cromossomos.

Os cromossomos e o seu papel

Dependendo dos interesses do pesquisador, a divisão nuclear era interpretada de duas maneiras inteiramente diferentes, nos 25 anos que antecederam ao nascimento da genética (1900). [9] Para aqueles que estavam interessados principalmente no desenvolvimento, a grande questão era a seguinte: Como pode a célula ovária indiferenciada, por simples divisão, dar origem às células diferenciadas do tecido nervoso, do tecido glandular, da epiderme e das centenas de outros tipos reconhecidos pelos fisiólogos e histologistas? Era essa, por exemplo, a espécie de considerações que dominava as teorias de Weismann. Tais pesquisadores interessavam-se antes de tudo pelas causas próximas.

Aqueles outros pesquisadores, relativamente poucos, que estavam interessados na genética de transmissão, preparavam o terreno que acabou por levar à pergunta: Quais são os mecanismos que efetuam a divisão do material nuclear, de tal maneira que exatamente duas metades iguais são transferidas para as células-filhas de uma célula em divisão? As questões formuladas pelos dois grupos de pesquisadores eram por isso inteiramente diferentes. Os embriologistas indagavam: Como podemos interpretar a divisão da célula de forma que explique a diferenciação do fenótipo? Os geneticistas da transmissão tinham as atenções voltadas, como diríamos hoje, para a exata perpetuação do genótipo, vale dizer, para o problema da hereditariedade. A interpretação dos geneticistas da transmissão deixou o problema da diferenciação inteiramente insolúvel, enquanto as respostas apresentadas pelos geneticistas do desenvolvimento levantaram algumas dificuldades formidáveis e, como se evidenciou mais tarde, insolúveis para a interpretação da genética de transmissão.

Evidentemente, nem um primeiro passo podia ser dado na direção da resolução do conflito, antes que se tivesse uma melhor compreensão do que ocorria no interior do núcleo durante a divisão da célula, um processo que não tentarei descrever aqui com todos os detalhes, embora a mecânica da divisão celular (mitose) se conte entre os processos mais maravilhosos do mundo vivo.

Mitose

A. Trembley (1710-1784) foi o primeiro autor a descrever a divisão da célula de uma

determinada classe, a fissão de um protozoário (Bater, 1952). Na segunda metade do século XVIII, também foi descoberta a divisão da célula das diatomáceas e outras algas, tendo sido da mesma forma estudada de modo bastante intensivo nos protozoários, por Ehrenberg, pelos anos 1830. A partir de 1840, o processo pelo qual uma célula somática se divide (denominado *mitose,* por Flemming, em 1882) foi descrito e ilustrado de modo cada vez mais frequente (Wilson, 1896; Hughes, 1959).

Quando uma célula se divide, o seu núcleo também se divide, e isso finalmente foi reconhecido como sendo o aspecto mais importante da divisão celular. No começo acreditava-se que o núcleo fosse simplesmente preenchido de material granular, que durante a divisão celular ficava distribuído igualitariamente entre os dois núcleos-filhos (divisão celular direta). Todavia, ao se aperfeiçoarem tanto os equipamentos óticos como as técnicas microscópicas (como a coloração), podendo com isso serem estudadas com maior precisão todas as fases da divisão celular (e nuclear), a imagem simples e primitiva teve que ser revista. O núcleo, em certos estágios da mitose, parecia estar cheio de filamentos, rendas ou fitas, os quais, tendo em vista que se revelaram fortemente coloridos, foram designados por Flemming (1879) como sendo compostos de *cromatina.* Tendo em vista que a palavra *cromossomo* só foi proposta a partir de 1888 (Waldeyer), cada autor adotava terminologia e descrições diferentes. Eram cromossomos, presumivelmente, aquilo que foi observado por Remak (1841), Nägeli (1842), Derbès (1847), Reichert (1847), Hofmeister (1848, 1849) e Krohn (1852). Todos eles viram figuras mitóticas e por vezes forneceram boas ilustrações de placas de metáfase. É preciso ter em mente que esses trabalhos eram publicados no período da livre formação das células, onde muitos autores eram de opinião que os núcleos se dissolvem, e que dois novos núcleos se formam a partir da seiva celular.

A primeira pessoa que observou a complexidade da reorganização do núcleo foi o zoólogo francês E. G. Balbiani (1825-1899). Já no ano 1861, dispondo de excelentes preparativos, ele desenhou com detalhes primorosos todos os estágios da mitose de um protozoário. Mas, infelizmente, Balbiani interpretou de modo completamente equivocado aquilo que viu. Não percebendo que todo protozoário nada mais é que uma célula única, ele identificou o núcleo como sendo um testículo e os cromossomos como sendo os espermatozóides. Em consequência disso, essa obra pioneira não teve a seguir qualquer influência. A divisão nuclear direta continuou a ser aceita pela maioria dos autores até a metade dos anos 1870.

Os avanços técnicos da microscopia permitiram demonstrar que o núcleo (e seus componentes cromáticos) não desaparece no intervalo das divisões celulares, mas mantém-se na fase de repouso mesmo que sob forma diferente. Além disso, eles permitiram uma descrição acurada de três estágios principais (e diversos outros menores) da mitose, chamados depois prófase, metáfase e anáfase (veja a Fig. 1).

O núcleo em repouso (no intervalo das divisões da célula) não se reveste de boa coloração, mas havia indicações de que grande parte do material nuclear se organizava em um ou em diversos filamentos tênues, ou em uma rede de filamentos. Quando se aproxima a divisão da célula, a membrana que envolve o núcleo desaparece, e os filamentos cromáticos tendem a se condensar e a se revestir mais facilmente das cores próprias. Finalmente, esse material se contrai em algumas fitas fortemente coloridas, designadas *cromossomos*. Toda espécie possui normalmente um número constante desses cromossomos em cada célula – no homem eles são 46 e durante a divisão nuclear eles se dispõem numa "placa equatorial". É nesse estágio (metáfase) que cada cromossomo parece

dividir-se em dois. Os primeiros relatórios diziam que eles se dividiam transversalmente, e tal erro criou uma considerável confusão. Mas depois foi observado claramente (Flemming, 1879) que eles se cindem longitudinalmente; a cisão ocorre, evidentemente, antes da metáfase, isto é, quando a matéria colorante (cromatina) ainda se encontra no estágio difuso, de observação praticamente impossível. No próximo estágio, as duas metades dos cromossomos divididos separam-se umas das outras e se encaminham aos pólos opostos do núcleo em processo de divisão. Ao redor de cada conjunto de cromossomos (nos pólos) forma-se uma membrana nuclear, e os cromossomos revertem à sua condição de repouso, em forma de filamentos quase invisíveis.

Foram necessários diversos anos e o esforço de numerosos pesquisadores para que esses vários estágios de mitose fossem reconhecidos e corretamente interpretados. As primeiras descrições razoavelmente acuradas devem-se a três pesquisadores, no ano 1873: Schneider, Bütschli e Foi. A importância desse processo foi de pronto reconhecida, e passou a ser objeto de estudos frenéticos, tendo o zoólogo van Beneden e o botânico Strasburger trazido contribuições particularmente importantes. Oito anos mais tarde, um autor, fazendo a recensão dos trabalhos publicados entre 1874 e 1878, listou 194 artigos (por 86 autores), tratando da divisão celular e aspectos correlatos. Todavia, ninguém contribuiu tanto para uma descrição e interpretação corretas da mitose como Flemming, que em 1882 produziu um resumo poderoso de todo o quadro das pesquisas sobre o assunto. As observações da mitose nas plantas revelaram que ela acontece exatamente como nas células dos animais. Foi mais um tópico para a evidência da unidade dos processos celulares nos animais e nas plantas. (Só mais de meio século depois é que se descobriu que existe uma pronunciada diferença na divisão da célula nos eucariotos e nos procariotos.)

Toda nova observação feita confirmava a existência desse processo extremamente complexo da divisão da célula. Por que é necessária uma tal complexidade? Por que a célula e o núcleo não se dividem simplesmente ao meio, como pensava Reamk? Esta é a pergunta que W. Roux fez a si mesmo, em 1883. Numa época em que apenas se estudavam as causas próximas, culminando com as especulações mecânico-fisiológicas de Nägeli, Roux desejava indagar sobre as causas últimas. Aventurou-se a uma questão do porquê: Por que estamos diante de um processo tão complexo, quando uma divisão simples realizaria a tarefa? Ele responde dizendo que a simples divisão direta do núcleo seria perfeitamente suficiente se o material nuclear fosse homogêneo. Mas, se o material nuclear for heterogêneo, se ele consiste em partículas inumeráveis, cada qual com uma capacidade genética diferente, então existe um só método possível pelo qual esse material pode ser dividido, de maneira tal que cada partícula esteja representada em ambas as células-filhas. Esse método consiste em ordenar todas as partículas em série, como as pérolas no fio de um colar, e depois cindir toda a enfiada longitudinalmente, “de tal maneira que todo glóbulo de cromatina se divida em duas metades, de sorte que cada fio de glóbulos resulte em dois fios, lado a lado”.

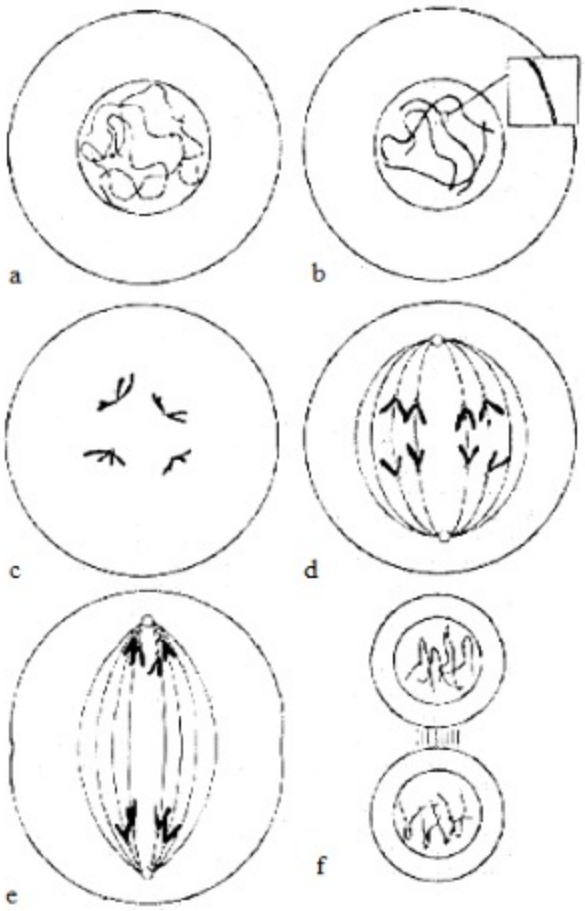

Figura 1. Estágios da mitose. (a) Prófase primitiva, (b) Prófase posterior; cada cromossomo, aparentemente na prófase primitiva, fende-se em dois cromatideos. (c) Visão polar da metáfase. (d) Anáfase primitiva, (e) Anáfase posterior, (f) Telófase. Os pequenos círculos em (a), (b) e (f) representam os nucléolos.

Nos anos anteriores, havia sido repetido muitas vezes (Balbiani, 1881; Strasburger, 1882) que, no núcleo em repouso, toda a cromatina se dispõe num filamento longo e único. É nessa observação que repousava a hipótese de Roux:

> As figuras mitóticas … são mecanismos que permitem ao núcleo dividir-se não apenas quantitativamente, mas também segundo a massa e a natureza das suas individuais qualidades. O processo essencial da divisão nuclear é a fissão ao meio de todos os corpúsculos da célula-mãe; todos os demais processos servem ao objetivo de transferir um dos corpúsculos derivados ao centro de uma das células-filhas, e o outro ao centro da outra célula-filha.

Esse processo garante que ambas as células-filhas sejam idênticas, não apenas quantitativa mas também qualitativamente. Elas são idênticas em todos os seus aspectos.

Essa é a tese de Roux, sustentada ao longo de todo o seu artigo de 19 páginas; mas de repente põe tudo a perder. Em uma única frase, ele capitula diante da possibilidade de uma divisão desigual:

> Tendo em vista que a segunda divagem divisória [no ovo da rã] determina o pólo da frente e o pólo de trás do embrião, e considerando que é preciso admitir que o desenvolvimento diverso

> da parte anterior e da parte posterior está relacionado com uma desigualdade de material, é provável que o material se divida em partes qualitativas durante a segunda divisão (1883: 15).

Isso contradiz a sua tese principal, no sentido de que não há diferença de espécie alguma entre a mitose da primeira e da segunda divisão.

Um mecanismo de divisão igual, a tese principal de Roux, constitui precisamente a interpretação moderna da mitose, interpretação essa que foi curiosamente ignorada por todos aqueles que, como Weismann nos anos seguintes, tentaram explicar a diferenciação por via de uma distribuição desigual do material nuclear às células-filhas. Entretanto, como disse Wilson (1896: 306):

> Sequer um fenômeno visível da divisão celular oferece a mais remota sugestão de divisão qualitativa. Ao contrário, todos os fatos indicam que a divisão da cromatina se realiza com a mais exata igualdade.

A teoria de Roux era francamente uma especulação, mas inteiramente diferente das especulações de Nägeli ou de Jacques Loeb. Roux levantou uma questões do porquê, na tradição de Harvey, cuja curiosidade em relação ao significado de válvulas nas veias contribuiu grandemente para a sua descoberta da circulação sanguínea. Com efeito, Roux, implicitamente, perguntou o seguinte: Qual é o valor seletivo desse complicado processo? Nägeli e Loeb não faziam perguntas sobre o porquê; em vez disso, eles procuravam interpretar os fenômenos biológicos de uma maneira reducionista, em termos da física e da química, e esse tipo de especulação era, na época, muito mais respeitável que a abordagem "teleológica" ou "aristotélica" (como foi chamada) de Roux. Sem dúvida, a hipótese de Roux, da mesma forma como a teoria da fertilização de Hertwig, foi uma evidência a mais da gradual emancipação da biologia das interpretações puramente fisicalistas.

A história do núcleo estava consumada em 1880, pois todas as pesquisas citológicas haviam confirmado o aforisma de Flemming. A partir daquele momento, o centro das atenções passou para os cromossomos. O que fazem os cromossomos durante a divisão?

Do núcleo aos cromossomos

Em 1883, o citologista belga van Beneden publicou uma análise brilhante da fecundação no nematóide dos cavalos, *Ascaris bivalens,* um organismo excepcionalmente favorável ao estudo, porque possui apenas quatro cromossomos. Ele teve condições de mostrar como os gametas têm apenas dois cromossomos, e que o núcleo masculino fertilizador não se fundia com o núcleo feminino, de modo a produzirem uma mistura das suas substâncias nucleares, mas sim que os dois cromossomos do núcleo masculino apenas se juntam aos dois cromossomos do núcleo do ovo, formando o novo núcleo do zigoto, com quatro cromossomos (que ele chama de glóbulos cromáticos). Na primeira divagem divisória do ovo fertilizado (zigoto), cada um dos quatro cromossomos se divide longitudinalmente, como em qualquer outra divisão mitótica, e cada célula-filha recebe os mesmos dois cromossomos paterno e materno que participaram da fertilização (veja o Capítulo 17).

Embora van Beneden tivesse observado que exatamente a metade do material nuclear do novo

indivíduo era procedente do pai, e a outra metade procedente da mãe, ele não estabeleceu qualquer conexão entre as suas observações e a hereditariedade. Não sendo um teórico, deixou de tirar as conclusões óbvias da sua brilhante demonstração citológica. Quem acabou fazendo isso, de modo quase simultâneo e independente, foram quatro biólogos alemães, embora Galton (1876) se tivesse antecipado a todos eles. [11]

Weismann (1883), numa análise penetrante do problema da hereditariedade, concluiu que o material nuclear era a substância hereditária, designando-a com o nome de "plasma germinal" (um ano antes do "idioplasma" de Nägeli):

> A hereditariedade é efetuada mediante a transferência de uma geração à outra de uma substância [plasma germinal] dotada de uma constituição química definida, molecular acima de tudo. [12]

Em 1884, o principal citologista de animais, Oskar Hertwig, e o principal citologista de plantas, E. Strasburger, revendo a extensa literatura dos dez anos passados, tiveram condições de demonstrar de modo conclusivo que nenhuma outra interpretação era possível, a não ser a de que o núcleo é o portador da hereditariedade. Cada um deles atribui a Haeckel o mérito de haver sido o primeiro a postular esse papel do núcleo. Hertwig e Kölliker (1885) deram um passo mais à frente, afirmando que o material verdadeiro e efetivo do núcleo outra coisa não era que a substância química peculiar, isolada por Miescher na célula do núcleo, a que chamou "nucleína". Ela deve ser, segundo declaração enfática de Kölliker, a base material da hereditariedade.

Finalmente, foi também possível demonstrar por via experimental que o núcleo é a sede do material genético. Boveri (1889), numa série de investigações engenhosas, fragmentou ovos de ouriço-do-mar mediante agitações vigorosas, e chegou a descobrir que grandes porções do ovo enucleado podiam ser fertilizadas com o esperma de uma espécie (e gênero) diversa e morfologicamente bem distinta desse ouriço. Conquanto esse fragmento de ovo haplóide híbrido tivesse apenas o cromossomo paterno depositado no citoplasma materno, ele se desenvolveu normalmente; mas a larva que disso resultou tinha quase exclusivamente características paternas. Larvas de controle, produzidas pela fertilização simultânea por espermatozóides de duas espécies diferentes, revelaram caracteres morfológicos intermediários. Estava aí a nítida prova experimental de que é o núcleo que determina as características do organismo. [13]

O estudo do comportamento dos cromossomos durante a fertilização esclareceu o problema da "fusão" dos gametas. Sim, existe uma fusão dos gametas, e mesmo uma fusão dos núcleos dos gametas, mas não existe uma fusão dos cromossomos paternos e matemos. Esse novo ponto de vista inaugurou um campo de pesquisa totalmente novo, concentrando-se a atenção na questão de uma ação ou conjunta ou independente dos materiais genéticos paterno e materno, bem como na questão da exequibilidade de uma herança de mistura (veja o Capítulo 17).

Para podermos apreciar o enorme avanço realizado nesses 45 anos, é preciso tomar à consideração da teoria de Schleiden (1838), de que, em cada nova célula, todo núcleo novo se origina *de novo,* mediante um processo de cristalização. Agora, não apenas estava firmemente estabelecida a continuidade dos núcleos, mas estabelecido estava também o fato de que o aspecto crucial da produção de um indivíduo novo reside na combinação dos elementos genéticos nos núcleos dos gametas do macho e da fêmea. A partir de 1884, a tese de que os núcleos desempenham

a função predominante na hereditariedade já não era mais contestada, muito embora alguns cientistas, pelo espaço de mais uns cinquenta anos, postulassem que componentes importantes do material genético podiam residir também no citoplasma. O que não ficou muito claro era a conexão que existia entre o núcleo e o citoplasma. Seria o núcleo o elemento dominante e o citoplasma uma via de mão dupla, podendo este retomar material ao núcleo, influindo por essa forma nas suas qualidades hereditárias?

Os cinquenta anos seguintes foram anos de especulações, por parte de Nägeli, de Vries, Weismann e outros. O conhecimento citológico estava consolidado, mas nenhum aspecto novo importante foi acrescentado.

De fato, o conhecimento dos cromossomos e dos núcleos das células, por volta de 1890, havia alcançado um notável grau de maturidade. O livro magistral de Wilson, *The Cell in Development and Inheritance* (1896; 1900), oferece uma evidência convincente desse fato. Os tempos estavam maduros, para que o venerável problema da herança dos caracteres adquiridos fosse reexaminado, à luz dos novos conhecimentos citológicos.

16. A NATUREZA DA HEREDITARIEDADE

Intuitivamente, todos aqueles que se debruçam sobre o estudo da natureza sentem que há um certo conflito, ou contradição, entre os fatos da hereditariedade ("Ela é exatamente igual à sua mãe!") e os fatos da variação. A hereditariedade implica continuidade e constância; a variação implica mudança e diversidade. Quando um cultivador cruzava plantas ou animais, muitas vezes se deparava com variantes inesperadas entre os rebentos. Mesmo quando se comparavam gêmeos entre si, encontrava-se muitas vezes uma espantosa variação. Finalmente pareceu importante a pergunta: De onde provém a variação nova? Mas apenas a partir do momento em que Darwin estabeleceu a sua teoria da seleção natural é que a fonte da variação se tomou um problema-chave da biologia. A seleção natural só pode ser eficaz se existir um abundante suprimento de variação, suprimento que deve ser constantemente renovado. Como pode isso ser compatibilizado com a noção da constância da hereditariedade?

A resposta tradicional tem sido de que a hereditariedade não é necessariamente constante, que ela não é totalmente "rígida". É certo que, em algumas características, um indivíduo pode ser muito parecido com seu pai, ou com sua mãe, ou mesmo com um avô ou ancestral mais remoto. Todo criador de animais baseia-se no fato de que tal hereditariedade rígida e sólida existe. Contudo, se a hereditariedade fosse completamente rígida, não poderia haver variação. Por isso, julgou-se que podia haver fontes de variação, não mutuamente exclusivas. Ou parte da hereditariedade é tênue e flexível, isto é, suscetível de influências várias, ou então o material genético é rígido e sólido, mas com a capacidade ocasional de produzir novas variações. Durante o século XIX e um terço do século XX, a questão da hereditariedade tênue e da fonte da variação genética permanecia um assunto controvertido.

Darwin e a variação

Uma das duas pilastras da teoria darwiniana da seleção natural era o postulado da disponibilidade de um suprimento ilimitado de variação. Todo indivíduo é único, e diferente de qualquer outro: "Essas diferenças individuais são para nós altamente importantes, porque fornecem material abundante para o exercício da seleção *natural" (Origin:* 45). Mas de onde vem essa variação? Qual é a sua fonte? Essa questão intrigou Darwin durante toda a sua vida. A importância do papel que a variação desempenhava no pensamento de Darwin pode ser comprovada pelo fato de que ele dedicou um trabalho de novecentas páginas à variação de animais e plantas domésticos (1868). Ele havia planejado escrever um trabalho semelhante sobre a variação na natureza, mas não chegou a fazê-lo, submerso que estava na abundância do material acumulado. A sua enorme informação relativa à variação foi condensada nos dois primeiros capítulos (59 páginas) do *Origin.* Escritores recentes que se ocuparam de Darwin (como Ghiselin, 1969; Vorzimmer, 1970; e autores de diversos artigos de periódicos) reconheceram plenamente a importância da variação no seu pensamento. A hereditariedade como tal e as suas leis eram de um interesse muito menos imediato

para Darwin do que a variação e as suas causas.

Ainda em nossos dias, a variação e as suas causas não são plenamente compreendidas. Na metade do século XIX, o assunto estava envolvido por uma grande confusão. Pode-se depreender a dificuldade dessa questão, ao constatarmos o quanto o próprio Darwin andava desnorteado; logo ele que se preocupou a vida inteira com a variação, e que refletiu profundamente sobre ela. Numa consideração retrospectiva, torna-se claro que em grande medida a questão não tinha como ser esclarecida, antes do surgimento da genética (por exemplo, a distinção entre genótipo e fenótipo). De qualquer maneira, parte da confusão também foi devida ao fato de não se saber aplicar coerentemente o pensamento de população.

O aspecto mais fascinante das confusões e equívocos de Darwin sobre a variação é que eles não o impediram de promover uma teoria perfeitamente válida, aliás brilhante, da evolução. Apenas dois aspectos da variação eram importantes para ele: (1) que ela fosse o tempo todo disponível em grande abundância, e (2) que ela devia ser razoavelmente sólida. Em vez de gastar seu tempo e suas energias com problemas naquela época insolúveis, Darwin, na maior parte da sua obra, tratou a variação como uma "caixa-preta". Ela estava sempre presente, e podia ser utilizada na teoria da seleção natural. Mas a questão de investigar o conteúdo da caixa, ou seja, as causas da variação, só ocupou Darwin ocasionalmente, e com pouco sucesso (como sua teoria da pangênese; veja a seguir). Felizmente, para a solução dos problemas mais importantes que preocupavam sua mente (por exemplo, o sucesso dos indivíduos na luta pela existência), a busca do conteúdo da caixa não era necessária. Podia ser remandada a tempos mais auspiciosos. Um dos segredos do êxito nas ciências é a escolha de problemas "solúveis" (Medawar, 1967).

Havia dois aspectos da variação que causavam dificuldades particulares a Darwin.

1 . *A distinção entre variação intrapopulacional e interpopulacional.* Darwin, infelizmente, jamais fez uma distinção clara entre variedades individuais e geográficas, e isso, em particular depois dos anos 1840, atormentou suas discussões sobre a especiação' (Mayr, 1959a; Kottler, 1978; Sulloway, 1979; veja também a Parte II). Esse fato também afetou sua discussão sobre a variabilidade na domesticação:

> Os indivíduos … dos nossos mais antigos animais e plantas de cultivo … em geral diferem muito mais entre si do que os indivíduos de qualquer espécie ou variedade no estado natural (*Origin*: 7).

Na realidade, a variação individual (isto é, intrapopulacional) de cepas, espécies e raças de plantas e animais domésticos é muitas vezes extraordinariamente baixa, e a obtenção de rebentos uniformes é um dos ideais do cultivador. O que de fato ocupava a mente de Darwin era antes de tudo o campo da variação das espécies domesticadas como um todo, vale dizer, a variação interpopulacional. De qualquer maneira, onde não é exercida a seleção estabilizadora do cultivador, a variação pode ser muito maior.

2. *A crença de que existiam dois tipos inteiramente diferentes de variação intrapopulacional.*

[1] Criadores e naturalistas – na realidade, qualquer um que lidasse com a variação – acreditavam, até em pleno primeiro quartel do século XX, na existência de dois tipos de variação – a variação descontínua e a variação contínua (também chamada individual). A variação descontínua é representada por todos os desvios nítidos do "tipo", isto é, por

qualquer variante que não esteja em conexão com o "tipo normal", mediante séries gradativas de intermediários. Os albinos seriam um exemplo de variação descontínua. Para um essencialista, tudo o que é novo só pode originar-se por um desvio drástico do tipo – uma mutação ou salto-, e por isso a variação descontínua desempenhou papel importante nas teorias evolucionárias dos essencialistas (veja a Parte II).

Embora Darwin reconhecesse a existência da variação descontínua como uma categoria em separado, considerava-se evolutivamente desimportante. Em contraste com todos os autores que o precederam, ele acentuou a prevalência universal e o significado biológico da variação individual, ou contínua. De onde teria Darwin extraído esse ponto de vista capital? Deveu-o primeiramente ao estudo da obra dos criadores de animais que, desde Bakewell e Sebright, chamavam a atenção para a unicidade dos indivíduos, um fator que tomava possíveis a seleção e a melhoria das raças. Essa lição foi corroborada pelos estudos taxionômicos de Darwin, onde constatou, como outros taxionomista antes dele, que não existem sequer dois indivíduos inteiramente idênticos, quando examinados bem de perto. É essa variação individual, como nunca cessou de enfatizar, que fornece a matéria-prima para a seleção, e por isso para a mudança evolutiva. Mas a natureza dessa variação contínua, sobre a qual o próprio Darwin guardava muitas incertezas, permaneceu assunto controvertido, até que as pesquisas genéticas de Nilsson-Ehle, East, Baur, Castle, Fischer, e outros geneticistas, colocassem a questão nos seus justos termos, depois de 1910 (veja o Capítulo 17).

Aqueles que discordavam de Darwin apresentavam duas objeções, em particular. Em primeiro lugar, proclamavam, até o tempo de Johannsen e depois ainda, que tal variação contínua apenas reflete a plasticidade do fenótipo, mas não é herdável. A segundo afirmação, retomando uma argumentação de Lyell e de outros que o antecederam, era no sentido de que essa variação sofria limitações severas, nunca chegando ao ponto de transgredir os limites do "tipo". As duas objeções foram depois refutadas, e hoje em dia ninguém mais contesta a importância soberana da variação individual. Além do mais, como logo haveremos de ver, a genética finalmente mostrou que não há diferença real entre as bases genéticas da variação contínua e da variação descontínua.

Simplesmente afirmar que havia abundância de variação não era suficiente para Darwin. Para ele, um autêntico filho do seu tempo, a variabilidade devia ser atribuída a uma causa identificável. Ele não acreditava numa variação "espontânea":

Não acredito que a variabilidade seja, em todas as circunstâncias, uma contingência inerente e inevitável de todos os seres orgânicos, como alguns autores têm pensado (*Origin:* 43).

As causas mais importantes da variação, para Darwin, eram as várias influências sobre o sistema reprodutor dos pais ou mudanças profundas no meio ambiente. Tais influências, assim pensava, não produziam variantes específicas ou variações direcionais; elas simplesmente acresciam a variabilidade da prole, ampliando o campo para o exercício da seleção natural.

À ocasião, Darwin admite que havia falado um tanto levianamente sobre a variação, como tendo

sido devida ao acaso. Isso, evidentemente, é uma expressão inteiramente incorreta, mas tem o mérito de testemunhar o franco reconhecimento da nossa ignorância sobre a causa de cada variação particular (*Origin*: 131).

O amigo de Darwin, Hooker, percebia de modo muito mais claro que não havia necessidade de uma conexão causai entre condições especiais e um tipo particular de variação:

> Inclino-me a atribuir as mais pequenas variações [individuais] à tendência inerente para variar; um princípio totalmente independente das condições físicas (de Hooker para Darwin, 17 de março, 1862; 1918,1: 37).

Provavelmente, para o gosto de Darwin, uma "tendência inerente à variação" tinha o mesmo sabor da "tendência inerente à perfeição", de Lamarck. Aceitar a variabilidade genética simplesmente como mais uma manifestação da imperfeição do mundo orgânico não era algo suficientemente "causai" para Darwin. Tanto Darwin como Hooker eram bastante vagos no tocante ao verdadeiro objeto do seu desacordo. Estariam eles se referindo à variação como um processo, ou à variação como produto desse processo? Numa época em que cientificamente só eram dignos de respeito aqueles processos que obedeciam a uma "lei", não era admissível o reconhecimento de perturbações estocásticas.

Apesar de todas as suas afirmações em contrário, os adversários de Darwin deram grande importância às suas declarações de que a variação se devia ao acaso. Sob formas diferentes ("As mutações são casuais?"), essa objeção continuou virtualmente até os nossos dias. O que os adversários do darwinismo deixaram de perceber é que Darwin e seus discípulos jamais puseram em questão a causalidade estritamente físico-química de todas as variações; eles simplesmente negavam que ela tivesse um componente teleológico. A variação genética não é uma resposta específica a uma necessidade de adaptação.

Identificar a mudança gradual do pensamento de Darwin com respeito às causas da variação é assunto particularmente difícil, porque intimamente relacionado com a mudança simultânea do seu pensamento sobre as causas da adaptação (seleção natural) e sobre a natureza da hereditariedade (tênue ou sólida). Todo aquele que não acredita na seleção natural é forçado a confiar numa hereditariedade tênue e, além disso, obriga-se a postular a existência de respostas adaptativas às necessidades do meio ambiente. Uma vez que Darwin adotou a seleção natural como o mecanismo da mudança evolutiva, tudo o que precisava era de um processo (ou processos) que desse origem à variabilidade. Em todo caso, se a hereditariedade é normalmente sólida (e, como veremos, Darwin chegara a essa conclusão) – vale dizer, se os caracteres dos pais são normalmente transmitidos à prole sem alteração-, então é necessário que haja um estímulo especial para fazer com que variem. E uma vez que a prole é o produto do sistema reprodutor, tal estímulo de alguma forma deve estar afeto a esse sistema reprodutor. Essa concatenação de argumentos era inteiramente lógica.

E a Darwin se afigurava que estava de posse da evidência para dar suporte à sua argumentação. Constatando que existem na natureza tanto espécies altamente variáveis como espécies muito uniformes, concluiu que devia haver fatores que tinham a capacidade de afetar a variabilidade das espécies. Nesse ponto ele evoca o caso das espécies domesticadas, como as raças de cães, ou as variedades de repolho, presumindo-se que cada uma delas derivava de uma espécie ancestral única. E observou que

> as condições mais favoráveis para a variação parecem ocorrer quando os seres orgânicos são desenvolvidos por muitas gerações sob domesticação (1844: 91).

Qual o aspecto particular da domesticação que é o responsável por esse aumento da variabilidade? O que leva a constituição genética normalmente tão estável a variar? Isto

> simplesmente se deve ao fato de que as nossas criações domésticas foram produzidas sob condições de vida não tão uniformes, e de alguma maneira diferentes daquelas [das] espécies parentais (*Origin:* 7).

Darwin não postula, como se poderia depreender das entrelinhas dessa passagem, uma indução direta dos novos caracteres como resultado da vida em ambiente diverso, mas simplesmente que algum fator, talvez "um excesso de alimento", deve ser o responsável pelo aumento da variabilidade como tal. E ele acredita, além disso, que esse acréscimo da variabilidade seja devido ao fato de que os sistemas reprodutores do macho e da fêmea aparecem "como sendo muito mais suscetíveis à ação de qualquer mudança, nas condições de vida, do que qualquer outra parte do organismo" (*Origin:* 8; veja também afirmações similares, alhures, nos escritos de Darwin).

A diferença crucial entre essa interpretação e a dos adeptos da hereditariedade tênue reside em que a variação darwiniana não sofre qualquer direcionamento especial por força do meio ambiente, ou por alguma necessidade do organismo. Toda tendência direcional que se observa na evolução tem uma causa diferente:

> O acúmulo constante verificado por meio da seleção natural … é o que dá origem a todas as modificações mais importantes da estrutura (*Origin:* 170).

Em muitas afirmações dispersas, ao longo dos seus escritos, está implícita a convicção de que o material genético normalmente não é afetado pelo meio ambiente. Nesse ponto, Darwin estava praticamente só, anteriormente aos anos 1870.

Como transparece dos seus cadernos de notas, Darwin lutou com o problema da hereditariedade desde o tempo em que começou a pensar sobre a evolução, mas falou relativamente pouco sobre esse assunto no *Origin*. O que acreditava realmente era que a maior parte da variação individual era hereditária.

> Talvez a maneira correta de encarar toda essa questão seria considerar a hereditariedade de todo e qualquer caráter como a regra, e a não – hereditariedade como uma anomalia (*Origin:* 13).

Evidentemente, a seleção natural não pode favorecer qualquer caráter não-hereditário, daí que "qualquer variação que não seja herdada é de – simportante para nós (*Origin*: 12). Foi preciso esperar pelo seu *Variation of Animais and Plants under Domestication* (1868), para que Darwin publicasse suas idéias sobre a hereditariedade, na forma da sua hipótese da pangênese. É dela que passarei a tratar agora; mas, no intuito de facilitar a análise, desejo antecipar que existem dois componentes da teoria darwiniana da hereditariedade sobre os quais os historiadores da ciência ainda não chegaram a um completo consenso. O primeiro é se Darwin acreditava em caracteres hereditários misturados ou individualizados. Desde que a natureza dessa questão não pode ser

plenamente esclarecida, a não ser em termos da hereditariedade mendeliana, vamos postergar essa discussão para depois do estudo da redescoberta de Mendel (veja o Capítulo 17). O segundo ponto em que existe desacordo refere-se à questão sobre em que medida Darwin admitia alguma forma de hereditariedade tênue, e, em particular, de uma hereditariedade dos caracteres adquiridos.

Hereditariedade tênue ou hereditariedade sólida{‡‡‡‡‡‡‡}

A crença de que eram o meio ambiente ou o "uso *versus* desuso" (ou ambos) que afetavam as qualidades hereditárias dos caracteres era quase universalmente aceita até o final do século XIX (Zirkle, 1946), e por numerosos biólogos também em pleno século XX (Mayr e Provine, 1980). Tal crença é geralmente denominada com as palavras "hereditariedade dos caracteres adquiridos", mas essa terminologia é imprecisa, porque a dita crença usualmente também incluía o postulado da modificação do material genético pelas condições gerais de clima e do meio ambiente (geoffroysmo), ou diretamente por nutrição, sem que os caracteres periféricos (fenotípicos) servissem necessariamente como intermediários. A Bíblia (Moisés I: 30) relata que as diversas experiências ou os sustos da mãe grávida afetam o filho, e isso era aceito na literatura teratológica como sendo a causa principal do nascimento de monstros. Nesses casos, uma modificação não-genética do fenótipo *é* frequentemente a explicação correta.

O conceito básico subjacente nessa idéia é de que o material genético em si mesmo é plasmável, ou "flexível". Para essa teoria, não importa se o material genético muda depressa ou devagar, nem se ele muda diretamente ou via "caracteres adquiridos"; o que importa é que ele não é constante, não é imutável, não é "rígido". Curiosamente, essa hereditariedade tênue era tão universalmente aceita, era considerada tão axiomática, que só a partir de 1850 começaram a ser feitas as primeiras tentativas para justificá-la e para elaborar os seus mecanismos. Darwin, Spencer e Haeckel foram os primeiros a se preocupar com o assunto. (Churchill, 1976.) A exceção de alguns pioneiros ignorados, foi mesmo só mais tarde que surgiram as primeiras sugestões no sentido da possibilidade de uma hereditariedade exclusivamente sólida (veja mais adiante).

Entre os neolamarckianos do fim do século XIX, admitia-se que Lamarck era o pai do conceito da "hereditariedade dos caracteres adquiridos". Na realidade, tratava-se de um conceito-padrão do século XVIII, sustentado por todos os biólogos mais eminentes do período, inclusive Buffon e Lineu. Blumenbach, por exemplo, acreditava que as raças humanas de pele negra eram procedentes de raças de pele branca, pela ação da forte luz solar dos trópicos sobre o fígado. Isso resultou no escurecimento da bílis, que por sua vez causou um depósito de pigmento na pele. Aqueles que possuíam maior experiência do que Blumenbach no assunto de raças humanas não tiveram nenhuma dificuldade em refutá-lo, salientando, como fez Herder, que povos brancos que moram nos trópicos, bem como seus filhos, não adquirem pele escura, e que os descendentes dos escravos africanos permaneceram negros depois de muitas gerações de vida na zona temperada; sempre que se observou uma mudança notável na cor da pele, ela era devida ao cruzamento de raças. Mas ninguém mais do que Prichard conseguiu (1813) demolir de modo mais decisivo a idéia da influência do clima sobre as características raciais do homem. Ele concluiu

> que a cor adquirida pelos pais na exposição ao calor não é transmitida aos filhos, e portanto

não tem parte alguma na produção de variedades naturais.

A mesma inoperância do clima pôde ser demonstrada em relação aos animais. As espécies que foram criadas em viveiros ou jardins zoológicos, por muitas gerações, não mudaram minimamente de aparência. Apesar de tão antigas indicações da invalidade desse conceito, a hereditariedade tênue era ainda mantida tenazmente pela maior parte dos autores. A única concessão feita pelos seus adeptos à evidência contrária foi aceitar que existem ambas as hereditariedades, a tênue e a sólida.

A aceitação de uma essência imutável, credo básico dos essencialistas, pareceria requerer a crença numa hereditariedade sólida. Fica-se então sem entender como os essencialistas do período, quase na sua totalidade, foram capazes de conciliar a hereditariedade tênue com o conceito de uma essência invariável. Eles eludiam o dilema, definindo todos os caracteres, objeto da hereditariedade tênue, como "acidentes", cuja variação não afetava a substância ou essência. Louis Agassiz chegou a uma fórmula de compromisso, afirmando que fazia parte do potencial intrínseco da essência o ser capaz de mudar, para responder ao meio ambiente, e mesmo ser "profética". Os essencialistas mais coerentes procuravam por exemplos (como as raças humanas migrantes), em que as mudanças de clima não tinham efeito permanente. C. F. Wolff, por exemplo, anotou com satisfação que mesmo que certas plantas se tenham alterado profundamente, quando transplantadas do oeste da Rússia (São Petersburgo) para a Sibéria, a sua descendência voltou à forma original quando foram trazidas de volta a São Petersburgo. Isso para ele era a prova de que a influência dos fatores externos era incapaz de penetrar a constituição essencial do organismo (Raikow, 1947; 1952). Estava aí uma base possível para uma teoria da hereditariedade sólida, mas o assunto não teve continuidade.

A questão da existência da hereditariedade tênue tomou-se de importância crucial, tão logo proclamada a teoria evolucionista. Seria a evolução devida à hereditariedade dos caracteres adquiridos, segundo admitia Lamarck? A transplantação de plantas para outros ambientes, particularmente das terras baixas para as montanhas e vice-versa, tomou-se um método favorito, depois de 1859, para testar a influência do meio ambiente, como o atestam as experiências de Bonnier e Kemer. Todavia, o método não era muito satisfatório, porque a maioria das espécies das regiões baixas não tinha condições de tolerar o clima alpino, e quando se utilizavam indivíduos que tinham ecótipos alpinos correspondentes, era necessária uma precaução extrema para se evitar a mistura dos tipos transplantados com os ecotipos locais; daí que a conclusão de Kemer, de que "em nenhum caso foi observada uma modificação permanente ou hereditária na forma ou na cor", teve reduzida influência. O assunto foi facilmente equacionado pelos trabalhos de Glausen, Hiesey e Keck, a partir dos anos 1930, mas nessa época uma refutação da hereditariedade dos caracteres adquiridos já não era mais necessária.

Darwin e a hereditariedade tênue

Durante toda a sua vida, Darwin admitiu tanto a hereditariedade tênue como a hereditariedade sólida, mudando as suas opiniões apenas quanto à importância relativa de uma e de outra. Nos seus primeiros cadernos de notas, prevalecia claramente a hereditariedade tênue. Ele registrou inclusive a possibilidade, embora disso não estivesse plenamente convencido, de uma influência paterna em gravidações posteriores por

cruzamentos inter-raciais (B: 32, 181; C: 152), bem como a possibilidade de que "os desejos

dos pais" pudessem afetar a prole (B: 219). A maioria de suas afirmações é bastante vaga, de sorte que elas podem ser interpretadas tanto como observações sobre as mudanças não-genéticas ou como efeitos sobre as gerações posteriores (B: 3, 4; C: 68, 69, 70, 195, 220). Darwin, mesmo naquele tempo, negava claramente que mudanças corporais drásticas, como por exemplo mutilações, pudessem ter consequências genéticas (C: 65-66, 83; D: 18,112).

No *Origin,* mais de vinte anos depois, Darwin já não faz menção do folclore duvidoso dos criadores e, tendo adotado a seleção natural como o agente causador da mudança evolutiva, se atém principalmente à hereditariedade sólida. De qualquer maneira, uma leitura atenta da obra revela que Darwin ainda cita de tanto em tanto evidências aparentemente em favor de uma hereditariedade tênue. Ele admitia três fontes potenciais dessa variação. A primeira delas, um efeito das mudanças do ambiente, que induzem a uma crescente variabilidade por via do sistema reprodutor, podia perfeitamente ser compatibilizada com a hereditariedade sólida. As outras duas supõem uma crença na hereditariedade tênue: o efeito direito do meio ambiente e o efeito do uso e desuso.

O efeito direto do meio ambiente

O meio ambiente era um dos fatores que Darwin considerava como uma causa possível da variação. Repetidas vezes, no *Origin,* ele afirma que o "clima, alimento, etc. provavelmente produzem algum efeito ligeiro e direto" (p. 85; afirmações semelhantes são feitas às pp. 15, 29, 43 e 132). Ele se referia muitas vezes ao grande número e à grande variedade das raças domésticas de animais e de plantas cultivadas. Ele atribuía essa grande variabilidade às condições de vida alteradas e particularmente favoráveis. Na realidade, nas plantas cultivadas, a fonte principal da crescente variabilidade é a hibridação (fato de que Darwin estava consciente, pelo menos em parte), enquanto em algumas raças de animais domésticos, ao contrário, responsável por isso era a destruição de sistemas epistáticos bem equipados, por intensivos cruzamentos consanguíneos (Lerner, 1954). Com igual frequência, Darwin acentua que tais efeitos diretos "são de uma importância perfeitamente subordinada em relação aos efeitos da seleção natural" (p. 109). Essa desimportância das "condições de vida" na produção de novas variações também vem mencionada às páginas 10 e 134. Darwin se exprime com maior clareza numa carta a Hooker (L. L. D., II: 274):

> A minha conclusão é que as condições exteriores exercem uma influência muito pequena, exceto quanto à produção da pura variabilidade. Essa pura variabilidade (fazendo com que o filho se pareça apenas ligeiramente com seus pais) eu considero como sendo muito diferente da formação de uma variedade marcante ou espécie nova … Eu considero a formação de uma variedade forte, ou de uma espécie, quase totalmente devida à seleção daquilo que incorretamente poderia ser chamado de variações causais ou variabilidade.

Tendo em conta que ele não faz uma clara distinção entre genótipo e fenótipo, é impossível, em virtualmente todos os casos por ele citados, dizer se ele considerava a variação induzida pelo meio ambiente como sendo genética ou não.

Talvez não houvesse outro período em que Danvin tenha dado tão pouca importância às influências do meio ambiente do que durante a elaboração do *Origin.* Mas em 1862, após ter completado o primeiro volume do *Variation,* ele escreveu a Hooker: *"O* meu presente trabalho leva-

me a acreditar bem mais na ação direta das condições físicas"; e, em 1878, ele admitiu: "Provavelmente subestimei [o] poder [das condições exteriores] nas primeiras edições do *Origin* "(em Vorzimmer, 1970: 264). Para Galton ele escreveu, em 1875: "A cada ano chego a atribuir sempre maior importância a esse fator [modificação 'por uso e desuso durante a vida do indivíduo']".

O efeito do uso e desuso

Entre todos os fenômenos que Darwin considerava como evidência em favor da hereditariedade tênue, nenhum era tão importante para ele como o efeito do uso e desuso. Foi o estudo dos animais domésticos que o levou a essa convicção:

> Poucas dúvidas podem subsistir de que o uso, nos nossos animais domésticos, fortalece e aumenta certas partes, e que o desuso as diminui; e que tais modificações são herdadas (*Origin:* 134).

Darwin estava tão fortemente persuadido da importância desse fator, a ponto de ter dedicado ao seu estudo uma seção inteira (pp. 134-139) do capítulo V do *Origin.* Como exemplos, ele considerava a redução das asas das aves que não voam, a perda dos tarsos anteriores dos escaravelhos esterqueiros, os besouros sem asas da Madeira (parcialmente), a redução dos olhos das toupeiras e de outros animais de tocas, e a perda dos olhos e do pigmento nos animais de cavernas. Observando os órgãos rudimentares em geral, Darwin afirma: "Acredito que o desuso tenha sido o fator principal" (p. 454) na sua produção. A importância que atribui a esse fator é indicada pela frequência com que o invoca no *Origin,* como um agente da evolução (por exemplo, nas páginas 11, 43, 134, 135, 136, 137, 168, 447, 454, 472, 473, 479 e 480). O uso e desuso, evidentemente, só adquirem importância quando se admite uma hereditariedade dos caracteres adquiridos. E isso Darwin afirma reiteradamente. Ele descreve como a ordenha constante das vacas conduz a um aumento hereditário do tamanho do úbere. Darwin é positivo: "As modificações [causadas por uso e desuso] são hereditárias" (p. 134).

O evolucionista moderno não encontra dificuldades em explicar todos os alegados efeitos do uso e desuso como sendo devidos a um relaxamento da seleção estabilizadora, muitas vezes reforçada por forças contra-seletivas. Embora Darwin tivesse plena consciência do papel da seleção na produção dos órgãos rudimentares (p. 143), não estava preparado para chegar ao extremo de explicá-los inteiramente pela seleção.

Seu pensamento estava ainda tão condicionado pelos conceitos pré-darwinianos, a ponto de chegar a interpretar, por vezes em termos de uso e desuso, certos fatos que para nós parecem "evidentemente" devidos à seleção natural. Por meio de mensurações cuidadosas, Darwin descobriu, por exemplo, que "nos patos domésticos, considerando a proporção de todo o esqueleto, os ossos da asa pesavam menos que os ossos da perna, em comparação com os mesmos ossos do pato selvagem" (p. 11). Curiosamente, ele não atribui isso à seleção durante o processo de demesticação, mas admite que a modificação seja, em parte, não-genética, correspondendo a diferenças no crescimento das plantas em solos diversos, e que em parte seja devida ao fato de que "o pato doméstico voa muito menos e caminha muito mais que o seu parente selvagem" (p. 11). Suas experiências com as plantas e

seu contato com os cultivadores persuadiram-no a aceitar uma plasticidade muito maior do fenótipo dos animais do que na realidade acontece.

Há uma outra linha de evidência a revelar a crença de Darwin na hereditariedade tênue. Ele era de opinião que a base genética de um caráter ficaria fortalecida se o órgão ficasse exposto por muito tempo às mesmas circunstâncias e se a sua estrutura fosse usada constantemente: "A variedade, quando por longo tempo inscrita no sangue, se toma cada vez mais pronunciada" (C: 136). Ao considerar o caso de "algumas ações se tomarem hereditárias e instintivas, e outras não", ele conclui: "Por isso, só podem ser [hereditárias e instintivas] aquelas ações que muitas e sucessivas gerações foram impelidas da mesma maneira" (C: 171), e, "Quanto mais longa a permanência de um fator no sangue, tanto mais persistente será o acréscimo das mudanças e tanto mais curto o tempo em caso contrário" (D: 17; também, D: 13). Foram necessários outros cem anos para se chegar a reconhecer que se tratava do resultado da seleção estabilizadora.

A conclusão que disso extraiu foi que quanto mais velha fosse uma raça doméstica ou uma variedade geográfica, tanto mais forte seria a sua influência nos cruzamentos. Ele menciona isso como a "Lei de Yarçell", segundo William Yarrell, um dos seus amigos criadores de animais, de quem Darwin aparentemente colheu as suas generalizações (C: 1, 121; D: 7-8, 91). Ele admite, todavia, que essa lei nem sempre funciona (E: 35).

Por outro lado, um caráter ficaria enfraquecido quando exposto a condições adversas. Ele acreditava que

> se nós … fôssemos cultivar, durante muitas gerações, as diversas variedades de repolho em solo muito pobre … elas reverteriam em larga medida, ou totalmente, à cepa aborígene selvagem (*Origin.* 15).

Idéias como essas eram amplamente admitidas, no período, pelos criadores de plantas e animais. [2]

Diversos historiadores recentes aceitaram a opinião de Darlington (1959), no sentido de que Darwin reconhecia unicamente a hereditariedade sólida, na primeira edição do *Origin* (1859), mas que depois "voltou a aceitar a hereditariedade dos caracteres adquiridos, ao ler os comentários críticos de Jenkins, em 1867". Tal afirmação não procede em nenhum dos seus detalhes, como mostrado por Vorzimmer (1963; 1970) e outros, bem como pela precedente análise das idéias de Darwin sobre a hereditariedade tênue. Pode-se admitir que Darwin, nos seus últimos anos, tenha concedido a essa hereditariedade flexível uma influência maior que em 1859, mas ela jamais se tomou a componente principal da sua interpretação. Sempre que comparava a contribuição, na mudança evolutiva, dada pela herança dos caracteres adquiridos com a da seleção natural, deixou bem claro que continuava a considerar a seleção o fator decisivamente mais importante.

A teoria darwiniana da pangênese

O Capítulo XXVII do *Variation of Animais and Plants under Domestication* (1868), de Darwin, é consagrado à sua "teoria provisória da pangênese", como é designada no título do capítulo. [3] Darwin justifica a sua hipótese porque "ela poderia ser útil para congregar uma multidão de fatos, no momento dissociados de qualquer causa eficiente" (1868: 357). E num subtítulo de

capítulo, ele relaciona

> os fatos a serem agrupados sob um único ponto de vista, a saber, os vários tipos de reprodução – a ação direta do elemento masculino sobre o elemento feminino-, o desenvolvimento – a independência funcional dos elementos ou unidades do corpo-, a variabilidade – a hereditariedade-, a reversão.

Nenhuma teoria simples poderia fornecer as respostas para esse programa ambicioso, e a teoria darwiniana da hereditariedade, a que ele próprio afixou o termo um tanto equivocado de "a hipótese da pangênese", é na realidade todo um pacote de teorias. A primeira delas é que a transmissão das qualidades hereditárias bem como o comando do desenvolvimento se devem a partículas individualmente diferentes, muito pequenas, e por isso invisíveis, as assim chamadas gêmulas (veja anteriormente). Todo o tipo de célula do organismo é representado por seu tipo próprio de gêmula; o mosaico das características dos híbridos é devido à mistura das gêmulas parentais; e os fatos da reversão às características ancestrais, fenômeno que fascinava grandemente Darwin, eram devidos à ativação de gêmulas anteriormente em repouso.

Como de Vries (1889) pela primeira vez chamou à atenção, essa teoria genética de Darwin, propondo que os vários caracteres de um organismo possuem bases corpusculares separadas e independentes, era de fato a primeira teoria da hereditariedade bem elaborada e internamente consistente. Ela permitia a explicação de um grande número de observações, e é fato histórico que todas as teorias subsequentes da hereditariedade, particularmente as de Galton (1876), Weismann (1883-1892) e de Vries (1889), foram influenciadas grandemente pela teoria darwiniana. Ela permitia uma explicação, não muito diferente da posterior teoria de Mendel, da "prepotência" (dominância) e "reversão" (recessividade), da regeneração, e de outros fenômenos genéticos e do desenvolvimento.

Mas como logo foi constatado, essa teoria não poderia ser capaz de responder pela herança dos caracteres adquiridos.. Como poderia o efeito do uso e desuso dos órgãos periféricos (mãos, pele, olhos, cérebro) ser comunicado aos órgão reprodutores? Para dar uma resposta a isso, Darwin propôs a "hipótese do transporte" (assim como foi chamada mais tarde por de Vries). Em todos os estágios do ciclo vital, as células podem expelir gêmulas,

> que circulam livremente por todo o sistema, e quando supridas de nutrição apropriada, elas se multiplicam por autodivisão, desenvolvendo-se a seguir em células iguais às de que procederam (Darwin, 1868: 374).

Tal circulação das gêmulas constitui a segunda parte da teoria de Darwin; ela permite o acúmulo das gêmulas nos órgãos sexuais ou, no caso das plantas, nos botões. Finalmente,

> nas variações causadas pela ação direta da alteração das condições … os tecidos do corpo, segundo a teoria da pangênese, são diretamente afetados pelas novas condições e, consequentemente, expelem gêmulas modificadas, que são transmitidas à prole com todas as peculiaridades recém-adquiridas (pp. 394-395).

Essa é a teoria da pangênese no seu sentido mais estrito, e é essa teoria que os críticos de Darwin normalmente tinham em mente quando se referiam à teoria darwiniana da pangênese. Tal idéia de um transporte da matéria germinal do corpo aos órgãos reprodutores não era de forma alguma original em Darwin; Zirkle (1946) conseguiu enumerar noventa precursores, desde Hipócrates (veja também Lesky, 1950: 1.294-1.343). O próprio Darwin (1868: 375) refere-se às teorias bastante parecidas de Buffon, Bonnet, Owen e Spencer, embora sempre salientando em que ponto a sua própria teoria se afastava daquelas.

Darwin mostrava-se bastante reticente quanto à sua teoria do transporte das gêmulas, a ela se referindo como "um sonho mau" ou um "natimorto", reconhecendo muito embora que "ela encerrava uma grande verdade". Ela foi, evidentemente, refutada logo em seguida (veja adiante). O aspecto irônico é que essa teoria se tomou simplesmente desnecessária, quando cinquenta anos mais tarde Weismann rejeitou a hereditariedade tênue, com base num grande número de fatos e teorias. Se não existe a' hereditariedade dos caracteres adquiridos, então não há nenhuma necessidade de postular a migração do material genético do soma para as células germinais.

O declínio da hereditariedade tênue

Darwin foi um dos primeiros autores que acentuaram a prevalência da hereditariedade sólida, embora ele mesmo, como vimos, fosse incapazes de abandonar completamente a hereditariedade tênue. Quem então teria sido o primeiro autor a negá-la sem equívocos? Todos os preformacionistas deveriam rejeitar implicitamente a hereditariedade tênue, mas não tenho conhecimento de algum autor que jamais tenha articulado esse princípio. Diz-se por vezes que Prichard, na sua primeira edição (1813) do *Researches in the Physical History of Man,* teria formulado uma primeira rejeição da hereditariedade tênue. De fato, ele negou que o clima fosse o responsável pelas diferenças raciais do homem, mas ainda admitia a hereditariedade tênue em relação à cultura e outros fatores, chegando mesmo a abrir-lhe um espaço maior nas edições posteriores da sua obra. Lawrence (1819), embora tivesse afirmado que "a prole herda apenas as suas [dos pais] peculiaridades inatas e não as suas qualidades adquiridas", admite ainda que a origem dos defeitos de nascimento é devida a influências sobre a mãe, e dá outras indicações no sentido de uma crença ocasional na hereditariedade flexível (Wells, 1971). Essa era a tônica de todos os autores até os anos 1870. Talvez o primeiro elemento que chegou a negar categoricamente a ocorrência de uma hereditariedade tênue tenha sido His:

> Até prova em contrário, permaneço na minha afirmação de que não podem ser herdados aqueles caracteres que foram adquiridos durante a vida de um indivíduo (1874: 158).

A seu tempo, acompanharam-no também Weismann (1883), Kölliker (1885), Ziegler (1886) e outros (Churchill, 1976).

As controvérsias entre os pioneiros da hereditariedade sólida e os seus adversários (como por exemplo Virchow) mostram o quanto era axiomática a crença na hereditariedade dos caracteres adquiridos, ainda nos anos de 1880, e em que medida ela encontrava apoio nas idéias contemporâneas sobre a natureza da vida. .

O primo de Darwin, Francis Galton (1822-1911), [4] rejeitou a hereditariedade tênue de modo amplo, mas talvez não completo. Em 1870, ele desenvolveu algumas idéias extraordinariamente

proféticas sobre a hereditariedade, mas, ao que parece, elas foram ignoradas por completo pelos biólogos contemporâneos, em parte porque Galton as 'divulgou em revistas não-biológicas, e em parte porque alguns dos seus pensamentos mais originais simplesmente não foram publicados. É o caso, por exemplo, de uma explicação sobre os caracteres dos híbridos por ele comunicada a Darwin em uma carta, de 19 de dezembro de 1875. Aqui ele propõe uma típica teoria mendeliana da hereditariedade particularizada, em que as unidades hereditárias não se fundem, mas se segregam (Olby, 1966: 72). Todavia, ele não estava particularmente interessado em caracteres distintos e descontínuos (como cor vermelha *versus* cor branca nas flores). Preocupava-se muito mais com caracteres gerais, tais como o tamanho ou (no homem) a inteligência. Em 1876, Galton publicou uma teoria minuciosa e bem trabalhada sobre a hereditariedade, na qual antecipava muitas das idéias, inclusive a divisão redutiva, que depois foram desenvolvidas por Weismann e outros.

Ele havia adotado a teoria darwiniana "de uma multidão de unidades orgânicas, cada uma delas dotada dos seus atributos próprios". Mas, rejeitando a tese da pangênese, de Darwin (ou pelo menos a parte que de Vries chamou a "teoria do transporte"), concentrou-se no fato de que todo o potencial de um organismo se encerra no óvulo fertilizado. Para esta soma total das partículas genéticas ele cunhou o termo *stirp,* algo equivalente, ao que parece, com o plasma germinal de Weismann (1883), e com o idioplasma de Nägeli (1884). Da mesma forma como Darwin, Galton estava muito impressionado com o fenômeno da reversão a condições ancestrais e pelo aparecimento súbito, nos indivíduos, de caracteres não observados nos genitores. Por isso ele concluiu, como Naudin (1865) o fizera antes dele, que "comparativamente poucos dos … germes hóspedes [na estirpe] chegam a desenvolver-se", permanecendo os demais em estado de repouso, às vezes por muitas gerações (1876). Ele discutiu o significado do sexo, concluindo que a sua função é manter a variabilidade genética, vale dizer, impedir a perda dos genes (como diríamos hoje). Ele afirmou que tal perda é muito improvável quando o ovo fertilizado se compõe da contribuição de ambos os genitores. Ele entendeu a necessidade de uma divisão redutiva do núcleo; ele desenvolveu (muito antes de Weismann) uma teoria, da seleção germinal (1876: 334, 338). Como todos os seus contemporâneos, exceto Mendel, ele acreditava que toda determinante genética estivesse representada na estirpe por numerosas réplicas idênticas; ele discutiu a fixação casual, e tinha ainda muitas outras idéias interessantes. Infelizmente, na tradição spenceriana, ele pensava na hereditariedade muito mais em termos de "movimento e forças", e por isso a sua explicação da ontogenia, como resultado da hereditariedade, é bastante insatisfatória. (Depois de 1885, Galton desenvolveu uma teoria da hereditariedade completamente diferente; veja o Capítulo 18.)

A parte da estirpe que não é aproveitada no desenvolvimento do indivíduo fica transmitida de geração para geração. Mas como se dá a mudança evolutiva é algo que não ficou claro, e, conquanto ao longo dos anos Galton rejeitasse a hereditariedade tênue, esta se encontra implícita em algumas afirmações crípticas:

> Pode bem acontecer que certas espécies de germes permaneçam ao longo de grande número de gerações sem Se desenvolverem, e que ao final desse período poderiam estar consideravelmente modificados (1876: 338).

Ele aceitou esta explicação porque admitia "a evidência de que as mudanças da estrutura podiam agir sobre os elementos sexuais" (p. 348), repudiando, contudo, a teoria darwiniana do

transporte. No intuito de contestar experimentalmente essa idéia, Galton realizou transfusões de sangue com coelhos de diferentes cores de pele. Depois cruzou esses coelhos inoculados, mas entre os seus filhotes jamais apareceu qualquer desvio da cor parental, o que deveria acontecer, caso gêmulas estranhas estivessem circulando no sangue, de acordo com a suposição de Darwin. Tais experimentos não induziram Darwin a abrir mão da sua hipótese da pangênese. Disse apenas, com alguma irritação, que a experiência apenas demonstra que as gêmulas são transportadas por meios outros que a circulação sanguínea. Mas essa possibilidade foi definitivamente afastada por Castle e Phillips (1909), que transplantaram os ovários de uma cobaia preta imatura para uma fêmea albina, cujos ovários haviam sido removidos completamente. Então esta foi acasalada com um macho albino, e em três ninhadas consecutivas só deu cria a filhotes pretos.

Galton, um diletante e dissidente, foi pioneiro em muitas áreas. Foi um forte defensor do pensamento de população, percebendo mais claramente do que qualquer um dos seus contemporâneos a unicidade do indivíduo. Isso o levou a descobrir a unicidade (e por isso o absoluto valor diagnóstico) das impressões digitais, bem como a desenvolver uma estatística de população (Hilts, 1973). Dois dos maiores conceitos estatísticos foram criados por Galton: a regressão e a correlação. Mas talvez ele seja mais conhecido como o fundador da eugenia.

Os anos 1870 foram anos de transição. Os ataques à hereditariedade tênue eram desorganizados, e atingiam apenas certos aspectos dessa doutrina. Na teoria darwiniana da pangênese, ainda se admitia que a célula era a unidade estrutural do organismo. O próprio Galton, que tinha uma teoria mais progressista sobre a hereditariedade, deixou de correlacioná-la com as novas descobertas da citologia. Em decorrência disso, não teve como estabelecer um fundamento teórico para suas especulações. Tanto ele como Darwin não se deram conta de que todo um séquito de novos problemas se apresentou, a partir do momento em que se reconheceu que era o núcleo, e não a célula como um todo, o verdadeiro portador do material genético. Devia-se indagar agora qual era a relação entre o núcleo e o citoplasma da célula? O citoplasma transmite alguma coisa ao núcleo, e particularmente ao núcleo da célula germinal?

É preciso lembrar que as idéias sobre a hereditariedade e suas bases físicas eram muito vagas até os anos 1870. Tudo isso mudou quando se identificou o núcleo como sendo o veículo da hereditariedade, e quando foi descoberta a estrutura complexa da cromatina, no interior do núcleo. A arquitetura peculiar do plasma germinal não tinha a feição de uma estrutura apta a responder adequadamente às influências gerais do meio, como clima e nutrição. Assim, uma estrutura de cromatina, finamente organizada, parecia mais compatível com a hereditariedade sólida do que com a hereditariedade tênue. Até que ponto era confiável a evidência, por tão longo tempo aceita, que se apresentava como prova da hereditariedade tênue? Não vinham as novas evidências a favorecer a sua refutação? Infelizmente, nem Galton nem Darwin tinham conhecimento dos avanços espetaculares na citologia que eram feitos nesse período na Alemanha.

August Weismann

O primeiro autor não apenas a formular essas questões de modo claro e inequívoco mas também a dar-lhes respostas decisivas foi August Weismann (1834-1914), um dos grandes biólogos de todos os tempos. [5] Ele se distinguia entre todos aqueles que no século passado se ocupavam com citologia,

desenvolvimento e hereditariedade, por ser um partidário irrestrito da seleção natural. Sua teoria da evolução, que excluía quaisquer resquícios de uma crença na herança dos caracteres adquiridos ou de outros tipos de hereditariedade flexível, foi designada *neodarwinismo* (Romanes, 1896).

Do ponto de vista da metodologia científica, da mesma forma, ele se distinguiu no período por sua análise cuidadosa e racional de todos os problemas com que se defrontava. Quando se propunha interpretar um dado fenômeno ou processo, começava por fazer um levantamento de todas as possíveis soluções alternativas. Quase invariavelmente entre elas se encontrava aquela solução que hoje é considerada a correta. Devido à insuficiência de informações disponíveis naquele tempo, a par da existência, por vezes, de informações errôneas, o próprio Weismann aqui e ali optou por uma alternativa, que hoje é afastada. Isso não diminui de forma alguma a magnitude da sua obra intelectual. Ele jamais tomava uma decisão apressada, sempre analisando primeiro todo o campo das soluções possíveis. É dele a primeira teoria verdadeiramente compreensiva da genética, e o seu trabalho teórico preparou o caminho para as pesquisas de toda a geração seguinte. No dizer de Correns, a redescoberta das regras mendelianas, em 1900, não constituiu grande feito intelectual, depois que Weismann havia pavimentado o caminho.

Quando jovem, Weismann (nascido em 17 de janeiro de 1834, em Frankfurt) era um entusiasta colecionador de borboletas, besouros e plantas. Ele primeiro estudou medicina, chegando também a praticá-la durante alguns anos, mas depois passou para a zoologia (histologia). De modo quase repentino, foi acometido de uma grave moléstia dos olhos, impossibilitando-lhe o trabalho ao microscópio e forçando-o a um afastamento parcial, o que acabou por ser uma bênção. Passou dos estudos empíricos aos estudos teóricos, dedicando seu tempo a pensar em profundidade sobre os problemas biológicos e sua solução. A evolução por seleção natural, a base material da hereditariedade, e os mecanismos do desenvolvimento constituíram as três áreas correlatas, objeto de suas reflexões. Ele viu mais claramente do que qualquer um dos seus contemporâneos que a grande controvérsia sobre a validade do darwinismo jamais poderia ser equacionada sem uma teoria abrangente da hereditariedade.

Seu primeiro trabalho importante sobre a hereditariedade foi publicado em 1876; toda uma série de ensaios relevantes apareceu nos anos 1880; e finalmente, em 1892, ele publicou o seu monumental *Keimplasma* (628 páginas). Como todos os pioneiros criativos, Weismann era homem de espírito magnânimo, e jamais hesitou em rever as suas teorias, quando julgava que isso se impunha por uma nova evidência. Infelizmente, suas revisões, particularmente as que foram feitas depois de 1890, nem sempre foram melhoramentos, quando vistas à luz dos conhecimentos modernos.

Em uma teoria sobre a hereditariedade, proposta em 1876, Weismann explicou a herança como sendo devida a movimentos moleculares, citando e aprovando a afirmação de Helmholtz (1871: 108) de que "todas as leis devem ser reduzidas, em última análise, às leis do movimento". Quando rejeitava a teoria pangenética de Darwin, era porque ela se baseava mais na "substância" que no movimento, e não porque ela esposava a hereditariedade tênue. Weismann, naquela época, ainda acreditava na "influência das condições externas sobre o material evolutivo hereditário" (1868: 12). Contudo, sua confiança na hereditariedade tênue aparentemente estava enfraquecendo, pois ele a havia testado mediante numerosos experimentos, entre os anos 1875 e 1880.

A teoria genética proposta por Weismann em 1883 e 1885 era não apenas muito diferente da primeira tentativa, mas também efetivamente abrangente. Ela envolvia duas idéias novas e predominantes. A primeira era a de que todo o material genético está contido no núcleo. Ele afirmou

de modo bem explícito que a sua teoria estava

> baseada na idéia de que a hereditariedade é efetuada pela transmissão, de uma geração à outra, de uma substância dotada de uma constituição química definida, e acima de tudo molecular (1889; versão inglesa: 167).

A segunda idéia era a rejeição de uma herança dos caracteres adquiridos, sob qualquer forma que fosse.

Existem três maneiras de refutar a herança dos caracteres adquiridos. A primeira delas é mostrar que os mecanismos pelos quais se supõe que ela atue são impossíveis. Esta aproximação era a preferida de Weismann. Nada há na estrutura e na divisão das células que possa ensejar uma herança dos caracteres adquiridos. Com efeito, em certos organismos (Weismann cita especificamente os hidróides), as futuras células germinais são segregadas num estágio, larval muito precoce, após apenas algumas divisões celulares, e são por assim dizer "congeladas", antes que comece o processo reprodutivo. Não há como as influências das demais partes do organismo possam ser transmitidas aos núcleos das células germinais segregadas.

Essa observação conduziu Weismann, em 1885, a formular a sua teoria da "continuidade do plasma germinal". [6] Segundo essa teoria, o "curso germinal" está separado do curso corporal (soma), desde o princípio, e por isso nada do que aconteça ao soma pode ser transmitido às células germinais e aos seus núcleos. Sabemos hoje que a idéia básica de Weismann – uma separação completa do plasma germinal da sua expressão no fenótipo do corpo – era absolutamente correta. Sua intuição ao postular tal separação foi perfeita. Entretanto, entre as duas maneiras possíveis para que isso se efetue, ele escolheu a separação das células germinais das células do corpo, enquanto hoje sabemos que a separação crucial é a que ocorre entre o programa do DNA do núcleo e as proteínas do citoplasma de cada célula.

A segunda maneira de refutar a hereditariedade dos caracteres adquiridos é por meio do experimento. Se existisse uma tal herança, então alguma coisa da parte afetada do corpo devia ser transmitida às células germinais. A velha teoria do uso e desuso, em que o próprio Darwin de certa forma acreditava, podia ser testada pelo desuso total de uma estrutura (experimentos de Payne); ou seja, se uma parte do corpo envia gêmulas às células germinais, então a amputação dessa parte do corpo resultaria, após muitas e sucessivas gerações, em uma gradual redução do tamanho do órgão correspondente. Finalmente, se as mudanças do fenótipo nas plantas, devidas a condições de cultura, pudessem ser herdadas, uma criação seletiva a partir dos indivíduos maiores e dos indivíduos menores de raças puras deveria conduzir progressivamente a aumentos ou a diminuições (Johannsen, 1903). Tendo começado com Hoffmann e Weismann, tais experimentos foram levados em frente até os anos 1930 e 1940, e os resultados foram invariavelmente negativos (veja também Galton, Romanes, e Castle e Phillips). Em outras palavras, a teoria não resistiu a qualquer teste de sua validade.

A terceira forma de refutar a teoria da hereditariedade dos caracteres adquiridos é a demonstração de que os fenômenos que supostamente *requerem* o postulado dessa teoria podem igualmente ser explicados, e até melhor, com base na teoria darwiniana. Grande parte da literatura evolucionária dos anos 1920, 1930 e 1940 era dedicada a essa terceira aproximação (veja a Parte II).

Weismann acreditava na hereditariedade dos caracteres adquiridos, no decurso dos anos 1870. O que exatamente determinou a sua efetiva conversão não está muito claro. Nem há muita clareza se Weismann primeiro se convenceu da invalidade da teoria da hereditariedade dos caracteres adquiridos, adotando depois a teoria do curso germinal próprio, ou vice-versa. O fato de que já no seu artigo de 1883 dedica tantas linhas a uma argumentação contrária à hereditariedade tênue nos leva a supor que essa convicção geral havia precedido à proposição de um mecanismo específico. Tal interpretação é corroborada pelo fato de que Weismann era um selecionista estrito, já em 1870, e pode-se presumir que simplesmente não tivesse necessidade alguma de um mecanismo adicional.

A rejeição da hereditariedade tênue por parte de Weismann foi revolucionária, e encontrou grande hostilidade. Mereceu os ataques não só dos neolamarckianos, que alcançaram o auge da sua influência nos anos 1880 e 1890, mas também dos darwinianos ortodoxos, que continuavam a admitir a confiança ocasional de Darwin nos efeitos do uso e desuso (como, por exemplo, Romanes, 1896; Plate 1903). Em todo caso, a teoria foi aceita por Lankester, Poulton e Thiselton Dyer, na Inglaterra, e teve, até pelos anos 1930, provavelmente mais adeptos na Grã-Bretanha que no próprio país de Weismann. Uma aceitação praticamente universal só ocorreu a partir de 1930 e 1940, como resultado da síntese evolucionista (Mayr e Provine, 1980).

A teoria weismanniana da hereditariedade

Tendo eliminado o complicado fator da hereditariedade tênue, Weismann estava em condições de propor sua própria teoria. Ao iniciarmos sua avaliação, é preciso lembrar que, da mesma forma como todos os outros estudiosos alemães da citologia e da geração, as atenções de Weismann se concentravam muito mais no controle genético do desenvolvimento que no mecanismo da transição de geração para geração. Ele concluiu que "as mudanças ordenadas … durante a embriogênese devem ser o resultado de mudanças sistemáticas correspondentes no idioplasma" (1892: 61). Alguns anos mais tarde (1899: 21), ele evocou que, à época em que propôs a sua teoria,

> havia duas alternativas para explicar a diferenciação ontogenética: (1) a hipótese de uma fragmentação sistemática e progressiva da totalidade do potencial genético, contido no plasma germinal, em grupos cada vez menores [a serem segregados em células diferentes]; ou (2) a hipótese de que os determinantes de > todos os caracteres permaneciam juntos em todas as células dos organismos em desenvolvimento, mas que cada um deles estava sintonizado para responder a um estímulo específico, único a ativar esse traço: uma teoria, portanto, de mera "fragmentação", e uma teoria de mera "ativação". Eu decidi em favor da primeira, porque, com base nos fatos disponíveis naquela época, ela parecia ser a mais provável.

Como sabemos hoje, foi a escolha errada.

Antes de apresentarmos em detalhe a teoria de Weismann da hereditariedade, chamo a atenção uma vez mais para a clareza com que ele percebia a diferença existente entre o genótipo e o fenótipo. Efetivamente, em algumas das suas afirmações, ele chega bem perto de propor que o desenvolvimento é controlado por um programa genético. Rejeita a idéia, postulada pela teoria evolucionista de Bonnet, no sentido de que os determinantes genéticos são os rudimentos pré-formados das próprias partes que irão se desenvolver, considerando-os, em vez disso,

> unidades vivas ativas que intervém [*eingreifen*] de uma maneira específica no processo do desenvolvimento, isto é, de um modo tal que seja produzido exatamente aquele caráter que elas se destinam a determinar (1899: 23).

Dado que Weismann aborda o problema da hereditariedade do ponto de vista do fisiólogo do desenvolvimento, ele procura explicar a natureza do material genético à base do seu efeito sobre a ontogênese:

> A cromatina é capaz de conferir um caráter específico à célula em cujo núcleo reside. Considerando que os milhares de células de que se compõem os organismos possuem caracteres muito diferentes, é evidente que a cromatina que as controla não pode ser a mesma em cada célula, mas deve diferir, de acordo com a natureza da célula (1892: 43).

Weismann postula uma hierarquia elaborada de unidades hereditárias que controlam a ontogênese. A menor delas é o *bióforo,* consistindo cada um deles em um agregado de diversas moléculas, com a capacidade de crescimento e replicação. Cada bióforo controla um aspecto específico (propriedade) de uma célula. Toda substância viva compõe-se de bióforos (1892: 56-57). O número de bióforos possíveis é ilimitado, isto é, tão grande quanto o número de combinações possíveis das moléculas. O núcleo, como também o citoplasma, é composto de bióforos, mesmo que as propriedades do citoplasma de uma célula sejam determinadas pelo núcleo.

As células dos músculos, as células do sangue, bem como os outros componentes do corpo são controlados por composições específicas de bióforos, que Weismann chama *determinantes,* e que representam a próxima categoria superior de unidades, na hierarquia das partículas. Os determinantes são unidades genotípicas, enquanto os bióforos se encarregam da implementação fisiológica. Uma única célula pode conter numerosas réplicas do mesmo determinante (1892: 21). Isso é particularmente válido em relação ao núcleo do gameta. A diferença crucial entre a teoria de Weismann e a de Mendel sobre a hereditariedade é que Weismann postula que uma única célula, inclusive os gametas, pode conter numerosas réplicas do mesmo determinante (1892:81), enquanto na teoria de Mendel existem apenas dois (um de cada genitor). Só essa diferença nos dois postulados implica duas teorias completamente diferentes da hereditariedade.

Os determinantes, por sua vez, juntam-se, numa arquitetura adquirida filogeneticamente, em unidades ainda superiores, os *ids,* que, segundo Weismann por vezes deixa entrever, são a mesma coisa que os cromossomos. O plasma germinal consiste em diversos, senão muitos, *ids,* os quais, da mesma forma como os bióforos, podem crescer e se replicar. A taxa de replicação de cada uma das unidades é independente da das outras.

Os componentes cruciais da teoria de Weismann parecem ser os seguintes:

1. Para cada traço, existe uma partícula especial (bióforo).
2. Essas partículas podem crescer e se multiplicar, independentemente da divisão celular.
3. Tanto o núcleo como o citoplasma consistem nesses bióforos.
4. Um bióforo dado pode estar representado por muitas réplicas e um único núcleo, inclusive no da célula germinal.
5. Durante a divisão da célula, as células-filhas podem receber tipos e números

diferentes de bióforos (divisão celular desigual).

Como sabemos hoje, os postulados (2) a (5) são errados, e são responsáveis pelo fato de que Weismann não foi capaz de chegar a uma teoria correta da hereditariedade. Adotando uma estratégia inteiramente diferente, Morgan e sua escola conseguiram alcançar êxito onde Weismann fracassou. Em vez de tentarem explicar o gene ontogeneticamente, concentraram-se nele de um ponto de vista filogenético; vale dizer, em vez de estudarem a unidade da genética do desenvolvimento, eles estudaram a unidade da genética da transmissão.

A teoria engenhosa de Weismann foi de pronto atacada com vigor, particularmente pelos botânicos que eram favoráveis à teoria da ativação da ontogênese (veja anteriormente). O fato de que em muitos tipos de plantas um broto extraído de qualquer uma das suas partes pode desenvolver-se numa planta com flores, e também que muitas vezes, a partir de uma única folha ou outra estrutura vegetativa, se pode reconstituir uma planta nova (com células germinais produtoras de flores), é algo que refuta completamente uma estrita separação dos cursos do germe e do soma. Estes e outros experimentos ainda comprovam também que uma divisão nuclear desigual, isto é, uma partilha desigual das partículas genéticas da célula-mãe nas duas células-filhas, é algo que não pode acontecer. Além de tudo, como Roux (1883) demonstrou de modo muito convincente, todo o elaborado processo da mitose não faz sentido, a menos que se postule uma divisão igualitária do plasma germinal durante a divisão celular. Kölliker (1885), Oskar Hertwig (1894) e Driesch (1894) sumariaram de modo particularmente eficaz as evidências contra a teoria weismanniana da "fragmentação".

Uma teoria alternativa da hereditariedade

As várias críticas conduziram a uma interpretação diferente dos processos genéticos que ocorrem durante a ontogênese, incorporando dois conceitos novos e importantes, relativos à conexão entre o núcleo e o citoplasma e ao problema da diferenciação.

Strasburger (1884), consciente da diferença química entre o núcleo (nucleína) e o citoplasma, propôs a idéia de que o núcleo ficava o tempo todo intacto, mas produzindo excitações moleculares "que são transmitidas ao citoplasma circundante e aí determinam os processos metabólicos da célula, conferindo-lhe um caráter específico da espécie". Wilhelm His e outros adotaram interpretações físicas semelhantes. Haberlandt (1887) sugeriu, em vez disso, que o núcleo não envia ao citoplasma vibrações, mas sim moléculas específicas, e com isso regula as suas atividades. De Vries (1910: 203) identificou as moléculas de Haberlandt como as enzimas. Infelizmente, Haberlandt nunca deu seguimento a essa notável teoria, que antecipa tão de perto o DNA mensageiro.

De Vries, por seu lado, sugeriu que as unidades genéticas – os pangenes – migravam do núcleo para o citoplasma, determinando assim o caráter das respectivas células. Tal sugestão foi adotada por Weismann (Churchill, 1967). Ele tinha plena consciência de que nem todas as unidades genéticas podiam ser funcionais o tempo todo, em todas as células. Sem embargo, ele rejeitou a teoria da ativação do gene, e isso por duas razões. Primeiro, ele era de opinião que a atividade de uma célula era controlada por um determinante (agregado de bióforos), e não conseguia imaginar o que aconteceria à célula se o determinante que a controla fosse desativado. Além disso, ele simplesmente não conseguia conceber um mecanismo que controlasse a ativação e a desativação das centenas de

milhares de determinantes diferentes de um organismo:

> Se fôssemos admitir que todos os determinantes do plasma germinal são transmitidos às células durante a ontogênese, então teremos que explicar a inteira diferenciação do corpo por uma ordenada desativação de todos os determinantes de uma célula, à exceção do único que é específico desse tipo particular de célula (1892: 86).

Não lhe ocorreu que cada bióforo (hoje diríamos "gene") podia ser ativado e desativado de modo independente, e que a atividade da célula era devida a uma interação entre os produtos difusos da célula, no citoplasma, e os produtos da atividade do núcleo. Weismann não negava a ativação e a desativação, mas as restringia aos determinantes em vez de aos bióforos (1892:100-101). Seus adversários acusavam-no de defender um pré-formacionismo extremo. Tal acusação tem o seu fundamento. Os caracteres complexos eram produzidos por conjuntos pré-empacotados de bióforos: os determinantes. Os "olhos" das plumas de um pavão não podiam ser o produto de um grande número de genes independentes, mas, sim, eles requerem um cuidadoso pacote de determinantes, dizia Weismann. Sua ênfase concentrava-se inteiramente nos elementos estruturais. Não fazia nenhuma concessão aos ritmos do crescimento, às áreas do desenvolvimento, aos períodos temporários de atividade e inatividade dos bióforos, e assim por diante. Essa interpretação atomista da determinação dos traços, na teoria da ativação, contribuiu para o seu repúdio.

As controvérsias suscitadas pela teoria elaborada de Weismann levaram cada vez mais a uma preocupação com os problemas do desenvolvimento e, de certa forma, conduziram a um afastamento cada vez maior de uma genuína teoria da hereditariedade. Isso é perfeitamente claro, por exemplo, na obra de Oskar Hertwig (1898). Hugo de Vries foi talvez o único autor que continuou a atentar para o assunto de uma genética de transmissão (veja adiante).

O significado do sexo

A distribuição dos fatores genéticos, durante a divisão celular, não' foi o único aspecto da hereditariedade a merecer a reflexão de Weismann. Tendo-se debruçado em profundidade sobre esses assuntos, ele chegou a formular diversas teorias novas e importantes, uma das quais relativa ao controvertido papel da reprodução sexual. Por que deveria uma mãe "gastar" metade da sua capacidade reprodutiva dando à luz prole masculina, quando as fêmeas das espécies partenogênicas podem produzir sem fertilização, e com isso dobrar o seu potencial reprodutor? Weismann acentuou que não existe nenhuma evidência convincente em favor de qualquer umas das teorias fisiológicas da sexualidade, propostas anteriormente – por exemplo, a de que a reprodução sexual era um processo de rejuvenescimento. Em vez disso, falou ele, a reprodução sexual apresenta-se muito mais como a única maneira pela qual a variação individual ilimitada possa ser produzida, variação essa tão característica das populações biológicas. Durante a fertilização,

> dois grupos de tendências hereditárias foram, ou parecem ter sido, combinados. Encaro essa combinação como a causa da herança dos caracteres individuais, e acredito que a produção de tais caracteres seja o verdadeiro significado da reprodução sexual. O objetivo desse processo é criar aquelas diferenças individuais que constituem a matéria, a partir da qual a

seleção natural pode produzir espécies novas (1886: 179).

Não se tratava de forma alguma de uma idéia nova, porque, já nos anos 1870, Herder (1784-1791: 138) havia afirmado de modo muito penetrante que

> o método mais eficaz pelo qual a natureza, em suas espécies, combina tanto a diversidade como a constância das formas é a criação e a conjugação de dois sexos. Como se combinam maravilhosamente os traços de ambos os pais no rosto e na constituição corporal dos filhos, é como se as suas almas tivessem afluído neles, em proporções diferentes, e como se as miríades de forças da sua organização se tivessem distribuídos entre eles; e quantas vezes encontramos nos filhos os traços de gerações anteriores.

Mas, evidentemente, não há sentido biológico nessa variação, a menos que se adote também a seleção natural. Curiosamente, no pensamento de Darwin, a reprodução sexual, como uma fonte da variação individual, desempenhava apenas um papel secundário. Não há dúvidas de que Weismann foi o maior campeão da importância do sexo como fonte da variação (veja o Capítulo 11), embora Galton (1876: 333) também houvesse reconhecido isso. [7]

Quando olhamos para a totalidade da obra de Weismann, ficamos espantados com a grande diversidade de problemas por ele analisados, e com a sólida intuição com que, vezes repetidas, sugeria a interpretação correta. Sua única grande falha foi o haver rejeitado a teoria da ativação, o que o obrigou a adotar uma divisão celular desigual (que ele chamou "teoria da dissecção") e uma hierarquia das partículas. Em numerosos ensaios, Weismann abordou grande diversidade de problemas biológicos, alguns dos quais, como "qual é o sentido biológico da morte?", nunca tinham sido levantados antes. A hereditariedade e a evolução constituíam os seus dois interesses maiores. E. B. Wilson disse, há muito tempo, que a moderna teoria da genética repousa sobre os fundamentos de Weismann. Numa época em que a hereditariedade tênue estava no auge da sua popularidade, ele foi o corifeu da hereditariedade sólida exclusiva. Numa época em que se confiava predominantemente nas forças físicas, ele colocou a ênfase nas partículas e naquilo que se poderia chamar o neo-pré-formacionismo. Sua teoria da hereditariedade baseava-se na idéia da herança particularizada; a propósito, a teoria de uma herança de mistura foi por ele especificamente refutada (1892: 388, 544). É dele a idéia de que as unidade hereditárias estão contidas nos cromossomos; previu também a ocorrência da divisão redutiva (veja Galton, 1876: 334, e o Capítulo 17). Weismann desempenhou um papel igualmente importante na qualidade de evolucionista, por sua defesa irrestrita da seleção natural (neodarwinismo). Embora os primitivos mendelianos (inclusive T. H. Morgan, antes 1910) tivessem refutado a Weismann, suas idéias acabaram por prevalecer, particularmente no que se referia à aplicação da genética à evolução.

Hugo de Vries

O fisiólogo de plantas holandês Hugo de Vries (1848-925) [8] afastava-se fundamentalmente de Weismann e dos citologistas alemães, e isso de dupla maneira. Sua formação tinha sido em química-física e orgânica, o que lhe permitiu encarar os problemas funcionais da hereditariedade sob uma luz

diferente e muito mais significativa do que os zoólogos e botânicos seus contemporâneos. Além disso, seus principais interesses genéticos concentravam-se na genética de transmissão e na origem da diversidade orgânica.

Ao estudarmos a influência de de Vries na nossa compreensão da variação e da hereditariedade, é preciso distinguir o impacto de três publicações: o seu *Intracellulare Pangenesis* (1889; as citações são da versão inglesa, de 1910), o relatório da sua redescoberta das leis de Mendel (1900) e o seu *Mutation Theory* (1901-1903). A teoria da pangênese intracelular, que foi publicada antes de 1892, e que influenciou a teoria da hereditariedade de Weismann, incorporava os mesmos avanços na compreensão das células como na obra de Weismann, divergindo, porém, enquanto colocava a ênfase principal nos aspectos de uma genética de transmissão. Curiosamente, essa obra brilhante e persuasiva não teve a influência que merecia. Somente depois que a teoria de Weismann foi refutada é que foi evocado o quanto de Vries estava mais próximo das descobertas posteriores. Também, o preparo mental que lhe conferiu o *Intracellulare Pangenesis* predestinou de Vries a tomar-se um dos redes – cobridores de Mendel.

O enfoque principal de de Vries na questão da hereditariedade era o aspecto evolucionário, e começou, como Unger e Mendel (veja adiante), com o problema das espécies. De Vries rejeitou o conceito da espécie "como uma unidade, e a totalidade dos seus atributos específicos como um conceito indivisível" (1889:11). "Mas, se os caracteres da espécie forem encarados à luz da teoria da descendência, fica logo evidente que eles são compostos de fatores singulares, mais ou menos independentes uns dos outros". Um estudo do organismo conduz inevitavelmente "à convicção da natureza composta dos caracteres específicos".

Houve duas influências importantes no pensamento de de Vries: o ano que passou no laboratório mecânico-reducionista de Julius Sachs, em Würzburg, e as suas estreitas relações com o químico-físico Jacobus Hendricus van't Hoff, na Holanda. Não há surpresa, portanto, no seu propósito de levar a sua análise às unidades básicas do mundo vivo. "O caráter de cada espécie individual é composto de numerosas qualidades hereditárias", baseadas em fatores que

> constituem as unidades a serem investigadas pela ciência da hereditariedade. Da mesma forma como a física e a química descem até as moléculas e os átomos, as ciências biológicas devem penetrar até essas unidades, a fim de explicar, por meio das suas combinações, os fenômenos do mundo vivo (1889: 13).

As unidades genéticas

Os vários autores, desde Spencer até Weismann, postulavam três teorias sobre a natureza das unidades genéticas. De maneira bastante simplificada, essas teorias podem ser expressas como segue:

1. Cada unidade encerra todos os caracteres da espécie; ela é, por assim dizer, um homúnculo da espécie inteira (Spencer, os *ids* de Weismann, o idioplasma de Nägeli).
2. Cada unidade possui os aspectos de uma única célula (as gêmulas de Darwin, os determinantes de Weismann).
3. Cada unidade representa um único caráter ou traço da espécie (o pangene de de Vries,

o bióforo de Weismann).

A teoria de de Vries, de 1889, divergia da de Weismann (1892) por conceder ao pangene uma existência independente, bem como a capacidade de ser ativado e de variar independentemente dos outros (os bióforos de Weismann ligavam-se entre si, formando determinantes). De Vries (1889: 67-68) refuta com bons argumentos as objeções de Weismann ao reconhecimento de unidades individuais para cada traço hereditário. Podemos resumir a teoria genética de de Vries nos seguintes pontos:

1. A herança é devida a portadores materiais das qualidades hereditárias, chamados pangenes.
2. Todo caráter hereditário tem o seu tipo especial de pangene.
3. Quanto mais altamente diferenciado é um organismo, tanto mais tipos de pangenes ele tem.
4. Todo pangene pode variar independentemente de qualquer outro.
5. Todos os núcleos contêm os mesmos pangenes, mas somente um número muito limitado desses pangenes é transmitido ao citoplasma de uma determinada célula, permanecendo todos os demais inativos no núcleo dessa célula.
6. Um núcleo determinado pode conter muitas réplicas idênticas de um dado pangene.
7. Para se tornar ativo, um pangene deve se transferir do núcleo para o citoplasma.
8. Não há movimentação de pangenes do citoplasma para o núcleo.
9. Não há movimento de pangenes de uma célula para outra.
10. Os pangenes sempre se dividem durante a divisão da célula, mas também podem dividir-se entre uma divisão celular e outra, de sorte que um pangene determinado pode ser representado no citoplasma (bem como no núcleo) por muitas réplicas idênticas.
11. O inteiro protoplasma de um organismo consiste em pangenes.
12. Ocasionalmente, um pangene pode mudar, e isso "constitui um ponto de partida para a origem das variedades e das espécies" (1889: 71). (Esta é a base da sua posterior teoria da mutação: veja o Capítulo 12.)

De Vries tinha justificadas razões para afirmar que a sua teoria era um fundamento excelente para uma análise experimental da hereditariedade, e logo depois da publicação da sua brilhante obra (1889), ele mesmo empreendeu um programa de experimentos nesse sentido. Baseava-se na tese da variação independente de cada unidade genética; consequentemente, "cada uma delas em si mesma podia tomar-se objeto de um tratamento experimental na nossa cultura experimental" (1889:69).

É fora de dúvida que a teoria genética de de Vries está mais próxima dos conceitos atuais do que qualquer outra que a precedeu. Entretanto, duas das suas suposições básicas eram decisivamente falsas: a de que os próprios pangenes passam do núcleo para o citoplasma, e a de que um determinado pangene podia existir no núcleo em réplicas múltiplas. Ele imaginava que ali estivesse a explicação para a dominância e para os caracteres quantitativos.

> Se alguns pangenes forem mais reduzidos em número do que outros, então o caráter por eles representado fica apenas ligeiramente desenvolvido; se o seu número for muito pequeno, o

caráter permanece latente (1889: 72).

De Vries partilhou esse postulado errôneo com Weismann e todos os outros autores que, nos anos 1880 e 1890, especularam sobre a hereditariedade. E perfeitamente óbvio que seria inútil calcular as proporções mendelianas, tendo essas pressuposições como ponto de partida. O próximo passo crucial na história da genética foi a eliminação da "teoria das múltiplas réplicas" dos fatores genéticos. A refutação completa da mistura constituiu um outro passo.

O período de 1860 a 1890 foi marcado por especulações desenfreadas. Chega-se fatalmente a essa conclusão, ao considerarmos os escritos de Spencer, Haeckel e Darwin, e mesmo os de Galton, Nägeli, de Vries e Weismann. Esse período seguia também prejudicado por conceitos errôneos e pela ausência de uma discriminação adequada dos diversos componentes de problemas complexos. Isso inclui a falta de uma nítida separação da transmissão dos caracteres, entre as gerações, da fisiologia dos genes (diferenciação); inclui a ausência de uma distinção (exceto no caso de de Vries) entre os caracteres unitários e a essência das espécies; inclui também a falha numa correta distinção entre genótipo e fenótipo. E, no entanto, esse período foi um estágio indispensável no desenvolvimento da genética. Foi nesse período que começaram a ser formuladas as perguntas corretas, que se desenvolveu um interesse pela natureza corpuscular e química do material genético transmitido, e que se lançaram as bases citológicas, sem as quais nenhuma teoria causai da hereditariedade podia ser elaborada. Ao final do período, quase todas as alternativas possíveis haviam sido propostas, e o terreno estava preparado para os novos conhecimentos e as novas descobertas que permitiriam escolhas inequívocas entre teorias concorrentes. Tal evento decisivo foi a redescoberta, em 1900, da obra de Mendel. Ela descortinou de golpe toda uma nova área da ciência biológica.

Gregor Mendel

Foi uma grande ironia da história da ciência que a resposta para o problema da hereditariedade já havia sido encontrada, quando tantos pesquisadores ilustres procuravam por ela tão assiduamente, ao longo dos anos 1870, 1880 e 1890. Ela tinha sido publicada no *Proceedings of the Natural History Society of Brünn* (Bmo).[9] O padre Gregor Mendel havia pronunciado duas conferências nessa sociedade, em 8 de fevereiro e em 8 de março de 1865, nas quais descrevia os resultados dos experimentos com cruzamentos de plantas, por ele realizadas desde 1856. Seu relatório, publicado em 1866, é um dos grandes clássicos da literatura científica, uma exposição científica modelar, em que se definem claramente os objetivos, se apresentam de modo conciso os dados pertinente, e se formulam com cautela as conclusões verdadeiramente novas. Quem era esse gênio escondido, e por que sua obra foi olvidada até 1900, quando repentinamente foi redescoberta?

Johann Mendel (1822-1884; o nome Gregor lhe foi dado ao tomar-se religioso) nasceu na Silésia austríaca, filho de agricultores pobres. Ele não era de forma alguma o "monge obscuro", como por vezes é descrito. Embora tenha realizado os seus experimentos genéticos em Brünn, num virtual isolamento intelectual, Mendel recebera uma excelente educação nas escolas de nível médio de Troppau e Olmütz e, finalmente, pelo espaço de dois anos (1851-1853), na Universidade de Viena, a fim de habilitar-se ao ensino da física e de outras ciências em escolas de nível médio.

Portanto, ele era realmente um jovem cientista bem treinado, com formação recebida em Viena, à sombra de alguns físicos e biólogos eminentes do seu tempo. De especial importância é o fato de que Franz Unger, seu professor de botânica, havia adotado a teoria da evolução em 1852, incluindo a opinião de que no seio de populações naturais surgem variantes, que por sua vez dão origem a variedades e subespécies, até que por fim as mais distintas entre elas alcançam o nível de espécie (veja o Capítulo 8). Assim, ele admitia implicitamente que o estudo das variedades oferecia a chave para a solução do problema da origem das espécies. Ao que tudo indica, essa idéia estimulou grandemente seu discípulo Mendel. É altamente significativo o fato de que, como no caso de Darwin, foi a questão das espécies que inspirou Mendel no seu trabalho sobre a hereditariedade, em perfeito contraste com os embriologistas e citologistas alemães, cujo interesse básico residia na fisiologia do desenvolvimento. No seu famoso artigo de 1866, Mendel afirma que os seus experimentos diuturnos foram necessários para "chegar à solução de uma questão, cuja importância não pode ser superestimada, em conexão com a história da evolução das formas orgânicas". Evidentemente, ele desejava testar a teoria de Unger, e isso significava o estudo das variedades.

Em consequência da sua abordagem evolucionária, Mendel, como bem observou Thoday (1966), adotou o método de análise de população, em vez do estudo do indivíduo particular, como era de praxe na análise funcional. Ele observou grandes populações de descendentes, e tinha plena consciência de que isso era "necessário para observar, sem exceção, todos os membros das séries de rebentos em geração" (1866: 4). Ele examinou dezenas de centenas, senão centenas de milhares, de sementes e de plantas, tendo os seus experimentos requerido o trabalho de oito estações de plantio. Tudo o que sabemos de Mendel indica que ele era uma pessoa extremamente meticulosa. Ele tomava cuidadosamente nota do tempo, das posições do sol e de outros fenômenos variáveis, e era fascinado por relações numéricas. Eram condições ideais que o predestinavam a uma abordagem populacional da hereditariedade.

De importância decisiva para o êxito de Mendel foi o fato de ter sido formado em física, como também em biologia. Seu mestre favorito na escola média foi um físico, e a física parece ter sido a principal disciplina das suas atividades de ensino. Em Viena, ele assistiu às aulas do famoso Doppler e de outros físicos, e por algum tempo chegou a servir como demonstrador no Instituto de Física da Universidade de Viena. Com certeza, essa experiência ensinou-o a tomar notas cuidadosas dos seus experimentos, para chegar a generalizações numéricas e tentar uma rudimentar análise estatística. Tal abordagem, evidentemente, era particularmente adequada, ou melhor, necessária, para uma análise de população. Assim, conquanto os seus conceitos (população, evolução) fossem oriundos da biologia, o seu método era predominantemente da física.

Devido aos seus excelentes conhecimentos da literatura botânica, e particularmente à sua leitura exaustiva de Gärtner (veja anteriormente), Mendel tinha claro conceito da extrema importância de uma escolha correta do tipo de plantas para os seus experimentos:

> A escolha do grupo de plantas para experimentos desse tipo deve ser feita com o maior cuidado possível, se não se quiser pôr a perder todo o sucesso desde o princípio.
> As plantas experimentais, devem, necessariamente:
> 1. Possuir traços que diferem de maneira estável.
> 2. Os híbridos devem ser protegidos de toda influência de pólens externos, durante o período da floração, ou prestarem-se a si mesmos a essa proteção.

3. Não pode haver redução marcante da fertilidade dos híbridos e dos seus rebentos, em gerações sucessivas (Mendel, 1866).

O último ponto era de uma importância crucial, tendo em vista uma grande lacuna no aparato conceitual de Mendel: suas idéias sobre a espécie eram insuficientes. Ele designava as "formas", produto dos seus cruzamentos, às vezes como espécies, ou como subespécies, ou como variedades, porque,

> em cada caso, a categoria que se assinala para elas num sistema de classificação é completamente artificial, nos experimentos em questão; da mesma forma como é impossível traçar uma linha divisória clara entre as espécies e as variedades, assim até agora tem sido impossível estabelecer uma diferença fundamental entre os híbridos das espécies e os das variedades (p. 5).

Na realidade, existe sim uma diferença drástica, como Kölreuter percebeu intuitivamente melhor do que Mendel. As diferenças entre as variantes intrapopulacionais são geralmente diferenças de um único gene e revelam segregações mendelianas simples, enquanto as diferenças entre as espécies são muitas vezes altamente poligênicas, não realizando uma segregação clara.

Enquanto Mendel aderiu confiantemente ao terceiro dos seus princípios, ele estava a salvo. Mas quando, num período posterior, recorreu a outro material, por causa da devastação de pulgões nas ervilhas (*Bruchus pisi*), o seu trabalho ulterior com ervilhas tomou-se impossível. Mendel enfrentou complicações perturbadoras, que pareciam solapar a generalização das suas descobertas anteriores. De qualquer maneira, em 1856, felizmente ele decidiu optar pela ervilha *Pisum sativum* e formas correlatas, como material de experimentação, devido ao grande número de vantagens dessa espécie, já reconhecidas pelos hibridadores de plantas, desde Andrew Knight.

Devido à sua insegurança quanto à natureza da espécie, Mendel usou o termo "híbrido" indiscriminadamente, tanto para híbridos de espécies reais como para heterozigotos de um único gene. Isso confundiu alguns historiadores. Embora Mendel ocasionalmente se intitule a si mesmo um hibridador, e faça frequentes referências, no seu artigo, a Kölreuter, Gartner e outros do ramo, ele não pertence de forma alguma a essa tradição. Como discípulo de Unger e estudioso da evolução, Mendel ocupava-se com as diferenças de um único caráter e não, como os hibridadores, com a essência das espécies. É muito importante ter plena consciência disso, para bem interpretar a sua obra. Seria totalmente equivocado dizer que o aparato conceitual de Mendel era o dos hibridadores. É justamente o afastamento dessa tradição que caracteriza o seu pensamento, e constitui uma das suas grandes contribuições.

Um outro aspecto notável da obra de Mendel é o seu emprego absolutamente evidente do método hipotético-dedutivo. Todo o planejamento dos seus experimentos, o exercício do seu método, bem como a escolha do seu material não permitem outra interpretação a não ser que desde o início da sua obra Mendel tinha uma teoria bem elaborada em sua mente, e que os seus experimentos de fato consistiram em testar essa teoria. Sua metodologia, portanto, diferia profundamente tanto da dos antigos hibridadores, como Gärtner, que por meio de uma abordagem indutiva acumulou montanhas de resultados, sem chegar a conclusão alguma, como daquela dos escritores como Nägeli, que especularam selvagemente, sem jamais tentarem fazer o teste da validade das suas elucubrações. A

abordagem hipotético-dedutiva não era evidentemente nova em Mendel; ela já fora empregada por pesquisadores de renome desde o século XVIII, tanto físicos como biólogos, sendo Schleiden e Darwin dois exemplos típicos.

Reduzida ao seu aspecto essencial, a teoria de Mendel consistia em que, para cada traço hereditário, uma planta é capaz de produzir dois tipos de células ovarias e dois tipos de grãos de pólen, cada um desses tipos representando o caráter paterno ou materno (quando respectivamente diferentes). Ou, exprimindo a mesma hipótese com outras palavras, cada caráter no óvulo fertilizado era representado por dois elementos hereditários (e não mais do que dois), um derivado da mãe (do gameta feminino), o outro derivado do pai (do gameta masculina). (Admite-se como assunto controvertido até que ponto Mendel e os primitivos mendelianos pensavam nesses termos.)

Quando exatamente se formou essa teoria na mente de Mendel jamais poderemos saber, porque suas notas volumosas e seus manuscritos foram queimados, ou tarde na sua vida ou depois da sua morte. Só nos resta fazer conjecturas. O mais provável é que essa teoria lhe ocorreu pelo ano 1859, após alguns cruzamentos preliminares, mas estava firmemente estabelecida em sua mente durante os últimos anos de trabalho intensivo de cruzamentos.

As descobertas de Mendel

Mendel arranjou 34 variedades mais ou menos distintas de ervilhas, de fornecedores diversos, e submeteu-as a dois anos de testes. Dessas variedades, 22 permaneciam constantes, quando autofertilizadas, as quais plantou anualmente durante todo o período da experimentação. Nessas 22 variedades, ele escolheu sete pares de traços contrastantes, para o fim do seu teste experimental. Duas plantas que diferem em um determinado par de traços foram hibridadas, e o comportamento do traço foi acompanhado nas gerações seguintes. As 22 variedades diferiam entre si em mais do que os sete traços escolhidos, mas Mendel julgou esses outros traços inadequados ou, por produzirem variações contínuas e quantitativas, impróprios para o estudo da segregação nítida em que estava interessado, ou ainda porque não se segregavam independentemente.

Os traços escolhidos foram os seguintes:

1. sementes maduras, lisas e redondas ou angulosas e profundamente vincadas;
2. sementes maduras (cotilédone), amarelas ou verdes;
3. a casca da semente, branca ou cinzenta;
4. a vagem madura, lisa e com grãos completamente soltos ou mais ou menos enrugada e com grãos apertados;
5. a vagem verde, de cor verde ou amarelo vivo;
6. as flores, crescendo ao longo da haste principal ou só na parte terminal da mesma;
7. a haste, longa (6-7 pés) ou curta (3/4 - 1,5 pés).

O que Mendel descobriu está hoje ao alcance de qualquer estudante que se inicia na biologia. Ele havia escolhido sete pares de caracteres, um dos quais se revelava sempre dominante. Dessa forma, em todos os seus experimentos, a primeira população de híbridos (F_1) era uniforme, e reproduzia o caráter de um dos genitores. Eram dominantes, por exemplo, as sementes redondas, a coloração amarela das sementes, a coloração cinza da casca da semente, a cor verde das vagens verdes, hastes longas, e assim por diante. Mendel introduziu, com toda probabilidade,

independentemente de outros, como Martini e Sageret, que utilizaram terminologias semelhantes, o termo *dominante* (*dominierend)* para essa predominância de um caráter na primeira geração híbrida, e *recessivo* (*recessiv*) para os caracteres alternativos.

Quando os híbridos F_1 se autofertilizavam, produzindo uma geração F_2, o caráter recessivo reaparecia. No caso da forma das sementes, entre 7.324 grãos colhidos de 253 plantas híbridas autofertilizadas, 5.474 eram redondos e 1.850 angulosos, dando uma proporção de 2,96/1. No caso da cor das sementes, 8.023 grãos colhidos de 258 plantas híbridas deram 6.022 grãos amarelos e 2.001 grãos verdes, representando uma proporção de híbridos como segue:

> Ao longo dessa geração de traços dominantes, os recessivos reaparecem na sua plena expressão, ocorrendo isso decisivamente na proporção média evidente de 3/1, de sorte que em cada quatro plantas dessa geração, três ostentam o caráter dominante e uma o caráter recessivo (1866: 10).

Mendel não parou nesse ponto, mas produziu uma geração F_3 mediante a autofertilização de um grande número de plantas da geração F_2. Neste seu experimento, com a cruza de sementes redondas com sementes angulosas, ele havia obtido 75% de redondas e 15% de angulosas; plantando agora estas sementes, descobriu que todas as plantas nascidas das sementes angulosas conservavam esse caráter de modo estável, enquanto as plantas nascidas das sementes revelavam uma segregação, nessa geração F_3. De 565 plantas nascidas das sementes redondas, 193 produziam apenas sementes redondas, e permaneciam constantes nesse caráter; mas 373 produziam tanto sementes redondas como angulosas, na proporção de 3/1. Em outras palavras, entre as sementes redondas, um terço produzia de modo estável esse caráter, e dois terços davam sementes redondas e angulosas. Mendel levou a maioria dos seus experimentos ao longo de quatro a seis gerações, e os resultados obtidos foram sempre os mesmos. Ele descobriu claramente uma regularidade à guisa de lei.

Qual a interpretação que Mendel deu a essas descobertas? A distinção entre o genótipo e fenótipo só seria feita cinquenta anos mais tarde, e os conceitos de pangene e gene, de cromossomos e de outros elementos da célula e do núcleo, ainda não haviam sido desenvolvidos. Teria sido um milagre se, na ausência desse aparato de fatos e conceitos, Mendel, em 1865, pudesse ter criado a genética mendeliana do nada. Está claro que ele não fez isso. Mas, sem embargo, era tão natural interpretar a sua exposição em termos darwinianos e weismannianos, que de Vries, Correns e Bateson fizeram isso automaticamente quando leram o artigo de Mendel. Nenhum deles nem mesmo tentou pôr em dúvida a prioridade de Mendel. Essa "honra" coube a historiadores. Olby (1979) recentemente sugeriu que "Mendel não era mendeliano". A validade dessa afirmação depende inteiramente do conteúdo do conceito "mendeliano". Se fosse preciso incorporar todas as descobertas genéticas feitas entre 1900 a 1915, então evidentemente Mendel não foi mendeliano. Ele não mencionou genes, nem os consignou a *loci* definidos. Ao longo de todo o seu trabalho, ele se referia aos caracteres hereditários numa linguagem muito semelhante à de Bateson, quando se reportava aos "caracteres elementares", como faria qualquer um que não tivesse como fazer a distinção genótipo-fenótipo.

Considerando que Mendel não tinha qualquer conhecimento das descobertas da citologia (a maioria das quais feitas nos anos 1870 a 1880), como poderia ele visualizar o transporte dos caracteres no "*Keim und Pollenzellen*" (os gametas feminino e masculino)? Ele postulava que os

caracteres eram representados por *gleichartige* [idênticos] *oder differierende* [diferentes] *Elemente.* Ele não especifica o que são esses *Elemente* – quem poderia ter feito isso em 1865?-, mas considera esse conceito suficientemente importante, a ponto de mencionar esses *Elemente* nada menos que dez vezes, às páginas 41 e 42 do *Versuche.* Evidentemente, eles correspondem razoavelmente bem ao que hoje chamaríamos genes. O ponto em que Mendel se afastava da interpretação genética posterior é que ele atribuía um destino diverso aos elementos *gleichartigen* e *differierenden.* Ele pensava que, sendo idênticos, os elementos homólogos dos gametas masculino e feminino fundir-se-iam completamente após a fertilização. Esse o motivo por que na geração F2 ele escreveu *A* e *a,* em vez de *AA* e *aa.* Se os elementos fossem diferentes, ele acreditava que a sua associação na planta híbrida seria apenas temporária, sendo depois dissolvida durante a formação dos gametas dessa nova planta (1866: 42).

Mendel resume a sua "hipótese" (a palavra é sua) do comportamento e dos atributos dos elementos, dizendo o seguinte:

> Os traços diferenciadores de duas plantas podem, além de tudo, ser causados somente por diferenças na composição e agrupamento dos elementos que se encontram em interação dinâmica, no seio das suas células primordiais (p. 42; tradução Stem e Sherwood, 1966).

No que Olby e colegas estão certos é na refutação da idéia, universalmente aceita pelos geneticistas, e antes deles por Mayr, de que Mendel tinha uma clara imagem dos pares de alelos que se separam nitidamente durante a formação dos gametas. A descrição que faz da *Vereinigung gleichartiger Elemente* ("união de elementos idênticos"), por fusão, anula aquela idéia. A ausência de um conceito de *locus* de genes, com conjuntos de alelos, confirma-se pela descrição de Mendel da hereditariedade da cor poligênica no cruzamento de um *Phaseolus,* onde a mesma *Merkmal* recessiva *a* é postulada para duas *Merkmale* simultaneamente presentes, A_1 e A_2. Na terminologia moderna, os recessivos desses dois *loci* independentes deveriam ser designados de modo diferente, como a_1 e a_2.

Então, por que Correns, de Vries e Bateson atribuem a Mendel a prioridade da descoberta do mendelismo? A razão principal, como Correns destacou de modo conciso, é que, depois das pesquisas citológicas das três últimas décadas, e depois das teorias genéticas de de Vries (1889) e Weismann (1892), as proporções 3/1 não podiam ser explicadas de nenhuma outra forma a não ser admitindo-se que durante a formação dos gametas acontece uma segregação 1/1 das *Anlagen* dos caracteres equivalentes. De fato, era isso que Mendel já havia mais ou menos postulado (não completamente). Ele havia postulado isso para as *differienrenden Merkmale* (1866: 42), enquanto para as *gleichartige Merkmale* ele postulou apenas que elas deviam estar representadas nos gametas. O próprio Mendel nunca diz explicitamente que elas devem ser representadas nos gametas por um único elemento, mas a proporção 3/1 nunca poderia ocorrer, com tamanha universalidade de lei, se tal não fosse o caso. Com base nos vastos conhecimentos da citologia e da hereditariedade disponíveis em 1900, os redescobridores de Mendel imediatamente assumiram isso como ponto pacífico. As proporções 3/1 não lhes deixaram outra alternativa.

Olby e outros, que recentemente questionaram a natureza da contribuição de Mendel, estão certos ao insistirem que ele não criou, de um único golpe, toda a moderna teoria da genética. Ele não tinha uma teoria do gene, mas nem os seus redescobridores a tinham, como Olby igualmente bem

aponta (1979: 58). Mas, de qualquer maneira, as diversas descobertas de Mendel (a segregação, as proporções constantes, a distribuição independente dos caracteres), combinadas com os novos conhecimentos adquiridos entre 1865 e 1900, conduziram automaticamente – como se é tentado a dizer – à teoria chamada, legitimamente, Mendelismo. Suas conclusões mais importantes, relativas a um conjunto único de caracteres, são as seguintes:

1. Os genes dominantes e recessivos não são afetados entre si, enquanto associados no heterozigoto. Mesmo se fôssemos cruzar ervilhas de sementes redondas com ervilhas de sementes angulosas durante cem gerações, as ervilhas redondas permaneceriam tão redondas como foram no começo, o mesmo sendo válido para as ervilhas angulosas.
2. Os gametas sempre contêm apenas os *Anlage* de um dos dois caracteres alternativos. Isso é igualmente válido para os gametas produzidos por heterozigotos, como para os produzidos por homozigotos. Evidentemente, os determinantes dos traços parentais são separados antes da formação dos gametas. Isso explica os fenômenos da segregação e da recombinação, tão conhecidos dos criadores.
3. Uma planta produz milhares de células ovárias e milhões de grãos de pólen (ou espermatozóides, no caso dos animais), e o encontro dos gametas com genes diferentes é uma questão de acaso. Quando entra em jogo uma amostragem de números reduzidos, podem-se esperar desvios da proporção 3/1, mas o grau desses desvios é estatisticamente previsível.

Muito importante para os cruzamentos de Mendel foi a sua convicção, por ele mesmo testada experimentalmente, de que "a propagação dos fanerógamos é iniciada pela união de uma célula germinal e de uma célula de pólen em uma célula única" (1866: 41). Essa idéia, de que um único grão de pólen está envolvido na fertilização, foi colhida do trabalho de Amici e de outros botânicos, que Mendel evidentemente conhecia por intermédio de Unger, cujo excelente manual de anatomia e fisiologia das plantas tinha em seu poder, tendo Unger também escrito alhures sobre esse assunto. Para Darwin constituiu grande entrave o ter admitido a crença, a partir das idéias dos criadores, de que as células ovárias são fertilizadas simultaneamente por diversos gametas machos.

Mendel agora aplicou o seu novo conhecimento a cruzamentos com dois pares de caracteres. Descobriu, por exemplo, que quando uma planta com sementes redondas e amarelas é cruzada com uma planta de sementes angulosas e verdes, podem-se obter quatro combinações diferentes na F_2. Por exemplo, num determinado cruzamento, ele obteve 350 sementes redondas e amarelas, 108 sementes redondas e verdes, 101 sementes angulosas e amarelas e 32 sementes angulosas e verdes, chegando muito perto da esperada proporção 9/3/3/1. A conclusão era evidente: cada caráter é herdado independentemente do outro, e a proporção de dominante para recessivo não fica afetada pelo outro caráter (1866: 42). Por fim, Mendel realizou um cruzamento envolvendo três conjuntos de caracteres, mostrando que todos os três eram herdados de modo independente.

Concentrando-se claramente nos caracteres individuais e no seu comportamento nas gerações sucessivas, Mendel pôde chegar a certas generalizações. Ele formulou a "lei da combinação dos diferentes caracteres", que hoje se chama a *distribuição independente dos caracteres*. Correns expressou isso da forma seguinte (1900: 98):

Nos gametas de um híbrido individual, os *Anlagen* de cada caráter parental individualizado

encontram-se em todas as combinações possíveis, mas jamais se encontram em um único gameta os *Anlagen* de um par de caracteres. Toda combinação acontece aproximadamente com a mesma frequência.

Isso por si só é evidente, mas convém enfatizar, especialmente, que as leis da hereditariedade só podem ser elaboradas a partir do fato de que os dois genitores diferem entre si por sua constituição genética. Isso permite a demonstração de dois importantes fatores da hereditariedade. Primeiro, a contribuição igual de ambos os genitores e, segundo, a manutenção da integridade dos elementos diferentes (inexistência de sua "mescla" nas gerações subsequentes). Mendel acentuou esse fato na sua correspondência com Nägeli:

> Inclino-me a considerar como completa a separação dos traços parentais na progênie dos híbridos do *Pisum,* e por isso como permanente … Jamais observei transições graduais entre os traços parentais, ou uma aproximação progressiva na direção de algum deles (Correns, 1905).

Nas suas amostragens mais reduzidas, Mendel deparou-se com alguns desvios bastante pronunciados das esperadas proporções 3/1 ou 2/1.[10] Ele tinha plena consciência da natureza estatística desses erros de amostragem, e para compensá-los, numa época muito anterior à existência dos testes de significação estatística, ele simplesmente desenvolveu populações grandes, para os seus cruzamentos. Fisher (1936) levantou a pergunta se os resultados de Mendel não seriam "bons demais", tendo em vista, como disse, que os desvios do previsto, quando calculados pelos testes X^2, eram inferiores ao esperado. De qualquer maneira, a evidência interna e também como tudo o que sabemos sobre o procedimento cuidadoso e consciente de Mendel tomam absolutamente evidente que ali não estava envolvia qualquer falsificação deliberada. É possível que Mendel tenha repudiado uns poucos cruzamentos particularmente aberrantes, pensando terem eles sido falsificados por pólen estranho; também é possível que ele tenha seguido repetindo um cruzamento até que os números se aproximassem da proporção esperada, não se dando conta de que isso poderia introduzir um viés no seu método; mas o mais provável é que o viés seja introduzido pelo fato de que o pólen, durante a maturação, é produzido na forma de tétrades. Esta circunstância, particularmente nos casos de autofertilização e de uma limitada quantidade de pólen, pode levar a resultados "demasiadamente bons" (Thoday, 1966). Além disso, se a germinação das plantas de Mendel era de apenas oito ou nove sobre dez, normal em tais experimentos, isso invalida os cálculos do% ^{2} de Fisher, e aproxima os resultados de Mendel exatamente na linha dos outros hibridadores de ervilhas (Weiling, 1966; Orei, 1971). Por isso, não havia realmente nada de muito errado nos gráficos de Mendel; note-se também que ele era de uma precisão quase pedante no registro dos seus dados, o que demonstrou mais uma vez no seu trabalho sobre meteorologia.

A contribuição mais significativa de Mendel

O desenvolvimento por assim dizer explosivo da genética, depois da redescoberta da obra de Mendel, sugere que existe algo de crucial nos seus achados, permitindo a toda a área um novo ponto de partida, depois de mais de trinta anos de tropeços com especulações errôneas, ou pelo menos

prematuras. Qual foi esse componente crucial?

A dominância, a reversão, a identidade dos cruzamentos recíprocos, a uniformidade da primeira geração de híbridos, bem como a variabilidade da segunda geração, já haviam sido descritas anteriormente por numerosos autores (Zirkle, 1951). Nem o seu postulado, de que existem certos elementos (partículas) que controlam os caracteres, era novo (em 1900). Esta era essencialmente a teoria de Darwin das gêmulas, e mais particularmente a teoria dos pangenes de de Vries. E nem foi a refutação da hereditariedade misturada à contribuição decisiva de Mendel. Antes de mais nada, ele próprio acreditava em uma fusão dos *gleichartigen Elemente,* mas, mais importante ainda, de Vries e Weismann acreditavam, pelo menos em parte, numa herança particularizada. No entanto, Mendel contribuiu grandemente para a efetiva erradicação dos últimos resquícios de uma crença na mescla dos caracteres. Ele enfatizou que, se os fatores do pai e da mãe diferiam, eles jamais se fundiriam, mas se separariam sempre de novo, durante a formação da célula germinal. Daí que, para o postulado de que os *gleichartigen Elemente* permanecem da mesma forma separados após a fertilização, era apenas um pequeno passo. Tal independência e existência em separado, por assim dizer, dos fatores genéticos no plasma germinal deram grande alento à idéia da hereditariedade sólida. [11] Salientei anteriormente que, embora o método mendeliano fosse fortemente influenciado pela física, seu aparato conceitual era procedente da biologia. Contrariamente aos fisicalistas (His, Loeb, Bateson, Johannsen), a hereditariedade de Mendel não era devida a forças ou a excitações, mas sim a materiais concretos fornecidos pelas células ovárias maternas e pelas células polínicas paternas. A base da herança era a *qualidade* das matérias parentais transmitidas. A partir de Haeckel (1866) e Darwin (1868), essa era uma idéia comum, admitida por todos aqueles que abordavam o problema da hereditariedade, seja como naturalistas, seja como biólogos dos organismos inteiros.

Mas em que consistia então a contribuição excepcional de Mendel? Ao compararmos cuidadosamente sua teoria da hereditariedade com as de Darwin, Galton, Weismann e de Vries (1889), podemos descobrir duas diferenças cruciais. Em primeiro lugar, todos esses autores postulavam a existência de numerosos determinantes idênticos para um dado caráter único em cada célula (em cada núcleo), e igualmente especulavam sobre a possibilidade da transmissão simultânea de muitas réplicas de um único determinante às células germinais. Se tal fosse o caso, não se encontrariam quaisquer proporções coerentes nos cruzamentos. Essa idéia fez com que se tomasse impossível o desenvolvimento de uma nítida teoria genética. A universalidade da proporção 3/1 refutou o postulado das partículas múltiplas. Tal universalidade só se coaduna com o postulado de uma partícula única. Nisso é que consistiu a maior contribuição de Mendel. Outra significativa contribuição sua foi a descoberta de que essas partículas existem em conjuntos – os genes e seus alelos, como diríamos hoje. Admitindo-se isso, foi possível explicar a segregação e a recombinação. Essa inferência, no sentido de que cada caráter, numa célula ovaria fertilizada, é representado por dois, e dois apenas, fatores, um procedente do pai e outro da mãe, e que esses podiam ser diferentes, constituiu a idéia nova que revolucionou a genética. O que Mendel forneceu foi uma teoria extremamente simples, que qualquer amador poderia facilmente testar num determinado conjunto de caracteres alternativos. De fato, ela é tão simples que experimentos desse tipo são hoje realizados por meninos e meninas nas aulas de ciências de qualquer escola de nível médio. Mas, ao mesmo tempo, as generalizações simples de Mendel lançaram os alicerces para o desenvolvimento da genética depois de 1900.

Os redescobridores de Mendel muito mais ocultaram a verdadeira natureza da sua descoberta,

ao falarem de três leis mendelianas: (1) a lei da segregação, (2) a lei da dominância, e (3) a lei da livre distribuição.

A segregação fenotípica na F_2, evidentemente, já havia sido descoberta por muitos, antes de Mendel, a partir de Kölreuter, Knight e Sageret. Todavia, nunca ela havia sido tão central na obra de qualquer um deles como o foi na obra de Mendel, nem havia sido anteriormente aplicada ao próprio material genético *(die Elemente*). A ênfase na segregação era um meio eficaz para contraditar qualquer propensão a uma crença na hereditariedade de mistura, mas só a segregação não é a essência do mendelismo. Se existissem determinantes múltiplos para um caráter simples, como todo mundo acreditava (menos Mendel) antes de 1900, poder-se-ia obter a segregação sim, mas não nas proporções de 3/1. O ponto crucial da teoria de Mendel era a sua insistência em afirmar que quando os genitores diferem em um caráter, os elementos, ou *Anlagen,* para esses caracteres permanecem separados nos híbridos, e de novo se separam na formação das células germinais desses híbridos. Esta é claramente uma das contribuições decisivas de Mendel, a outra sendo a inferência, necessária a partir das proporções 3/1, de que cada caráter é representado, nas células germinais, por um, e por um somente, elemento.

A dominância, como hoje sabemos, não é uma "lei". A existência de uma dominância em todos os sete pares de caracteres de Mendel era evidentemente devida à sua escolha deliberada dos mesmos.

Finalmente, a livre distribuição também não é uma "lei" válida, porque foi descoberto, logo depois de 1900, que os caracteres podiam estar "ligados", por terem os seus determinantes situados no mesmo cromossomo (veja o Capítulo 17). As "leis" de Mendel podem ter sido um expediente didático valioso, nos primeiros dias do mendelismo, mas hoje perderam toda utilidade, e foram substituídos por outras.

Por que a obra de Mendel foi ignorada

A clareza dos escritos de Mendel, a simplicidade da sua teoria, bem como a necessidade desesperada de uma tal teoria na época em que foi publicada (1866), fazem com que seja inquietante o enigma de ter sido a sua obra tão sumariamente ignorada. A resposta perfunctória de que o mundo ainda não estava preparado para ele não é uma resposta. Se Mendel estava preparado, por que não algum outro estava? A questão é suficientemente importante no que se refere à história das idéias, para merecer uma análise um pouco mais atenta. Quais foram, então, as causas possíveis?

A primeira, evidentemente, é porque Mendel publicou muito pouco. Da imensa quantidade de dados que devem ter sido acumulados por ele, entre 1856, quando deu início ao seu trabalho, e 1871, quando suspendeu os seus cruzamentos, ele publicou apenas a sua conferência na Sociedade de História Natural de Brünn, e um outro breve artigo, sobre cruzamentos com chicória (1870). Para usar uma expressão suave, Mendel não foi um autor prolífico. Da sua correspondência com Nägeli (Stem e Sherwood, 1966), ficamos sabendo que ele viu os seus resultados com a *Pisum* totalmente confirmados no experimento de cruzamentos com *Mathiola annua, M. glabra, Zea,* e *Mirabilis,* trabalho por ele realizado em 1869. Infelizmente, isso foi muito antes do tempo da advertência "publique, ou pereça", e Mendel nunca informara o mundo da confirmação das suas descobertas antigas, divulgadas depois numa única publicação.

A s *Verandlungen* da Sociedade de Brünn foram enviadas às bibliotecas de 115 ou mais

instituições, inclusive à Royal Society e à Linnean Society, na Grã-Bretanha. Mendel dispunha de quarenta cópias à parte do seu artigo, e sabemos que ele as mandou, presumivelmente entre outros, a dois botânicos famosos: A. Kemer von Marilaun, de Innsbruck (muito conhecido por seus experimentos com enxertos), e Nägeli, um dos mais proeminentes botânicos do seu tempo, e conhecido de Mendel como estudioso dos híbridos. O fato resultou numa ativa correspondência com Nägeli, de que infelizmente só as cartas de Mendel se conservaram. É bastante evidente que Nägeli ou não entendeu a tese de Mendel, ou, o que é mais provável, não concordava com ela. Em vez de encorajar Mendel, ao que se afigura ele fez exatamente o contrário, e nem convidou Mendel a publicar os seus resultados em alguma revista de botânica de prestígio, por onde deveriam chegar ao conhecimento de outros. Em lugar disso, ele encorajou Mendel a testar a sua teoria da hereditariedade com a chicória (*Hieracium*), um gênero em que, como sabemos hoje, é comum a partenogênese (apomixia), conduzindo a resultados incompatíveis com a teoria mendeliana. Em suma, como disse um historiador, "a relação de Mendel com Nägeli foi totalmente desastrosa". Quando Nägeli, em 1884, publicou o seu grande livro sobre evolução e hereditariedade, não mencionou uma vez sequer o nome de Mendel, num longo capítulo que tratava de experimentos de hibridação. Isso é quase inacreditável, porquanto tudo o mais que vem dito nesse capítulo é de um significado muitíssimo menor que a obra de Mendel. Teria tido Nägeli um certo menosprezo pelo padre católico da distante Morávia? Ou tratava-se apenas de intolerância científica? Presume-se que prevalecia este último ponto. Poucas vezes se disse que Nägeli foi um dos poucos biólogos que subscreviam a teoria de uma hereditariedade puramente de mistura (Mayr, 1973: 140). Segundo ele, durante a fertilização, os idioplasmas materno e paterno misturavam-se, devido à *fusão* dos filamentos homólogos das micelas em uma fita única. A aceitação da teoria de Mendel teria significado para ele a completa refutação da sua própria. Deixando de fazer um estudo da obra de Mendel, tão cuidadoso como devia ter feito, Nägeli simplesmente concluiu que Mendel devia estar errado (Weinstein, 1962).

A modéstia de Mendel prejudicou-o bastante. Depois de ter sido humilhado por Nägeli, ele aparentemente não fez mais nenhum esforço para contactar outros botânicos ou hibridadores, ou para fazer conferências em encontros e seminários nacionais e internacionais. Ele se referia ao seu trabalho de sete anos, envolvendo mais de trinta mil plantas, como "uma experiência isolada"!

Mendel tinha plena consciência do fato de que o caso com as verilhas era um caso excepcionalmente simples. Não resta dúvida que esse foi o motivo por que escolheu essa espécie como sua matéria principal. Quase todas as complicações da herança cromossômica, que desde então foram descobertas, já estavam presentes em uma ou outra das espécies de plantas experimentais com que Mendel se ocupou. Com os parcos meios que lhe eram disponíveis, ele certamente teria ficado desnorteado com as complicações introduzidas pela conexão, pelo *Crossing over* e pela poli-ploidicidade. Com efeito, a apomixia do *Hieracium* deixou-o mais tarde completamente transtornado. Por esse motivo, Mendel tinha a impressão de que suas descobertas talvez não fossem válidas para todas as espécies de plantas, chegando a dizer a propósito:

> Uma decisão final só pode ser emitida quando estiverem disponíveis os resultados dos experimentos detalhados com as mais diversas famílias de plantas (1866: 2).

Pode ser que a atitude de Mendel, neste passo, esteja desfavoravelmente afetada pela sua

formação em física. Os físicos (pelo menos nos tempos de Mendel) procuravam sempre por leis gerais. Daí que as "leis" que Mendel encontrou em relação às ervilhas só seriam válidas se também fossem aplicáveis ao *Hieracium* e a todas as outras plantas. Será que Mendel pensava que as leis do seu *Pisum* não eram válidas, por ter encontrado alguns outros tipos de plantas às quais essas leis pareciam não se aplicar?

Como pude salientar mais anteriormente, havia outra fraqueza na abordagem de Mendel. Quando ele decidiu que "a validade das leis propostas para *Pisum* necessita de confirmação" (1866: 43), ele se voltou para o aspecto da hibridação das espécies. Embora se desse conta de que isso não era exatamente o mesmo que a hibridação de variedades (p. 39), nem por isso os trabalhos com híbridos de espécies o deixaram menos inseguro e sem convicção para promover os seus resultados com o *Pisum* tão vigorosamente quanto mereciam. Ele ficava particularmente perturbado com híbridos de espécies supostamente constantes. Nisso Mendel não estava só. O assunto do maior interesse dos hibridadores era a natureza das espécies, e, antes de 1900, os hibridadores (de Nägeli a Hoffmann e Focke) mencionavam os cruzamentos de Mendel com espécies de feijões (*Phaseolus*) e com chicória (*Hieracium*), muito mais do que as proporções mendelianas com as variedades de ervilhas.

Por longo tempo, após 1900, acreditava-se amplamente que a variação contínua obedecia a leis da hereditariedade inteiramente diferentes das de Mendel, e isso pode ter sido uma razão à mais para o olvido da sua obra. Além de tudo, a variação gradual e contínua era considerada quase universalmente, após 1859, como a única variação de interesse do evolucionista.

Os historiadores anotaram que a obra de Mendel havia sido citada cerca de uma dúzia de vezes, antes de 1900. A mais importante dessas citações é a que consta do grande livro de Focke, em que faz o balanço das hibridações, *Die Pflanzen-Mischlinge* (1881). Todos aqueles que a seguir se ocupavam com hibridações consultavam Focke, e quase todos os que fazem referência a Mendel, depois dessa data, confirmam que descobriram a menção em Focke. O próprio Focke, todavia, jamais percebeu a importância da obra de Mendel, e quando se refere a este, o faz de uma maneira que não encorajaria ninguém a consultar o escrito original.

Em 1864, Mendel foi obrigado a suspender o seu trabalho com o *Pisum,* devido a uma grande infestação de pulgões de ervilhas, e devido também a resultados excitantes com outros gêneros de plantas. Abandonou todo o seu trabalho com cruzamentos depois de 1871, após ter sido eleito abade do seu mosteiro, ficando muito absorvido com encargos administrativos. Depois da sua morte, de nefrite, em 1884, na idade relativamente jovem de 62 anos, outros dezesseis anos foram necessários para que o mundo chegasse a apreciar a grandiosidade da sua descoberta.

Por fim, deve ainda ser dito que os redescobridores (Correns em particular), com os seus avançados conhecimentos de citologia, leram no relatório de Mendel mais coisas que de fato continha. Heimans e Olby têm o seu mérito por haverem apontado as deficiências da interpretação de Mendel. Mas isso de forma alguma diminui a sua grandeza. Por mostrarem que a sua teoria não era tão completa, e por isso não tão plenamente explicativa, como afirmado pelos geneticistas durante três quartos de século, Heimans e Olby nos ajudam a entender por que a obra foi ignorada por 34 anos.

Por razões bastante obscuras, a época de Mendel não era particularmente interessada numa genética "pura" de transmissão. A hereditariedade era, em geral, apenas considerada, em conexão com outros fenômenos biológicos, como o problema das espécies (e o dos híbridos de espécie), indução ambiental (e a hereditariedade dos caracteres adquiridos), a diferenciação durante o

desenvolvimento, a consolidação dos caracteres das espécies nas condições de isolamento, e sua diluição ("miscigenação") após a remoção das barreiras do isolamento, e assim por diante. Muito se especulou sobre o efeito que o artigo de Mendel teria tido sobre Darwin, se o tivesse lido. Concordo com aqueles que pensam que teria exercido pouca ou nenhuma influência. Muitos anos se passaram (depois de 1900) antes que os "darwinistas autênticos", como eles mesmos amavam intitular-se, percebessem que a evolução gradual e a variação contínua podiam ser explicadas em termos mendelianos. Darwin, ao que se presume, teria tido a mesma dificuldade. Ele tinha conhecimento da obra de Sageret, mas aparentemente ela não o ajudou a entender a variação. E quando se trata dos problemas em que Darwin, na qualidade de evolucionista, mais estava interessado, como as "misteriosas leis da correlação", a aquisição do isolamento reprodutivo, e o estabelecimento da "coesão do genótipo", nós mesmos ainda estamos, em grande medida, tateando no escuro, e isso oitenta anos{********} após a redescoberta de Mendel.

Sem qualquer conhecimento da citologia cromossômica, sem as análises teóricas de Weismann, e sem o benefício de muitas outras descobertas seminais feitas entre 1865 e 1900, Mendel descobriu uma nova maneira de abordar os fenômenos da hereditariedade, debruçou-se sobre o comportamento dos caracteres únicos e utilizou esses conhecimentos para chegar a generalizações abrangentes. Sua realização foi uma das mais brilhantes de toda a história da ciência. Mendel foi um cientista dedicado, como se reflete no entusiasmo com que relata as suas descobertas a Nägeli (18 de abril de 1867):

> Da primavera ao outono, o nosso interesse é renovado a cada dia, e o cuidado que devemos dar às nossas culturas fica por isso amplamente recompensado. Digo ainda que, se por meio dos meus experimentos eu conseguir apressar a solução desses problemas, eu ficaria duplamente gratificado (Stem e Sherwood, 1966).

Seu breve tratado, "Experimentos com híbridos de plantas", como tão bem Curt Stem o expressou,

> é um dos triunfos da mente humana. Ele não anuncia simplesmente a descoberta de fatos importantes, por meio de novos métodos de observação e experimentação. Muito mais que isso, num ato da mais elevada criatividade, ele apresenta esses fatos em um esquema conceitual que lhes confere um sentido universal … [o clássico de Mendel] permanece vivo como um exemplo supremo de experimentação científica e profunda penetração do significado dos fatos (Stem e Sherwood, 1966: V).

17. O FLORESCIMENTO DA GENÉTICA MENDELIANA

O *Variation* (1868) de Darwin, o *lntracellular Pangenesis* (1889) de de Vries, e o *Germ Plasm* (1892) de Weismann suscitaram um interesse acelerado pelos problemas da hereditariedade. [1] Hugo de Vries e Carl Correns começaram, em 1892, com experimentos sistemáticos em cruzamentos, e ambos publicaram em 1899 importantes resultados sobre os seus experimentos com xênio (formação do endosperma pelo núcleo do pólen; veja Dunn, 1966). E então, na primavera de 1900, deu-se um dos mais extraordinários eventos da história da biologia, ocorrendo aparentemente de um modo súbito e explosivo, embora fosse de fato apenas o clímax de um longo desenvolvimento. Três botânicos – de Vries, Correns e Tschermak-, dentro do espaço de alguns meses, publicaram relatos no sentido de haverem descoberto, de modo independente, certas leis da hereditariedade, só para se descobrir, ao compulsar a literatura, que Mendel os havia antecipado de 35 anos. Desde aquela memorável primavera, foram levantadas suspeitas sobre se as afirmações expressas pelos três redescobridores deviam ser aceitas como literalmente verdadeiras. O problema parece ser suficientemente importante para merecer uma análise mais de perto. [2]

Os redescobridores de Mendel

De Vries, no seu *lntracellular Pangenesis,* de 1889, havia formulado claramente o ponto de vista de que a hereditariedade devia ser dissecada em caracteres unitários, herdados cada um de modo independente. [3] Ele também havia traçado um programa de experimentos. Estando ocupado, à época, com experimentos fisiológicos, só começou seriamente com experimentos de cruzamentos em 1892, concentrando-se primeiramente sobre *Silene, Papaver* e *Oenothera.* Em 1894, entre 536 plantas F2 de *Silene,* ele encontrou 392 peludas e 144 lisas (2,72/1). Num cruzamento de papoulas, em 1895, ele obteve 158 com pétalas de manchas negras e 43 com pétalas de manchas brancas (3,67/1), e em 1896 descobriu que as com manchas brancas se reproduziam de modo estável. Outros experimentos daqueles anos reforçaram os seus achados. No outono de 1899, obteve uma segregação clara em trinta diferentes espécies e variedades.

Finalmente ele se convenceu de que a segregação dos caracteres alternativos obedecia a leis gerais, e que estava autorizado a publicar os seus resultados. No mês de março de 1900, ele preparou três escritos contendo as suas descobertas, mandando-os, no espaço de poucas semanas um do outro, dois para a Academia das Ciências de Paris (para ser apresentado na sessão de 26 de março de 1900), e um para a Sociedade Botânica da Alemanha, que foi recebido aos 14 de março (veja Krizenecky, 1965). Os artigos de Paris foram efetivamente publicados alguns dias antes (antes de 21 de abril) do que o da Alemanha (25 de abril). Numa nota de pé de página do artigo para a Alemanha, de Vries escreveu:

> Só tive conhecimento da sua existência [o artigo de Mendel] depois de haver completado a maior parte dos meus experimentos, e destes *é* que deduzi as afirmações comunicadas no

texto.

Olby (1966: 129), com base em boas evidências indiretas, concluiu que de Vries pôde ter lido o escrito de Mendel já em 1896 ou 1897; Zirkle era de opinião que isso só aconteceu em 1899, e Kottler (1979) encontrou ulteriores evidências em favor desta última data.

Nas notas das suas conferências daqueles anos, de Vries ainda usava a sua própria terminologia – ativo (A), latente (L) – em vez da terminologia de Mendel, dominante e recessivo, e num quadro demonstrativo para os seus estudantes ele usou percentagens variáveis da segregação (77,5%/22,5%, 75,5%/24,5%), como se ainda não tivesse conhecimento da verdadeira causa da segregação. Convém mencionar também que, dos seus cruzamentos verdadeiramente numerosos com *Oenothera,* ele só se refere, no artigo de 1990, aos realizados com as *lamarckiana* X *brevistylis,* representando esta última a única genuína mutação genética por ele encontrada no material *Oenothera*. [4] Como declarou na sua correspondência com Bateson, de Vries fez uma clara distinção entre caracteres progressivos e caracteres derivativos, sendo que só estes últimos obedecem às regras mendelianas.

De Vries fala que encontrara a referência a Mendel na bibliografia de um artigo publicado em 1892, que aparentemente ele consultou alguns anos mais tarde, e que o induziu a ler a publicação original de Mendel. Não resta dúvida que nessa época ele já havia encontrado proporções na segregação, que hoje interpretaríamos como proporções 3/1, bem como a reprodução imutável dos recessivo, mas isso não significa necessariamente que essas descobertas o tenham induzido a abandonar as suas noções primitivas e erradas. Como todos os outros pesquisadores dos anos 1880, de Vries originalmente acreditava que os caracteres pudessem ser controlados por partículas múltiplas (veja o Capítulo 15). Proporções como 394 para 144, ou 158 para 43, ou seja 77,5%/22,5%, não significam nada quando se acredita em uma determinação por fatores replicados. Ao fazer uso de proporções, de Vries menciona 2/1, ou 4/1 (Kottler, 1979). Teria a leitura da obra de Mendel chegado a levar de Vries a abandonar a sua teoria original em favor da teoria de Mendel, a de um único elemento de cada genitor determinando um caráter individual? É algo que nunca poderemos saber. Assim sendo, só nos resta aceitar a afirmação de de Vries de que ele "havia deduzido" dos seus próprios experimentos a lei da segregação, exatamente como Mendel havia extraído essa lei de resultados semelhantes. Ao concentrar-se sobre a análise experimental dos caracteres únicos, de Vries certamente chegou muito perto da solução. Daí, para o abandono dos últimos componentes falsos (réplica frequente de pangenes) da sua teoria primitiva, era apenas um pequeno passo. Entretanto, Bateson, a despeito das boas proporções mendelianas, não chegou a perceber a explicação de Mendel, antes de ter lido o artigo de de Vries.

De Vries ficou profundamente decepcionado por ter sido antecipado por Mendel, e isso pode ser uma das razões por que não perseguiu nas consequências mais estritamente genéticas das suas descobertas, passando em vez disso para uma interpretação evolutiva das mutações progressivas. Parece que o seu maior interesse se concentrou o tempo todo no problema da especiação. De Vries pensava, evidentemente, que a hereditariedade mendeliana era apenas um dos diversos mecanismos genéticos. E o que transparece claramente desta sua afirmação dirigida a Bateson (30 de outubro de 1901): "Toma-se cada vez mais claro para mim que o mendelismo é uma exceção na regra geral dos cruzamentos". Por isso, ele mais ou menos abandonou o mendelismo, para dedicar-se ao estudo de outras formas de hereditariedade que ele considerava muito mais importantes para a evolução.

Por três motivos, de Vries será sempre lembrado como uma grande figura na história da genética: (1) porque, independentemente de Mendel, ele promoveu a idéia de dissecar as diferenças entre os indivíduos em caracteres únicos; (2) porque ele foi o primeiro a demonstrar o funcionamento da segregação mendeliana numa grande variedade de espécies de plantas; e (3) porque ele desenvolveu o conceito da mutabilidade das unidades genéticas. Dessa forma, ele foi muito mais que um redescobridor de Mendel. Ao desenvolver a sua teoria, ele tinha condições de utilizar os então recentes resultados da pesquisa citológica. Enquanto Mendel sabiamente se absteve de especular sobre a natureza dos *Elemente,* a base física dos seus caracteres, de Vries relacionou-os com os pangenes darwinianos redefinidos. Com respeito à hereditariedade, ele operou uma síntese entre Darwin e Mendel.

O caso de Carl Correns (1864-1933), [5] o segundo redescobridor da hereditariedade mendeliana, é mais simples. Diz ele que a interpretação da segregação mendeliana lhe ocorreu "como num estalo", pela manhã de um dia em que estava deitado no seu leito, acordado (em outubro de 1899). Ele estava no momento ocupado com outras pesquisas, e só leu o artigo de Mendel algumas semanas mais tarde (mas refere-se a ele em dezembro de 1899, no seu artigo sobre xenia). Somente em 21 de abril de 1900, quando recebeu uma reimpressão do trabalho de de Vries para a Academia Francesa, é que se dispôs a assentar no papel (num só dia) os seus resultados, os quais foram relatados na sessão de 27 de abril, na Sociedade Botânica Alemã, e publicados em 25 de maio. Correns, desde o princípio, não considerava muito importante a sua parte na redescoberta, e insere uma referência a Mendel ("regra de Mendel") no título da sua primeira comunicação. Ele se dava conta de que

> o trabalho intelectual de formular de novo as leis por conta própria foi a tal ponto facilitado [pelas pesquisas dos trinta últimos anos, a obra de Weismann em particular] que o seu mérito é muito menor que o da obra de Mendel.

O único ponto que poderia ser suspeito na redescoberta independente de Mendel por Correns é o fato de que ele foi aluno de Nägeli (e casado com a sua sobrinha), e pôde ter tido ciência de Mendel o tempo todo. Tal possibilidade, porém, é improvável, porque seria muito estranho se Correns, sabedor dessa pista ao longo de vinte anos, não a tivesse seguido antes.

A terceira pessoa que sempre é citada como outro redescobridor independente das regras de Mendel é o cultivador de plantas austríaco Erich Tschermak. Segundo as conclusões de Stem (1966: XI), não há grandes justificativas para incluir Tschermak entre os redescobridores. É certo que ele descobriu o artigo de Mendel, mas, nas páginas que publicou em 1900, revela não ter entendido os princípios básicos da hereditariedade mendeliana. Sem dúvida, Tschermak teve uma participação relevante na tarefa de dirigir a atenção dos cultivadores de plantas para a importância da genética mendeliana.

Qual a razão por que tantos mendelianos primitivos (Mendel, de Vries, Correns, Tschermak, Johannsen) eram justamente botânicos é algo que nunca se entendeu muito bem. Presumivelmente, existia uma tradição mais rica de variedades de cultivo, em hortaliças e outras plantas cultivadas, pois as plantas são muito mais fáceis de tratar e criar do que os animais. Talvez também porque existe maior número de caracteres descontínuos, nas folhas e nas flores, do que nos animais domésticos, como carneiros, vacas e porcos. Muitos caracteres estudados por criadores de animais eram altamente poligênicos, e de forma alguma adequados para uma análise mendeliana elementar.

No entanto, logo depois de 1900, Bateson começou a trabalhar com aves domésticas, Cuénot na França e Castle (em 1902) nos Estados Unidos começaram a tratar com roedores, e, em 1905, Castle introduziu as *Drosophila* como animais de experimentação. Bem depressa os trabalhos da genética animal alcançaram os da genética das plantas, chegando a ultrapassá-los, quando entraram em cena as escolas de Morgan e de Chetverikov. Já em 1914, A. Lang necessitou de 890 páginas para expor somente os resultados da genética dos mamíferos, obtidos a partir de 1900.

As plantas (mesmo as plantas superiores) possuem uma diversidade muito mais rica de sistemas genéticos do que os animais. Isso pode ser bastante perturbador para aquele que deseja estabelecer "leis" universais. Exemplos disso são os sistemas de apomixia do *Hieracium,* que chegaram a frustrar Mendel, os anéis cromossômicos heterozigotos equilibrados do *Oenothera,* que levaram de Vires a uma teoria da especiação errada, e o caráter quase homozigótico, por autofertilização, do feijão (*Phaseolus*), que induziu Johannsen a minimizar a seleção natural. [6] Os efeitos citoplásmicos são aparentemente muito mais comuns nas plantas do que nos animais, e têm monopolizado a atenção de muitos geneticistas das plantas (especialmente na Alemanha), sem contudo se obterem (no período pré-molecular) resultados de particular interesse. Por outro lado, o reino das plantas proporcionou não apenas as ervilhas, mas também espécies de cereais, particularmente o trigo, a cevada, o milho, o algodão *(Gossypinus),* o tabaco e muitas outras espécies de valor genético altamente informativo. Ninguém ainda empreendeu o trabalho de uma análise comparativa das contribuições positivas (e negativas) das várias espécies de animais e de plantas na pesquisa genética. Grande parte dos esforços, isso deve ser dito, nada mais produziu que a confirmação de algum aspecto já estabelecido pelo trabalho com as *Drosophila* ou com o milho. Antes do período molecular, quase todo o trabalho genético era realizado ou em departamentos de botânica, ou em departamentos de zoologia, e a interação entre geneticistas de plantas e de animais nem sempre foi tão efetiva como teria sido desejável. Depois dos anos 1930, as plantas inferiores (algas, fungos, leveduras) e os procariotos (bactérias, vírus) tomaram-se cada vez mais o material preferido dos geneticistas. A constatação das diferenças acentuadas entre os sistemas genéticos dos eucariotos e dos procariotos reavivou um interesse pela genética dos eucariotos, a partir dos anos 1960.

O período clássico da genética mendeliana

A história da genética divide-se em dois períodos, o primeiro, do ano 1900 até mais ou menos 1909, o segundo, a partir de 1910. O período primitivo, muitas vezes designado Mendelianismo, preocupava-se com controvérsias evolucionárias, e com dúvidas relativas à validade universal da hereditariedade mendeliana. O período era dominado por de Vries, Bateson e Johannsen, que muitas vezes foram designados "os primeiros mendelianos". O termo "mendelismo" envolve sentidos diferentes, conforme a diversidade dos pontos de vista, dependendo do aspecto que se queira enfatizar nessa doutrina. Para os membros do estado-maior da genética, ele se refere ao período em que se consolidou a hereditariedade particularizada e em que o seu caráter sólido recebeu a devida ênfase. Para os evolucionistas, ele significou um período em que os geneticistas mais eminentes promulgaram idéias completamente erradas sobre a evolução e a especiação, e durante o qual as pressões da mutação foram consideradas muito mais importantes que a seleção, idéias essas que acabaram por desprestigiar os naturalistas. Vê-se, portanto, que o mesmo termo "mendelismo" foi às

vezes empregado com uma conotação positiva, outras vezes com uma conotação desfavorável.

O segundo período, que começou em 1910 e foi dominado pela escola de Morgan, ocupou-se de modo muito mais intenso com problemas puramente genéticos, tais como a natureza do gene e o arranjo dos genes nos cromossomos. O termo "genética", proposto por Bateson em 1906, foi oportunamente adotado para designar esse conceito ampliado da ciência que trata da hereditariedade.

Foram precisos 34 anos para que a publicação de Mendel fosse redescoberta, mas a subsequente disseminação das suas descobertas ocorreu com uma velocidade sem precedentes. Tanto Correns como Tschermak tiveram conhecimento do artigo de de Vries no final de abril de 1900, e publicaram os seus próprios achados em maio e junho. Na Grã-Bretanha, William Bateson relatou os experimentos de Mendel na sessão de 8 de maio, na Royal Horticultural Society, e na França Cuénot também não demorou em fazer referência à obra de Mendel.

Como acontece com a maioria dos mais importantes movimentos científicos, os progressos posteriores ocorreram num ritmo muito diferente, nos diversos países. A Inglaterra, sem dúvida alguma, assumiu a liderança na genética mendeliana, a ser acompanhada logo em seguida, e finalmente superada, pelos Estados Unidos (Castle, [7] East, Morgan, e outros). A genética na Alemanha, continuando a tradição dos anos 1880, concentrava-se na genética do desenvolvimento e em fenômenos heterodoxos (hereditariedade citoplásmica efetiva ou aparente, genética dos protozoários, e outros). Na França, depois de um começo promissor, por obra de Cuénot, [8] nada de muito importante aconteceu até os anos 1930. Na Rússia, como observou Gaissinovitch (1971: 98), "a genética começou a desenvolver-se, como um ramo da ciência, somente no período soviético". No mundo não-ocidental, nunca apareceu uma ciência da genética. Onde a genética floresceu, e que direção assumiu o seu desenvolvimento, esteve inteiramente na dependência das personalidades que lideravam essa área. Curiosamente, entretanto, nem Correns nem de Vries desempenharam um papel maior nos avanços seguintes da genética mendeliana. O mérito mais importante nesse sentido, pelo menos nos primeiros anos, deve ser atribuído a William Bateson (1861-1926), [9] que avaliava a importância de Mendel muito acima dos assim chamados redescobridores (Darden, 1977).

Bateson estava interessado na variação descontínua (veja a Parte II), desde a sua permanência no laboratório do professor W. K. Brooks, da Johns Hopkins University (1883, 1884), e realizava experimentos de cruzamentos desde os anos 1880, mas de modo intensivo só a partir de mais ou menos 1897. Em 11 de julho de 1899, ele apresentou um artigo para a Royal Horticultural Society, intitulado "Hibridation and Cross Breedings as a Method of Scientific Investigation". Da leitura do mesmo, fica evidente que naquele momento ele ainda não havia desenvolvido uma teoria da hereditariedade, apesar de que muitos dos seus resultados possam ser hoje facilmente interpretados em termos mendelianos. A luz só se fez na sua mente quando leu o artigo original de Mendel, em 8 de maio de 1900 (no trem de Cambridge para Londres). Ele se tomou de golpe um mendeliano entusiasta, traduziu o trabalho de Mendel e publicou-o, com notas ao pé da página, no *Journal of the Royal Horticultural Society* (1900). Boa parte do entusiasmo de Bateson era devida ao fato de que ele via na segregação uma confirmação da sua tese (errônea) de 1894, de que a especiação era o resultado da variação descontínua. De Vries tinha a mesma teoria evolucionária, e também via na descontinuidade dos fatores mendelianos uma evidência importante para sua teoria de uma especiação por saltos. Assim, paradoxalmente, grande parte da publicidade e atenção alcançadas por Mendel foi por razões periféricas, quando não equivocadas. A oposição que a teoria Bateson-de Vries levantou foi tratada no Capítulo 12, e aqui só me ocuparei das contribuições de Bateson para a

genética de transmissão.

É a ele que se devem alguns dos mais importantes termos técnicos nesse campo. Ele cunhou o termo *genética* para essa nova ciência (1906), bem como (1901) os termos *alelo* (originalmente, alelomorfo), *heterozigoto* e *homozigoto*. A disponibilidade desses termos, semanticamente inequívocos, facilitou grandemente a comunicação durante esse período. Mas Bateson e os seus colaboradores também foram responsáveis por importantes contribuições factuais para a nossa compreensão da hereditariedade. Eles foram os primeiros a descobrir certos desvios dos quadros mendelianos simples (por exemplo, a poligenia e a ligação incompleta). Por intermédio de Bateson, a genética ganhou um impulso na Grã-Bretanha, inteiramente ausente em qualquer outro país da Europa.

Bateson era uma personalidade complexa, combativo, a ponto de ser rude nas suas controvérsias, mas ao mesmo tempo de uma devoção total à pesquisa. Ele era um misto peculiar de revolucionário e conservador, que encontrava grande dificuldade em aceitar idéias novas. Nos primeiros dez anos, depois de 1900, ele foi o maior mentor da genética; de fato, Castle tem muita razão ao afirmar (1951) que Bateson "foi o verdadeiro fundador da ciência da genética". Depois de 1910, todavia, sua oposição à teoria dos cromossomos (veja adiante) e sua constante defesa da especiação instantânea aparentemente não foram mais construtivas. No papel de revolucionário, emitiu a sentença imortal (1908: 22):

> Guardai bem as vossas exceções; quando não existe nenhuma, o trabalho se toma tão enfadonho que ninguém mais se anima a levá-lo em frente. Conservai-as sempre a descoberto e sob os olhos. As exceções são como os materiais de um canteiro de obras de um edifício em construção, que nos dizem que mais coisas estão por vir, e indicam onde serão as próximas etapas da construção.

Nas suas próprias pesquisas, ele se debruçava atentamente sobre as exceções, verdadeiras ou aparentes, e algumas das suas importantes descobertas foram o resultado da sua observância desse lema.

Avanços da genética mendeliana

A rapidez com que se sucederam as novas descobertas da genética, depois de 1900, é a bem dizer sem paralelo na história da ciência. Ao olharmos o manual de genética de Lock (1906: particularmente 163-275), ou o de Bateson (1909), ficamos surpresos com a maturidade que a compreensão da hereditariedade mendeliana havia alcançado em tão poucos anos. Quais teriam sido as razões de tão rápido progresso? Uma delas, evidentemente, era a beleza e a simplicidade da nova teoria, que convidava todo o mundo a empreender experimentos genéticos, para testar a sua universalidade. Sendo uma área nova em folha, cada um tinha possibilidades de fazer novas descobertas. As leis mendelianas permitiam previsões sobre modos de hereditariedade e o teste imediato dessas previsões. Uma segunda razão é um pouco mais duvidosa: as magníficas realizações da pesquisa citológica, feitas nos 35 anos anteriores a 1900, lançaram um fundamento tão sólido que teria sido possível explicar quase todas as descobertas puramente genéticas em termos citológicos e, mais especificamente, em termos cromossômicos. A citologia cromossômica lançou uma ponte para outras áreas da biologia, uma ponte que foi construída antes que pudesse ser usada. Mas,

curiosamente, mesmo depois que podia ser usada, ela foi quase completamente ignorada pelos geneticistas, como Bateson, Castle e East, antes da entrada em cena de Morgan.

O conhecimento do mecanismo da hereditariedade foi utilizado para lançar uma nova luz sobre os fenômenos de diversas áreas da biologia, como a biologia evolutiva (veja os Capítulos 12 e 13), ou a fisiologia do desenvolvimento (um assunto que pretendo tratar em um próximo volume). No exame a seguir, a ênfase se concentrará em aspectos da genética de transmissão.

Semidominância

Entre os sete pares de caracteres que Mendel havia analisado, ele reconhecera apenas duas variantes de cada par: as dominantes e as recessivas. Mas isso não era válido para todos os pares de caracteres, como o próprio Mendel havia descoberto. Ele observou que o tempo da floração, por exemplo, "é quase exatamente intermediário entre o das plantas parentais". Correns, da mesma forma, descobriu (1900) que certos fatores não são plenamente dominantes, mas apenas "semidominantes", produzindo por isso um fenótipo F_1 de alguma forma intermediário entre o dos dois genitores. Dois anos mais tarde, Bateson descobriu tal semidominância ao cruzar galinhas brancas com galinhas pretas. A geração F_1 foi a galinha andaluza azul.

Tais resultados não apenas confirmaram a semidominância, mas também estabeleceram o fato de que as leis mendelianas são tão verdadeiras para os animais como o são para as plantas. Quase naquele mesmo tempo, Cuénot demonstrou isso com base no seu trabalho com os genes da cor do pêlo do rato caseiro. Considerando-se o fato de que as células e os núcleos das plantas e dos animais revelam fenômenos inteiramente equivalentes, tal descoberta talvez não fosse totalmente inesperada. De qualquer maneira, a descoberta de que as leis mendelianas da hereditariedade eram válidas para ambos os reinos contribuiu, por seu lado, para derrubar as velhas barreiras entre a zoologia e a botânica.

O gene, a unidade da hereditariedade

Antes de 1909, não havia um termo aceito do modo geral para designar o fator genético que subsistia num determinado caráter visível. Spencer, Haeckel, Darwin, de Vries, Weismann, e outros, que especularam sobre a hereditariedade, haviam postulado a existência de certos corpúsculos com qualidades várias, mas os nomes que lhes deram não tiveram grande aceitação (veja o Capítulo 16).

Mendel reduziu ao mínimo a sua especulação sobre a natureza do material genético, uma decisão sábia de sua parte, considerando a rudimentar compreensão do núcleo e dos cromossomos, em 1865. Nos seus experimentos, ele se refere a traços (Merkmale) e a caracteres (*Charaktere*), restringindo-se essencialmente ao nível do fenótipo, mesmo que os símbolos *A, aA* e *a,* por ele usados, sejam em geral interpretados como referentes à constituição do genótipo. Nas suas considerações finais, ele utilizou por dez vezes o termo "elementos" (1866: 42), muitas vezes num sentido muito próximo daquilo que hoje diríamos "gene", mas o seu conceito sobre o material genético não era muito claro. Independentemente do que Mendel de fato tinha em sua mente, aquilo que ele descreveu significava para os primitivos mendelianos o que hoje chamaríamos hereditariedade mendeliana.

Os termos "fenótipo" e "genótipo" ainda não tinham sido fixados em 1900, conquanto Weismann

tivesse implicitamente feito a distinção entre plasma germinal e soma. Para de Vries, não havia uma real diferença entre o material genético e o corpo (fenótipo), pois os seus pangenes passavam livremente do núcleo para o citoplasma. Para ele, um pangene correspondia a um caráter elementar ou unitário. Ele postulava a existência de uma base hereditária em separado para cada caráter herdado de modo independente. Às vezes, de Vries se referia também aos elementos genéticos como "fatores", e Bateson, como também a escola de Morgan, no começo adotou essa terminologia.

Da mesma forma como de Vries, Bateson também deixou de fazer uma clara distinção entre o fator genético subjacente e o resultante caráter fenotípico. Ele faz referência a "caracteres unitários" que "são alternativos entre si na constituição dos gametas" (1902). No intuito de poder referir-se a tais condições alternadas, como liso ou anguloso nas ervilhas, Bateson introduziu o termo *alelomorfo,* mais tarde abreviado para *alelo.* Porém, mais uma vez, deixou de fazer a distinção entre o caráter somático e o seu determinante (gene), no gameta. Por razões diversas, antes de mais ou menos 1910, era quase universal a admissão tácita de que existia uma relação de 1/1 entre o fator genético (gene) e o caráter. Daí que, quando se falava de um caráter unitário, realmente não importava se isso queria dizer a base genética subjacente ou a sua expressão fenotípica. Em parte, foi essa admissão automática que levou Castle a propor a sua teoria da contaminação.

Com os progressos rápidos das atividades na genética, depois de 1900, apresentou-se a necessidade de um termo técnico para designar a base material de um caráter herdado de maneira independente. O geneticista dinamarquês, W. L. Johannsen (1857-1927), dando-se conta da semelhança funcional dos fatores mendelianos com os pangenes, postulados por de Vries, propôs em 1909 adotar-se a versão abreviada de pangene – *gene* – para designar a base material de um caráter hereditário. Johannsen era um fisicalista, e a última coisa que teria desejado era dar uma definição do termo "gene" que tivesse tinturas de uma linguagem pré-formacionista. Ele censurava aqueles que tinham

> uma concepção do gene como uma estrutura material e morfologicamente caracterizada, o que é muito perigoso para o avanço seguro da genética; concepção contra a qual devemos nos precaver com a maior urgência (1909: 375).

Consequentemente, em vez de fornecer uma definição do gene, ele apenas disse que

> o gene, assim, deve ser usado como uma espécie de unidade de contas ou de cálculo *[Rechnungseinheit]*. De forma alguma temos o direito de definir o gene como uma estrutura morfológica, no sentido das gêmulas de Darwin, ou dos bióforos [de Weismann], ou determinantes, ou outros conceitos morfológicos especulativos do tipo. Também não temos o direito de admitir que cada gene especial corresponda a um caráter unitário e particular do fenótipo, ou (como os morfologistas amam dizer) a um "traço" do organismo desenvolvido (1909).

Uma tal definição refletia um conflito que permeava toda a biologia daquele período. Os fisicalistas – e Johannsen, devido à sua formação, era fortemente influenciado por eles – desejavam interpretar tudo em termos de forças. Os embriologistas, procedentes de uma tradição epigenética, da mesma forma, tinham muitas dificuldades em admitir um gene corpuscular, porque lhes lembrava a

pré-formação. A relutância primitiva de Morgan em reconhecer os genes, ou pelo menos genes corpusculares, era devida a tais reservas. Finalmente, havia também alguma influência do essencialismo, que se opunha a qualquer divisão da essência das espécies. Em 1917, Goldschmidt fustigou a precaução extrema dos geneticistas em relação ao gene:

> Estamos persuadidos de que essa atitude intelectual em relação ao problema seja o resultado da doutrina agnóstica de Johannsen com respeito à natureza do gene, o que culminou numa espécie de reverência mística, aborrecendo a idéia de atributos concretos para o gene.

A seu tempo, evidentemente, ficou provado que o gene possui exatamente aquelas características (estruturais) que Johannsen havia tão cuidadosamente excluído da sua definição. Com efeito, a partir de Morgan, passando por Muller até Watson e Crick, houve uma abordagem cada vez mais próxima de um conceito estrutural do gene. O termo "gene", de Johannsen, foi logo universalmente aceito, porque preenchia uma grande necessidade de um termo técnico para designar a unidade da hereditariedade. Contudo, a ausência de uma definição foi em parte responsável por algumas das controvérsias dos anos seguintes. Outra fonte de confusão nascia do fato de que, até bem pouco tempo, os autores têm sido incoerentes em relação ao que entendiam por gene. Por exemplo, ao se referirem ao gene para olho-branco da *Drosophila,* alguns autores entendiam por isso o alelo olho-branco, enquanto outros entendiam o *locus* em que ocorreu a mutação olho-branco, que é também o *locus* de todos os alelos olho-branco.

O caminho da cunhagem do termo "gene", para a unidade invisível e submicroscópica da hereditariedade, até a plena compreensão da sua natureza, foi um caminho longo e tortuoso. Numerosos geneticistas, e H. J. Muller acima de todos, dedicaram virtualmente toda a sua carreira científica na pesquisa desse assunto. Ao final, como haveremos de ver, descobriu-se (pelos anos 1950) que a parte da macromolécula que funciona como o gene tem efetivamente a complexidade estrutural e a especificidade que Johannsen tanto havia rejeitado. Como ter acesso ao mistério do gene foi, no começo, um problema muito complexo, Morgan e companheiros, numa opção muito acertada, decidiram estudar os genes que se alteram, isto é, as "mutações, intuindo que isso poderia ser uma promissora cunha de acesso.

A origem de variações novas (a mutação)

Com a descoberta da lei mendeliana da segregação, o problema da origem da variação genética tomou-se um problema agudo. A existência dos alelos exigia uma explicação. Darwin havia postulado uma contínua reposição da variação, garantindo abundante suprimento disponível, sobre o qual a seleção natural pudesse atuar. Entretanto, ele foi incapaz de encontrar unia explicação para a sua origem. Era chegado o tempo de resolver o enigma de Darwin; mas no começo, foi bem pouco o progresso realizado pelos mendelianos nesse sentido. De fato, eles tiveram que superar obstáculos formidáveis.

A dificuldade mais importante era que a maioria dos estudiosos da variação ainda distinguia dois tipos da mesma. Darwin, por exemplo, reconhecia "muitas diferenças ligeiras, que podem ser chamadas diferenças individuais" (*Origin:* 45), mais tarde chamadas variação individual, variação contínua, ou variação flutuante. A crença na importância dessa variação constituía uma das pilastras

da sua teoria da evolução. Mas de qualquer maneira, Darwin também admitia que "algumas variações … provavelmente surgiram de repente, ou num único passo" (p. 30), e mencionou os exemplos de *sports,* como o cão *turnspit* e o carneiro *ancon.* Bateson chamou a isso variação descontínua. A crença nos dois tipos de variação tinha uma longa história, intimamente relacionada com o conceito platônico de *eidos* (essência). Uma essência está sujeita a variações acidentais de menor alcance, enquanto todo desvio maior só é possível mediante a origem súbita de uma nova essência, isto é, de um novo tipo. Pensava-se que os dois tipos de variação tivessem causas completamente diferentes, e que desempenhavam um papel muito diverso na evolução. Isso constituía o maior ponto de discórdia, particularmente na luta entre biômetras e mendelianos (veja o Capítulo 12),. mas, na realidade, desde o tempo de Lamarck até a síntese evolucionista dos anos 1940. O ensaio de de Vries sobre a variação (1909) ilustra bem a enormidade da confusão (veja também Mayr e Provine, 1980).

A variação individual ou contínua

Se aceitarmos a existência da hereditariedade tênue, então não há dificuldade em explicar a variação individual. Qualquer mudança nas condições internas ou influências ambientais (como nutrição ou clima) podia afetar qualquer caráter de um indivíduo, e assim modificá-lo. Darwin explicou isso da seguinte forma:

> Nos casos em que a organização [do corpo] foi modificada pela alteração das condições, pelo continuado uso ou desuso das partes, ou por outra causa qualquer, as gêmulas procedentes dessas unidades modificadas do corpo também estarão modificadas e, quando suficientemente multiplicadas, desenvolver-se-ão em estruturas novas e diferentes (1866, II: 397).

Outros adeptos da hereditariedade tênue admitiam explicações semelhantes. Caracteres antigos podiam derivar para caracteres novos, mesmo mediante diferenças pequenas, manifestando-se assim como variação contínua. Se, por algum processo desconhecido, aparecesse uma nova variação genética, ela também estaria sujeita aos processos da hereditariedade tênue, realizando uma variação preexistente em potencial. A essência, assim se admitia, tinha a capacidade de fazer desabrochar a variação individual contínua. Não havia maiores problemas de explicação. A idéia de que o ambiente podia afetar a variabilidade genética era vastamente aceita pelos criadores de animais e plantas (Prichard, 1813; Roberts, 1929).

A situação se alterou profundamente em 1883, quando Weismann rejeitou a hereditariedade tênue. Se "as condições da vida" não podiam produzir variações novas, nem mesmo aumentar a variabilidade, o que então podia ser a causa da variação individual? Nem Weismann nem de Vries tinham uma teoria sólida sobre isso, e os primitivos mendelianos estavam tão concentrados sobre a variação descontínua que deram pouca ou nenhuma atenção ao problema da variação individual. Como conciliar os fatores mendelianos descontínuos com a variação contínua era assunto que os deixava muito desassossegados.

Não foi simplesmente a ausência do tipo correto de informações que retardou a solução desse problema, mas também a tácita aceitação de bom número de conceitos errados. Neles se incluíam, além da idéia dos dois tipos de variação, a crença numa hereditariedade tênue (a despeito de

Weismann), a admissão de uma hereditariedade de mistura, o pensamento tipológico, e uma confusão do fenótipo com o genótipo. Um ataque direto do problema da genética da variação contínua e da origem dos seus novos componentes não era possível, em face dessas dificuldades e equívocos. A solução de fato veio pela porta dos fundos, via um estudo da variação descontínua (embora se pensasse que nada tivesse a ver com a variação contínua).

A variação descontínua

Que um indivíduo pudesse ocasionalmente afastar-se da norma de variação da população a que pertencia, era fato já conhecido dos antigos. Foi observado entre os animais selvagens, entre os animais domésticos e plantas cultivadas, e mesmo no homem. Qualquer variante que caísse fora da variação normal de um população era um caso de variação descontínua. Albinos, indivíduos com seis dedos, ou mesmo qualquer tipo de excentricidade, eram descritos com fascínio na literatura popular. No século XV e no começo do XVI, quando se atribuía à natureza uma enorme capacidade de "geração", isto é, de dar origem a coisas novas, os monstros eram descritos com detalhes meticulosos, sendo a maioria deles animais reais, portadores de defeitos de nascença (como bezerros de duas cabeças), outros sendo criaturas puramente mitológicas, como as quimeras que ostentavam uma combinação de partes do corpo humanas e animais. [10]

Em 1590, o boticário Sprenger de Heidelberg descobriu no seu jardim de ervas uma celidônia *(Chelidonium majus*) com folhas de formato completamente diferente. Conseguiu propagar essa planta, e fez grande distribuição das suas sementes. Em pouco tempo, espécimes da mesma podiam ser encontrados em todos os herbários mais importantes da Europa, e as suas descrições constavam na maioria dos livros sobre plantas, publicados no século XVII. A nova variante era geralmente tratada como uma nova espécie de *Chelidonium.* Trezentos anos mais tarde, uma planta também aberrante (no gênero *Oenothera)* inspirou de Vries a propor uma nova e importante teoria da evolução.

Variações aberrantes notáveis eram encontradas regularmente nas plantas cultivadas; na realidade, elas deram origem a muitas das mais conhecidas variedades da horticultura (particularmente em relação à cor e à forma das flores). Descobriam-se também tais variações entre os animais domésticos, como indivíduos de gado sem chifres, ou carneiros caracterizados por pernas muito curtas, uma raça (*ancon*) que se tomou bastante popular num período, porque essas ovelhas eram incapazes de saltar fossos ou muros. Em todos esses casos, os criadores conseguiram desenvolver linhagens puras, mediante retrocruzamentos com os genitores e subsequentes cruzamentos consanguíneos, documentando aquilo que hoje chamaríamos hereditariedade estritamente mendeliana. Não havia a "mescla", não havia o retorno gradativo ao tipo parental, em contraste com as descobertas de Kölreuter, com as suas espécies híbridas. Curiosamente, esse fato foi completamente ignorado por Jenkin e Darwin, na sua famosa controvérsia sobre a hereditariedade de mistura (veja o Capítulo 11).

Mas, de longe, o mais famoso caso de uma variação aberrante foi o da assim chamada *Peloria.* Em 1741, um estudante de Uppsala trouxe a Lineu o espécime de uma planta que à primeira vista se parecia com uma linária comum (*Linaria*), pois era idêntica a ela na sua forma de crescimento, no seu perfume peculiar, cor característica da flor, cálice, fruto e pólen.

Todavia, enquanto a *Linaria* comum possuía uma flor tipicamente assimétrica de uma boca-de-

leão, a *Peloria* tinha uma flor simétrica e radial, com cinco pontas. Lineu chegou à conclusão de que "essa planta nova se propaga por suas sementes próprias, e por isso é uma nova espécie, que não existia no começo do mundo". Mais do que isso, segundo o método de Lineu, à *Peloria* não era meramente uma nova espécie ou um novo gênero, mas representava uma classe de flores inteiramente diferente. Isso não apenas estava em conflito com o conceito de Lineu da constância das espécies, mas parecia refutar, inclusive, os seus axiomas sobre a classificação (Larson, 1971: 99-104). Primeiramente, Lineu pensava que aí estivesse envolvida a hibridação, mas tal idéia teve que ser logo descartada. Finalmente, a *Peloria* revelou-se como não sendo tão constante como parecia de início, e então Lineu decidiu, por fim, esquecer essa "espécie" aborrecida, deixando mesmo de mencioná-la no seu *Species Plantarum* (1755).

Com uma frequência cada vez maior se encontravam indivíduos aberrantes, ou novas variedade, nos cem anos posteriores a Lineu, mas não proporcionavam nenhuma idéia nova. Todavia, era perceptível uma mudança sutil de ênfase, durante esse período. Para Lineu e seus contemporâneos, essas variantes eram discutidas estritamente em relação ao conceito da espécie. Mas com a emergência gradual do pensamento evolucionista, as variedades e o modo da sua origem passaram a ter um outro sentido. O interesse de Unger por esse problema, como vimos, foi o estímulo para os experimentos de Mendel. Depois da publicação do *Origin,* passaram a ser consideradas cada vez mais em relação com a evolução.

O aparecimento súbito de uma espécie aparentemente nova era só motivo de perturbação para os fundamentalistas, que acreditavam em apenas um único episódio de criação. Em contraste, era uma observação confortante para aqueles que estavam certos da contínua extinção ao longo do tempo geológico, e que deviam postular novas criações para preencher os vazios. No período pós-darwiniano, o fenômeno era mais atraente, inclusive, para aqueles evolucionistas que eram basicamente essencialistas e podiam dessa forma encarar a especiação apenas como um processo de origens súbitas (veja o Capítulo 12).

A forte ênfase de Darwin na natureza gradual da evolução – isto é, a importância evolucionária da variação contínua – não convenceu a todos os seus contemporâneos. Huxley, Kölliker, Galton e outros eram mais favoráveis à origem por saltos das novas espécies e tipos, vale dizer, por variação descontínua. Mas ninguém mais que Bateson (1891) estava profundamente convencido da importância da variação descontínua, chegando a acumular grande quantidade de material para provar o seu ponto de vista (veja o Capítulo 12).

De Vries e a mutação

Foi só depois da redescoberta das regras de Mendel que essas idéias da variação descontínua amadureceram em uma importante teoria da evolução, a *Die Mutations-theorie* (1901; 1903; para o papel desempenhado pela sua teoria da biologia evolucionista, ver Capítulo 12). Ao desenvolver a sua nova teoria sobre a hereditariedade, de Vries não apenas cruzou variedades de plantas cultivadas, mas estudou também a variação nas populações naturais. Em 1886, numa grande população de primaveras vespertinas, *Oenothera lamarckiana*, que cresciam num campo de batatas abandonado, na Holanda, ele encontrou duas plantas que considerou suficientemente diferentes de todos os outros indivíduos para serem tratadas como espécies surgidas recentemente. Quando autofertilizadas, nos viveiros experimentais de de Vries, elas permaneciam absolutamente constantes.

Mais novos tipos surgiram dos indivíduos da *Oenothera lamarckiana* que de Vries havia transplantado do velho campo para os seus jardins. A seu tempo, acrescentando-se a muitas variantes menores, surgiram mais de vinte indivíduos, que de Vries considerou espécies novas, e que efetivamente permaneciam constantes ao se autofertilizarem.

De Vries introduziu a palavra *mutação* para designar o processo pelo qual essas novas "espécies" se originaram. Pode ser útil dizer umas poucas palavras sobre esse termo, considerando a sua grande importância na teoria da hereditariedade. O termo foi usado para qualquer mudança drástica da forma, pelo menos desde a metade do século XVII (Mayr, 1963: 168). Desde o começo, ele era empregado tanto para a variação descontínua como para as alterações nos fósseis. Em 1867, a palavra foi formalmente introduzida na paleontologia, por Waagen, para designar a menor mudança discernível em uma série filética. De Vries tinha pleno conhecimento desse emprego, porque se refere especificamente (1901: 37) a Waagen. Semelhantemente a tantas outras palavras da nossa linguagem (como "adaptação"), o termo "mutação" foi usado tanto para o progresso como para o produto do processo. Mas havia também outra ambiguidade. As vezes, a palavra era usada para descrever uma mudança no genótipo, e outras vezes no fenótipo. Para piorar ainda mais as coisas, a mutação para de Vries era um fenômeno evolutivo, enquanto na história seguinte da genética ele se tomou cada vez mais um fenômeno exclusivamente genético. Essa vasta confusão relativa ao conceito de mutação deve ser bem entendida, antes de podermos apreciar as razões da ampla controvérsia sobre o papel evolutivo das mutações.

Embora de Vries tenha introduzido a palavra "mutação" para a produção subitânea de novas espécies, ele evidentemente nada conhecia sobre a natureza física dessas mudanças, e na prática, de fato, ele usou o termo como designativo de uma mudança repentina no fenótipo. Isso foi claramente firmado pelos estudiosos posteriores da *Oenothera,* que conseguiram demonstrar que quase todas as assim chamadas mutações de de Vries eram manifestações de rearranjos cromossômicos (inclusive poliploidicidade), sendo muito poucos deles mutações do gene, no sentido que se entende hoje (veja adiante).

Foram necessárias décadas de pesquisas genética, antes que o termo "mutação" pudesse livrar-se do embaraço que pesava sobre ele, imposto pela sua ambiguidade original e pela asserção de de Vries de que a mutação era um processo que produzia espécies novas. De Vries restringiu claramente o termo às unidades da variação descontínua:

> As mutações … formam uma divisão especial na ciência da variabilidade. Elas ocorrem sem transição, e são raras, enquanto as variações ordinárias são contínuas e sempre presentes … O contraste entre essas duas divisões maiores – a variabilidade no seu sentido menor e a mutabilidade – fica de relance evidente, quando se admite que os atributos dos organismos são compostos de unidades definidas, nitidamente distintas umas das outras. A ocorrência de uma unidade nova significa uma mutação; a nova unidade, de qualquer maneira, é variável na sua expressão, em função das mesmas leis que governam os elementos preexistentes da espécies (1901: IV-V).

Embora de Vries estivesse equivocado na interpretação evolutiva, por ele dada às mutações, ele conserva o mérito de haver enfatizado, mais do que qualquer outro antes dele, as verdadeiras origens dos caracteres genéticos. Mendel, bem como outros estudiosos da hereditariedade, sempre tratou da

transmissão de fatores e caracteres já existentes. De Vries forçou a atenção para o problema da origem das novidades genéticas. Independentemente do quanto o significado da palavra "mutação" tenha mudado desde 1901, a mutação, a partir daquela data, permaneceu como um problema importante da genética.

De Vries descreve com quanto empenho tem procurado pela planta ideal, que demonstrasse claramente a especiação instantânea por mutação. Ele estudou mais de cem espécies, mas teve que descartar quase todas, menos uma, porque a variação das mesmas não correspondia às suas expectativas. Ele acentuou o quanto a *Oenothera* era excepcional, e no entanto, ao que parece, ele jamais se deu conta de como era perigoso basear uma teoria fundamentalmente nova em fenômenos observados em uma única espécie excepcional.

A *Oenothera,* como foi estabelecido pelas brilhantes pesquisas de Renner, Cleland, S. Emerson, e outros geneticistas (Cleland, 1972), possui um sistema extraordinário de translocação cromossômica, heterozigoticamente sempre equilibrado (devido à letalidade dos homozigotos). Aquilo que de Vries havia descrito como mutações era de fato o produto da segregação desses anéis cromossômicos. Nada de semelhante se encontra em outras espécies de plantas ou animais (afora alguns poucos e raros sistemas de igual equilíbrio). As mutações de de Vries não eram nem a fonte da variação normal, nem o normal processo da formação das espécies. Contudo, o seu termo "mutação" foi mantido na genética, porque foi resgatado por T. H. Morgan, muito embora o tenha transferido para um fenômeno genético muito diferente.

A emergência da genética moderna

O ano 1910 é quase tão famoso na história da genética como o ano 1900; foi o ano da primeira publicação do *Drosophila* de Morgan. A década após a redescoberta de Mendel havia sido dominada por Bateson. Ele e seus colaboradores não apenas confirmaram amplamente as leis de Mendel, mas também descobriram e explicaram grande número de aparentes exceções, tendo Bateson também oferecido importantes contribuições para a linguagem nesse campo. Foi também a década em que ficaram estabelecidas a continuidade e a individualidade dos cromossomos, por obra de Boveri, para satisfação da maioria.

Uma das pessoas que absolutamente não estava convencida da teoria dos cromossomos de Sutton-Boveri (veja adiante) foi o embriologista T. H. Morgan, colega de E. B. Wilson na Columbia University de Nova York. [11] Embora Wilson e Morgan tivessem a maior consideração pessoal um pelo outro, e mantivessem um relacionamento estreito e amigo, naquele tempo eles estavam em completo desacordo quanto à interpretação da relação entre os cromossomos e a hereditariedade. Em 1908, Morgan começou a conduzir experimentos genéticos, primeiro com ratos e camundongos. Mas talvez a sua decisão mais auspiciosa tenha sido abandonar o trabalho com organismos de mamíferos, que têm gerações longas, manutenção custosa e susceptibilidade às doenças. Dois outros geneticistas americanos, W. E. Castle e Frank Lutz, trabalhavam há diversos anos com a mosca das frutas *Drosophila melanogaster,* que produz uma geração nova a cada duas ou três semanas, pode ser mantida em garrafas de leite descartadas, e é virtualmente imune a doenças. [12] Outro importante atributo da *D. melanogaster* é que ela possui apenas quatro pares de cromossomos, contra os mais ou menos 24 da maioria dos mamíferos. Isso fez com que a *Drosophila* fosse especialmente adequada

para os estudos de intercruzamento, que foram necessários para a consubstanciação final da teoria dos cromossomos.

Os cromossomos e a hereditariedade mendeliana

Depois da metade dos anos 1890, instaurou-se uma reação contra a orgia especulativa dos tempos de Weismann. Nesse novo clima de maior sobriedade, os primeiros comentários das leis mendelianas, feitos por de Vries, Correns e Bateson, eram basicamente descritivos, acentuando as proporções e os fatos da segregação. Mas, quase de repente, uns poucos estudiosos da hereditariedade, particularmente os que vinham de uma formação em citologia, deram-se conta de que era preciso procurar uma explicação para os fenômenos mendelianos, ou, para sermos mais específicos, era preciso encontrar uma base física para a segregação mendeliana. Para esses estudiosos, era evidente que devia existir uma conexão entre os cromossomos e a hereditariedade, conexão essa de forma alguma admitida por todos. [13] Para entendermos essa oposição, é necessário relevar uma vez mais que a nova ciência da genética nasceu no seio da biologia do desenvolvimento. O aparato original dos conceitos de Weismann, Bateson e Morgan era o da embriologia. Embora a batalha entre a pré-formação e a epigênese estivesse aparentemente terminada há cem anos, com o triunfo decisivo da epigênese, os embriologistas continuavam supersensíveis e desconfiados ao menor sinal de um pensamento pré-formacionista. Basta ler algumas das primeiras discussões de Morgan (1903) sobre o mendelismo, ou as discussões de Johannsen sobre o gene, para termos uma idéia do seu dissabor em face de uma teoria corpuscular, e por isso, no seu conceito, pré-formacionista da hereditariedade mendeliana.

Os autores que baseavam suas teorias da hereditariedade em forças físicas – Bateson, por exemplo, na sua teoria dos vórtices dinâmicos (Coleman, 1970) – encaravam o genótipo como uma unidade holística e epigênica, o que parecia como totalmente irreconciliável com uma teoria corpuscular. Teorias "dinâmicas" desse tipo ainda eram sustentadas por certos geneticistas, muito tempo depois do estabelecimento da genética mendeliana. R. Goldschmidt, por exemplo, ainda nos anos 1950, acreditava em "campos" de forças genéticas e na possibilidade de mutações sistêmicas de todo o genótipo, outro conceito perfeitamente holístico. As objeções de Johannsen para definir o gene "como uma estrutura morfológica" parecem ter o mesmo fundamento.

Seus adversários optaram por uma teoria morfológico-corpuscular da hereditariedade, mas estavam completamente inseguros quanto ao modo como o material genético estava organizado nos cromossomos. Grande parte dos conhecimentos factuais, em que podia basear-se uma teoria cromossômica da hereditariedade, já estava disponível em meados dos anos 1890, mas isso não levou à elaboração de uma teoria viável. As razões desse fracasso são múltiplas: (1) a aversão a uma teoria que pudesse ser taxada de pré-formacionista; (2) a falta de uma análise dos fenômenos da hereditariedade em termos de fatores individuais; (3) uma peculiar ênfase, no período de 1885 a 1900, nos aspectos puramente mecânicos da divisão celular; e (4) um interesse predominante (especialmente por parte de Boveri) pelos fenômenos exclusivos do desenvolvimento. A genética de transmissão trata de fenômenos populacionais, totalmente inacessíveis aos métodos da análise funcional, tal como praticada na citologia.

Os desdobramentos posteriores ao ano 1900 foram influenciados por uma feliz coincidência. O jovem embriologista americano, E. B. Wilson, durante diversos estágios na Europa, desenvolveu um

entusiástico interesse pela biologia da célula, particularmente sob a influência do seu amigo Boveri. Embora àquela época ele apenas tivesse realizado pesquisas especializadas e originais em citologia (linhagens de células), chegou de fato a compor uma síntese brilhante dos conhecimentos correntes sobre a célula, e particularmente dos cromossomos (1896; segunda edição em 1900), obra que acima de tudo foi de um valor instrumental na síntese subsequente da citologia e mendelismo. Ele é responsável pelo grande avanço dos conhecimentos sobre os cromossomos, numa série de oito estudos clássicos (1905-1912); foi o mestre e mentor de toda a equipe de T. H. Morgan e, como colega e amigo, teve grande influência sobre o próprio Morgan. É perfeitamente justo considerar Wilson um dos pais da nova ciência da genética. [14]

Conquanto muitos autores, nos anos 1890, tivessem expressado sua convicção de que a cromatina ou a nucleína dos cromossomos eram o verdadeiro material genético, tal opinião por si só não era suficiente para uma teoria substancial da hereditariedade. Assim, coube à década após 1900 estabelecer, ponto por ponto, a relação entre o mendelismo e a citologia. As especulações e as suposições deviam ser substituídas por evidências sólidas e por provas incontestáveis.

Descrever os passos pelos quais as provas foram reunidas é bastante difícil, porque a história da teoria dos cromossomos se intercala com a história da teoria dos genes. Somente fazendo alguns cortes arbitrários, ao longo de uma continuidade, será possível apresentar as duas histórias em separado. Contudo, o trato em separado dos dois temas recomenda-se não só por razões didáticas, mas também por razões da história das idéias: teria sido difícil, para não dizer impossível, desenvolver uma teoria válida dos genes, se não tivesse existido primeiro a teoria dos cromossomos. [15]

A redescoberta das leis de Mendel, em 1900, acarretou uma mudança drástica da situação. A atividade quase febril desencadeada pela redescoberta não apenas revelou muitos fatos novos, mas também as descobertas citológicas, feitas nos anos 1880 e 1890, subitamente adquiriram um novo sentido. O pensamento de que as leis mendelianas eram a consequência lógica da organização cromossômica do material genético ocorreu mais ou menos independentemente a Montgomery (1901), a Correns (1902), a Sutton (1902), a Wilson (1902) e a Boveri (1902; 1904). Sutton e Boveri, em particular, apresentaram uma exposição detalhada das suas conclusões. A combinação consciente da evidência citológica com os temas genéticos, feita por esses autores, resultou no desenvolvimento de uma nova disciplina biológica, a citogenética, de que Wilson e seus discípulos se tomaram os líderes. É importante lembrar que Sturtevant, Bridges e Muller foram alunos de Wilson, antes de se juntarem à equipe de pesquisa de Morgan.

A teoria cromossômica de Sutton-Boveri

No seio dos avanços citológicos, realizados antes e depois de 1900, nada foi mais importante, para a história da genética, que a demonstração da individualidade e da continuidade dos cromossomos. Os cromossomos não são visíveis no intervalo das divisões celulares; o núcleo em repouso revela apenas grânulos ligeiramente coloridos, ou uma retícula de filamentos finos. A tese de que os cromossomos se dissolvem completamente ao final da mitose e que se formam de novo no início de um novo ciclo mitótico parecia ter suporte nas observações microscópicas. Isso explica por que citologistas tão experimentados como Oskar Hertwig e R. Fick (1905; 1907) ainda mantinham essa tese em pleno período mendeliano. Na realidade, a tese de que cada cromossomo mantinha a sua

individualidade e integridade durante o estágio de repouso do núcleo baseava-se em uma inferência; ele não podia ser observado diretamente. Rabl (1885) foi o primeiro autor a formular claramente a hipótese da individualidade e continuidade de cada cromossomo. Ele postulou que os filamentos de cromatina em que um dado cromossomo se converte, quando o núcleo entra em repouso, de novo se consolidam no mesmo cromossomo, quando começa o próximo ciclo mitótico. Isso era estritamente uma inferência, a partir de dados muito escassos, que se baseavam principalmente nos números constantes dos cromossomos. Van Beneden (veja o Capítulo 15) e Boveri logo em seguida reivindicaram a prioridade para a mesma inferência. Não resta dúvida que, mais do que qualquer outro, Boveri forneceu as provas decisivas para a teoria da individualidade cromossômica. [16] Já em 1891, ele afirmou: "Podemos identificar cada elemento cromático [cromossômico] procedente de um núcleo em repouso com um elemento definitivo que entrou na formação desse núcleo". Dessa conclusão notável segue-se que

> em todas as células que se originam no curso regular da divisão de um óvulo fertilizado, metade dos cromossomos é de procedência estritamente paterna, e a outra metade de procedência estritamente materna. (1891:410).

A continuidade de cada cromossomo durante o estágio de repouso do núcleo e a sua individualidade parecem-nos hoje nada mais que os dois lados da mesma moeda. Mas não era bem assim nos anos 1890. Weismann e outros sugeriam que todo cromossomo continha todas as propriedades hereditárias de uma espécie, isto é, negavam a individualidade dos cromossomos no sentido mendeliano. Entretanto, se um cromossomo contém apenas parte da dotação genética de um indivíduo, cada cromossomo deve ser diferente dos outros, vale dizer, deve ter a sua própria individualidade. Em outras palavras, se cada cromossomo era diferente dos outros, impunha-se demonstrar tanto a sua continuidade como a sua individualidade.

A prova da continuidade foi fornecida quando Montgomery (1901) e Sutton (1902) mostraram que alguns cromossomos são individualmente reconhecíveis durante a mitose e a meiose, e que cromossomos com características iguais aparecem sempre de novo, a cada divisão celular. Mais do que isso, eles mostraram que sempre, durante a primeira prófase, dois cromossomos semelhantes se juntam (sinapse), para depois de novo se separarem, durante a divisão redutiva (veja adiante). Isso levou à conclusão de que o acervo de cromossomos de uma espécie consiste em pares de cromossomos homólogos, sendo um deles procedente do gameta feminino (a célula ovária), e outro procedente do gameta masculino (o espermatozóide), como de fato foi observado por van Beneden em 1883. Evidentemente, esses cromossomos conservam a sua identidade desde o momento da fecundação (a formação do zigoto), por inumeráveis divisões celulares, até a divisão redutiva que antecede a formação dos novos gametas. Sutton finaliza o seu artigo com esta notável conclusão:

> A associação dos cromossomos paternos e matemos em pares, e sua posterior separação, durante a divisão redutiva … pode constituir a base física da lei mendeliana da hereditariedade (1902).

Ele aprofundou essa idéia no ano seguinte (1903; veja também McKusick, 1960).

Tais observações não eliminavam inteiramente a possibilidade de que cromossomos

morfologicamente dissemelhantes pudessem não obstante possuir propriedades genéticas semelhantes. Essa possibilidade foi excluída por Boveri (1902; 1904), mediante um experimento engenhoso. Servindo-se de uma espécie de ouriço-do-mar com 36 cromossomos, ele conseguiu, por meio de uma manipulação adequada (fertilizações múltiplas, e assim por diante), produzir embriões com números altamente variáveis de cromossomos, nas quatro primeiras células-filhas. Contudo, de todos esses embriões, apenas aqueles que tinham 36 cromossomos nas suas células-filhas desenvolviam-se normalmente. Disso Boveri concluiu que cada cromossomo possuía uma "qualidade diferente", e que devia verificar-se a combinação correta entre eles para permitir o desenvolvimento normal.

Ficou agora claramente estabelecido que os cromossomos obedecem às mesmas regras que os caracteres genéticos, isto é, eles revelam a segregação e a associação independente. Sutton e Boveri, de modo implícito ou explícito, postularam que os genes se localizam nos cromossomos, e que cada cromossomo possui o seu conjunto particular de genes. Como Sutton (1903) e Boveri (1904) disseram, estava aí claramente uma bem acabada teoria cromossômica da hereditariedade, deduzida da evidência citológica e da associação independente dos caracteres mendelianos. Ela parecia apta a explicar todos os fatos da hereditariedade mendeliana. [17]

Mas, curiosamente, a importância e a aplicação universal da *teoria cromossômica da hereditariedade de Sutton-Boveri* (como foi chamada pelo professor de Sutton, Wilson, em 1928) não foram de forma alguma reconhecidas no princípio. Ela foi rejeitada não apenas por Bateson e Goldschmidt, mas também por outros biólogos qualificados (como E. S. Russel), ainda no ano 1930. Em parte, isso foi devido a que se chegou a ela por inferências baseadas na observação. T. H. Morgan, por sua vez, afirmou que não aceitaria conclusões que "não fossem baseadas no experimento", e expressões semelhantes foram empregadas por Johannsen. Na verdade, grande parte da teoria de Sutton-Boveri estava baseada no experimento, o que indicava que devia haver razões mais profundas para a resistência de Morgan.

A evidência da continuidade dos cromossomos, durante o estágio de repouso, estava perfeitamente consubstanciada pelo ano 1910; a evidência da sua individualidade apoiava-se principalmente no experimento de Boveri. Entretanto, não existia uma evidência suficiente para a conexão de um traço característico específico com um cromossomo definido. A determinação do sexo foi o primeiro caráter a fornecer tal evidência. Por fim, as evidências mais completas provieram dos mapas de ligações (*linkage*).

A determinação do sexo

O que determina o sexo de uma criança tem sido objeto de muita especulação, pelo menos desde os tempos dos gregos. [18] Sabe-se hoje que todas as teorias primitivas estavam erradas (detalhes podem ser encontrados em Lesky, 1950, e Stubbe, 1965). Entre as explicações aventadas, incluíam-se a posição (ou implantação) do embrião na metade esquerda ou direita do útero, o montante do esperma oriundo do testículo esquerdo ou direito, a quantidade do sêmen, ou o "calor" relativo dos fluidos do macho ou da fêmea, e assim por diante. O que todas essas teorias tinham em comum – e este ponto é decisivo – é que o sexo não é determinado geneticamente, mas sim causado meramente por fatores ambientais, coincidentes no ato da fecundação. Mesmo depois da descoberta da base genética do sexo (após 1900), a determinação ambiental ainda foi defendida por diversas décadas

por alguns embriologistas e endocrinologistas eminentes. E, como ainda veremos, existem de fato alguns organismos com determinação não-genética do sexo.

Não passou despercebido a alguns dos mendelianos mais argutos que a proporção do sexo 1/1 era igual, para usarmos a linguagem mendeliana, à proporção resultante do cruzamento de um heterozigoto (*Aa*) com um homozigoto recessivo *(aa)*. O próprio Mendel já havia sugerido essa possibilidade a Nägeli, em 17 de setembro de 1870. Outros também (Strasburger e Castle) fizeram igual sugestão nos anos posteriores a 1900, mas foi Correns que pela primeira vez ofereceu a prova experimental, mostrando que a metade do pólen da planta dióica *Bryonia* determina o macho, e a outra metade determina a fêmea, enquanto todos os óvulos são idênticos em relação à determinação do sexo. Neste caso, o macho é heterozigoto ou, usando a terminologia de Wilson (1910), heterogamético, enquanto a fêmea é homogamética. Finalmente, ficou demonstrado também que, nos pássaros e lepidópteros, as fêmeas é que são heterogaméticas, enquanto nos mamíferos (o homem inclusive) e dípteros (inclusive as *Drosophila*) o sexo do macho é heterogamético. Poderia dar-se que o sexo está ligado a um cromossomo definido? Aos poucos foram acumuladas as evidências para consubstanciar essa sugestão.

Os cromossomos do sexo

Desde o princípio dos estudos cromossômicos observou-se que nem todos os cromossomos são necessariamente idênticos na sua aparência. [19] Em 1891, Henking reparou que, durante a meiose do inseto *Pyrrhocoris,* a metade dos espermatozóides recebia 11 cromossomos, enquanto a outra metade recebia não apenas esses 11 cromossomos, mas também um corpo adicional fortemente colorido. Sem saber se tratava de um cromossomo ou não, Henking designou esse corpo como X. Também não chegou a associar esse corpo X com um dos sexos.

Durante a década seguinte, foram encontrados muitos outros casos de tais cromossomos extra, ou da presença de um par de cromossomos que diferia na cor, no tamanho, ou em outros aspectos, em relação aos demais cromossomos do conjunto. Tendo sido observado que metade dos espermatozóides recebia o cromossomo X (acessório), e a outra metade não, McClung (1901) concluiu pelo seguinte:

> Sabemos que a única qualidade que separa os membros da espécie em dois grupos é a do sexo. Por isso, cheguei à conclusão de que o cromossomo acessório é o elemento que determina que as células germinais do embrião continuem o seu desenvolvimento – da células ovária ligeiramente modificada para o espermatozóide altamente especializado

-, vale dizer, que esses cromossomos um tanto insólitos são os cromossomos sexuais, cuja função é determinar o sexo. Alguns detalhes das conclusões de McClung eram falsos. A história verdadeira da determinação do sexo por cromossomos sexuais foi esclarecida pouco tempo depois por Nettie Stevens (1905; veja Brush, 1978) e por E. B. Wilson (1905).

Existem diversas modalidades de determinação do sexo, envolvendo por vezes cromossomos sexuais múltiplos,, e sendo ou o macho ou, em outros casos, a fêmea os portadores do sexo heterozigoto. Todos esses detalhes podem ser encontrados em qualquer manual de genética ou de citologia (veja Wilson, 1925; White, 1973). O que importa é que aqui foi demonstrado que o caráter

fenotípico do sexo está associado a um cromossomo definido.

Tratava-se da primeira prova conclusiva de uma tal associação. Grande parte da pesquisa genética dos anos seguintes consistiu em associar outros caracteres, seja com os cromossomos do sexo, seja com outros cromossomos, chamados autossomos. A liderança nessa pesquisa, que consolidou a teoria cromossômica da hereditariedade, foi assumida por T. H. Morgan. As pesquisas do seu laboratório proporcionaram a refutação definitiva da teoria da equivalência genética de todos os cromossomos. Essa teoria havia permanecido em voga até depois de 1900, a despeito da descoberta de espécies em que os cromossomos são de tamanho altamente desigual. O apego dos biólogos dos anos 1880 e 1890 a essa teoria tão improvável (para nós) possivelmente era devido ao fato de que em algumas espécies todos os cromossomos pareciam efetivamente iguais.

Agora que a individualidade dos cromossomos tinha sido estabelecida de modo conclusivo, e que a associação de pelo menos um caráter, o sexo, com um cromossomo definido tinha sido descoberta, a genética estava em condições de levantar perguntas mais precisas sobre os cromossomos e os caracteres, ou, para a terminologia mais concreta de Johannsen, sobre a relação entre cromossomos e genes.[20] Um cromossomo, como um todo, controla todo um conjunto de caracteres, por assim dizer, como o centro de controle de uma área de desenvolvimento, ou os genes individuais estão localizados em lugares específicos do cromossomo? E qual é a relação mútua entre os genes diferentes, localizados no mesmo cromossomo ou em cromossomos diferentes? Essas perguntas foram respondidas num espaço de tempo bastante breve (essencialmente entre 1905 e 1915, mas principalmente entre 1910 e 1915), por meio de brilhantes experimentos genéticos, constantemente cotejados com a evidência citológica. O ponto de partida era, invariavelmente, algum fenômeno mendeliano bastante simples.

Morgan e o quarto das moscas

Em 1909, Morgan começou a criar as *Drosophila.* Ele havia ficado muito impressionado com as mutações da *Oenothera,* de de Vries, e, ao que parece, tentou produzir mutações nas *Drosophila,* mediante exposição das suas culturas a químicos diferentes, a diferentes temperaturas, à radioatividade, aos raios-X, mas nisso não teve sucesso. Em todo caso, em uma das suas famílias de cultura, apareceu um único macho de olhos brancos, em uma população normal de moscas de olhos vermelhos.

Esse acontecimento simples – a ocorrência de um único indivíduo aberrante numa cultura de laboratório – desencadeou uma verdadeira avalanche de investigações. Apresentou-se, antes de mais nada, a pergunta sobre como se teria originado esse caráter "olho branco". Acasalando o precioso macho de olhos brancos com suas irmãs de olhos vermelhos, Morgan verificou que, embora a progênie F_1 fosse de olhos vermelhos, reapareceram machos de olhos brancos na F2, mostrando que o fator genético para 0 olho branco era recessivo, e que deve ter-se originado por uma mudança súbita do gene do olho vermelho. Morgan, que alguns anos antes havia visitado 0 laboratório de de Vries, na Holanda, adotou 0 termo "mutação", do próprio de Vries, para a origem de um alelo novo. Essa transferência do termo foi bastante infeliz, em vista da teoria da mutação evolucionista de de Vries e da natureza cromossômica das mutações da *Oenothera.* Consequentemente, isso resultou numa grande confusão durante os próprios vinte ou trinta anos (Aleen, 1967; Mayr e Provine, 1980). Mas, finalmente, os geneticistas e os evolucionistas ficaram condicionados ao novo sentido do termo

"mutação", tal como lhe foi dado por Morgan.

Na história da biologia, houve poucos pesquisadores que trabalharam tão estreitamente com os seus colaboradores como Morgan. Por isso, é difícil determinar de quem exatamente é o mérito de alguns historiadores inclinarem-se a conferir quase todo o mérito aos seus alunos e colaboradores. Isso é evidentemente um exagero. É preciso lembrar que, nos dois anos que se seguiram ao seu primeiro artigo *Drosophila,* de julho de 1910, Morgan publicou treze trabalhos sobre a ocorrência e o comportamento de uns vinte mutantes relacionados com 0 sexo dessa variedade de moscas. Logo depois do macho de "olho branco", foram encontrados dois outros mutantes recessivos relacionados com o sexo – "asas rudimentares" e "cor amarela do corpo". Não há dúvida que muitos esclarecimentos sobre o mecanismo da hereditariedade mendeliana haviam sido fornecidos muito antes por Morgan, e constituíram a sua colaboração pessoal. Na expressão de Muller (1946):

> Por mais que a história do período de avanços da *Drosophila* possa ser reescrita e reavaliada no futuro, em um ponto deverá haver consenso, a saber, no fato de que as evidências de Morgan sobre o intercruzamento dos genes e suas sugestões no sentido do seu frequente reintercruzamento, após separados, representaram um impacto de trovão, que dificilmente poderá ser considerado de segundo plano em relação à descoberta de Mendel.

Desejei enfatizar aqui esta singular contribuição de Morgan em tomo do problema das ligações e da permuta dos genes, visto que nas análises a seguir a ênfase será sobre os problemas, e não sobre a contribuição específica de cada um dos ocupantes do quarto das moscas.

Morgan e seus colaboradores criaram moscas *Drosophila* no seu "quarto das moscas", na Columbia University, às dezenas e centenas de milhares. Examinando cuidadosamente essas moscas, ele e seus colaboradores descobriram a ocorrência constante de novas mutações. Logo no começo (no inverno de 1910-11), ele trouxe para junto de si dois acadêmicos da Columbia para trabalharem no seu laboratório, Alfred H. Sturtevant e Calvin B. Bridges. Em seguida, H. J. Muller também juntou-se ao grupo, tendo-se igualmente diplomado sob a égide de Morgan. O esplêndido trabalho em cooperação desse grupo (Sturtevant, 1959;. 1965a) constitui uma das sagas da biologia:

> Só em raras ocasiões e lugares, nos laboratórios científicos, pode ter havido tamanha atmosfera de excitação e de entusiasmo permanente. Isso foi devido em grande parte à atitude pessoal de Morgan, composta de entusiasmo combinado com um forte senso crítico, generosidade, mente aberta, e notável senso de humor.

Dentro de poucos anos, todos os aspectos mais importantes da genética de transmissão foram elucidados por Morgan e seu grupo. Onde Bateson, de Vries, Correns, Castle e outros mendelianos primitivos fracassaram nas respostas corretas, tendo de fato fracassado em formular as perguntas certas, Morgan e sua equipe tiveram sucesso brilhante. Uma importante razão para isso foi que Morgan, embora embriologista de formação, se concentrou deliberadamente no problema da genética de transmissão, deixando de lado os problemas da fisiologia dos genes e da ontogenética. Em vez de especular sobre as leis da hereditariedade, ele buscava os fatos e a sua explicação mais simples possível. Ele foi um empirista de ponta a ponta.

Os alelos

Mendel havia entendido plenamente que os caracteres fenotípicos vinham em grupos, especificamente (nos caracteres por ele escolhidos) aos pares. Todo o trabalho realizado depois de 1900 confirmou que a base material, responsável pelo caráter fenotípico, podia ter manifestações ou expressões fenotípicas alternativas. Traduzindo isso literalmente para o grego, essas determinantes alternativas eram "alelomorfas" (o termo é de Bateson), ou alelos. A descoberta da hereditariedade mendeliana de tais determinantes alternativos dos caracteres fenotípicos lançou uma luz inteiramente nova sobre o problema das causas da variação. Isso indicava que o liso *versus* rugoso, ou o amarelo *versus* verde, nas ervilhas, ou outros caracteres análogos aos pares, podiam ter uma base física semelhante. Os caracteres produzidos por alelos diferentes deviam ser exatamente duas versões do mesmo material básico (genotipicamente alternativo).

Em 1904, o biólogo francês L. Cuénot descobriu que, no rato caseiro, podia haver até mais de dois alelos para um conjunto de traços; por exemplo, no caso particular do rato, a cor do pêlo podia ser cinza, amarela ou preta. Bateson, Castle, Shull, Morgan e outros geneticistas descobriram a seu tempo muitos outros casos desse alelismo múltiplo. O grupo sanguíneo ABO, no homem, é um exemplo particularmente conhecido. Sturtevant (1913) deu a primeira explicação para esse fenômeno de alelismo múltiplo, atribuindo-o a estados alternativos do mesmo gene *(locus)*. Esse fato refutou decisivamente a teoria de Bateson da presença – ausência da ação do gene. Em alguns casos especiais, pode haver mais de cinquenta alelos de um único gene, como nos genes de grupos sanguíneos de vacas, ou em certos genes de compatibilidade nas plantas, e em genes de histocompatibilidade nos vertebrados. De acordo com a lei mendeliana, sempre um único alelo pode ser representado num dado gameta; mas durante a fertilização, ele pode combinar-se com qualquer um dos diversos alelos diferentes que existem no patrimônio genético da população. Na história da genética, descobriram-se mais tarde casos em que os genes se comportavam como alelos, em certos cruzamentos, mas deixando de assim proceder em outros (pseudo-alelismo). A análise de tais casos (por parte de Lewis e Green) levou a um conhecimento mais profundo da natureza do gene (veja adiante).

As pesquisas da equipe de Morgan sobre gene olho-branco da *Drosophila* estabeleceram claramente que o gene podia transmutar-se num outro alelo, e este por sua vez num terceiro, ou num quarto. Igualmente interessante foi a descoberta de que esses passos mutantes são reversíveis, e que uma mosca de olho branco podia ocasionalmente dar origem a filhotes de olhos vermelhos. Talvez a descoberta mais importante tenha sido que, uma vez que o gene deu origem a um alelo novo, este se transmite sempre sem alteração, a menos que uma nova mutação aconteça em algum dos seus descendentes. Os genes, dessa forma, são caracterizados por uma estabilidade quase completa. Por isso, a descoberta da mutação do gene não significou um retorno à hereditariedade tênue, mas, ao contrário, ela confirmou o caráter essencialmente constante do material genético. Foi por assim dizer a prova final da hereditariedade sólida, porque a capacidade de mutação permitia a mudança evolutiva, a despeito da constância intrínseca da substância genética.

A ocorrência de mutações foi bem depressa confirmada em todo tipo de outros organismos, desde o homem e outros mamíferos até os animais mais simples, em todo tipo de plantas, e mesmo nos microorganismos. Efetivamente, de 1920 a 1950, o estudo da mutação parecia ser a abordagem mais promissora para o esclarecimento da natureza do material genético. Percebeu-se que o processo

da mutação levantava problemas formidáveis. O que exatamente acontece durante a mutação do gene? E por outra, haveria alguma possibilidade de produzir mutações em condições controladas, isto é, experimentalmente? Já em 1904, de Vries sugeria

> que se usassem os raios Roentgen e Curie, capazes de penetrar no interior das células vivas, para tentar a alteração das partículas hereditárias nas células germinais (Blakeslee, 1936).

Desde 1901, foram feitas repetidamente tentativas de induzir mutações por meio de raios-X, radioatividade, choques de temperatura, ou agentes químicos. Devido a diversas deficiências técnicas (material heterogêneo, amostras pequenas, e assim por diante), nenhuma dessas numerosas tentativas colheu a princípio resultados inequívocos. Somente em 1927, depois que H. J. Muller aplicara toda a sua perseverança e engenhosidade em cima desse problema, é que o sucesso finalmente foi alcançado. [21]

Associação independente dos caracteres versus *ligações*

Uma das importantes descobertas de Mendel foi

> que o comportamento de cada par de traços diferentes numa associação híbrida é independente de todas as outras diferenças das duas plantas parentais (1866: 22).

Isso, hoje, muitas vezes vem mencionado como a lei da associação independente dos caracteres. Quando, por exemplo, Mendel cruzou uma família de ervilhas de grãos redondos e amarelos (ambos os caracteres recessivos), ele não obteve, na F_2, uma proporção de 3:1 de sementes redondas e amarelas sobre as agulosas e verdes. Em vez disso, no seu particular experimento, ele obteve 556 sementes, consistindo em 315 amarelas lisas, 101 amarelas rugosas, 108 verdes lisas, e 32 verdes rugosas, numa proporção aproximada de 9:3:3:1. Consequentemente, cada par individual de caracteres, liso *versus* rugoso e amarelo *versus* verde, produziu uma proporção de 3:1 (sendo liso e amarelo dominantes), mas os dois caracteres segregaram-se independentemente um do outro. Mendel constatou que o mesmo se aplicava também aos outros cinco pares de caracteres • por ele estudados, e, durante algum tempo, admitiu-se que todos os caracteres obedeciam a essa lei da associação independente.

Essa descoberta não teria sido surpreendente se o núcleo fosse nada mais que um receptáculo cheio de pares de gêmulas, que se separariam antes da formação do gameta, numa distribuição independente. Mas desde que o material do núcleo está organizado em cromossomos, não se poderia esperar um número maior de grupos de caracteres independentes do que o número de cromossomos, porque os cromossomos se segregam como um todo, durante a formação do gameta. O fato de que os sete caracteres de Mendel se associaram independentemente coincidia com o fato, descoberto muito mais tarde, de que a *Psium sativum* tem apenas sete pares de cromossomos (veja a seguir).

Ao se multiplicarem os cruzamentos, durante o período de atividade febril após a redescoberta das leis mendelianas, foram encontradas exceções da distribuição independente (a primeira no *Mathiola,* por Correns, em 1900, outras depois pelo grupo de Bateson), mas, por razões que hoje já são claras, não eram fáceis de interpretar. O motivo por que não ocorreu a associação independente

do sexo e da cor dos olhos, no caso das moscas de olhos brancos, foi estabelecido bastante rapidamente por Morgan, depois de uma hipótese inicial incorreta. Quando ele intercruzou as moscas da geração F_1 (veja anteriormente), apareceram na F_2 moscas de olhos vermelhos e de olhos brancos na proporção de 3:1, mas todas as moscas de olhos brancos eram machos, enquanto havia duas fêmeas por um macho entre as moscas de olhos vermelhos (veja a Figura 2a). Alguns outros cruzamentos realizados por Morgan deram em algo que se afigurava como resultados ainda mais inesperados. Por exemplo, quando foram cruzadas fêmeas de olhos brancos com machos normais de olhos vermelhos, todos os filhotes fêmeas eram de olhos vermelhos, e todos os filhotes machos de olhos brancos (veja a Figura 2b). Evidentemente, o gene do sexo e o gene da cor dos olhos não se distribuíram de modo independente.

Morgan concluiu dessas observações, em 1910, que o fator da cor dos olhos (que sofreu mutação de vermelho para branco) estava acoplado com o fator X, determinativo do sexo. [22] Um ano mais tarde (1911: 384), ele explicou especificamente essa acoplagem dos caracteres em termos cromossômicos:

> Em vez de uma segregação causai, no sentido mendeliano, encontramos uma "associação de fatores", que se situam uns ao lado dos outros nos cromossomos. A citologia proporciona o mecanismo requerido pela evidência experimental.

Algumas outras mutações, como a cor amarela do corpo e asas em miniatura, também se descobriram como sendo ligadas ao sexo, isto é, localizadas no cromossomo do sexo. Outros grupos de caracteres coligados nada tinham a ver com o sexo, e aparentemente se localizavam em outros cromossomos da *Drosophila,* designados *autossomos* (para distingui-los dos cromossomos do sexo).

De Vries, Correns, Boveri e Sutton, de fato, já haviam predito, em bases teóricas, a ocorrência de ligações. O raciocínio deles se apoiava na individualidade dos cromossomos e na sua continuidade ao longo do ciclo celular (mitótico).

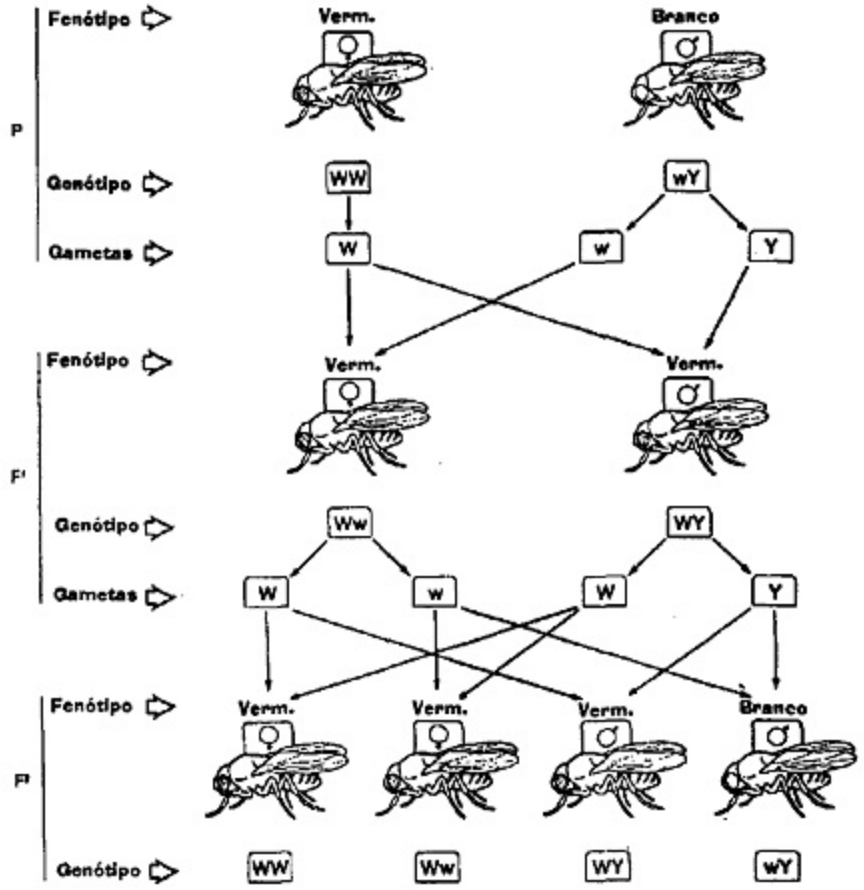

Figura 2a. Os filhos machos F_1 de mães de olhos vermelhos, possuindo o cromossomo X da mãe, têm olhos vermelhos. Cinqüenta por cento dos machos F_2, procedentes de fêmeas F_1, têm de novo olhos brancos, devido à segregação mendeliana normal.

A não-disjunção

Um trabalho realizado por um dos colaboradores de Morgan, Calvin Bridges (1914), forneceu uma prova ainda mais convincente da teoria cromossômica da hereditariedade. Como Vimos, quando uma fêmea *Drosophila* de olhos brancos (portadora do alelo branco recessivo em ambos os cromossomos X) é cruzada com um macho normal de olhos vermelhos (portador do vermelho dominante no seu único cromossomo X), o produto será um igual número de fêmeas heterozigotas de olhos vermelhos e de machos de olhos brancos, na F_1. Isso é decorrência da constituição genética de ambos os genitores. Entretanto, apareceu uma linhagem estranha de moscas no laboratório de Morgan, em que cerca de 4,3% da progênie F_1 de tal cruzamento consistia em fêmeas de olhos brancos e em machos de olhos vermelhos. Não entrarei aqui em detalhes sobre a explicação, que pode ser encontrada em qualquer manual clássico de genética. Ela estava baseada na previsão de Bridges de que as fêmeas dessa linhagem não possuíam apenas os dois cromossomos X, mas também um cromossomo Y masculino.

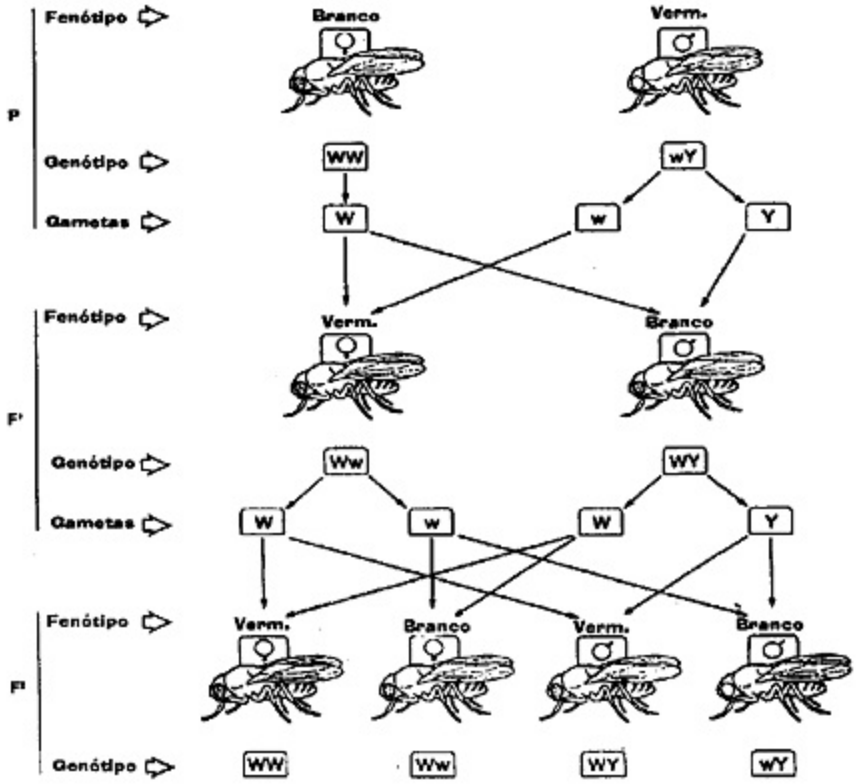

Figura 2b. No cruzamento recíproco, os machos F_1 recebem o cromossomo X da mãe. Se a mãe for homozigota recessiva olho-branco, toda a sua progênie de machos terá olhos brancos, mesmo que o pai tenha olhos vermelhos.

Presumivelmente, essa fêmea original XXY apareceu quando um óvulo anormal, com dois cromossomos XX (devido a uma falha da redução), foi fertilizado por um espermatozóide Y. Durante a formação dos gametas de um tal indivíduo com três cromossomos sexuais (dois X e um Y), ou os dois cromossomos X passam para gametas diferentes (óvulos), resultando em óvulos X e XY – o que de fato acontece em 91,8% dos gametas formados-, ou então ambos os X passam para um óvulo, e o Y para um outro – o que acontece em 8,2% dos casos. Após a fertilização com espermatozóides normais, portadores de X ou Y, os zigotos XXX e YY morrem, aparecendo, todavia, uma pequena percentagem de machos excepcionais de olhos vermelhos (XY) e de fêmeas de olhos brancos (XwXwY), conforme se pode ver na Figura 3. A previsão de Bridges foi depois confirmada pela análise citológica, que efetivamente estabeleceu a existência de fêmeas XXY e de machos XYY, nessa linhagem.

Antes disso (Wilson, 1901), como também depois, foram encontrados outros casos de não-disjunção, inclusive de indivíduos com um autossomo extra. Na espécie humana, por exemplo, a presença de três cromossomos de número 21, assim chamada trissomia do cromossomo 21, devida à não-disjunção, é a causa da Síndrome de Down (idiotia mongolóide). Indivíduos com um cromossomo extra (trissômicos), ou com um autossomo em falta (monossômicos) ocorrem em muitas espécies de plantas, e foram usados para interessantes estudos sobre os efeitos de dosagens diferentes dos mesmos genes. Na *Datura,* por exemplo, a trissomia de qualquer um dos doze pares de cromossomos não apenas não é viável, como também se caracteriza por uma morfologia específica. O mesmo se aplica à monossomia de qualquer um dos 23 cromossomos pares da *Nicotiana.*

A importância do trabalho de Bridges consistiu em ter fornecido a primeira prova direta de que os genes ligados ao sexo são transportados pelo cromossomo X. Sua conclusão foi sempre de novo confirmada nos anos seguintes. Por isso, ficou cada vez mais irracional a oposição à teoria dos

cromossomos, mesmo que alguns autores, como Bateson e Goldschmidt, não estivessem convencidos, e mesmo que o próprio Morgan conservasse uma certa ambivalência.

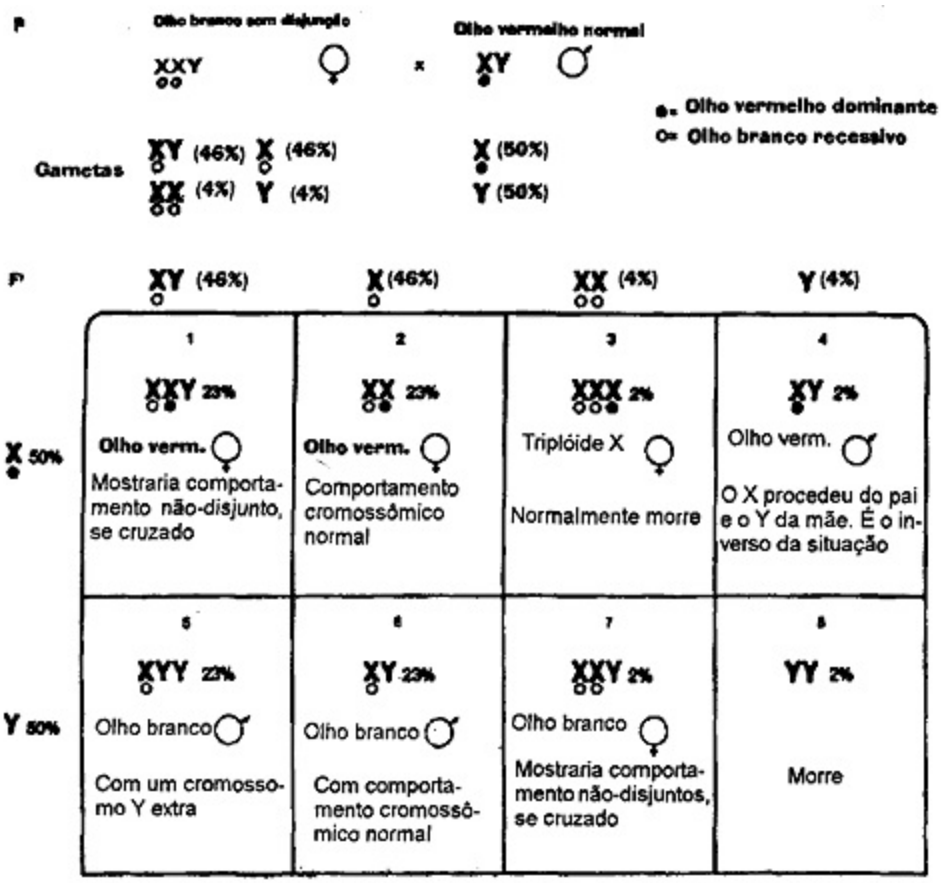

Figura 3. Demonstração de Bridges de que os genes ligados ao sexo estão localizados no cromossomo sexual. Ele utilizou um grupo de Drosophila com um cromossomo X supranumérico. Isso resultou em gametas XY e XX anormais.

A meiose

Conquanto depois de 1902 alguns biólogos falassem livremente da teoria cromossômica da hereditariedade, ainda permanecia bastante incerteza em relação ao conteúdo preciso dessa designação. Ela, acima de tudo, dava forma à sugestão de Roux, no sentido de um arranjo linear de fatores genéticos individualmente diferentes (hoje diríamos genes) nos cromossomos. Mas não era só isso. Os citologistas, nos anos 1870 a 1890, haviam descoberto numerosos fenômenos cromossônicos que certamente tinham a ver com a hereditariedade. Tais fenômenos foram estudados intensamente depois de 1900, e particularmente pelo grupo de Morgan depois de 1910, e isso ajudou grandemente a ampliar e fortalecer a teoria cromossômica.

Comecemos com o comportamento dos cromossomos durante a formação dos gametas.[23] Os núcleos dos óvulos e os espermatozóides são "haplóides", vale dizer, eles têm a metade do número de cromossomos das células do corpo (diplóides). Como se realiza essa divisão ao meio do conjunto de cromossomos durante a formação do gameta, e como isso pode afetar a hereditariedade?

A divisão redutiva

Lembremos a observação de van Beneden (1883) de que, durante a fertilização do óvulo do

Ascaris, os dois cromossomos do núcleo masculino se juntam aos dois cromossomos do núcleo da célula ovaria, conferindo assim ao novo núcleo do zigoto quatro cromossomos. Toda célula resultante das seguintes divisões, por divagem dessa célula ovaria fertilizada, terá quatro cromossomos; ela será "diplóide", tendo duas vezes o número de cromossomos dos gametas. Se tal duplicação do número de cromossomos tivesse que ocorrer por ocasião de cada fertilização, a cada geração haveria o dobro dos cromossomos parentais. Em pouco tempo, haveria milhares de milhões de cromossomos em cada célula. Evidentemente, devia existir um processo que contrabalançasse a duplicação do montante de cromatina, durante a fertilização, e Strasburger (1884; 133), como também Weismann (1887), sugeriu que devia haver uma "divisão redutiva", antes da formação do gameta. Boveri (18871888) fortaleceu essa conclusão de Weismann, e Oskar Hertwig, finalmente, em 1890, deu-lhe uma descrição plena e absolutamente correta.

Os citologistas tinham conhecimento do fato de que, durante a formação dos gametas, nos animais, aconteciam duas divisões celulares consecutivas, estritamente diferentes da mitose normal, e que finalmente receberam a designação de *meiose.* O que exatamente acontece durante a meiose – ou, para sermos mais específicos, como se realiza a redução do material cromático – foi algo que permaneceu controvertido por longo tempo. A única coisa que logo foi admitida por todos era que os oócitos e os gametócitos, isto é, as células que finalmente dão origem aos óvulos e aos espermatozóides, possuem o mesmo número diplóide de cromossomos como as células ordinárias do corpo. No entanto, os gametas (óvulos e espermatozóides) resultantes da divisão meiótica possuem apenas a metade do número dos cromossomos; eles são haplóides. Depois que foi plenamente entendida a natureza das divisões meióticas, ficou claro que a maturação do núcleo das células ovárias é perfeitamente análoga à dos espermatozóides. Mas, à primeira vista, os processos nos dois tipos de células parecem ser muito diferentes, e por isso é recomendável descrevê-los à parte.

Lembremos que o conjunto de cromossomos de cada núcleo celular consiste em pares de cromossomos homólogos, um derivado do pai, o outro derivado da mãe. Durante a primeira divisão meiótica, esses cromossomos homólogos juntam-se estreitamente lado a lado, um processo de acoplagem designado *sinapse.* O que exatamente acontece durante esse processo de acoplagem, a princípio não era de forma alguma claro; efetivamente, o contato é tão estreito que a análise microscópica era incapaz de reconstruir com exatidão o que se passava durante a prófase da primeira divisão meiótica. Foram necessários quase mais outros trinta anos para que a análise genética chegasse a esclarecer de modo essencial esse processo (veja adiante). Essa primeira divisão nuclear, durante a meiose, é única, porque o núcleo se divide, mas os cromossomos não. Consequentemente, a metade dos cromossomos passa para um dos núcleos resultantes, e a outra metade passa para o outro. No caso do *Ascaris,* o número de cromossomos é dessa forma reduzido de quatro para dois. Essa primeira divisão meiótica é a *divisão redutiva,* postulada por Weismann e sugerida anteriormente por Galton.

Na segunda divisão meiótica, os cromossomos se dividem como em qualquer divisão mitótica. Na célula ovária, ambas as divisões meióticas acontecem na área de periferia do óvulo, e em ambas as ocasiões vem expelido um conjunto de cromossomos-filhos, sob a forma de um assim chamado *corpo polar.* O primeiro corpo polar poderá ou não dividir-se durante a segunda divisão meiótica.

Durante a formação dos gametas masculinos, ocorrem as mesmas duas divisões nucleares, exceto que não há núcleos-filhos expelidos como corpos polares. Em vez disso, forma-se um conjunto de quatro espermatozóides, procedentes do núcleo único da célula-mãe espermatócita, que

entra no processo meiótico, como foi mostrado por Hertwig (1890). Tendo em conta que não há duplicação de cromossomos, durante a segunda divisão meiótica, os quatro espermatozóides terão igualmente só a metade dos cromossomos das células somáticas "diplóides". Apresentei aqui a interpretação final dos fatos que acontecem durante a divisão redutiva. A história completa foi tecida a partir das descobertas e interpretações fornecidas por van Beneden, Hertwig, Weismann, e outros. Hertwig e Weismann, a princípio, divergiam amplamente nas suas interpretações. O percurso de uma compreensão gradual do problema foi descrito de modo excelente por Churchill (1970). Havia dois motivos principais para o desacordo original: Hertwig acreditava mais ou menos em uma hereditariedade de mistura, em que os cromossomos paternos e matemos se fundiam durante a fertilização, e pensava que os cromossomos se dissolviam após cada divisão celular, para serem novamente reagrupados, a partir das partículas cromáticas, antes da próxima divisão da célula. A expulsão dos corpos polares era para ele apenas uma redução quantitativa da massa de cromatina. Em contrapartida, Weismann acreditava na separação permanente dos cromossomos paternos e matemos, após a fertilização, como também admitia a continuidade de cada cromossomo por meio de todo o ciclo mitótico e meiótico, e por meio do subsequente estágio de repouso. Nas duas questões, os postulados de Weismann revelaram-se corretos. A mais importante conclusão que emergiu da controvérsia foi que o conteúdo cromossômico dos corpos polares expelidos pelo óvulo era exatamente o mesmo do núcleo ovário remanescente, e que por isso a divisão nuclear (meiose), durante a formação dos gametas feminino e masculino, era completamente equivalente, muito embora resultasse na formação de um único óvulo com três corpos polares em um dos sexos, e de quatro espermatozóides no outro sexo. Conquanto Hertwig e Weismann arguíssem claramente em tomo de detalhes citológicos técnicos, suas posições eram de fato decorrência de profundos comprometimentos conceituais, como demonstrado de modo convincente por Churchill (1970). Hertwig representava o campo fisicalista-fisiológico, Weismann a escola morfológico-corpúsculo-molecular.

Pode-se também exprimir o fenômeno citológico da meiose em termos genéticos. Admitamos que durante a formação de novo zigoto, como resultado da união de um conjunto de cromossomos paternos e matemos, um cromossomo com alelo *A* (proveniente do pai), acoplado com um cromossomo de alelo *a* (proveniente da mãe), produz o zigoto *Aa*. *A* partir da primeira divisão de divagem do novo zigoto, esses dois cromossomos homólogos permanecerão acoplados, e todas as células somáticas do organismo em desenvolvimento serão heterozigotas *Aa*. Somente na segunda divisão meiótica, durante a formação dos gametas (divisão redutiva), é que os dois cromossomos homólogos se separam, formando em igual número gametas com o gene *A* e gametas com o gene *a*. Exatamente qual cromossomo passa para qual das duas células-filhas reduzidas é algo puramente casual (veja a seguir). Assim, a segregação mendeliana explica-se perfeitamente pelos fenômenos observados do comportamento dos cromossomos durante a fertilização e a formação dos gametas (teoria Sutton-Boveri). A meiose, tal como descrita até agora, explica perfeitamente a ligação e a segregação, mas ela ainda não representa a história completa. Ela não explica os fenômenos da ligação incompleta, de que falamos anteriormente. Entretanto, esse ponto recebe a devida explicação por um processo adicional que ocorre durante a meiose: a permuta. A meiose nas plantas é cromossomaticamente a mesma nos animais, mas em geral acontece numa fase diferente do ciclo vital (antes da formação do espório).

A permuta

Tendo em vista que qualquer organismo tem evidentemente muito mais características – bem como determinantes genéticos para tais caracteres – do que o seu número de cromossomos, ficou claro desde o princípio (Correns, 1902; Sutton, 1903) que cada cromossomo deve ser portador de diversos, senão muitos, genes. Isso foi confirmado bem cedo pelos trabalhos do laboratório de Morgan. Todavia, a descoberta de grupos de ligação, cada um deles associado a um cromossomo definido, levantou um novo problema. Se todos os genes de um cromossomo estivessem firmemente conectados entre si, um organismo, para todos os efeitos práticos, só possuiria tantas unidades hereditárias independentes quantos fossem os seus cromossomos. Isso imporia uma enorme limitação às recombinações. Estudando a geração F_2 dos híbridos, de Vries (1903) concluiu que a riqueza das recombinações de um híbrido F_2 era demasiadamente grande para ser compatível com a teoria de uma amarração total. Por esse motivo, ele postulou "um intercâmbio das unidades" dos cromossomos parentais acoplados, durante a prófase I da meiose. "Quantas e quais [unidades poderiam intercambiar-se], isso pode simplesmente ser relegado ao acaso" (1910: 243), contanto que o intercâmbio seja sempre estritamente mútuo. Tal intercâmbio também já fora previsto por Boveri (1904: 118). A análise genética logo confirmou que a ligação dos genes no mesmo cromossomo não era completa. Tal observação foi feita pela primeira vez por Bateson, Saunders e Punnett (1905). Na geração F_2 de um cruzamento de duas variedades de ervilhas doces (*Lathyrus*), que diferiam na cor das flores e na forma dos grãos do pólen, eles não obtiveram nem a esperada proporção de 9:3:3:1, nem a simples 3:1, mas encontraram 69,5% de dominantes duplos, 19,3% de recessivos duplos, e duas classes de 5,6% de heterozigotos. Evidentemente, os genes dos dois caracteres não tiveram nem uma associação independente, nem uma ligação completa (11% de exceções). Bateson propôs uma hipótese *ad hoc* para explicar o fenômeno, e, tendo em vista que não acreditava na teoria dos cromossomos, não levou em conta a permuta.

Muitas vezes se tem observado o fato curioso de que Mendel não se havia deparado com o fenômeno das ligações. A ervilha *(Pisum sativum*) possui apenas sete pares de cromossomos, e Mendel estudou sete caracteres. Teria sido por acaso o fato de eles não se coligarem, poupando-lhe assim uma complicação adicional? Presumivelmene não. Sabe-se que Mendel dedicou diversos anos a cruzamentos preliminares, antes de partir para o seu esquema definitivo de experimentos. É muito provável que ele tenha rejeitado caracteres (ou pelo menos um elemento de um par de caracteres) que não revelassem uma associação independente na F2. Também é possível que os produtores de sementes, de quem Mendel adquiriu o seu material, dessem preferência aos caracteres de associação independente. Finalmente, as distâncias no mapa de alguns genes são suficientemente grandes para simularem uma associação independente, mesmo estando localizados no mesmo cromossomo. [24]

As exceções de uma ligação completa tomaram-se um problema série quando começou a análise intensiva da constituição genética da *Drosophila melanogaster,* no laboratório de Morgan. Ele e seus colaboradores descobriram que a percentagem de ligações rompidas variava muito, chegando por vezes ao baixo nível de 1%. Como se poderia explicar essa variabilidade?

Examinemos mais de perto um caso particular. Tomemos um conjunto de três genes recessivos – cor amarela do corpo (y), cor branca dos olhos (w), e asas em miniatura (m) – que se encontram entre os genes da *Drosophila,* localizados no cromossomo X. Se um macho possuidor desses três genes é cruzado com uma fêmea normal, esperar-se-á a volta dos três caracteres recessivos na

geração F2, como um grupo coligado. Na realidade, a ligação entre cor do corpo e cor dos olhos foi rompida em 1,3% das moscas, cor dos olhos e tamanho da asa em 32,6%, cor do corpo e tamanho da asa em 33,8%. Como se explica essa distribuição?

Os valores numéricos dessas exceções eram regulares demais para serem explicados como um processo aleatório de intercâmbio casual das unidades, segundo postulado por de Vries. Entretanto, as pesquisas citológicas do começo dos anos 1900 permitiram uma solução diferente. O estudo dos detalhes da meiose havia feito enormes progressos, nos vinte anos que se seguiram depois da obra pioneira de Boveri e Hertwig. Foram distinguidos nada menos que seus estágios diferentes nas mudanças dos cromossomos (o material cromático), durante a prófase I. Em um desses estágios, os dois cromossomos acoplados ainda estão muito finos, mas cada um deles fendeu-se em dois filamentos de cromatina (cromatídeos), o assim chamado estágio das quatro fitas. Os dois cromossomos formam volutas ondeadas, que se entrecruzam repetidas vezes.

O citologista belga Janssens postulou (1909) que, quando os quatro cromatídeos se enrodilhavam, um cromatídeo paterno e um cromatídeo materno podiam romper-se no ponto em que se cruzavam, e quando as extremidades rompidas voltavam a se ligar era mediante uma sutura da extremidade paterna com a extremidade materna, e vice-versa. Os dois outros cromatídeos permaneceriam intactos. Dessa maneira, formar-se-ia um "quiasma" (o ponto em que os dois cromossomos de um par permanecem em contato, durante os últimos estágios da prófase I da meiose). O quiasma, no ponto de vista de Janssens, é uma indicação do intercruzamento de um cromatídeo paterno com um cromatídeo materno. O resultado final seria a formação de um novo cromossomo, consistindo em pedaços do cromossomo paterno e pedaços do cromossomo materno. A análise dos casos de ligação incompleta, feita pelo grupo de Morgan, coincidia com a teoria de Janssens.

O processo do intercruzamento é tão complexo que foram necessários uns trinta anos para se chegar a uma decisão sobre qual das interpretações concorrentes era a correta (veja Whitehouse, 1965, para uma análise bastante acessível da questão). De qualquer maneira, hoje está plenamente estabelecido que o intercruzamento acontece no estágio das quatro fibras, e que envolve dois dos quatro cromatídeos. E, além disso, ele ocorre bem no começo desse estágio (Grell, 1978).

Morgan e seu colaborador A. H. Sturtevant (Lewis, 1961) imaginaram que o índice das ligações incompletas, devidas ao intercruzamento, correspondia à distância linear entre os fatores no espaço do cromossomo. As possibilidades de uma ruptura cromossômica (e por isso de um intercruzamento) entre dois genes seriam tanto menores quanto mais próxima a localização dos dois genes num cromossomo. Com respaldo nesse raciocínio, Sturtevant (então com apenas dezenove anos!) foi capaz de calcular a posição e a sequência dos genes em um cromossomo, chegando inclusive a produzir um mapa cromossômico, o primeiro, relativo ao cromossomo X da *Drosophila melanogaster* (publicado em 1913). Por meio dele estabeleceu que os genes então conhecidos desse cromossomo estão dispostos ao longo do cromossomo em uma sequência linear.

Entre os primeiros resultados havia também algumas discrepâncias. Estas foram eliminadas quando Muller (1916) mostrou que podiam existir duplos intercruzamentos nos cromossomos longos (estimulando a não-ocorrência de intercruzamentos entre genes distantes), e que a presença de um quiasma poderia interferir na realização de ulteriores intercruzamentos em áreas vizinhas do cromossomo. A consideração desses dois fenômenos recém-descobertos (o duplo intercruzamento e a interferência) fez com que fossem removidas as discrepâncias que deixavam alguns adversários de

Morgan céticos quanto à validade da teoria dos intercruzamentos.

A teoria cromossômica da hereditariedade podia agora ser suplementada por uma teoria dos genes (Morgan, 1926). Pelo ano de 1915, Morgan e seus companheiros estudaram mais de mil casos de genes mutantes. Eles se classificavam em quatro grupos de ligações, correspondendo de modo admirável aos quatro cromossomos da *Drosophila melanogaster*. Completava-se assim a prova indireta da natureza cromossômica dos grupos de ligações. Todavia, só em 1931 Stem teve condições de utilizar alguns cromossomos anormais (um pedaço do cromossomo X juntado ao pequeno cromossomo de número 4), para fornecer a prova citológica para a tese do intercruzamento. Prova semelhante foi apresentada no mesmo ano por Creighton e McClintock (1931) em relação às plantas (milho). Na verdade, o milho revelou-se um material altamente favorável para os estudos citogenéticos. Embora ele não tenha os cromossomos gigantes, finalmente tão úteis na pesquisa da *Drosophila,* todos os seus dez cromossomos são morfologicamente distintos, e não é rara a ocorrência de cromossomos extras. Barbara McClintock usou esses atributos do milho ao longo de trinta anos de estudos brilhantes, voltados para uma interpretação da ação dos genes, estudos de uma abrangência que, de modo geral, não foi percebida até que os geneticistas moleculares; anos mais tarde, chegassem a conclusões semelhantes.

A história dos intercruzamentos, da forma como aqui é representada, é de fato uma supersimplificação, omitindo muitos aspectos de complexidade. Por exemplo, a natureza dos quiasmas (as pontes entre segmentos do cromossomo que resultam do intercruzamento) foi controversa durante muito tempo. O número de quiasmas por braço cromossômico é altamente variável, e em alguns casos de fato não há intercruzamentos, como no macho da *Drosophila.* Houve muita discussão sobre o exato momento em que acontece a réplica dos cromossomos, durante a primeira divisão meiótica, bem como sobre o exato momento em que se forma o quiasma (ruptura e sutura das fibras de cromatina), e inclusive sobre o aspecto se um quiasma sempre indica um intercruzamento genético. Acima de tudo, discutiu-se por longo tempo sobre o comportamento das diferentes fibras cromatídeas. Em decorrência disso, a teoria da ruptura-fusão de Janssens e Morgan, como explicação dos fenômenos do intercruzamento, foi rejeitada por certos autores. Belling, por exemplo, propôs a teoria da "escolha da cópia", e Winkler a teoria da "conversão gênica". Conquanto nenhuma das duas teorias tenha prevalecido, ambas resultaram em numerosos experimentos, que conduziram a uma compreensão melhor do intercruzamento e da natureza do gene. Ainda não foi escrita uma história comparada das três teorias. Devem-se consultar os manuais de citologia e de genética para se conhecerem os detalhes completos dessas questões técnicas (veja também Grell, 1974). O que importa dizer é que todas as aparentes exceções puderam finalmente ser explicadas em termos da teoria cromossômica clássica.

A reconstituição dos cromossomos, efetuada pelos intercruzamentos, é muito importante para o processo evolutivo. Trata-se de um mecanismo eficaz para a mistura dos genes paternos e matemos; e pelo fato de produzir novas combinações intracromossômicas de genes, fornece grande abundância de novos genótipos (muito mais que a mutação), sobre os quais possa atuar a seleção natural.

Existe ainda outro processo cromossômico que facilita a recombinação: a movimentação livre dos cromossomos matemos e paternos durante a divisão redutiva da meiose. Antes de 1902, acreditava-se amplamente que os conjuntos cromossômicos paterno e materno se deslocavam em bloco. Alguns autores admitiam, por exemplo, que, durante as divisões da maturação da célula ovária, todos os cromossomos paternos eram eliminados nos corpos polares, para serem substituídos

por um novo conjunto de cromossomos procedentes do pai, mediante a fertilização. Se isso fosse verdadeiro, não se formariam corpos polares durante a maturação de óvulos partenogenéticos; todavia, Boveri comprovou que a formação de corpos polares nesses óvulos partenogenéticos não difere de forma alguma da dos óvulos sexuados. Além disso, fêmeas heterozigotas produzem gametas com genes paternos. E finalmente, Carothers (1913) descobriu que, nas espécies com pares de cromossomos de tamanhos desiguais (heteromórficos), os cromossomos maiores dirigiam-se aleatoriamente a um ou a outro dos pólos. Isso foi a prova conclusiva de que os conjuntos dos cromossomos paternos e matemos não se segregam como pacotes unitários. Entretanto, existe uma rara condição genética ("meiose direcionada") que impede a migração ao acaso dos cromossosmos nos corpos polares. Isso explica certos casos de manutenção de alguns genes, que de outro modo seriam deletérios nas populações (veja a Parte II).

Rearranjos cromossômicos

Ocasionalmente, os cromossomos rompem-se por completo durante a formação do quiasma, podendo então se recompor de uma forma diferente, que não a simples religação do ponto em que ocorreu a ruptura. No caso em que tenha ocorrido uma ruptura dupla do filamento, o pedaço do meio pode voltar-se ao inverso, resultando assim uma *inversão* cromossômica. Chama-se uma inversão paracêntrica, quando o centômetro não se localiza na seção invertida do cromossomo, ou inversão pericêntrica, quando inclui o centrômero. Quando um pedaço de um cromossomo se rompe para conectar-se com um outro cromossomo (ou nele inserir-se) com o qual não é homólogo, ocorre uma *translocação*. Esporadicamente acontece um *intercruzamento desigual,* resultando em dois cormossomos-filhos, em que um deles fica com um pedaço duplo do cromossomo originário, e o outro com uma deficiência. Dois cromossomos (acrocêntricos) podem fundir-se, bem como um cromossomo (metacêntrico) pode sofrer uma fissão; tais mudanças são chamadas *rearranjos robertsonianos*. Por fim, existe a *poliploidicidade,* que diz respeito à presença de mais conjuntos cromossômicos, que não apenas os dois conjuntos básicos. Todas essas alterações cromossômicas podem ter uma considerável repercussão evolutiva, mas de forma alguma enfraqueceram a teoria cromossômica da hereditariedade. Os rearranjos cromossômicos que resultam em efeitos genéticos são muitas vezes chamados *mutações cromossômicas*. Evitei sobrecarregar o texto com a história da descoberta de cada uma dessas mutações, pois que em nada contribuiriam para o melhor entendimento da evolução cromossômica. [25]

Morgan e a teoria dos cromossomos

As afirmações de alguns historiadores de que Morgan e seu grupo foram os criadores da teoria cromossômica da hereditariedade evidentemente não são válidas. O estabelecimento da individualidade dos cromossomos (principalmente por parte de Boveri) e a argumentação convincente de Roux de que eles devem conter um conjunto de partículas genéticas qualitativamente diferentes e dispostas em linha, tudo isso, combinado com as descobertas mendelianas da segregação, levou, em 1902-1904, fatalmente, por assim dizer, à teoria cromossômica da hereditariedade de Sutton-Boveri. Essa teoria foi aceita quase instantaneamente pela maioria dos citologistas, pois ela não era nada mais que a pedra angular do edifício erigido pela citologia ao

longo dos vinte anos precedentes.

Considerando o quanto era persuasiva essa teoria, o historiador fica um tanto intrigado com o fato de haver ela suscitado tanta oposição, inclusive por parte de alguns dos mais destacados geneticistas, como Bateson, Johannsen, e a princípio o próprio Morgan. É bem evidente que aí estava envolvido um arraigado desacordo conceitual entre duas grandes escolas da biologia. Tendo em vista que se chegou à teoria cromossômica de modo indireto, por meio de inferências a partir de conjuntos de fatos isolados, os opositores exigiam provas, de preferência provas experimentais, que finalmente foram fornecidas pelos grupo de Morgan e outros. Mas isso só aconteceu depois de 1910, em decorrência da conversão de Morgan – de um adversário para um defensor da teoria cromossômica.[26]

Morgan havia atacado ferrenhamente essa teoria numa série de livros e artigos, entre 1903 e 1910 (Allen, 1966), baseando sua oposição em bom número de argumentos. Antes de mais nada, a teoria não passava de "especulação", sem fundamentação empírica. Para Morgan, nada podia ser considerado científico se não fosse confirmado pelo experimento. Ele tinha um profundo desprezo pelo "filosofar". E mais importante ainda, a afirmação de que os caracteres são controlados por partículas, e que essas partículas se localizam em cromossomos individualmente diferentes, era algo que estava em completo conflito com sua teoria dos fenômenos biológicos (veja adiante).

E no entanto, em 1910, quase da noite para o dia, Morgan tomou-se um dos principais advogados da teoria cromossômica, e forneceu algumas das provas mais decisivas em seu favor. Como se poderia explicar essa conversão radical? Que ela foi súbita pode ser comprovado pelas datas de algumas de suas publicações anteriores e posteriores à conversão.

Por uma ironia do destino, um artigo de 48 páginas, no *American Naturalist,* em que Morgan (1910a) atacava severamente a teoria dos cromossomos, foi publicado no mês de agosto de 1910 (embora apresentado em fevereiro), três semanas depois do seu famoso artigo sobre a mutação "olho-branco" (1910b), apresentado em 23 de julho, e publicado em 27 do mesmo mês, em que Morgan consubstancia o abandono da sua oposição.

Morgan, que em 1910 tinha 44 anos de idade, e era bem conhecido por suas opiniões firmes, tinha a capacidade de, em contraste com Bateson, mudar as suas idéias (até certo ponto!), quando novos experimentos mostravam que suas explicações anteriores eram insustentáveis. De qualquer maneira, é evidente que o espírito de Morgan estava fortemente influenciado pelo seu meio intelectual. Afinal de contas, suas descobertas apenas confirmavam aquilo que seu colega e amigo, E. B. Wilson, insistia em lhe mostrar há quase uma década. Os argumentos de Wilson foram fortalecidos pela notável equipe de jovens colaboradores de Morgan. Eles se destacavam pela diversidade de talento e de caráter, e por estarem isentos dos viéses novecentistas de Morgan. As características principais dos membros do time de Morgan foram muito bem descritas por Jack Schultz (1967), ele mesmo um membro tardio do grupo:

> O ceticismo de Morgan e a capacidade de construções sistêmicas de Muller … o extraordinário poder analítico de Sturtevant e o brilhantismo dos talentos experimentais de Bridges.

Todos os membros mais jovens da equipe, a maioria dos quais sempre se encontrava no "quarto das moscas", trabalharam na reeducação de Morgan. Impossível reconstruir quem exatamente dos

quatro membros do grupo contribuiu para exatamente qual aspecto particular da consolidação da teoria cromossômica; mas isso não é importante. Entre os partidários das contribuições importantes de Morgan contam-se Sturtevant (1965a) e Allen (1967; 1978), enquanto Carlson (1966; 1974) e Roll-Hansen (1978b) advogam o trabalho de Muller. Devido à sua diversidade, os habitantes do quarto das moscas completavam-se entre si esplendidamente e, como equipe, praticavam de modo admirável o método hipotético-dedutivo. Muller, Bridges e Sturtevant presumivelmente foram os que, depois de 1911, levantaram a maioria das hipóteses, e Morgan, constantemente, insistia com todo vigor no seu teste exaustivo mediante experimento.

Embora Morgan pessoalmente tivesse descoberto (e interpretado corretamente) intercruzamentos e outras evidências essenciais da teoria dos genes, há muitos indícios de que ele tenha sido um converso um tanto quanto relutante, e ocasionalmente tendia a deslizar para o seu pensamento anterior a 1910. Ainda em 1926, ele deu mostras do seu viés fisicalista, afirmando que os estudiosos da hereditariedade chegam às suas conclusões sobre os genes "a partir de dados numéricos e quantitativos …. A teoria do gene … extrai as propriedades dos genes, na medida em que lhes atribui propriedades, unicamente a partir de dados numéricos" – como se a localização no cromossomo fosse a única propriedade que os genes possuem!

A coerência da teoria cromossômica com o rápido acúmulo de dados genéticos já foi apresentada em 1915 com uma clareza notável, no *The Mechanism of Mendelian Heredity,* por Morgan, Sturtevant, Muller e Bridges. Por isso, é bastante estranho que Bateson, Johannsen e outros continuassem na sua oposição, e por que, em vez de ignorá-los, os dois mais próximos colaboradores de Morgan, Sturtevant e Bridges, sentiam a necessidade de comprovar a validade da teoria cromossômica mediante sempre novos experimentos. Eles se compraziam em encontrar aparentes exceções ou discrepâncias, para simplesmente poderem provar que nem por isso deixavam de ser perfeitamente explicadas em termos da teoria. Admiramo-nos por que eles não encerraram esse capítulo, para se voltarem para outros problemas inteiramente novos, como o fez Muller. Na medida em que me é dado julgar, a obra altamente engenhosa, meticulosa e precisa sobre a genética da *Drosophila,* dos anos 1915 a 1930, não produziu qualquer revisão essencial da teoria Sutton-Bovari. O que ela conseguiu, isto sim, foi provar completamente essa teoria e mostrar suas implicações biológicas.

A resposta à pergunta por que a teoria dos cromossomos encontrou tanta resistência emerge de um estudo da literatura contemporânea da obra de Morgan (Coleman, 1970; Roll-Hansen, 1978b). Essa teoria não era simplesmente mais uma das milhares de pedras do edifício do conhecimento biológico: ela era muito mais um teste crucial para a validade de duas filosofias biológicas radicalmente diferentes – um confronto entre duas *Weltanschauungen.* Tratava-se das mesmas duas escolas que haviam divergido sobre a natureza da fertilização (contato *versus* fusão) e em outras controvérsias do século XIX, tais como a origem do núcleo das células (veja também Coleman, 1965; Churchill, 1971). É difícil descrever as duas facções opostas em termos que ainda não eram obsoletos em 1910. Posso estar incorrendo num quadro impressionista, ao dizer que de um lado estavam os fisicalistas-epigenistas-embriologistas, e do outro lado os corpuscularistas-pré-formacionistas-citologistas, mas, em assim fazendo, eu estaria empregando designações que eram impróprias pelo ano de 1910. Por exemplo, tachar alguém de pré-formacionista, depois de 1800, seria completamente equivocado. Os fisicalistas, em princípio, eram reducionistas extremos, mas no caso não chegaram a conduzir as suas análises mais longe que os corpuscularistas. Os fisicalistas

eram mecanicistas, mas os corpuscularistas também o eram. Os fisicalistas sempre procuravam por movimentos e forças; inclinavam-se a explicações "dinâmicas"; tentavam quantificar tudo e tudo exprimir em valores numéricos. Os corpuscularistas explicavam os fenômenos biológicos em termos de partículas qualitativamente diferentes, em termos de estrutura, forma, unicidade, mudanças históricas e aspectos populacionais. Suas explicações "físicas" levaram-nos a invocar muito mais as moléculas (por isso a química) que as forças (por isso a física).

Pode-se discutir sobre qual seria a melhor forma de designar esses dois campos opostos, mas não restam dúvidas sobre as diferenças fundamentais que caracterizam as respectivas interpretações da natureza e da matéria orgânica. Bateson, Johannsen, e de início também Morgan, eram fisicalistas, e, se a teoria cromossômica da hereditariedade fosse correta, isso podia ser interpretado como uma refutação do próprio aparato conceitual deles. Tal conclusão é aplicável tanto no geral, como nos aspectos particulares, como tentarei mostrar agora.

Os fisicalistas estavam horrorizados em face da idéia de terem que admitir genes corpusculares. Para eles, isso significava nada menos que reavivar a pré-formação, em uma forma modernizada. A disputa pré-formação *versus* epigênese, quando expressa em termos de uma alternativa entre um homúnculo e uma *vis viva,* evidentemente estava morta há muito tempo. A idéia de um homúnculo, depois do nascimento da embriologia (nos anos 1816-1828), era por demais absurda para ainda ser levada em consideração; porém, a crença dos epigenistas em uma *vis viva* generalizada, ou numa força geral de desenvolvimento, era igualmente insustentável depois que os biólogos descobriram a precisão da hereditariedade. Para Roux, Weismann e Boveri, era completamente óbvio que o procedimento preciso da hereditariedade requeria o postulado de uma arquitetura do plasma germinal, vale dizer, uma complexidade estrutural do material genético, que foi depois articulada na teoria cromossômica de Sutton-Boveri. Os fisicalistas tinham grande dificuldade em entender como era possível sustentar tais idéias, sem recair no pré-formacionismo ingênuo de Bonnet.

Uma razão ainda mais forte para a oposição proveio da embriologia. A brilhante teoria de Roux, de 1883, sobre uma divisão igualitária do material genético foi aparentemente refutada bem depressa pela própria descrição de Roux de um desenvolvimento mosaico e pelos resultados do estudo de linhagens de células. Todas as descobertas da embriologia, feitas nos anos 1890, pareciam explicar-se mais facilmente pela teoria weismanniana de uma divisão desigual do plasma germinal do que pela divisão igualitária de Mendel. A solução do aparente conflito entre os fenômenos do desenvolvimento e a teoria de Sutton-Boveri requereu muitas décadas de análises e revisão de conceitos.

Um outro motivo de oposição foi a simplicidade irrealista da primeira teoria genética corpuscular. É preciso ter em mente que no início dos anos 1900 nenhuma distinção ainda era feita entre genótipo e fenótipo. Embora a teoria pré-formacionista do homúnculo estivesse completamente desacreditada, ela foi substituída na mente de certos embriologistas e geneticistas por um modelo em que cada caráter de um organismo era representado no plasmai germinal por um fator genético específico. O genótipo era, por assim dizer, o fenótipo em miniatura, não na forma de um homúnculo, mas como um mosaico de partículas hereditárias (fossem elas chamadas gêmulas, pangenes, ou seja o que for), cada uma delas responsável por um componente definido do fenótipo. Esse pensamento era expresso no conceito de "caráter unitário" dos primitivos mendelianos. De Vries (1889) havia afirmado especificamente que os pangenes se transferem do núcleo para o citoplasma, onde se encarregam do processo do desenvolvimento. O soma (corpo), dessa forma, consistiria em pangenes

desenvolvidos. No conceito dos fisicalistas, isso representava uma interpretação morfológica da hereditariedade, não diferindo em princípio da velha idéia do homúnculo. Bateson e Johannsen voltaram as críticas especificamente para aquilo que, na teoria cromossômica, se lhes afigurava uma interpretação morfológica.

A relação entre transmissão e desenvolvimento, que foi tão perturbadora para Weismann, Hertwig e os embriologistas alemães, também desempenhou o seu papel. Morgan e seu grupo decidiram tratar dos dois conjuntos de problemas em separado, a começar com a genética de transmissão. Bateson e outros opositores da teoria cromossômica, continuando a tradição weismanniana, procuravam uma teoria genética que pudesse explicar a transmissão e o desenvolvimento ao mesmo tempo. A teoria da existência de cromossomos idênticos (com genes corpusculares dispostos em linha) nos mais diversos tecidos e órgãos do corpo parecia-lhes incompatível com os fenômenos observados do desenvolvimento.

Na ausência de uma distinção entre genótipo e fenótipo, o corpuscularista era forçado a pensar em termos de um pré-formacionismo, baseado numa relação de um por um, entre fator genético e caráter somático. Foi afirmado por alguns adeptos da teoria do caráter unitário que existem tantos fatores genéticos quantos são os caracteres de um organismo. Weismann, com a ocorrência e a lógica que lhe eram tão peculiares, postulou então que devia haver determinantes diferentes para os diferentes caracteres em todos os estágios de desenvolvimento, por exemplo, não somente para cada aspecto da asa da borboleta adulta, que podem variar independentemente, mas também para toda característica da lagarta. Desde que era mais ou menos considerado como certo que o material genético, pela replicação e desenvolvimento, ficava diretamente convertido no fenótipo, essa era uma conclusão não apenas lógica, mas poder-se-ia dizer necessária. Em decorrência disso, quando Castle descobriu alterações no fenótipo, que hoje sabemos serem devidas a modificações dos genes, ele foi obrigado a explicá-las em termos coerentes com a hipótese um gene/um caráter, levando-o a propor a sua teoria da contaminação (veja adiante).

A descoberta da pleiotropia e da poligenia (veja adiante) conduziu por fim à rejeição (ou pelo menos a uma profunda modificação) da teoria do caráter unitário. Esse fato ajudou a diminuir a distância entre os dois campos, livrando os adeptos da teoria cromossômica da pecha de um pré-formacionismo grosseiro. No entanto, não há dúvida de que a controvérsia acabou com a vitória completa dos corpuscularistas. Sua teoria foi finalmente chamada a teoria molecular da hereditariedade. Carlson

está certo ao insistir que Muller foi conceitualmente um biólogo molecular, mas de forma alguma foi o primeiro. Uma base molecular para a hereditariedade foi postulada inequivocamente antes de Muller, por parte de Weismann, de Vries, e outros, e isso já nos anos 1880.

É preciso salientar que esta é uma apresentação bastante simplificada da controvérsia e das posições dos dois campos. Cada um dos protogonistas, como por exemplo Bateson, Johannsen, Weismann, Hertwig e Morgan, tinha o seu peculiar misto de idéias, um misto, por sinal, às vezes bastante ilógico e contraditório. De qualquer maneira, a teoria cromossômica ou era coerente com a sua concepção da matéria viva, ou não era. Se não era, eles deveriam ou tentar refutá-la, ou abrir mão de idéias caras *H* longamente defendidas. Não admira que Bateson e Johannsen tenham sido tão renitentes.

A pesquisa cromossômica

A pesquisa cromossômica continuou a ser extremamente produtiva nos anos posteriores a Boveri e E. B. Wilson. A citogenética, isto é, a integração das descobertas cromossômicas e genéticas, fez rápidos progressos por meio das análises dos cromossomos paquitênicos do milho, de McCüntock (1929), da redescoberta dos cromossomos politênicos gigantes dos dípteros, por Heitz e Bauer (1933), do estudo dos. sistemas genéticos de D. C. Darlington, da obra de M. J. D. White, e do trabalho de uma plêiade cada vez maior de citologistas. Nos anos 1970, começou uma nova era de pesquisas cromossômicas muito ativas. [27]

Os maiores avanços nesse campo foram devidos à aplicação de numerosas técnicas novas. O número dos cromossomos, por exemplo, pode hoje ser determinado de modo muito mais preciso que antigamente, mediante aplicação da técnica do esmagamento, mediante a cultura de tecidos (que produz células aumentadas), imersão em soluções hipotônicas (o que também resulta em células aumentadas), e tratamento com colchicina (que inibe a formação de fusos e contrai os cromossomos). As novas técnicas, por exemplo, resultaram na revisão do número de cromossomos no homem, de 48 para 46. Em muitas pesquisas, como as relativas à localização dos genes responsáveis pelas doenças genéticas no homem, a identificação correlata dos cromossomos individuais é altamente importante. Os cromossomos são muito heterogêneos na sua composição, e certos tratamentos químicos influenciam os seus vários componentes de modo diferenciado, resultando no aparecimento de fitas de padrão cromático variado. Dependendo da técnica utilizada, podem-se reconhecer fitas Q, fitas G (de Giemsa), fitas R, fitas T, e fitas C (veja Caspersson e Zeck, 1972). Um tipo muito diferente de informação pode ser obtido na identificação dos cromossomos dos tecidos vivos, por meio de material radioativo (trítio).

Talvez a descoberta mais importante dessas pesquisas seja que os procariotos (bactérias e algas verdes) possuem o mesmo material genético (ácido nucléico) que os organismos superiores, mas que não está organizado nos mesmos tipos de cromossomos como nestes organismos. De qualquer maneira, precisamente porque a organização do DNA (ou RNA) nesses microorganismos é tão mais simples, faz com que eles sejam particularmente apropriados para certos tipos de análises genéticas, em especial no que concerne à função e à regulação dos genes. Em decorrência disso, a maior parte da genética molecular, até o início dos anos 1970, estava baseada na pesquisa realizada com os procariotos.

Embora a organização do DNA seja hoje razoavelmente bem compreendida quanto a muitos procariotos, os cromossomos dos eucariotos mostraram-se consideravelmente refratários à análise *(Cold Spring Harbor Symposia,* 1978). É sabido que o DNA está ligado a uma matriz de proteínas (nelas aninhado?), a histona em particular, e que existem fortes indícios de que essas proteínas desempenham um papel decisivo na atividade genética. Todavia, não obstante o volume de fatos que ampliaram o nosso conhecimento nos anos recentes, a mim me parece que estamos ainda bastante longe de uma teoria explicativa internamente consistente da estrutura e função do cromossomo eucarioto, como um todo. [28] Por isso, a aceitação da teoria cromossômica da hereditariedade de forma alguma significou o fim dos estudos do cromossomo, mas muito mais o ingresso numa nova era de pesquisas cromossômicas.

18. AS TEORIAS DO GENE

As leis da genética mendeliana forneciam uma excelente explicação para os fenômenos da variação descontínua. Elas eram fáceis de aplicar, sempre que se tratasse de caracteres nitidamente definidos, como verde *versus* amarelo, liso *versus* rugoso, nas ervilhas. Literalmente, centenas de trabalhos foram publicados, nos anos que se seguiram a 1900, todos eles demonstrando a hereditariedade mendeliana em muitos grupos de animais e de plantas, e estabelecendo uma base mendeliana para qualquer variação de um caráter, observável e descontínua.

Sem dúvida, durante muitas décadas foi feita ampla oposição a uma aplicabilidade universal da hereditariedade mendeliana. Seria um engano atribuir tal oposição à ignorância ou ao conservadorismo, pois isto significaria uma interpretação bastante simplista. Na realidade, os adversários dispunham daquilo que eles consideravam argumentos perfeitamente válidos. Além do mais, para dizê-lo de modo direto, eles não negavam a ocorrência de alguma hereditariedade mendeliana; o que negavam era que *toda* hereditariedade fosse mendeliana.

Considerando que muitos desses adversários eram biólogos de primeira ordem, é importante indagarmos as suas razões.

Os historiadores recentes inclinaram-se a esquecer que a maioria dos zoólogos e botânicos darwinianos, na passagem do século, interessava-se pela hereditariedade, antes de tudo por sua conexão com o problema das espécies e com a teoria da evolução. Por isso, esses darwinianos limitavam-se a ler somente os escritos daqueles dois mendelianos que mais se ocupavam com a evolução – de Vries e Bateson; e as teorias destes conduziam inexoravelmente os darwinianos à oposição. Tanto de Vries como Bateson preconizavam que o caráter descontínuo da hereditariedade estava, a provar a descontinuidade das origens evolutivas. Eles eram essencialistas e saltacionistas (veja o Capítulo 12), e não faziam muito caso da seleção natural. Dessa forma, seus pontos de vista divergiam totalmente dos pontos de vista dos darwinianos, que descobriam a evidência da mudança evolutiva gradual por toda parte na natureza. Devido à afirmação dos mendelianos de que existe uma estreita correlação entre o modo da variação genética (isto é, a descontinuidade) e o modo da evolução, e devido, por outro lado, à convicção própria dos naturalistas darwinianos de que a evolução é gradual e contínua, estes foram forçados a uma postura no sentido de postular uma forma de hereditariedade contínua, não-mendeliana, para explicar a evolução gradual (Mayr e Provine, 1980). [1]

A maior debilidade da posição mendeliana, do ponto de vista dos naturalistas, era que ela deixava a variação contínua sem explicação. Quando todo o mundo naquela época ainda aceitava a dualidade da variação (contínua *e* descontínua), o mendelismo, assim se dizia, não tinha como explicar a variação quantitativa. Lembremos que Weismann, de Vries (1910: 73-74), e outros autores dos anos 1880 e 1890, explicaram a hereditariedade quantitativa por números desiguais de pangenes (idênticos) ou de bióforos, fornecidos pelos dois genitores. Nas palavras de de Vries:

> Os pangenes presentes podem variar no seu número relativo, uns aumentando, outros diminuindo, ou desaparecendo quase completamente … e finalmente, o agrupamento dos

> pangenes individuais também pode variar. Todos esses processos explicam amplamente o caráter muito flutuante da variação [individual, contínua] (1910: 74).

Mas tal explicação perdia todo sentido, quando se admitia a teoria mendeliana (um único elemento para cada caráter alternativo de cada um dos genitores). A variação contínua foi então deixada sem uma explicação, e não consigo encontrar uma substituição adequada para a teoria da distribuição desigual, de de Vries, nos escritos posteriores a 1900.

Aqueles que se opunham à hereditariedade exclusivamente mendeliana faziam muitas indagações. No caso de caracteres puramente quantitativos, digamos o tamanho, não estaria o aspecto intermediário da progênie a demonstrar a ausência de fatores descontínuos? Não estaria isso a indicar que existem dois tipos de hereditariedade, uma hereditariedade mendeliana para a variação contínua, e algum outro modo de hereditariedade para a variação descontínua? Não seria muito mais importante explicar a hereditariedade da variação contínua, tendo em vista que era esta a variação em que se baseava a teoria darwiniana da evolução gradual? Em decorrência da falta de uma teoria da hereditariedade quantitativa, ocorreu uma cisão entre os biólogos evolucionistas, designando-se os dois grupos opostos geralmente como mendelianos e biometristas. Essa designação, porém, somente é válida para o período de 1900 a 1906, porquanto a controvérsia, na realidade, começou em 1894, com a publicação do *Materials*, de Bateson, e continuou até a síntese evolucionista dos anos 1930 e 1940. Ela provocou uma divisão profunda na biologia evolucionista, prolongando-se pelas três primeiras décadas deste século (Mayr e Provine, 1980). Tratava-se de um embate entre duas filosofias, onde os mendelianos se inclinavam para um pensamento essencialista e para a atuação de unidades elementares da hereditariedade, enquanto os biometristas mais se interessavam pelos fenômenos de população e pendiam para interpretações holísticas. Pode-se mesmo chegar ao ponto de dizer que algumas das polaridades entre os grupos opostos remontam diretamente ao século XVIII. Com efeito, um desses problemas antigos, o da hereditariedade de mistura, deve ser estudado primeiramente, antes de podermos prosseguir com a análise dos eventos posteriores a 1900.

A hereditariedade por mistura

Os naturalistas e os criadores de animais, já no século XVIII, sabiam que os *sports* (variantes descontínuos), uma vez surgidos, podem persistir inalterados geração após geração. Em contrapartida, quando se cruzavam, fossem espécies diferentes, fossem raças domésticas ou geográficas, elas "se misturavam". Darwin, por exemplo, usa a palavra "mistura" quase sempre em conexão com o cruzamento de espécies ou de raças. Assim fizeram também Moritz Wagner e outros naturalistas, ao escreverem sobre a mistura, no período posterior a 1859. Esse termo baseava-se na observação inteiramente correta de que existe muito pouca segregação mendeliana visível na F2 da maioria dos cruzamentos de espécies (veja Kölreuter, Capítulo 14). É preciso enfatizar que todos esses autores tinham em mente fenótipos, e desde que a maioria das diferenças entre as espécies é altamente poligênica, os fenótipos das espécies e de raças cruzadas são em geral claramente intermediários, vale dizer, são produtos de "mistura". O termo originalmente cunhado de "mistura" referia-se à aparência dos fenótipos.

Significaria isso que tais autores também acreditavam em uma mistura ou fusão dos determinantes genéticos dos caracteres fenotípicos observados? Aparentemente sim, mas apenas em

parte. Darwin, por exemplo, faz muitas afirmações, em que aparentemente se admite que as gêmulas paternas e maternas podem ou fundir-se, durante a fertilização, ou apenas ligar-se umas às outras, prontas para de novo se separarem nas gerações seguintes. [2] O grande destaque que Darwin confere à frequência da reversão refuta completamente a idéia de que ele tivesse acreditado numa fusão universal (mistura). No *Origin* (1859), ele se refere ao fenômeno da reversão nada menos que oito vezes (pp. 13, 14, 25, 152, 160, 161, 163 e 473), e no *Variation of Animais and Plants* (1868) ele dedica todo um capítulo (XIII) ao assunto. Na segunda edição do *Variation* (1893, II: 23), afirma explicitamente que

> seria mais correto dizer que os elementos de ambas as espécies parentais se encontram nos híbridos em estado duplo, a saber, misturados entre si, e totalmente separados.

Em outros passos, ele se refere a gêmulas "puras" e a gêmulas "híbridas" na progênie dos cruzamentos. Darwin menciona, com particular aprovação, as idéias de Naudin relativas à ausência de mistura dos caracteres parentais nos híbridos (veja o Capítulo 14). Talvez melhor do que em qualquer outro dos seus escritos publicados, Darwin exprimiu a sua crença numa hereditariedade particularizada em uma carta de 1856 a Huxley (M. L. D., I: 103):

Tenho-me inclinado ultimamente a especular, de modo ainda incipiente e confuso, sobre a propagação por fertilização verdadeira como sendo uma espécie de mistura, não uma fusão, de dois indivíduos distintos, ou melhor, de inumeráveis indivíduos, pois cada genitor inclui os seus próprios genitores e os seus ancestrais. Não posso conceber de outra maneira o modo como as formas cruzadas remontam tão longe às formas ancestrais.

Verdade é que nos seus escritos posteriores Darwin nunca mais acentuou tão vigorosamente a teoria da hereditariedade particularizada como nessa carta, mas por outro lado também nunca adotou uma teoria universal da mistura, não obstante afirmações em contrário. De Vries assinalou corretamente (1889) que a interpretação darwiniana da hereditariedade, no seu conjunto, se coaduna muito mais com a hereditariedade particularizada do que com a hereditariedade de mistura. Darwin, embora fosse o autor de uma obra de dois volumes sobre a variação, não estava principalmente interessado no desenvolvimento de uma teoria genética, e por isso mencionava a reversão muito mais frequentemente como evidência da descendência comum do que como evidência para uma teoria da hereditariedade. A defesa da descência comum explica o seu enorme interesse pelo ocasional aparecimento de listras tipo zebra nas pernas e no lombo de cavalos e jumentos.

Nägeli foi um dos poucos biólogos do período pós-darwiniano que adotaram claramente uma teoria de exclusiva hereditariedade por mistura (talvez também Oskar Hertwig), embora fosse compatível essa teoria com a hipótese das gêmulas, micelas, ou outras partículas que atuavam como material genético, contanto que se fundissem as partículas paternas e maternas durante a fecundação. Todos os outros não apenas postulavam partículas, como portadoras da hereditariedade (algumas delas, por certo, podiam fundir-se na fertilização), mas postulavam também que pelo menos algumas dessas partículas eram transmitidas intactas, de geração a geração (veja, por exemplo, Galton, 1876; e de Vries, 1889). A afirmativa, acredito, feita pela primeira vez por R. A. Fisher (1930), de que Darwin e a maioria dos estudiosos da variação antes de 1900 teriam adotado uma teoria da hereditariedade exclusivamente de mistura, não tem o suporte da evidência (veja também Ghiselin, 1969; e Vorzimmer, 1970).

O quanto isso era bem entendido naquele período transparece da afirmação do embriologista americano E. G. Conklin, em 1898:

> Muitos outros fenômenos, especialmente a hereditariedade particularizada, a variabilidade independente dos elementos e a hereditariedade de transmissão dos caracteres latentes e patentes, presentemente só podem ser explicados como referência a unidades de estrutura ultramicroscópica (cf. Carlson, 1966: 18).

Considerando a ampla aceitação, anteriormente a 1900, de uma teoria da hereditariedade particularizada – isto é, a teoria de que os fatores genéticos transmitidos pelos pais não se fundem após a fertilização, mas sim que retêm a sua integridade ao longo de todo o ciclo vital-, é totalmente errado dizer-se que o efeito mais importante da redescoberta da obra de Mendel, em 1900, foi a substituição de uma crença geral numa hereditariedade de mistura por uma hereditariedade particularizada. Muitos autores, Darwin inclusive, subscreviam uma teoria mista. A continuação de uma crença na hereditariedade por mistura, assim me parece, $_0$ desempenhou apenas um papel secundário na resistência ao mendelismo, depois de 1900. O que Fisher e outros que adotaram a sua interpretação esqueceram é que, antes de mais ou menos 1909, não se fazia nenhuma distinção entre genótipo e fenótipo, e que o termo "mistura" era tradicionalmente utilizado para a aparência intermediária dos fenótipos, particularmente nos cruzamentos de espécies. Isso não indicava necessariamente um comprometimento com tal ou qual desempenho do material genético.

É preciso, portanto, esclarecer uma segunda confusão maior do período pré-mendeliano primitivo, a saber, a diferença entre fenótipo e genótipo.

A diferença entre fenótipo e genótipo

A discussão sobre o assunto da mistura ilustrou o quanto é importante fazer-se a distinção entre o fenótipo (a dotação genética de um indivíduo) e o fenótipo (o corpo em que esse genótipo se transformou durante o desenvolvimento).

Praticamente, o único autor do século XIX a atender para essa distinção foi Galton. Seu novo termo "estirpe" e seu termo redefinido "hereditariedade" referiam-se claramente ao genótipo, e a sua terminologia "natureza *versus* fomento" acentuava a diferença existente. A focagem desse problema foi praticamente inexistente, não apenas nos escritos de Darwin, mas também no período pós-darwiniano. Em 1900, quando nasceu a ciência da genética, ainda não se fazia claramente essa distinção, tanto terminológica como conceitualmente, exceto no tocante ao plasma germinal e ao soma, de Weismann. O indivíduo, como um todo, para de Vries, não era mais do que a versão ampliada do conjunto original dos pangenes do núcleo do óvulo fertilizado (zigoto). Essa a razão por que ele nunca se preocupou em especificar se o seu termo "mutação" se referia ao fenótipo ou ao plasma germinal subjacente.

Mas os criadores de animais e aqueles que se ocupavam com a produção de plantas cultivadas sabiam o tempo todo que não existe um tal determinismo genético inexorável, implicado no conceito de de Vries. Existem muitos caracteres – digamos o tamanho do fruto nos tomates – que são influenciados tanto pela constituição genética como por fatores ambientais.

O primeiro autor a dar-se conta da necessidade de uma distinção terminológica foi o geneticista

dinamarquês Wilhelm Johannsen (1857-1927). A educação e a formação de Johannsen foram bastante insólitas. Ele foi amplamente um autodidata, colhendo grande parte da sua primitiva educação em laboratórios farmacêuticos e químicos. Quando finalmente se voltou para a fisiologia das plantas, ele pôs em relevo, à semelhança de Galton, a quem admirava muito, os métodos quantitativos e as análises estatísticas. Também, na sua qualidade fundamentalmente essencialista, ele ficava perturbado com a considerável variação do tamanho dos feijões, que perdurava depois de uma série de gerações por auto-fertilização, o que, na sua opinião, deveria produzir feijões que fossem de fato geneticamente idênticos e amplamente homozigotos. Para fugir a essa variação, ele designou o valor estatístico médio da amostragem como o "fenótipo":

> Poder-se-ia designar o tipo obtido estatisticamente … simplesmente como fenótipo … Um fenótipo dado pode ser a expressão de uma unidade biológica, mas de forma alguma é necessário que o seja. A maioria dos casos dos fenótipos que se encontram na natureza, por análise estatística, de fato não o é! (1909: 123).

A sua terminologia, bem como a sua argumentação, revelava claramente que Johannsen procurava encontrar a "essência pura", daí a sua busca de "linhagens puras". Estudiosos posteriores acharam essa definição tipológica de pouca utilidade, e redefiniram o fenótipo como sendo as características concretizadas de um indivíduo. [3] Embora os termos sejam os de Johannsen, o uso moderno de fenótipo e genótipo, de fato, mais se aproxima do plasma somático e do plasma germinal, de Weismann.

Depois que Johannsen havia cunhado a palavra "gene" (veja o Capítulo 17), ele combinou-a com a raiz "tipo", para formar a palavra *genótipo,* como contrapartida para a palavra *fenótipo.* "Genótipo" diz respeito à constituição genética do zigoto, formado pela união de dois gametas:

> Designamos essa constituição pela palavra genótipo. A palavra é inteiramente independente de qualquer hipótese; trata-se de um *fato,* não de uma hipótese, que zigotos diferentes, originados da fertilização, podem por isso ter qualidades diferentes, e que, mesmo sob condições de vida perfeitamente semelhantes, podem desenvolver-se indivíduos fenotipicamente diversos (1909: 165-170).

Todavia, no seu conjunto, Johannsen tendia, de maneira bem tipológica, a pensar num conceito de fenótipo de uma população ou de uma espécie. Woltereck, quase ao mesmo tempo (1909), adotou uma terminologia diferente para exprimir a importante idéia de que o mesmo genótipo podia produzir fenótipos muito diferentes, sob diferentes condições ambientais. O que é herdado, dizia Woltereck, é meramente uma *normh* ***de reação,*** uma predisposição para reagir, de uma maneira específica, a qualquer conjunto de condições ambientais.

Mas de qualquer maneira, a diferença fundamental entre o genótipo e o fenótipo só foi plenamente entendida depois que se descobriu (19441953) que o genótipo consiste em DNA e que o corpo consiste em proteínas (e em outras moléculas orgânicas). Nos primeiros anos da genética, persistia uma notável confusão, de que nem o próprio Johannsen estava isento. A ausência de uma distinção entre o genótipo e o fenótipo estava na base de muitas das discussões e controvérsias da história da biologia evolucionista – por exemplo, as relativas à hereditariedade de mistura e à

natureza da mutação. Efetivamente, uma clara compreensão da diferença entre dotação genética (genótipo) e aparência visível (fenótipo) foi necessária para se chegar à refutação final da hereditariedade tênue. Não foi por acaso que Johannsen deu pessoalmente uma contribuição decisiva para essa refutação, embora nisso fosse auxiliado por uma feliz escolha de um organismo de teste. [4]

O botânico dinamarquês de fato escolheu uma planta auto-suficiente, o feijão de horta *(Phaseolus vulgaris)*. Tendo em vista que plantas dessa espécie são normalmente autofecundantes, elas são altamente homozigóticas. Johannsen escolheu, como material básico das suas culturas, dezenove plantas, produto de diversas gerações de autofertilização. No seio de cada uma dessas "linhas puras", ele colheu a descendência dos feijões maiores e dos feijões menores. A variação dentro de cada grupo de descendentes era virtualmente idêntica, independentemente do tamanho do grão parental. Em outras palavras, os genótipos dos feijões grandes e pequenos, de uma linha pura, eram os mesmos, enquanto as diferenças verificadas eram respostas às variadas condições ambientais. Aspecto importante do trabalho de Johannsen foi a precisão com que media e pesava milhares de sementes, bem como a cuidadosa análise estatística das suas descobertas. A conclusão inevitável foi que as diferenças de tamanho, devidas às circunstâncias do cultivo (fertilizantes, luz, água, e assim por diante), não podem ser transmitidas à próxima geração. Não existe a hereditariedade dos caracteres adquiridos. Desde que o fenótipo é o resultado de uma interação entre o genótipo *e* o meio ambiente, ele não pode ser considerado uma exata representação do genótipo.

Os interessantes experimentos com as linhas puras de Johannsen produziram um impacto ambíguo na biologia. De um lado eles ajudaram a enfraquecer a idéia, naquele tempo ainda poderosa e muito difundida, da hereditariedade tênue, mas por outro lado, os experimentos também foram citados, pelo próprio Johannsen e por outros, como evidência para a inoperância da seleção natural (veja o Capítulo 12)

As teorias concorrentes da hereditariedade

Agora que esclarecemos o problema do genótipo *versus* fenótipo e da hereditariedade por mistura, estamos em condições de avaliar de modo mais abrangente as razões da oposição à validade universal da hereditariedade mendeliana. A existência de teorias da hereditariedade concorrentes desempenhou grande papel nessa oposição. Quando as leis de Mendel foram redescobertas, em 1900, elas não ocuparam simplesmente uma campo vazio. Na realidade, diversas outras teorias – em particular as três. mais importantes – já vigoravam, e se apresentavam como capazes de explicar a evolução gradual darwiniana melhor que o mendelismo.

A lei da hereditariedade ancestral de Galton

O primo de Darwin, Francis Galton, continuou depois de 1875 a trabalhar na sua antiga teoria da hereditariedade (veja o Capítulo 16). Entre os primeiros estudiosos da hereditariedade, ele foi virtualmente o único a interessar-se pelos aspectos populacionais da variação genética. Em contraste com os hibridadores e os mendelianos, ele se concentrou nos caracteres quantitativos, como a altura e a cor da pele. Ele observou que o valor médio de tais caracteres, em uma população, permanecia igual, no seu todo, de geração em geração. Os homens mais altos tinham, em média, filhos menores

que o valor médio entre eles mesmos e suas esposas. Seus filhos estavam *regredindo* ao valor médio da população. A prole dos homens mais baixos, em contrapartida, retomava inversamente, subindo para. a média da população. O raciocínio latente de Galton falava ao senso comum. Ele dizia que toda pessoa recebia mais ou menos a metade de sua dotação hereditária do pai, a outra metade da mãe. Aplicando o mesmo raciocínio à geração dos avós, uma pessoa recebe mais ou menos uma quarta parte da sua dotação hereditária de cada um dos avós, e uma oitava parte de cada um dos bisavós, e assim por diante. A contribuição de um ancestral, portanto, seria dividida por dois, a cada geração. Tal constância foi mais tarde chamada a lei da hereditariedade ancestral,» de Galton. [5]

À primeira vista, a interpretação da hereditariedade de Galton parecia explicar a variação contínua muito melhor que a segregação mendeliana. Os darwinianos, como Weldon e Pearson, adeptos do conceito da evolução gradual de Darwin, ao serem obrigados a escolher entre uma hereditariedade descontínua e uma hereditariedade contínua, optavam por Galton (embora o próprio Galton acreditasse em uma evolução por saltos; veja o Capítulo 12). As fragilidades da lei da herança ancestral de Galton eram muitas, mesmo quando modificada por Pearson, sendo uma delas o seu caráter puramente descritivo, não oferecendo qualquer explicação causai; outra, era que não permitia nenhuma previsão. O erro mais grave de Galton, em todo caso, foi ter transferido aquilo que era estatisticamente válido para o genótipo como um todo para o modo da hereditariedade dos caracteres individuais. Embora Galton tivesse admitido a existência de partículas, como a base material da hereditariedade (veja o Capítulo 16), dava-lhes no seu raciocínio um tratamento, no sentido de que elas se misturavam. O aparecimento de homozigotos recessivos, oriundos de pais heterozigotos (oriundos por sua vez de avós heterozigotos), era completamente inexplicável pela lei de Galton, o que acabou contribuindo para a sua refutação inequívoca. A lei de Galton descreve razoavelmente bem a provável semelhança de um indivíduo com os seus ancestrais, mas não se aplica aos fatores genéticos individuais. No entanto, levou ainda muito tempo para que isso fosse plenamente entendido, e o mendelismo não podia esperar ser universalmente aceito, enquanto não fosse abandonada toda a aderência à lei de Galton.

Mesmo depois da morte de Weldon, em 1906, e quando Pearson (f. 1936) e Galton (f. 1911) já se haviam voltado para outros assuntos, o problema da hereditariedade da variação contínua permaneceu na controvérsia. Certo é que o matemático britânico Yule (1902: 234-235), em um artigo profético, havia sugerido que a variação contínua poderia ser devida à ação conjunta de fatores múltiplos. Mas tal explicação foi completamente ignorada pelos contemporâneos (veja adiante).

A teoria da contaminação

Os esforços para explicar a variação contínua de uma forma não-mendeliana continuaram ainda por muitos anos. William E. Castle, um dos mais engenhosos experimentadores dos primeiros tempos da genética, observou que cobaias albinas, procedentes de um cruzamento com uma cobaia-avó preta, revelavam mais pigmentação preta nas extremidades, e ocasionalmente em outras partes, que os albinos oriundos de uma linhagem pura de albinos. Por isso, ele desenvolveu a teoria de que havia nos heterozigotos alguma "contaminação" do fator genético branco pelo fator genético preto (e vice-versa), durante o processo da meiose, resultando numa cria com ligeiros traços intermediários. Essa foi a última teoria da "hereditariedade tênue" a ser proposta por um geneticista de respeito. Tal influência mútua dos caracteres alternativos, evidentemente,

seria de grande ajuda para explicar a variação contínua, e foi por isso uma teoria bem-vinda para os darwinistas. A teoria da contaminação de Castle levou a uma controvérsia com Morgan e seus discípulos, particularmente Muller.

Quando um experimento crucial de retrocruzamento deixou de confirmar as suas previsões, em 1919, Castle abandonou a sua teoria. Seu pensamento baseava-se no conceito de caráter unitário dos primitivos mendelianos, particularmente de Bateson, segundo o qual cada caráter era controlado por um fator genético único e específico. Se o caráter variava, como nos cruzamentos de Castle, isso devia ser atribuído a uma modificação do fator genético. A teoria dos fatores múltiplos (veja adiante) conduziu ao abandono da teoria do caráter unitário, por mostrar que diversos genes, quando não muitos, podem afetar (modificar) um mesmo caráter.

A teoria da hereditariedade citoplasmática

Depois que a teoria da contaminação dos genes de Castle havia sido refutada, sobrava ainda uma última teoria que tentava explicar a variação contínua de uma maneira não-mendeliana. Segundo essa teoria, a variação contínua era causada por uma especial "substância da espécie", talvez contida no citoplasma, e totalmente independente dos genes mendelianos descontínuos.

A idéia de que uma substância uniforme da espécie se transmitia de geração para geração só foi substituída muito lentamente pela teoria de que a hereditariedade é controlada por genes particularizados, localizados nos cromossomos. Muitas observações feitas no período de 1880 a 1920, pareciam explicar-se melhor ao se postular uma substância genética específica da espécie, difusa e relativamente uniforme, contida presumivelmente no citoplasma, e coexistindo lado a lado com os genes cromossômicos. Os cromossomos, segundo essa idéia, eram os portadores dos caracteres descontínuos, como exemplificado pelas mutações de de Vries e de Morgan, enquanto a variação contínua, bem como aquilo que era responsável pela "natureza verdadeira" da espécie, era algo transportado pelo citoplasma. Tais idéias eram muito difundidas entre os embriologistas. A observação e o experimento mostravam repetidamente que o citoplasma de um óvulo maduro tinha uma organização complexa, parecendo exercer o principal controle do início do desenvolvimento. Trabalhos recentes confirmaram plenamente essas observações. Esse fato foi responsável pela passagem de Roux de uma divisão celular igualitária para uma divisão qualitativa. Foi só muito mais tarde que se descobriu que essa organização do citoplasma é controlada por genes que atuam durante a formação do óvulo, quando ainda no ovário. De qualquer maneira, desde Wilhelm His (1874: 152) até Jacques Loeb, em 1916, muitos biólogos expressavam abertamente suas dúvidas quanto a que o núcleo tivesse algo a ver com o desenvolvimento inicial ou com a natureza da espécie. Boveri, que pessoalmente havia fornecido a evidência mais decisiva em favor do importante papel do núcleo (veja o Capítulo 17), ainda guardava as suas reservas (1903, Roux's Archiv, 16: 356). Entre os caracteres das espécies, dizia ele, podem ser distinguidos aqueles que se explicam pela hereditariedade cromossômica, porém a hereditariedade dos caracteres que determinam a inscrição de uma espécie num táxon superior parecia-lhe uma questão a ser analisada mais profundamente. Muitos biólogos, no período anterior a 1930, dividiam a hereditariedade entre aquilo que é controlado pelo núcleo e aquilo que era controlado pelo citoplasma. O próprio E. Baur (1929), o mais coerente dos geneticistas darwinianos continentais, deixou em aberto a questão se os caracteres dos *taxa* superiores podiam ser explicados da mesma maneira que os caracteres da espécie. Parecia

não haver nada de mendeliano na variação daqueles caracteres.

Os defensores da hereditariedade citoplasmática tinham alguns argumentos aparentemente válidos. A evidente função do citoplasma do óvulo, nos primeiros estágios da embriogênese, era posta em relevo particularmente por aqueles que, como Conklin e Guyer, trabalhavam com espécies dotadas de divisões de divagem altamente desiguais. Os naturalistas chamavam a atenção para o fato de que o tipo de mutações de que se ocupava Morgan, tais como olhos brancos, cor amarela do corpo, ausência de penugens, asas enrugadas, e assim por diante, eram ocorrentes não apenas na *Drosophila melanogaster,* mas também em outras espécies de *Drosophila,* enquanto – assim diziam – faltava uma evidência de hereditariedade cromossômica com respeito aos caracteres sutis que distinguem essas espécies. Os que se opunham a uma hereditariedade exclusivamente cromossômica não podiam conceber que o opulento repertório dos caracteres hereditários pudesse estar confinado à massa mínima dos cromossomos. Winkler (1924) apresenta um excelente resumo dos argumentos em favor da hereditariedade citoplasmática.

Particularmente, os botânicos descobriram tantos fenômenos que pareciam requerer a existência de uma hereditariedade citoplasmática, que

Wettstein (1926) propôs designar o material genético localizado no citoplasma como *plasmon,* em contraste com o *genom* localizado no núcleo. Um grande número de botânicos, principalmente alemães, descobriu efeitos genéticos do citoplasma, como Correns, (*Mirabilis*, e outros gêneros), Michaelis *(Epilobium),* Schwemmle (*Oenothera*), Oehlkers (*Streptocarpus*), Wettstein (musgos), e outros.[6] Nesse ambiente, Goldschmidt também interpretou algumas das suas descobertas no *Lymantria* como sendo devidas à hereditariedade citoplasmática.

A grande ênfase sobre o citoplasma, na Alemanha, era claramente expressão do forte interesse pelos fenômenos do desenvolvimento, que caracterizaram os estudos alemães da hereditariedade, ao longo dos anos 1880 e 1890. Fazendo-se um retrospecto, fica claro que esses estudos dos fenômenos citoplasmáticos eram prematuros, e que a genética alemã, a despeito do número considerável de profissionais envolvidos, trouxe uma contribuição menor para o nosso entendimento da genética de transmissão que o trabalho de Bateson, Cuénot, Castle, ou a escola de Morgan, que deixaram de lado o problema da hereditariedade citoplasmática.

A crença em uma contribuição importante, geral e independente do citoplasma na hereditariedade foi finalmente refutada de muitas e variadas formas (Wilson, 1925). Havia, antes de tudo, algumas considerações de natureza teórica.

1. A extraordinária precisão que comanda a divisão do material cromossômico do núcleo é sem paralelo, quando comparada com a divisão do citoplasma.
2. A identidade essencial da contribuição paterna e materna, na constituição genética da prole, tinha sido comprovada, por exemplo, pela hibridação recíproca, a respeito da enorme desigualdade no montante do citoplasma nos gametas do macho e da fêmea, em muitas espécies. Esse ponto foi demonstrado com particular elegância por Boveri (1889), quando conseguiu fertilizar fragmentos enucleados do grande óvulo de um gênero de ouriço-do-mar com o esperma de um gênero diferente, onde o embrião em desenvolvimento mostrou características unicamente paternas, enquanto os embriões híbridos genuínos eram exatamente intermediários entre os dois gêneros.
3. A divisão redutiva ao longo da maturação dos gametas femininos (células ovárias) afeta apenas o material cromático, e não o citoplasma. Em contraste, os

espermatozóides em desenvolvimento ficam desnudados da maior parte do seu citoplasma, de sorte a produzir-se ao final uma enorme desigualdade entre o citoplasma materno e o paterno; e, no entanto, permanece uma completa igualdade na dotação genética paterna e materna.

Mais importante que essas considerações teóricas foi a descoberta de explicações aptas a darem conta das aparentes exceções. Uma dessas exceções é conhecida como *hereditariedade mendeliana retardada.*

Quando existe uma grande massa de citoplasma ovário, os primeiros passos do desenvolvimento são por vezes controlados por fatores desse citoplasma, que são evidentemente o produto do elemento materno. Por exemplo, a direção da espiral em formação dos caracóis – ou para a direita (sentido do ponteiro do relógio), ou para esquerda (sentido contrário ao ponteiro) – acontece na primeira divisão de divagem, e é determinada pelo citoplasma do óvulo. Não obstante isso, foi por fim demonstrado que a direção da formação da espiral é de fato controlada por um gene, que atua no óvulo antes da fertilização, e que a espiral à direita é dominante em relação à espiral à esquerda, pelo menos na espécie *Limnaea peregra,* sobre a qual foi realizado o trabalho clássico relativo a esse problema (Boycott e Diver, 1923). Uma fêmea com espiral à esquerda, quando fertilizada por um macho com espiral à direita, produz crias com espiral à esquerda, mas estas, por sua vez, produzirão crias com espiral à direita, devido à influência do gene destro paterno dominante, na formação do citoplasma ovário. Os manuais de genética trazem muitos casos de tais hereditariedades mendelianas retardadas, estendendo-se às vezes por diversas gerações e onde, à primeira vista, parecia haver indicação da ocorrência de hereditariedade citoplasmática.

Um segundo fenômeno citado como evidência da hereditariedade citoplasmática é a inclusão de grãos de clorofila nas células de plantas ou de outros assim chamados plastídios e organelos, os quais, em medida maior ou menor, herdam suas características independentemente do núcleo. Por certo, alguns deles possuem o seu próprio material genético (DNA), uma aparente herança da sua origem evolutiva. A variegação das folhas constitui uma tal característica plastídia herdada do elemento feminino, em certas espécies de plantas. Os organelos nas células animais, como as mitocôndrias, podem da mesma forma ter o seu próprio DNA. Mas, não obstante, esses fenômenos não contradizem profundamente a teoria da hereditariedade cromossômica. O mesmo é válido para os interessantes fenômenos descobertos por Sennebom (1979), que indicam boa parte de autonomia em certas estruturas citoplasmáticas dos protozoários (ciliados).

Um terceiro grupo de fenômenos, que por algum tempo se acreditou pudessem comprovar a existência da hereditariedade citoplasmática, é a infecção de certos tecidos por microorganismos, que são passados para os gametas durante a formação destes. Aí se incluem fenômenos tais como o fenômeno da *petite colonie,* das leveduras, descoberto por Ephrussi (1953), o fator Kappa no *Paramecium,* de Sonnebom (Preer *et alii,* 1974), um fator de proporção sexual na *Drosophila,* o fator de esterilidade no *Culex* (Laven), e outros.

Assim, um após o outro, os fenômenos que a princípio pareciam indicar a ocorrência da hereditariedade citoplasmática revelaram-se finalmente como tendo uma explicação pelos genes e cromossomos. Um esclarecimento final de todos os aspectos de uma possível hereditariedade citoplasmática tomou-se possível a partir do momento em que o citoplasma pôde ser dissecado nos seus elementos, mediante microscopia eletrônica e pesquisas químicas correlatas. Isso não significa, porém, que a genética do citoplasma seja hoje um capítulo encerrado. O citoplasma desempenha um

importante papel no desenvolvimento e na regulação da atividade do gene. Com efeito, há indicações no sentido de que a arquitetura fina do citoplasma de fato exerce uma função maior que hoje se pensa. Também é possível, senão provável – e as pesquisas de Sonnebom certamente corroboram esse ponto de vista-, que essa arquitetura do citoplasma seja, em parte, específica da espécie, e que esteja envolvida em muitos dos processos celulares. A antiga idéia de que o citoplasma é importante na hereditariedade, portanto, não está morta, embora tenha sido grandemente modificada.

A explicação mendeliana da variação contínua

Quando as explicações não-mendelianas, uma após outra, se revelaram como sendo inválidas, tomou-se inevitável a conclusão de que a variação contínua devia ser explicada em termos dos genes mendelianos descontínuos. A solução ficou possível quando se descobriu que um único aspecto do fenótipo podia ser controlado por genes situados em diversos *loci* diferentes. Isso, de fato, já havia sido elaborado com todos os detalhes por Mendel (1866: 36), ao explicar os resultados de alguns dos seus cruzamentos (por exemplo, *Phaseolus nanus* X *Ph. multiflorus*), e também pelos cruzamentos de espécies realizados por Gärtner. O próprio Bateson havia reconhecido o caso como uma solução potencial para o conflito:

> Mesmo que houvesse apenas uns poucos pares de alelomorfos possíveis, digamos quatro ou cinco, uma série de várias combinações homo e heterozigóticas poderia aproximar-se a tal ponto de uma curva contínua que a pureza [isto é, a descontinuidade] dos elementos poderia ficar insuspeitada, e sua detecção praticamente impossível (1901: 234-235);

isso no caso de dois, três, quatro, ou mais genes controlando um único caráter, como por exemplo a estatura. E ele concluía:

> A variação descontínua deverá mergulhar insensivelmente numa variação contínua, devido apenas ao fato da natureza composta da maioria dos caracteres de que estamos tratando.

Não obstante, tal conclusão de que a hereditariedade da variação contínua podia ser explicada em termos dos mesmos fatores mendelianos separados, como na variação descontínua, encontrou muita resistência por parte dos antimendelianos.

O primeiro que chegou a demonstrar experimentalmente (19081911) que os caracteres quantitativos, que resultam numa variação contínua, podem ser herdados na forma estritamente mendeliana foi o cultivador de plantas sueco Nilsson-Ehle. Em um cruzamento de variedades de trigo, uma de sementes vermelhas e outra de sementes brancas, ele obteve na F_1 e na F2 somente plantas de sementes vermelhas. Ao se autofertilizarem as plantas da F_2, foi observada uma segregação muito peculiar na F_3 (para detalhes, consulte os textos genéticos). Suas descobertas eram coerentes com a hipótese de que a coloração era controlada por três genes separados, herdados independentemente. Revelou-se mais tarde que Nilsson-Ehle foi muito feliz ao estudar esse problema com o trigo, pois este cereal é hexaplóide, vale dizer, um poliplóide com três conjuntos de cromossomos, tendo cada um deles um gene que controla a cor. De qualquer maneira, mais tarde ele

descobriu outros casos, não poliplóides, em que um único caráter era influenciado por dois ou três genes separados. East (1910) chegou independentemente à mesma interpretação da variação contínua, à base de experimentos com milho, e da mesma forma Davenport (1910), por meio do estudo da cor da pele humana. [7] Sabe-se hoje que 0 número dos genes separados que podem controlar um único caráter pode realmente ser muito grande. Geneticistas de ratos, por exemplo, chegaram a sugerir que todo gene da cor do pêlo do rato exerce também simultaneamente um efeito sobre o tamanho do corpo.

O efeito notável da hereditariedade multifatorial é que ela converte a variação descontínua do genótipo em variação contínua no fenótipo. No caso do trigo de Nilsson-Ehle, por exemplo, quanto mais genes dominantes havia em uma planta, tanto mais acentuada era a cor vermelha. Numa população em que os vários indivíduos pudessem passar do estado homozigoto recessivo, quanto a todos os genes do vermelho (não tendo portanto qualquer gene do vermelho), para homozigotos dominantes, quanto aos três genes, haveria um trânsito contínuo para uma coloração sempre mais vermelha. Quando se lhes sobrepõem componentes de variação fenotípica não-genética, aparecerá uma curva suave de variação contínua, muito embora a base genética dessa variação consista em fatores mendelianos discretos, isto é, descontínuos. O enigma da base genética da variação contínua estava finalmente resolvido.

A expressão de quase todo gene, particularmente aqueles de efeitos quantitativos, pode ser modificada por outros genes. Os genes que modificavam o grau de pigmentação dos ratos de redoma de Castle constituem uma ilustração típica. Os genes modificadores são de particular importância na evolução, porque respondem prontamente à seleção, e porque dotam as populações da necessária flexibilidade para se adaptarem às súbitas mudanças do meio ambiente. A essência da hereditariedade multifatorial (poligênica) reside em que um único componente do fenótipo (um único caráter) pode ser controlado por diversos *loci* de genes independentes. Casos de hereditariedade multifatorial foram descobertos muito antes, na história da genética, a começar com Mendel (um dos seus cruzamentos com *Phaseolus).* Um caso célebre é o da crista dos frangos em forma de noz, que Bateson e Punnet em 1905 demonstraram como sendo o resultado da interação entre a crista em forma de ervilha e a crista em forma de rosa. Descobriram também um caso de poligenia nas ervilhas doces. Não obstante isso, houve entre os evolucionistas uma relutância considerável em aceitar a hipótese dos fatores múltiplos dá variação contínua. Isto se afigura a eles uma hipótese *ad hoc,* arbitrária, no intuito de cobrir uma debilidade da interpretação mendeliana.

Embora a hereditariedade multifatorial tivesse sido detectada repetidamente, a partir de 1905, sou de opinião que se deve à escola de Morgan o mérito maior da sua utilização para refutar-a teoria de um gene – um caráter (isto é, caráter unitário) dos primitivos mendelianos. A refutação dessa teoria permitiu uma separação muito mais clara entre a genética de transmissão e a genética fisiológica. Ela removeu alguns dos aspectos menos aceitáveis, pré-formacionistas, da primitiva teoria mendeliana, fazendo com que esta virtualmente não necessitasse de nenhuma modificação, para ser enfim traduzida na linguagem da genética molecular ("programas genéticos").

A hereditariedade multifatorial, também chamada *poligenia,* não constitui o único exemplo de uma interação de genes diferentes. Com efeito, a variedade e a magnitude de interações possíveis entre os genes, e – como hoje sabemos – de diversos tipos de DNA, tomam-se mais evidentes a cada dia que passa. Sua importância, todavia, já havia sido percebida por alguns dos primeiros mendelianos. Bateson, em particular, estava interessado nas interações *epistáticas* (o termo é dele)

entre os diversos *loci* de genes. Para tomarmos um caso particular simples, um gene albino pode suprimir a produção de pigmento de diversos genes diferentes do pigmento. Segundo o geneticista russo Chetverikov, que pela primeira vez afirmou claramente: todos os genes podem contribuir para o meio genético de outros genes. Isso assume grande importância na genética fisiológica, bem como na evolucionista.

Um tipo particular de tais interações é a *pleiotropia*: o fenômeno pelo qual um dado gene pode afetar diversos caracteres, vale dizer, diferentes componentes do fenótipo. O conhecimento dessa particularidade é muito importante para a determinação do valor seletivo de tais genes. Todos os progressos descritos nas páginas anteriores, inclusive a descoberta da poligenia e da pleiotropia, reforçaram cada vez mais a certeza de que todos os fenômenos da hereditariedade podiam ser interpretados em termos de genes nucleares discretos.

A genética estava agora preparada para analisar a variação contínua dos biometricistas, e mostrar que ela é coerente com os princípios mendelianos. Começando com as análises altamente originais de Fisher (1918), e as subsequentes averiguações de Mather (1949) e de vários criadores de animais (Lemer, 1958), a genética quantitativa fez rápidos progressos, a partir dos anos 1940 (Falconer, 1960; Thompson e Thoday, 1979; veja também a Parte II).

O fim da hereditariedade tênue

Os genes de Morgan e de outros geneticistas da segunda e terceira décadas do século XX relevavam claramente a hereditariedade sólida. A única maneira em que podiam mudar era por mutação, convertendo, mediante um único passo, um gene anteriormente constante em um outro. Poder-se-ia pensar que a demonstração desse fato tivesse provocado a morte de toda e qualquer teoria da hereditariedade tênue; mas não foi bem isso que aconteceu. Na realidade, a hereditariedade tênue custou a morrer. E havia muitas razões para isso. Uma delas foi que os primeiros proponentes da hereditariedade sólida, os primitivos mendelianos (de Vries, Bateson, Johannsen), tinham idéias evolucionistas totalmente inaceitáveis. Seus adversários sustentavam, erradamente, que a admissão da hereditariedade sólida acarretava também a adoção das teorias evolucionistas claramente inválidas dos mendelianos. Além disso, as leis genéticas foram elaboradas com o auxílio de caracteres aberrantes, quando não evidentemente patológicos (albinismo, dedos extras, deficiências estruturais, e outros mais). Os naturalistas estavam persuadidos de que havia a constante necessidade da hereditariedade tênue para explicar as mudanças graduais de caracteres evolutivamente importantes (contra o mutacionismo dos mendelianos), e para dar contas da variação geográfica adaptativa (leis climáticas, e assim por diante). Quanto mais fortes eram as evidências em favor da hereditariedade sólida, tantos maiores eram os esforços dos neolamarckianos no sentido de apresentar provas da hereditariedade dos caracteres adquiridos.

O peso das evidências acumuladas tomou-se tão convincente, por volta de 1930 e 1940, que inclusive os últimos advogados, no círculo dos geneticistas, defenderam a ocorrência de alguma forma de hereditariedade não-mendeliana ou se converteram ou se calaram. Por mais trinta anos, ocasionalmente, aparecia uma crença na hereditariedade tênue entre os não-geneticistas (Mayr e Provine, 1980), mas como teoria cientificamente viável ela estava morta.

Talvez se possa atribuir o fim da hereditariedade tênue a três conjuntos de fatores. O primeiro é que todas as tentativas de encontrar uma evidência experimental para a existência desse tipo de

hereditariedade foram votadas ao fracasso (veja anteriormente). O segundo é que o estudo dos genes indicava a sua constância completa (exceto quanto a mutações ocasionais). O terceiro é que todos os fenômenos que pareciam requerer o postulado da hereditariedade tênue, tais como a variação contínua e as leis climáticas, explicavam-se, em última instância, em termos dos genes mendelianos e da seleção natural. Conquanto isso naquela época já não fosse mais necessário, a demonstração dos geneticistas moleculares, pelo ano de 1950, de que o caminho dos ácidos nucléicos para as proteínas do corpo era uma via de mão única fez soar o último toque fúnebre da hereditariedade tênue.

A genética progrediu a passos de gigante nos cinquenta anos que se seguiram à redescoberta das leis de Mendel. Efetivamente, nesse período foi alcançado um conhecimento praticamente completo de todos os aspectos da genética de transmissão. Para podermos acompanhar os subsequentes desdobramentos da genética, seria útil fazermos, a esta altura, um breve resumo das conquistas disponíveis nos anos 1950.

1. O material genético é particularizado, consistindo em unidades designadas genes, os quais possuem uma estabilidade de longo prazo ("hereditariedade sólida").
2. Os caracteres definidos são o produto de determinantes ("genes"), localizados em *loci* bem definidos dos cromossomos.
3. Os genes, nos cromossomos, estão "ligados" numa sequência linear definida, mas essa ligação pode ser quebrada por intercruzamento, que é tanto mais frequente quanto mais afastados se encontram os *loci* genéticos nos cromossomos (exceto quando revertidos por duplo intercruzamento).
4. Em um indivíduo de uma espécie reprodutiva sexualmente, cada gene é, com regularidade, duplamente representado, sendo um oriundo de uma das duas unidades homólogas do pai, o outro oriundo de uma das duas unidades homólogas da mãe (princípio conhecido como a diploidicidade).
5. A mutação é uma mudança descontínua de um gene.
6. Deve ser feita estrita separação entre o genótipo (material genético) e o fenótipo.
7. Diversos genes podem contribuir para a manifestação de um único "caráter", isto é, um componente do fenótipo (poligenia), e um único gene pode influenciar diversos caracteres (pleiotropia).

As incertezas sobre a natureza do gene

Os aspectos básicos da hereditariedade mendeliana estavam razoavelmente bem incorporados por volta de 1920, e a genética começou então a especializar-se. Por aquele mesmo ano surgiu a genética de populações, que floresceu particularmente entre 1930 e 1950 (veja o Capítulo 13). Os fisiologistas e os embriologistas começaram a dar-se conta de que os fenômenos por eles estudados remontavam, em última instância, aos genes, e assim o estudo da função do gene tomou-se um ramo cada vez mais importante da genética. Mas permanecia ainda uma zona escura na genética de transmissão. Algumas questões ainda não haviam sido respondidas: Qual é a natureza do gene? Qual a configuração da sua "morfologia"? Constitui ele que tipo de molécula ou agregado de moléculas? Qual é o tamanho de um gene? Em que ponto genes diversos diferem entre si quimicamente? São todos os genes basicamente iguais, ou existem diferentes tipos de genes? Uma multidão de semelhantes perguntas, relativas à natureza exata do material hereditário, permanecia sem respostas,

e muitas escolas passaram a concentrar sua atenção nas tentativas de solucioná-las.

É dificultoso fazer o relato da história da genética de transmissão, dos anos 1920 a 1960, porque muitos problemas estudados nesse período (tais como a variegação) são altamente técnicos, e alguns deles ainda não foram exaustivamente explicados. Na verdade, eles não poderão ser plenamente entendidos até que não fique esclarecida a estrutura, bem como a função, do cromossomo eucarioto. Enormes esforços foram feitos no período para elucidar a natureza do gene, mas o que se descobriu revelou-se insignificante ou impróprio, em face da real estrutura da molécula do DNA, descoberta em 1953. Nem esse período se destaca pelo desenvolvimento de conceitos aproveitáveis. De fato, a maioria dos conceitos propostos nesse período, tais como a hipótese dos genômeros e a teoria do campo do gene, de Goldschmidt, teve que ser abandonada, pelo menos na forma em que originalmente foram formulados. Falta-nos ainda uma história verdadeiramente crítica do período, no intuito de uma possível compatibilização das suas descobertas e disputas com os resultados da genética molecular. Muller e Stadler, por exemplo, chegaram muitas vezes a conclusões diferentes quanto à interpretação dos seus experimentos com radiação. Poderia o aparente conflito de algumas das suas descobertas ser resolvido na perspectiva dos modernos conhecimentos sobre a estrutura fina dos cromossomos e sua organização em genes de enzimas e em genes reguladores? Muita coisa ainda resta a fazer em termos de uma análise história, e o relatório que apresento aqui é apenas tentativo, e poderá sofrer considerável revisão.

Para facilitar a compreensão das dúvidas e das controvérsias das quatro décadas, de 1920 a 1960, começarei por dar aqui uma versão grandemente simplificada da teoria clássica dos cromossomos. O cromossomo foi comparado a um fio de contas, cada conta representando um gene diferente. Cada gene era tido como um corpúsculo isolado, inteiramente constante, de geração em geração (exceto no caso de mutações muito raras), independente dos genes vizinhos e não tendo nenhum efeito sobre eles (exceto nos raros casos de efeitos decorrentes da posição). Admitia-se que possuía uma tríplice capacidade: (1) cada gene controla (ou afeta) um caráter (o gene como unidade de função); (2) cada gene sofre mutação, independentemente dos outros (o gene como unidade de mutação; e (3) cada gene pode separar-se do seu vizinho mais próximo, no cromossomo, pelo processo de intercruzamento (o gene como unidade de recombinação). Acreditava-se que a mutação consistia em uma ligeira modificação da molécula do gene, resultando em um novo alelo. O intercruzamento era considerado um rompimento puramente mecânico do cordão de contas, seguido de nova fusão com o correspondente "pedaço de cordão" de um cromossomo homólogo.

O conceito de que os genes são totalmente independentes dos seus vizinhos, e que a sua posição no cromossomo é inteiramente fortuita, parecia ser corroborado pela descoberta de Morgan e sua escola, de que os genes adjacentes, nos cromossomos da *Drosophila,* muitas vezes controlavam características inteiramente não-correlatas, enquanto os genes que afetavam um único aspecto, digamos o olho, encontravam-se espalhados por todo o cromossomo. A proximidade dos genes, como amplamente admitido, era nada mais que o produto da história de rupturas cromossômicas anteriores. O fato de que existem tantos grupos de ligação quantos são os cromossomos também era coerente com a teoria.

Além disso, se o gene é um corpúsculo definido, então deve ser possível, com a ajuda de várias técnicas, calcular o seu tamanho aproximado, e tomar isso como base para avaliar o número de genes que podem acomodar-se em todo o fio cromossômico de um núcleo. Muller ("é claro", segundo somos tentados a dizer) foi o primeiro (em Morgan, 1922) a efetuar tais cálculos, que foram apurados

em 1929. Baseando-se numa série de indicadores (inclusive a frequência da mutação e certos aspectos do intercruzamento), o valor mais aproximado do número total de genes na *Drosophila melanogaster* foi por ele estimado, em 1929, como sendo entre 1.400 e 1.800. Diversos autores, utilizando técnicas de irradiação, chegaram mais tarde a estimar um número de 1.300 e 1.800, somente no cromossomo X, e dessa forma um total de mais de 14.000 genes para todos os cromossomos.

As observações citológicas pareciam dar um suporte adicional ao conceito do fio-de-contas, e mesmo à possibilidade de contar as contas. O material nuclear, durante o estágio leptotênico da meiose, efetivamente tinha muitas vezes a aparência de um tal cordão, com "contas" definidas, chamadas pelos citologistas *cromômeros.* Foi postulado por alguns citologistas que cada cromômero representava um gene diferente. Belling (1931) contou cerca de 2.500 pares de cromômeros no núcleo de *Lilium.* Outros citologistas mostraram que alguns cromômeros contêm diversos genes.

Um avanço espetacular da citologia pareceu confirmar a teoria dos cromômeros. Em 1933, Heitz e Bauer redescobriram os cromossomos gigantes, dotados de fitas, nas glândulas salivares da *Drosophila,* e Painter e Koltsov sugeriram que as fitas correspondiam às séries de cromômeros desses cromossomos altamente politênicos, e que a sequência das fitas correspondia à sequência dos genes. Bridges (1938) contou pelo menos 1.024 fitas no cromossomo X da glândula salivar da *D. melanogaster,* e postulou um correspondente número de genes. Medindo o volume dos cromossomos, foi então possível fazer estimativas quanto ao tamanho dos genes. Todavia, essas estimativas estavam erradas, de uma ou duas ordens de grandeza, e o trabalho subsequente com genes microbianos revelou que não existe um tamanho fixo para o gene; efetivamente, genes diferentes de um mesmo indivíduo podem variar em duas ordens de grandeza.

A descoberta dos cromossomos salivares foi de uma importância muito maior para outros problemas da genética que para a determinação do número e tamanho dos genes. Uma análise microscópica dos cromossomos salivares muitas vezes permitia uma determinação direta do genótipo, sem precisar recorrer a testes refinados de cultivo. Ela revelou a presença de mutações cromossômicas (rearranjos), inferidas à base da análise genética. Inversões, deficiências, duplicações e translocações, nos dípteros, podiam agora ser estudadas facilmente. Ao mesmo tempo, a complexidade da disposição das fitas ofereceu a primeira evidência para a complexidade do cromossomo eucarioto e para a heterogeneidade do material cromático.

O efeito de posição

A princípio, todos os fatos conhecidos da hereditariedade pareciam coincidir com o modelo fio-de-contas dos genes e cromossomos, mas finalmente foram descobertas inconsistências e contradições.

A primeira discrepância séria foi manifestada pela descoberta do efeito de posição, por Sturtevant (1925).[8] Existe um gene dominante no cromossomo X da *Drosophila melanogaster* chamado "barra", que faz com que o olho seja achatado ao invés de redondo. Esse gene pode chegar a mutação de achatamento extremo (ultrabarra), ou reverter para o redondo. Análises ulteriores revelaram dois aspectos notáveis desse caso. Primeiro, o fenótipo barra não é devido à simples mutação do gene, mas a uma mudança estrutural do cromossomo. O estudo dos cromossomos das glândulas salivares trouxe à luz que, nas moscas normais, existem seis fitas nesse *locus* (S), mas que

nas moscas de olho achatado essas Seis fitas estão duplicadas (SS). As moscas ultrabarra têm o mesmo segmento triplicado (SSS). As moscas normais de olhos redondos, procedentes de moscas barra por "mutação", tinham o segmento S apenas uma vez. A alteração estrutural somente podia ser explicada por um intercruzamento desigual (ou "oblíquo"), como demonstrou Sturtevant, por meio do comportamento de genes que sofreram mutação a cada lado do *locus* barra. Análises detalhadas de outros genes da *Drosophila* e de outros organismos mostraram por fim que o intercruzamento desigual não é de forma alguma raro – em outras palavras, que a unidade da recombinação não é necessariamente o gene. Essa foi a primeira brecha na teoria da capacidade tríplice do gene.

Talvez tenha sido ainda mais perturbador um segundo aspecto do gene barra. Quando dois genes barra eram adjacentes, no mesmo cromossomo, eles tinham um efeito diferente sobre o número dos omatídeos do olho, pelo fato de esses dois genes estarem em posição oposta nos dois cromossomos homólogos. Sturtevant designou isso *efeito de posição*. Assim, o caso barra comprovou que a função de um gene, e por isso o efeito que ele exerce sobre o fenótipo de um organismo, podia ser modificada pela simples alteração do arranjo do material hereditário dos cromossomos, sem necessidade de mutação, e sem qualquer mudança na quantidade do material genético.

Pseudo-alelismo

Uma outra complicação para o conceito clássico do gene foi introduzida pelo fenômeno chamado *pseudo-alelismo*. A escola de Morgan, nas suas primeiras descobertas, ficava particularmente impressionada com o fato de que genes adjacentes pareciam não ter qualquer relacionamento funcional entre si. Genes que controlavam caracteres diversos, como a cor dos olhos, a formação das nervuras das asas, a formação de penugem, a cor do corpo, e assim por diante, podiam estar situados lado a lado. "Genes" que tinham efeitos muito semelhantes ordinariamente não passavam de simples alelos de um único gene. Se o gene é a unidade do intercruzamento, não se pode esperar recombinação alguma entre os alelos.

Efetivamente, as primeiras tentativas (1913: 1916) realizadas pelos alunos de Morgan, para descobrir intercruzamentos de alelos do *locus* olho branco, foram infrutíferas, devido amplamente, como mais tarde se evidenciou, ao tamanho muito reduzido da amostra. Entretanto, depois que Sturtevant (1925) havia proposto a teoria do intercruzamento desigual da duplicação barra, e depois que Bridges (1936) confirmou esse fato, baseando-se na evidência proporcionada pelos cromossomos salivares, parecia ter chegado o tempo de tentar mais uma vez a recombinação de alelos aparentes. Oliver (1940) foi o primeiro a ser bem-sucedido, descobrindo a evidência do intercruzamento desigual de alelos no *locus* losango da *Drosophila melanogaster*. Heterozigotos de dois alelos diferentes (lz_g/lz_p), delimitados por genes marcadores, reverteram ao tipo selvagem, com a frequência de mais ou menos 0,2%. A recombinação dos genes marcadores provou que o intercruzamento entre os "alelos" aconteceu.

Os genes que estão tão próximos uns dos outros, a ponto de o seu intercruzamento só poder ser registrado no caso de amostras muito grandes, e que por isso normalmente se comportam como se fossem alelos, são designados *pseudo-alelos* (Lewis, 1967). Eles compartilham uma semelhança funcional com os alelos verdadeiros, e com eles também dividem a capacidade de produzir um fenótipo mutante, no caso de transposição. Eles foram encontrados não apenas na *Drosophila,* mas também no milho e, com particular frequência, em certos microorganismos. A genética molecular

lançou muita luz sobre essas questões, mas uma compreensão plena ainda nos escapa, devido a que nos falta um conhecimento completo da regulação dos genes nos eucariotos.

Mas tomemos ao impacto profundo causado pela descoberta do efeito de posição. Num artigo de recensão, Dobzhansky formulou as seguintes conclusões:

> Um cromossomos não é meramente um agregado mecânico de genes, mas sim uma unidade de ordem superior … as propriedades de um cromossomo são determinadas por aqueles genes que compõem as suas unidades estruturais; todavia, o cromossomo é um sistema harmonioso que reflete a história do organismo, sendo ele mesmo um fator determinante dessa história (1936: 382).

Outros não se deram por satisfeitos com uma revisão tão modesta do "conceito de contas" do gene. Já desde o começo do mendelismo, havia biólogos (tais como Riddle e Child) que citavam argumentos aparentemente de peso contra a teoria corpuscular dos genes. O efeito de posição foi para eles como água para o seu moinho. Goldschmidt (1938, 1955) tomou-se o seu porta-voz mais organizado. Em substituição à teoria corpuscular dos genes, ele propôs uma "teoria moderna do gene" (1955: 186). Segundo ele, não existem genes localizados, mas sim "um modelo molecular definido, localizado numa secção definida do cromossomo, e qualquer alteração desse modelo (efeito de posição, no mais amplo sentido) modifica a ação de uma parte do cromossomo, ocasionando assim a origem de um mutante". O cromossomo, como um todo, é um "campo" molecular, e aquilo que se costumava chamar de genes eram secções discretas ou mesmo sobrepostas desse campo; a mutação, dessa forma, é uma remodelagem do campo cromossômico. Essa teoria de campo estava demasiadamente em conflito com muitos fatos para ser aceita, mas o simples fato de ter sido proposta seriamente por um geneticista tão experimentado como Goldschmidt estava a demonstrar o quanto ainda era insegura a teoria dos genes. O fato também se reflete no grande número de artigos teóricos sobre os genes, publicados entre 1930 e 1950 (Demerec, 1938, 1955; Muller, 1945; Stadler, 1954).

Genes instáveis

Em alguns dos seus mais antigos trabalhos de genética, Hugo de Vries descobriu, em 1892, uma variedade de boca-de-leão *{Antirrhinum majus)* que tinha flores de listras vermelhas, e cujos rebentos podiam produzir uma vasta gama de variegação, de manchas pequenas para riscas estreitas ou largas, até grandes setores vermelhos da flor. Flores diferentes, ou flores de ramos diferentes da mesma planta, podiam diferir entre si na variação. Desde esse primeiro achado, genes instáveis foram descobertos em muitos tipos de plantas e de animais, e numerosas explicações foram propostas, tais como transferências de dominância, ou a presença de "genômeros, subgenes de um gene maior e altamente complexo. Essa teoria, devido à sua corpuscularidade extrema, foi por assim dizer o pólo oposto da teoria de campo. De acordo com a teoria dos genômeros, certos genes (todos?) eram tidos como sendo compostos de partículas diferentes, distribuídas de modo desigual durante as divisões mitóticas (ecos de Weismann!). Correns, E. G. Anderson, Eyster e Demerec defenderam, por algum tempo, a hipótese dos genômeros, porém o peso das evidências em contrário fê-los abandoná-la no início dos anos 1930 (Demerec, 1967;

Carlson, 1966: 97-105). Demerec, por fim, atribuiu essa instabilidade à "instabilidade química dos genes", o que evidentemente não explicava nada, mas simplesmente transferia o aborrecido fenômeno do domínio do biólogo para o do químico.

Quando, após uma considerável calmaria, os genes instáveis mais uma vez vieram à baila, o seu comportamento foi atribuído a uma interação entre *locus* de genes ou cromossomos. Refiro-me ao trabalho de Barbara McClintock (1951), a qual mostrou que a introdução de um cromossomo estruturalmente instável g dentro de certos genótipos do milho produzia a "mutação" de muitos genes do cromossomo g, e de outros cromossomos, para formas recessivas instáveis. O que aparentemente estava envolvido era uma inibição reversível da expressão desses genes. Embora o verdadeiro significado desse achado "aberrante" (como era chamado) só ficasse geralmente reconhecido doze anos mais tarde, quando foi confirmado pela genética microbiana, estava aí a clara evidência de que a "mutação" em um *locus* podia ser simulada, por atividades reguladoras, em um *locus* diverso. Em outras palavras, a expressão fenotípica de um gene pode ser alterada por outros genes, enquanto o gene em si mesmo permanece completamente estável. Ninguém sabe com que frequência acontecem tais pseudomutações, devidas a interações genéticas epistáticas. Pelo prazo de mais de cinquenta anos, numerosos pesquisadores consagraram grande tempo e esforço ao estudo dos genes instáveis, na esperança de que a explicação da instabilidade pudesse lançar uma luz importante sobre a natureza do gene. Deu-se, na realidade, que o fenômeno não era devido a alguma propriedade de um único gene, mas sim ao funcionamento (interação) de todo o sistema dos genes.

O período de 1930 a 1950 conheceu uma intensa atividade entre os estudiosos do gene, mas também foi um período de grandes frustrações. A microscopia não lograva oferecer uma imagem melhor do gene que a análise puramente genética. Isso se aplicava, inclusive, aos cromossomos salivares gigantes, que ostentavam uma variedade estonteante de fitas, não estreitamente correlacionadas com qualquer uma das funções dos genes. Não podendo os genes serem vistos diretamente, o que deles se podia saber era apenas por inferência. E, virtualmente, a única maneira de se poder extrair informações sobre o gene era por meio do estudo das suas alterações por mutação.

Isso era verdade, apesar do sucesso espetacular dos estudos da mudança química dos produtos do gene, procedentes da mutação, particularmente em relação aos microorganismos, tendo começado com as brilhantes pesquisas de Beadle e Tatum. Contudo, tendo em vista que essa pesquisa se cingia deliberadamente ao estudo das enzimas produzidas pelos genes, era escassa a luz que podia lançar sobre a estrutura do gene em si mesmo.

A mutação experimental e a natureza do gene

Por volta de 1920, começou a ficar bastante claro que, simplesmente mediante experimentos com cruzamentos, já não se podia avançar muito no conhecimento da natureza dos genes. Outros caminhos tiveram que ser tentados para se obter informações inteiramente novas. A bioquímica e a biofísica, antes de 1944, não atingiram nem a maturidade conceitual, nem a proficiência técnica para permitir uma solução do problema do gene, via bioquímica. Nessas circunstâncias, ocorreu a muitos pesquisadores que a produção experimental de mutações poderia ser a forma de lançar alguma luz sobre a natureza dos genes. H. J. Muller foi o primeiro a dar-se conta de que a maneira a esmo com que outros estudaram a mutação, inclusive a mutação experimental, jamais poderia conduzir a

resultados inequívocos. Por isso, ele se propôs a estabelecer algumas condições essenciais, em particular: (1) a pureza genética do material a ser testado; (2) um grande número de indivíduos nas amostras experimentais e de controle, para permitir testes estatísticos significativos; e (3) o desenvolvimento de métodos novos, particularmente a utilização de linhagens adrede preparadas (com genes letais apropriados, genes marcadores e genes supressores de permuta), para permitirem testar várias hipóteses em relação à estrutura do gene. Essas linhagens especiais da *Drosophila,* descritas nos manuais de genética, permitiram a Muller calcular a frequência real das novas mutações que aconteciam. Isso era particularmente importante, porque muitas mutações são recessivas, e é sempre muito difícil determinar o tempo em que um mutante recessivo ocorreu pela primeira vez. Além do mais, muitas mutações são letais, em condições homozigóticas, vale dizer, quando elas acontecem em ambos os cromossomos homólogos. Evidentemente, os letais homozigóticos se perdem, deixando de aparecer na descendência. Três passos eram particularmente importantes na técnica de Muller: a introdução de um gene marcador em um cromossomo, para identificação inequívoca, a instalação de um mecanismo inibidor do intercruzamento no cromossomo, e a associação do cromossomo marcado com outro cromossomo apto a revelar qualquer alteração mutante. Após conseguida a produção dessas importantes linhagens, Muller expôs algumas das suas moscas a diferentes dosagens de raios-X.

Ele utilizou uma linhagem de fêmeas que, ao serem cruzadas com um macho possuidor de uma mutação letal no seu cromossomo X, davam como resultado a morte de todos os machos na geração F_2. Portanto, se um dos machos submetidos ao raio-X produzisse apenas filhas na F_2, isso estava a indicar que ocorreu uma mutação letal induzida no seu cromossomo X.

Quando um macho normal e que não passou por qualquer tratamento era cruzado com fêmeas dessa linhagem, aproximadamente apenas um cruzamento em mil dava só fêmeas na F_2. Isto significa que as possibilidades de uma mutação letal que ocorra espontaneamente em qualquer um dos muitos *loci* do cromossomo X normal são de uma sobre mil, ou seja, 0,1%. Essa é a taxa natural ou espontânea da mutação. Quando os machos eram expostos a cerca de quatro mil unidades-r de raios-X, as fêmeas que apareciam na F_2 eram em torno de cem a cada mil cruzamentos. A taxa de mutação das moscas expostas aos raios-X era assim cem vezes maior que a taxa da mutação espontânea. Quase ao mesmo tempo que Muller, o geneticista botânico L. J. Stadler (1896-1954) produziu mutações artificiais na cevada e no milho (1928).

As descobertas de Muller, e particularmente os métodos elegantes por ele desenvolvidos, abriram uma área de pesquisa inteiramente nova. Tomou-se possível colocar a pesquisa sobre a mutação em uma base quantitativa – por exemplo, estabelecer a correlação entre a taxa de mutação e a dosagem de raios-X.

> Todo o campo da pesquisa mutacionista foi dominado pelas idéias e pelos experimentos de Muller. Ele forneceu o aparato conceitual, formulou as questões decisivas, elaborou técnicas experimentais engenhosas, e orientou todos os estágios da interpretação de uma crescente massa de dados no sentido de uma teoria coerente. Muitas das suas idéias e sugestões, avançadas num tempo em que os meios de testá-las ainda não eram disponíveis, comprovaram-se mais tarde como sendo corretas (Auerbach, 1967).

Revelou-se, por fim, que não apenas a radiação mas também alguns químicos podiam produzir

efeitos mutagênicos. Um dos primeiros materiais que se mostraram capazes desse efeito foi o gás de mostarda. Um cirurgião britânico, Robson, fez a observação sagaz de que as queimaduras provocadas por esse gás de mostarda eram notavelmente semelhantes às queimaduras dos raios-X. Sugeriu então a uma geneticista (Auerbach) que testasse a capacidade mutagênica desse gás, o que ela fez e comprovou positivamente, segundo a previsão dele (1941). Rapoport, na USSR, descobriu independentemente que o formaldeído também é mutagênico. A partir de 1940, foi estabelecida a qualidade mutagênica de numerosos compostos químicos (Auerbach, 1976). Toda substância mutagênica produz uma vasta gama de mutações, mas não foi encontrada nenhuma evidência relativa a uma ação específica sobre um gene particular. De qualquer maneira, a frequência de certas mutações, causadas por um mutagênico químico, muitas vezes é diferente daquela provocada por irradiação. Uma outra descoberta particularmente interessante é que alguns mutagênicos (muitos?) são também carcinogênicos. Tal descoberta levou à proposição de um método rápido para detectar reagentes com eventual poder cancerígeno: expor a bactéria à substância química e observar se ela aumenta a sua taxa de mutação.

Mas muito mais importante para Muller era a idéia de que a indução artificial da mutação lançaria uma luz sobre a natureza e a estrutura do gene. Se um gene fosse um corpúsculo bem definido, e com um tamanho também bem definido, bombardeando-o com radiação ionizante (elétrons, ou raios de ondas curtas), produzir-se-iam "golpes" sobre esses corpúsculos, e a avaria disso resultante haveria de manifestar-se em forma de uma mutação. Isso constituiu a "teoria do golpe", ou a teoria do tiro-ao-alvo da mutação, articulada com maior detalhe pelos físicos K. G. Zimmer e M. Delbrück, num clássico trabalho de parceria com Timofeeff-Ressovsky (1935).

No entanto, a teoria do tiro-ao-alvo não conduziu a resultados coerentes (Carlson, 1966: 158-156), não conseguindo por isso acrescentar algo ao conhecimento do gene. Além disso, descobriu-se que a própria radiação do substrato podia aumentar a taxa de mutação, e que muitas substâncias química (gás de mostarda, fenol, e outros) são tão mutagênicas quanto a irradiação. Qualquer coisa que venha a interferir no processo normal da replicação do gene pode resultar em uma mutação. Isso fez com que certos autores adotassem, como definição da mutação, "qualquer erro na réplica do gene" (o que recentemente tem-se revelado como não aplicável em todos os casos de mutação).

A técnica da irradiação, todavia, defrontou-se com uma dificuldade ainda maior. O que ficava submetido à radiação não eram os genes isoladamente, mas sim os cromossomos, vale dizer, os genes e a matriz em

que eles estavam embutidos. Tanto os genes como a matriz cromossômica são vulneráveis à interferência dos raios-X, mas os fenótipos mutantes que resultavam desse processo raramente permitiam saber se tratava de uma mutação do gene ou de uma mutação da matriz (o cromossomo). O exame citológico revelava com muita frequência pequenas falhas (quase sempre ínfimas) no cromossomo, o que podia indicar claramente que houve uma mutação cromossômica. Os dois líderes mais ativos da pesquisa das mutações por raios-X, H. J. Muller (com a *Drosophila*) e L. J. Stadler (com o milho), tinham idéias diferentes sobre a frequência de verdadeiras mutações genéticas, produzidas pelo tratamento com raios-X. Stadler somente aceitava aqueles casos em que a irradiação do novo mutante pudesse produzir uma reversão ao caráter anterior à irradiação. Tais casos, pelo menos no milho, eram muito raros. Em todos os outros casos, Stadler suspeitava tratar-se ou da produção de genes instáveis, ou de uma avaria do cromossomo. Segundo ele disse na sua última publicação (1954):

> Um mutante pode satisfazer a todos os testes de mutação genética, entretanto, se ele não for capaz de uma mutação reversa, há fundamento para a suspeita de que ele possa ser devido à perda de genes [deleção cromossômica], enquanto, se for capaz de mutação reversa, há fundamento para suspeitar que seja o produto de um efeito de expressão [gene instável].

Nem todos, e Muller o último entre eles, tinham uma idéia tão pessimista quanto aos efeitos da radiação. Todavia, mesmo na melhor das hipóteses, persistiam severos limites em relação às informações que podiam ser extraídas dos experimentos radioativos.

Dois fatos ficaram claramente estabelecidos nesse período: o primeiro era que – em contraste com a impressão inicial – os genes de funções semelhantes às vezes estão situados muito próximos uns dos outros (complexos de genes; Lewis, 1967) dentro dos cromossomos; e o segundo consistia em que os genes deviam possuir uma considerável complexidade estrutural ("morfologia") para permitir a parcial independência da função, da mutação e da recombinação. Tal complexidade devia situar-se em nível macromolecular. Tomou-se cada vez mais claro para os geneticistas que eles se defrontavam com uma muralha que não conseguiam transpor com os seus equipamentos genético-citológicos.

Uma ulterior observação feita durante os experimentos com radiação foi bastante inquietadora. O quanto antes, após a irradiação, fosse determinada a taxa de mutação, tanto mais alta se revelaria essa taxa. Parecia, então, que os cromossomos danificados tivessem a capacidade de "curar-se", pelo menos em parte, ou de restabelecer secções que foram destruídas. Pesquisas posteriores revelaram efetivamente que existem alguns mecanismos regulares de reparação, capazes de restaurar genes e cromossomos prejudicados (Hanawalt *et alii,* 1978; Generoso *et alii,* 1980). As mutações que foram observadas, portanto, encurtando a história, podiam ser consideradas erro ou falha dos genes reparadores.

Todos os conhecimentos auferidos, nos anos 1920, 1930 e 1940, pelo trabalho dedicado dos estudiosos da mutação, realmente acrescentaram muito pouco ao nosso conhecimento da natureza dos genes. São perfeitamente verdadeiras as palavras de Demerec (1967), um dos mais ativos agentes daquelas pesquisas, ao fazer uma consideração retrospectiva sobre o assunto: "Ao longo da primeira metade do século da genética, nosso conhecimento da estrutura física dos genes permaneceu mais ou menos estático". Nenhum progresso real foi realizado, antes que fossem utilizados novos métodos e materiais diferentes.

Os cromossomos dos eucariotos são tão complexos que nem hoje ainda detemos um conhecimento da sua organização e da integração dos genes no seio dos mesmos (Simpósios de Cold Spring Harbor, 1978). Hoje ficou claro que, na primeira metade do século, era simplesmente impossível buscar acesso a uma compreensão do gene por meio do cromossomo eucarioto. Um progresso real só foi possível a partir do momento em que a análise foi transferida de eucariotos, como ratos, *Drosophila* e milho, para a bactéria *Escherichia coli* e para os vírus. E isto porque os procariotos são desprovidos de cromossomos, e o seu material genético está organizado de modo muito mais simples, permitindo um acesso ao DNA, sem o entrave da matriz cromossômica.

As mais importantes lições extraídas do estudo dos cromossomos eucariotos foram principalmente de ordem negativa. O intercruzamento desigual mostrou que o gene funcional não é necessariamente a unidade da recombinação. A análise mutacional (particularmente nos

microorganismos) revelou que podia haver diversos locais de mutação no seio de um único gene funcional. E o efeito de posição (diferenças cis-trans) mostrou que o gene não é necessariamente a unidade da função. Dessa forma, o dogma original e simples de que o gene era simultaneamente a unidade da recombinação, da mutação e da função teve que ser abandonado. Em face desses contradições, Benzer (1957) fez a proposta radical de se abandonar completamente o termo "gene", substituindo-o por três outros, *muton* para a unidade da mutação, *recon* para a unidade da recombinação (segundo determinada por uma localização do intercruzamento), e *cistron* (nas diferenças cis-trans dos efeitos de posição) para a unidade da função genética. Dentre esses três termos, o cistron é o que mais se aproxima do conceito tradicional do gene, pois um gene é normalmente caracterizado pelos seus efeitos. O termo "gene", por fim, voltou ao uso universal, com a definição que Benzer deu ao cistron. As palavras "muton" e "recon" jamais chegaram a ser de uso geral.

Os diferentes conceitos de gene

É difícil determinar exatamente o tipo de conceito de gene sustentado pelos vários geneticistas, no período de 1900 e 1950. Isso é verdadeiro, mesmo se restringirmos nossa atenção unicamente para aqueles que admitiam uma natureza corpuscular do gene, deixando de lado os que adotavam teorias de campo ou os que acreditavam numa substância genética contínua e difusa. Considerando que, até o momento, não dispomos de nenhuma análise feita por um historiador, tentarei apresentar alguns comentários preliminares. As coisas se complicam ainda mais pelo fato de que diversos geneticistas de renome mudaram as suas idéias ao longo de sua vida. As quatro maneiras de encarar os genes, que aqui vou descrever, de forma alguma exaurem as possibilidades.

A idéia mais antiga talvez seja a de que os genes em si mesmos eram as pedras do edifício do organismo. A teoria das gêmulas de Darwin talvez seja a que mais se aproxima dessa posição. Ela foi de alguma maneira modificada por de Vries (1889), quando postulou que os pangenes passam do núcleo para o protoplasma das células, as quais constituem as pedras da construção dos tecidos e órgãos de que se compõe um organismo. Por vezes, admitia-se tacitamente que os genes consistiam em proteínas.

Um segundo conceito, vastamente difundido, remontando em princípio a Haberlandt (1887) e Weismann (1892), era o de que os genes eram enzimas, ou que atuavam como enzimas, servindo como catalisadores dos processos químicos do corpo. Desde que se descobriu que as enzimas eram de fato proteínas, isso implicaria que também os genes fossem proteínas (Fruton, 1972). A descoberta de que o material cromático consistia em núcleo-proteínas, quando não virtualmente em puro ácido nucléico, teve muito pouca influência no pensamento dos partidários da escola das enzimas.

A partir do momento em que se começou a atentar para a importância do ácido nucléico, o gene foi encarado como o meio de transferência da energia. Em 1974, três anos depois que Avery e seus companheiros demonstraram que o DNA era o agente transformador, Muller levantou a idéia de que a função química do ácido nucléico era a sua possível contribuição para as energias das reações genéticas.

É possível que o ácido nucléico, em forma polimerizada, forneça o meio de dirigir esse fluxo

de energia aos padrões complexos e específicos da construção do gene ou às relações do gene com a célula.

No que se referia à ação do gene, Muller concluiu que

> se os produtos primários do gene não forem iguais … ao próprio gene … então com certeza o gene deve atuar como uma enzima, na sua produção (1973: 152; veja também Carlson, 1972).

Todavia, Muller julgava que era "muito cedo para concluir que tanto o gene como os seus produtos primários agem sempre, ou normalmente, como enzimas". Ele sugeriu, em vez disso, que um gene podia "produzir mais moléculas de composição semelhante (ou completamente) a ele mesmo, ou a parte dele mesmo", e que esses produtos genéticos "podiam de fato ser consumidos nas reações de que eles mesmos participam". Tanto uma como outra das alternativas apresentadas por Muller revelaram um viés fortemente marcado de metabolismo.

Por fim, o gene foi visualizado por alguns como sendo o veículo de informações altamente específicas. De maneira difusa, essa idéia circulava há muito tempo. Trata-se de uma idéia tão óbvia que um ou outro autor deve tê-la articulado especificamente, antes de 1953. Contudo, não encontrei tal hipótese, numa busca casual na literatura. Ela requer, entre outros aspectos conceituais, a aceitação de uma separação completa entre o genótipo e o fenótipo. O conceito de gene como uma unidade de informação instituiu-se hoje, evidentemente, como o conceito-padrão moderno, após terem sido descobertos a estrutura do DNA e o papel que ele desempenha na produção das proteínas (transcrição e tradução).

Cada um desses quatro conceitos sobre o gene envolvia algumas suposições relativas à composição química dos genes e à sua função. No entanto, antes de mais ou menos 1950, ninguém se havia capacitado plenamente da extrema importância da química do gene para determinar-lhe a natureza.

19. A BASE QUÍMICA DA HEREDITARIEDADE

Ao fazer-se um retrospecto, transparece claramente que os métodos disponíveis, antes do nascimento da biologia molecular, eram totalmente inadequados para uma plena compreensão do gene. Ao longo do período de 1910 a 1950, ficou cada vez mais claro que moléculas altamente complexas constituíam a base material da hereditariedade, e que a única maneira de progredir no conhecimento era saber algo mais sobre a química do gene. Tratar a base molecular da hereditariedade ou como um corpúsculo informe, ou como uma molécula simples, era claramente um método impróprio. O estudo do gene já não era mais um problema do biólogo clássico; ele se tomou um problema da região de fronteiras – e, a princípio, terra de ninguém – entre a biologia, a química e a física. Por volta de 1940, quando o problema começou a ser atacado seriamente, descobriu-se que a química já havia percorrido um longo caminho na direção do esclarecimento da estrutura do gene (Caims, Stent e Watson, 1966).

Lembremos que, em meados dos anos 1880, era geralmente admitido que o núcleo era a sede da hereditariedade (veja o Capítulo 16), ou, mais estritamente, que os cromossomos – ou, de modo mais específico, a cromatina – constituíam o material genético. O termo "cromatina" foi cunhado por Flemming, em 1879, para designar o material do núcleo sujeito a coloração. Isso levantou de pronto a questão sobre a natureza química da cromatina. Seria ela uma substância especial, plausivelmente uma proteína, diferente de outras substâncias ou da proteína do citoplasma? De fato, uma resposta a essa pergunta já havia sido dada dez anos antes (em 1869) pelo fisiólogo e químico orgânico suíço, Friedrich Miescher (1844-1895), [1] que tinha demonstrado que a cromatina não era de forma alguma uma proteína.

Depois que Miescher obteve seu diploma de médico, em 1868, seguiu o conselho de seu tio, o famoso anatomista e histologista Wilhelm His, para dedicar-se à histoquímica. Segundo palavras do próprio His:

> Tendo em vista que na minha própria pesquisa histológica cheguei repetidamente à conclusão de que as questões últimas relativas ao desenvolvimento dos tecidos só podiam ser resolvidas por meio da química,
> Miescher decidiu adquirir um treinamento pós-doutoral no laboratório do famoso químico orgânico Hoppe-Seyler, em Türbingen, lá chegando na Páscoa de 1868.

Hoppe-Seyler sugeriu a Miescher que estudasse "a constituição das células linfóides", por sua considerável importância para a medicina. Ele se serviu de pus, que, naqueles dias pré-antibióticos, era disponível em abundância nos hospitais. Miescher, um pesquisador meticuloso, consciencioso e competente, desenvolveu métodos de purificação inteiramente novos, e bem depressa conseguiu separar as células purulentas de todos os outros componentes da substância do pus. Passou então a analisar o citoplasma das células, separando-o dos núcleos, e a determinar os seus elementos constitutivos. Tais esforços foram a princípio malsucedidos e frustrantes. Como produto final de um dos seus procedimentos de extração, Miescher obteve um precipitado que não possuía as

propriedades de nenhuma das proteínas conhecidas. No seu próximo passo, Miescher lavou células inteiras de pus em ácido hidroclorídico altamente diluído, e tudo o que sobrou eram apenas núcleos. A substância desconhecida, portanto, deve ter sido oriunda dos núcleos. Tendo em vista que a pesquisa sobre a constituição do citoplasma chegou a um beco sem saída, Miescher decidiu então passar ao estudo da química dos núcleos.

Apresentei esta sequência de eventos de modo bastante detalhado porque surgiu o mito de que Miescher tivesse iniciado suas pesquisas no intuito de desvendar o segredo da hereditariedade. Nada disso, com efeito! Estamos simplesmente diante de um químico orgânico, que seguiu o conselho de seu tio para aprofundar nosso conhecimento da química das células e dos tecidos. O que nos impressiona, ao lermos a obra de Miescher, é a sua criatividade metodológica. Ele aplica constantemente técnicas novas, em particular novos procedimentos de purificação e extração, e, por seu trabalho assíduo e engenhoso, tomou-se perfeitamente digno do mérito de ser apontado como o descobridor do DNA. Julgo também que seja correto afirmar que, antes de Miescher, os bioquímicos trabalhavam com tecidos inteiros, ao passo que ele isolava as células, ou mesmo partes da célula, como o núcleo. Ao analisar o material obtido dos núcleos, Miescher descobriu que a característica principal era um rico conteúdo de fósforo. Tendo em vista que esse material nuclear não era nenhuma das substâncias orgânicas conhecidas, Miescher deu-lhe um nome, *nucleína.*

Miescher chegou a Tübingen na primavera de 1868, e concluiu o relatório de sua descoberta no final do outono de 1969. Mas os resultados eram tão novos, que Hoppe-Seyler não deu logo a público o manuscrito que lhe havia sido submetido, decidindo primeiro averiguar pessoalmente os resultados. Só após a sua própria pesquisa, e da de alguns de seus alunos, confirmando tudo o que Miescher havia afirmado, é que o manuscrito sobre a nucleína foi publicado, na primeira de 1871.

Depois de sua volta a Basiléia, em 1871, Miescher descobriu que o esperma do salmão do Reno oferecia uma rica fonte de nucleína, pois cada espermatozóide é uma célula, e sua cabeça é essencialmente o núcleo. Miescher dispunha agora de um suprimento quase ilimitado de nucleína (dizia ele, brincando, que os testículos do salmão forneciam "toneladas de nucleína"), e dedicou os próximos anos ao seu estudo. Descobriu que ela estava associada a uma proteína, que ele designou "protamina", e chegou ao ponto de determinar muitas das propriedades químicas e físicas da nucleína, inclusive a sua fórmula empírica.

É bastante triste termos que dizer que, após o seu primeiro e brilhante sucesso, a carreira científica subsequente de Miescher foi um anticlímax. Isso é o que mais surpreende, tendo em conta que ele era uma pessoa eminentemente bem dotada. Talvez isso se deva ao fato de que, na qualidade de o mais velho de cinco irmãos, ele tinha todas as características de um primogênito. Daí que a sua tendência era de ocupar-se mais de questões convencionais que de revolucionárias (Sulloway). Mesmo após ter-se tornado evidente que a nucleína outra coisa não era que a cromatina dos citologistas, Miescher jamais a encarou como a portadora da informação genética. Em vez de indagar questões de natureza genética, ele se debruçou sobre questões fisiológicas ou puramente químicas, tais como: "De onde o corpo obtém todo o fósforo para sintetizar as grandes quantidades de nucleína durante a formação do esperma?" Em 1872, declarou que agora desejava ocupar-se com "os aspectos fisiológicos da nucleína, sua distribuição, sua associação química, seu aparecimento e desaparecimento no corpo, sua transformação".

Sob a influência de Carl Ludwig, Julius Sachs e Wilhelm His, Miescher adotou a maneira fisicalista e muito mecânica, então em voga, de encarar os fenômenos biológicos. Isto se ilustra muito

bem pela sua caracterização do processo da fecundação, formulada em termos da teoria do contato:

> Por que não supor que a natureza da célula ovária, em comparação com uma célula ordinária, deva ser definida pela circunstância de que lhe falta uma peça na série de fatores que controlam a sua organização ativa? À exceção desse elemento, todos os componentes essenciais de uma célula estão presentes no óvulo. Entrementes, ao longo da maturação do óvulo, a protamina [proteína no núcleo] se desintegra, pela formação de nitrogênio (N) … e a máquina, de resto perfeita, é reduzida a uma completa paralisação, por lhe faltar uma peça. O espermatozóide introduz de novo essa peça no lugar certo, restaurando assim a organização ativa. Não é preciso nada mais. que isso. No lugar em que foi afetada a quietude físico-química, a máquina começa a funcionar de novo, cada célula produzindo protaminas para as suas vizinhas, e assim o movimento se propaga, segundo leis precisas.

Nenhuma palavra é dita sobre a combinação das propriedades genéticas dos dois gametas parentais. A medida da consideração que Miescher dedica aos aspectos puramente mecânicos pode ser ilustrada com a pergunta: "Em que direção e em que profundidade o espermatozóide de espécies diferentes penetra na massa protoplásmica macia do óvulo?"

Como a pesquisa sobre a nucleína fosse comparativamente desimportante, Miescher voltou-se para outros assuntos, dedicando-se, por um período de quatorze anos (de 1874 até mais ou menos 1887), além das suas atividades de magistério, a estudos sobre a história da vida e do metabolismo do salmão, sobre a química da cauda do espermatozóide, sobre a estrutura morfológica detalhada da sua cabeça, sobre a química da gema do óvulo, sobre a nutrição em instituições suíças federais, e sobre a variação da química do sangue humano em relação à altitude. Tem-se a impressão de que os seus objetivos de pesquisa foram determinados muito mais pelo acaso que por considerações da sua importância científica. Só muito mais tarde em sua vida é que Miescher voltou à pesquisa do DNA, e, estimulado pelas teorias de Weismann, começou a indagar o tipo "correto" de questões. Mas já era muito tarde, porque infelizmente sucumbiu prematuramente de tuberculose, na idade de cinquenta anos.

Hoje sabemos que o DNA constitui a base química do programa genético, e desde a primeira descoberta da estrutura da molécula do mesmo, por obra de Watson e Crick, em 1953, os historiadores da ciência adquiriram um enorme interesse pela história da pesquisa sobre o DNA. Foram publicados uns cinco ou seis livros sobre o assunto, bem como extensos capítulos em diversas histórias gerais da bioquímica. [2] O tratamento que dou à questão abordará apenas os pontos mais expressivos, e se concentrará nos aspectos biológicos das pesquisas.

Miescher estudou núcleos isolados, vale dizer, núcleos que foram separados do citoplasma. Isso lhe permitiu testar numerosos reagentes químicos na sua reação sobre a nucleína. Parecia lógico que os conhecimentos, por essa forma adquiridos, fossem aplicados a células inteiras. O citologista Zacharias (1881) foi o primeiro a fazê-lo, observando sob o microscópio a reação das células a diversos reagentes. Os núcleos e os cromossomos revelavam-se resistentes à pepsina e ao ácido hidroclorídico diluído, mas solúveis ao álcali, e inchando à solução de sal. Todas essas eram as características da nucleína de Meischer. Outros elementos da célula, como por exemplo as fibras caracoladas, não ostentavam as reações da nucleína. Tal fato levou Flemming (1882) a dizer que

possivelmente a cromatina é idêntica à nucleína, mas caso assim não seja, segue-se do estudo de Zacharias que uma encerra a outra. A palavra cromatina poderá servir até que seja conhecida a sua natureza química, designando nesse meio tempo aquela substância do núcleo da célula que facilmente se colora.

Nos anos seguintes, Hertwig, Strasburger, Kölliker e Sachs estavam de acordo em que a cromatina devia ser considerada idêntica à nucleína, ou pelo menos virtualmente idêntica. Isso não era apenas uma opinião privada dos citologistas alemães, pois o evolucionista russo, Menzbir, afirmou, em 1891 (p. 217):

> Assim, não há dúvidas de que a cromatina, por si só, seja a responsável pela transmissão hereditária dos caracteres dos pais para os filhos, e em geral pela transmissão dos caracteres da espécie de uma geração para a geração seguinte.

A evidência descoberta por Zacharias também era admitida pelos químicos, tendo Kossel afirmado em 1893:

> Aquilo que os histologistas designam cromatina é essencialmente um composto de ácido nucléico com maior ou menor quantidade de albumina; até certo ponto, talvez ela seja ácido nucléico puro.

Nos anos seguintes, foi afirmado que a nucleína dos primeiros autores era uma nucleoproteína altamente impura, uma mistura de DNA com uma grande dose de proteína, o que tomava irrelevante a questão de se saber se aqueles primeiros autores mereciam ou não o crédito de haverem descoberto que o DNA era o material genético. É certo que a nucleína de Miescher e de Kossel não era absolutamente DNA puro, mas que também não estava tão claramente assim contaminada de proteína, como foi dito mais tarde. Isto se evidencia pelas fórmulas empíricas dadas por Miescher e por Kossel:

Miescher C29H49N9O22P3
Kossel C25H36N9O20P3
DNA (50% At: 50% GC) $C_2$9H35NnOi$_8$P3
(fórmula hoje reconhecida como correta).

A amostra de Miescher pode ter sido um tanto hidratada, mas nem essa fórmula, nem a de Kossel sugerem a presença de proteína. Se a proteína estivesse presente, os valores do C e do N teriam sido muito mais elevados em relação ao P_3 (como me foi observado por W. McClure).

Pelo final do século, E. B. Wilson, na segunda edição do seu grande clássico *The Cell* (1900), afirmou:

> A cromatina é provavelmente idêntica à nucleína … que a substância nuclear, especialmente a cromatina, seja o fator preponderante da hereditariedade é algo fortemente apoiado pelo fato da maturação, fertilização e divisão da célula (p. 332).

Todavia, no fim ele expressou algumas dúvidas sobre "se a cromatina podia realmente ser encarada como 0 idioplasma ou a base física da hereditariedade, como sustentado por Hertwig e Strasburger" (p. 259).

Pouco tempo depois da descoberta da nucleína, foi sugerido (Sachs, 1882: 718) que devia haver uma diferença química entre as nucleínas de espécies diferentes. Já em 1871, Hoppe-Seyler havia mostrado que o fermento possui uma nucleína, o mesmo tendo sido demonstrado, por volta de 1880, em relação às plantas superiores. Na década de 1880, quando o interesse pela filogenia alcançou o seu auge, estudava-se a nucleína dos invertebrados inferiores, na esperança de se encontrar uma "nucleína primitiva" que fosse muito mais simples que a nucleína do salmão. Constituiu motivo de grande desapontamento quando se descobriu que a nucleína do ouriço-do-mar (*Arbacia*) era essencialmente a mesma da do salmão.

A natureza do plasma germinal

Tão logo foi reconhecido que a cromatina consiste (amplamente) em DNA, sendo ela também o plasma germinal, surgiu a discussão sobre a sua verdadeira natureza: morfológica ou química? Os biólogos rejeitavam quase unanimemente uma explicação puramente química, dizendo que a nucleína era uma substância simples demais para dar contas da arquitetura incrivelmente complexa do plasma germinal. Boveri (1904) ilustrou o seu ponto de vista com uma analogia. Se um núcleo for comparado a um relógio, "a morfologia do núcleo abrange toda a máquina do relógio, enquanto a química do núcleo, no máximo, pode dizer-nos algo sobre o metal de que foram feitas as peças" (1904: 123). Tratava-se mais uma vez do caso do cego e do elefante, porque a solução residia finalmente em que a morfologia das macromoléculas (desconhecida nos tempos de Boveri) explicava a arquitetura notável do plasma germinal.

Entre os autores mais antigos, de Vries, com sua formação tanto botânica como físico-química, foi o que teve as idéias mais aderentes. Ele acentuava que o plasma germinal não podia ser um simples químico: "As características historicamente adquiridas pressupõem uma estrutura molecular tão complexa, que a química dos nossos dias é totalmente incapaz de explicar" (1889: 31). Mesmo antes dele, Kölliker (1885: 41) havia sugerido "que núcleos de igual composição química podiam ser capazes de efeitos diferentes, devido à estrutura molecular da sua substância efetiva (idioplasma)". Palavras proféticas!

Pelo final dos anos 1880, os citologistas já haviam dado todas as contribuições possíveis, permitidas pelos seus métodos. Mostraram, da maneira tão convincente quanto possível, que a cromatina satisfazia todas as exigências do material genético, e que o espermatozóide era virtualmente uma sólida substância genética. Qual era exatamente a natureza química dessa substância, era algo que não os interessava em particular, e nem eles se preocupavam com o tamanho, porque devia ter sido bastante óbvio que o papel do DNA, na hereditariedade, jamais poderia ser elucidado, a menos que fosse entendida a sua estrutura. Minhas buscas na literatura estão a sugerir que essa questão jamais foi posta seriamente, talvez pelo simples fato de que naquele tempo ainda não se dispunha dos métodos capazes de fornecer a informação necessária para uma resposta.

Nessa altura, o problema foi assumido pelos químicos, e por mais de meio século a questão da natureza do DNA passou a ser um assunto de química. A primeira exigência foi confirmar que a

nucleína era de fato uma substância totalmente diferente das proteínas, e que ela nada tinha a ver com outras substâncias do organismo, ricas em fósforo (como a licitina). Miescher tinha ainda idéias confusas sobre esses aspectos. Para se estabelecer as características únicas da nucleína, foi necessário desenvolver métodos para purificá-la, e assegurar que fosse desnudada de todo componente de proteína. Altmann (1889) teve sucesso nesse desafio, e designou a porção da substância nuclear de proteína *ácido nucléico*. A radical diferença existente entre os ácidos nucléicos e as proteínas foi uma descoberta que se deve muito mais aos químicos que aos biólogos. Ainda em 1900, Wilson pensava que os ácidos nucléicos puros passavam gradativamente para albuminas, por meio de uma série contendo cada vez menos fósforo; "eles variam na composição com o variar das condições fisiológicas" (p. 334).

Com relação ao estudo do DNA puro, dois caminhos se abriam teoricamente para os pesquisadores. Eles podiam ou quebrar a molécula do DNA, para identificar seus componentes, ou então estudar a molécula como um todo, como de fato foi feito depois de 1920, quando Staudinger desenvolveu os princípios da química polimérica. Esta segunda via, contudo, era totalmente impossível no quadro conceitual da química orgânica, na passagem do século, quando era dominada pelos conceitos da química coloidal.

Nos cinquentas anos seguintes, os dois grandes líderes dessa pesquisa foram A. Kossel e P. A. Levene. A descrição de todos os passos da elucidação da natureza química da molécula do ácido nucléico pode ser encontrada nas obras dos historiadores da bioquímica (Fruton, 1972; Portugal e Cohen, 1977). Por volta de 1910, havia o consenso geral de que a molécula do DNA continha quatro bases: duas purinas (guanina e adenina) e duas pirimidinas (citosina e timina), um fosfato e um açúcar. Entretanto, foram necessários outros quarenta anos para se determinar, em 1953, como esses dois componentes se relacionam.

Kossel (1853-1927) começou a ocupar-se com a nucleína no laboratório de Hoppe-Seyler, em 1879, e naquele mesmo ano conseguiu demonstrar a existência de uma base, a hipoxantina, nos produtos desmembrados da nucleína. Por fim, ele demonstrou que a hipoxantina derivava de outra base (a adenina); e todo o seu trabalho, oportunamente, conduziu à descoberta, ou ao reconhecimento, das outras três bases.

Em 1908, Phoebus Aaron Levene (1869-1940) ingressou no campo da pesquisa do DNA, e não demorou que passasse a liderar essa área. Já em 1893, Kossel havia mostrado que um açúcar pentose entrava na composição do ácido nucléico do fermento, e, em 1909, Levene e Jacobs identificaram-no como uma ribose. Outros pesquisadores extraíram o seu ácido nucléico da glândula timo de bezerros ("ácido timonucléico"), e identificaram nele um açúcar diferente. Tal identificação era extremamente difícil, mas Levene e seus colaboradores finalmente (1929) conseguiram mostrar que se tratava da 2-desoxiribose. Por muitos anos acreditou-se que a ribose era o carboidrato do ácido nucléico das plantas, e que a desoxiribose era o do ácido nucléico dos animais. Mas, finalmente, foi descoberto que existe o ácido ribonucléico (RNA) no pâncreas e em outras células dos animais, e que o ácido desoxiribonucléico (DNA) existe nos núcleos das células das plantas. Contudo, foi só por volta de 1930 que se estabeleceu a plena certeza de que todas as células dos animais e das plantas possuíam tanto o DNA como o RNA. Os citoquímicos tinham apenas idéias muito vagas quanto à função dos ácidos nucléicos nas células, sendo as mais em voga aquelas que propunham que tais ácidos serviam como um anteparo de pH, ou como auxílio na transferência de energia.

Conquanto muito se tenha aprendido sobre a composição química do DNA, durante as três

primeiras décadas do século, poucos progressos foram feitos na compreensão da molécula como um todo e da sua atuação biológica. Ao longo desse período, dominou a suposição errada de que as quatro bases do ácido nucléico ocorriam em porções iguais, suposição essa que serviu de base para a assim chamada teoria tetranucleotídea da estrutura do DNA. Essa teoria encarava o ácido nucléico como uma molécula relativamente pequena, com um peso molecular de cerca de 1.500. É preciso lembrar que, para terem acesso aos elementos constitutivos do DNA, Kossel e Levene tiveram que usar os métodos analíticos rudes da química orgânica. Tais métodos, como sabemos hoje, destroem aquilo que de fato é uma molécula extremamente grande. Naquela época, todavia, os baixos pesos moleculares, a que se chegou por métodos vários, correspondiam bastante bem aos conceitos da química coloidal, que então prevalecia. Novos progressos só podiam ser feitos a partir do surgimento da química dos polímeros, nos anos 1920 e 1930.[3]

A fortuna errante da teoria ácido-nucléica da hereditariedade

Quando se difundiu a convicção de que o DNA não passava de uma molécula pequena e simples, decaiu gradualmente a crença na sua capacidade de controlar o desenvolvimento. Como poderia uma tal molécula assumir importância na hereditariedade e controlar o desenvolvimento, desde o zigoto fertilizado até o organismo plenamente desenvolvido, considerando a imensa complexidade das vias do crescimento? As grandes moléculas da proteína, com os seus vinte aminoácidos diferentes, pareciam, em contrapartida, oferecer um número absolutamente ilimitado de permutas e combinações.

Não foram apenas razões de ordem química que fizeram com que a maioria dos biólogos, depois de 1900, abandonasse a idéia do DNA como o material genético. Eles se perturbavam também, particularmente, com a observação de que, durante o ciclo mitótico, o material cromossômico só se coloria fortemente no período em que a cromatina estava condensada nos cromossomos. No estágio de repouso da célula, os cromossomos pareciam desintegrar-se numa massa granular difusa, escassamente colorida. (Nenhuma coloração específica do DNA era conhecida naquela época.) Boveri havia sugerido, em 1888, que a cromatina se desprende da estrutura do cromossomo durante o estágio de repouso, e que de novo é reconstituída no início do ciclo mitótico. Tal sugestão foi por fim cada vez mais amplamente aceita, e, em 1909, Strasburger opinou que a cromatina

> poderia constituir o material nutritivo das unidades detentoras da hereditariedade … a cromatina por si mesma não pode ser a substância hereditária, porque em seguida ela abandona os cromossomos, e a sua quantidade fica sujeita a variação considerável no núcleo, segundo os estágios do seu desenvolvimento (p. 108).

Em 1920, Goldschmidt asseverou com toda ênfase: “Se considerarmos a nucleína dos cromossomos como sendo o material genético, como se costuma dizer, então é absolutamente impossível fazermos uma idéia química da diversidade dos seus efeitos”. Bateson (1916) acentuou com a mesma veia:

> A suposição de que as partículas da cromatina, indistinguíveis umas das outras, e de fato reconhecidas como homogêneas em todos os testes conhecidos, possam, por sua natureza material, conferir todas as propriedades da vida é algo que ultrapassa as raias mesmo do mais convicto materialismo.

Ainda depois da descoberta, em 1924, do corante de Feulgen, altamente específico e sensível (veja adiante), acharam-se preparações (por exemplo, oócitos do ouriço-do-mar) em que o núcleo parecia não conter cromatina alguma. Em 1925, o próprio Wilson abandonou a idéia de que a cromatina fosse o material genético:

> Segundo revelam as reações da coloração, não é o componente basofílico (ácido nucléico) que persiste, mas sim a assim chamada substância acromática ou oxifílica. O componente ácido nucléico vem e vai, nas diferentes fases das atividades da célula.

As causas do desencanto não se apoiavam apenas no caráter destruidor dos métodos usuais da química orgânica e na ausência de métodos adequados para a mensuração da quantidade de DNA, em todas as fases do ciclo mitórico, mas também em algumas idéias bastante ultrapassadas em relação à natureza das interações químicas. Strasburger (1910: 359), por exemplo, contestou o conceito

> de uma verdadeira fertilização como sendo puramente um processo químico; portanto contra qualquer teoria química da hereditariedade … para mim, a essência da fertilização reside na união de elementos organizados.

Tais expressões justificavam-se em 1910, porque, à época, ainda reinavam noções bastante simplórias dos processos químicos, e o conceito de macromoléculas complexas e tridimensionais ainda não havia nascido.

O conceito novo de macromoléculas polimerizadas exerceu grande atração, pois parecia realizar o velho sonho de tantos biólogos mecanicistas, no sentido de que todo material biológico "em última instância consistia em cristais". Tão logo a nova teoria de Staudinger sobre os polímeros se tomou conhecida, Kol'tsov (1928, 1939) partiu livremente para a especulação sobre a natureza cristalina da substância dos cromossomos. Dezesseis anos mais tarde, Schrödinger (1944) propôs a sua teoria dos cristais aperiódicos, declaradamente influenciado por um artigo cujo autor, Timofeeff-Russovsky, havia sido um colega de Kol'tsov. [4]

Tendo em vista que as macromoléculas polimerizadas se partiam com facilidade, a extração dos seus componentes requeria métodos muito mais delicados que aqueles que foram postos em prática por Kossel e Levene. Quando esses métodos foram empregados, principalmente pela escola sueca de Hammarsten, obteve-se um produto que era "branco como a neve e de uma consistência peculiar, parecida com o algodão-pólvora", muito diferente dos produtos degradados resultantes dos métodos de extração bruta.

A análise dessas moléculas grandes exigia métodos inteiramente novos; e quando esses métodos (ultracentrifugação, filtragem, absorção de luz, e assim por diante) foram aplicados por Caspersson e outros, nos anos 1930 e 1940, as moléculas de DNA, para grande espanto de todos, com peso molecular de meio milhão a um milhão, revelaram-se como sendo maiores em mais de duas ordens

de grandeza em relação às primeiras estimativas (1.500). Efetivamente, elas eram bem maiores que as moléculas da proteína. Essas novas descobertas afastaram completamente a principal objeção contra a teoria do DNA como portador da informação genética. O que era preciso a seguir, e tratava-se de uma exigência consideravelmente mais difícil, foi encontrar um método pelo qual se pudesse separar o DNA, límpida e completamente, da proteína, e demonstrar, por métodos biológicos, que o componente do DNA era o responsável pela transmissão hereditária. Isso foi realizado em 1944.

Oswald Theodore Avery (1877-1955) e seus colaboradores forneceram essa prova, ao se debruçarem sobre o princípio transformador da bactéria da pneumonia. [5] Há muito tempo se sabia que existem diversos tipos de pneumococos, diferindo na sua virulência. Em 1928, o bacteriologista britânico F. Griffith (1877-1941) descobriu que, ao inocular camundongos simultaneamente com pneumococos não-virulentos e vivos, de tipo R (rugoso), e com células virulentas mortas por calor e de tipo S (liso), muitos dos animais morriam, e o seu sangue continha organismos vivos de tipo S. Como se interpretou mais tarde, alguma informação genética foi transferida pelo "princípio transformador". Após diversos anos de experimentos, Avery, Macleod e McCarthy (1944) conseguiram demonstrar que o princípio transformador, em uma solução aquosa desprovida de células, era o DNA. Que se tratava efetivamente de DNA puro, e não de uma proteína associada (como afirmado por alguns adversários de Avery), isso foi provado por uma série de testes extremamente sensíveis (reações imunológicas, etc.). A solução de DNA não revelava qualquer reação em nenhum dos testes próprios para as proteínas. Além disso, Avery e seus colaboradores mostraram que aí não estava envolvido nenhum mutagênico químico, porque a particular modificação hereditária era prevista. A autonomia do material obtido foi comprovada ainda por sua auto-reprodução em células transformadas e, em certos experimentos posteriores, por estudos de ligações de fatores. Finalmente, quando o material era tratado com uma enzima altamente específica, a desoxirribo-nuclease, produzia-se uma desativação completa e irreversível da substância transformadora. O peso molecular era da ordem de quinhentos mil, e as propriedades da absorção ultravioleta eram características dos ácidos nucléicos.

Avery e seu grupo conservaram-se extremamente prudentes (talvez até demais!) na avaliação das suas descobertas, mas as evidências eram tão fortes que já não precisavam mais provar o que estavam propondo; "o sapato agora estava posto no outro pé", e competia aos adversários então refutar as afirmações de Avery.

As descobertas de Avery tiveram o impacto de um choque elétrico. Posso confirmar isso com base na minha experiência pessoal, quando, na segunda metade da década de 1940, passei os meus verões em Cold Spring Harbor. Meus amigos e eu estávamos convencidos de que agora ficou definitivamente demonstrado que o DNA era o material genético. Bumet, após visitar o laboratório de Avery, em 1943, escreveu para a sua mulher:

> Avery acaba de fazer uma descoberta extremamente excitante que, para dizê-lo em duas palavras, não é nada menos que o isolamento de um gene puro, na forma de ácido desoxirribonucléico (Olby, 1974: 205).

Somente em 1946, o assunto foi discutido em seis seminários importantes. Nem todos se converteram de pronto, evidentemente, e Muller (1947) exprimia-se com bastante ceticismo. Goldschmidt permanecia reticente ainda em 1955: "Nós concluímos … que não se pode afirmar

como um dogma, ou como fato comprovado, que o DNA seja o material genético" (p. 56). Ao escrever isso, Goldschmidt tinha 76 anos de idade. Entretanto, a resistência não se limitava aos geneticistas mais velhos. Alguns bioquímios, como por exemplo A. E. Mirsky, eram mais céticos ainda.

A questão levantada pelos céticos era se o agente transformador era o puro DNA ou uma diminuta quantidade de proteína que a ele se misturava. Tal possibilidade foi proposta por Mirsky e alguns outros descrentes. Fato significativo é que, entre estes, havia muitos membros do "grupo fágico", inclusive Delbrück e Luria, sendo que nenhum deles detinha grandes conhecimentos de bioquímica. Embora plenamente cientes das descobertas de Avery, eles ainda adotavam a teoria tetranucleotídea, e dessa forma não podiam acreditar que o DNA pudesse possuir a necessária complexidade para ser o material genético. Sua resistência adquiria peso considerável, visto que naquela época o grupo fágico era dominante na biologia molecular. Mas finalmente eles se converteram, quando membros do seu próprio grupo (Hershey e Chase) realizaram um experimento com vírus bacterianos impregnados de radioatividade (bacteriófagos). Os invólucros proteínicos vazios dos fagos (os "fantasma") (impregnados de S^{35}) podiam ser, mediante experimento, separados facilmente de bactérias infectadas, que foram impregnadas pouco ou nada de S^{35}, enquanto o conteúdo desses fagos, impregnados de P^{32} (fósforo), se encontrava nas bactérias e não nos "fantasmas". Embora se tratasse na realidade de uma análise menos precisa que a de Avery, o fato foi aceito como conclusivo pelo grupo fágico (Wayatt, 1974).

A publicação dos resultados de Avery, como disse mais tarde Chargaff, desencadeou uma verdadeira "avalanche" de pesquisas ácido-nucléicas. O próprio Chargaff relata que suspendeu tudo quanto estava fazendo naquele momento, para entrar de pronto no campo ácido-nucléico (Chargaff, 1970). É preciso lembrar que só muito poucos pesquisadores tinham a necessária qualificação para essa tarefa. Os geneticistas, em particular, independentemente do seu entusiasmo pelas descobertas de Avery, não tinham qualificação alguma para isso. A ausência de atividades de pesquisa no meio deles não justifica a afirmação de que os mesmos, ou pelo menos os mais jovens dentre eles, não tivessem consciência da importância dos achados de Avery.

Os dois pesquisadores que nos anos a seguir deram as contribuições mais importantes foram Chargaff e André Boivin. Chargaff (1950) mostrou que, em qualquer tipo de organismo, a proporção de adenina (purina) para timina (piramidina), bem como a da guanina (purina) para citosina (pirimidina), era sempre próxima de 1 (que fosse exatamente 1, parece que não foi de início percebido por Chargaff, o mesmo valendo para o seu significado molecular), e que a proporção de A+T para G+C era diferente de organismo para organismo. Por exemplo, no seu primeiro trabalho, ele achou que essa proporção era de 1,85 na levedura, e 0,42 no bacilo da tuberculose. As descobertas de Chargaff refutaram decisivamente a hipótese tetranucleotídea de Levene, segundo a qual todas as bases ocorriam em igual frequência. Estava agora aberto o caminho para uma nova teoria molecular do DNA. Como se revelou mais tarde, a base aos pares (purina com pirimidina), descoberta por Chargaff, constituiu a chave mais importante para a subsequente construção da dupla-hélice.

Lembremos que existem dois ácidos nucléicos, o ácido-nucléico desoxirribósico (DNA) e o ácido nucléico ribósico (RNA). Depois de haver sido demonstrado que eles não são restritivos dos animais e das plantas, respectivamente, surgiu a questão sobre o papel que eles desempenham na célula, e mais especificamente, em que parte da célula eles se localizam. Que o DNA era

característico dos núcleos já era sabido desde os dias de Miescher, e já há muito tempo havia indicações no sentido de que o RNA era o ácido nucléico típico do citoplasma; mas permanecia uma controvérsia sobre se existia o DNA em forma difusa também no citoplasma, e algum RNA no núcleo. Era preciso dispor de técnicas, aplicáveis às células intactas, que pudessem permitir a diferenciação entre o DNA e RNA. Em outras palavras, progressos ulteriores estavam na dependência de inovações técnicas. Em 1923, o citoquímico R. Feulgen (1884-1955) introduziu um método de coloração (uma reação de aldeído), mais tarde chamado reação Feulgen, que era específico para o DNA. Isso permitiu a confirmação final de que o DNA era restrito ao núcleo (exceto em relação ao DNA especial de alguns organelos celulares). Mas foram necessários diversos anos ainda para se encontrar uma reação específica para o RNA (Brachet, 1940; 1941; Caspersson, 1941). [6] Isso permitiu a clara demonstração de que o RNA ocorre no nucléolo e no citoplasma.

As pesquisas citológicas das gerações precedentes permitiam previsões, tanto quantitativas como qualitativas, em relação ao DNA nuclear:

1. Desde que a cromatina é replicada, e a seguir dividida igualmente a cada divisão celular, todas as células produzidas pela mitose deveriam conter idêntica quantidade de DNA.
2. Os gametas, devido à divisão redutiva, deviam possuir a metade do DNA das células somáticas dos organismos diplóides.
3. O DNA devia ser um composto extremamente estável, a julgar pela relativa raridade das mutações.
4. Tendo em vista que durante a fertilização se juntam dois conjuntos bem diferentes de DNA, eles devem ter a capacidade de uma atuação conjunta harmoniosa.
5. Considerando a tremenda variação genética que se observa em todos os níveis, desde o acervo genético local até os *taxa* mais elevados, o DNA deve ser capaz de assumir um número muito grande de configurações possíveis.

Os novos métodos para determinar o montante de DNA por célula possibilitaram rapidamente a confirmação das duas previsões quantitativas. Boivin e seus colaboradores, os Vendrelys (1948), desenvolvendo métodos para determinar a exata quantidade de DNA de uma célula, foram capazes de mostrar que uma célula diplóide contém duas vezes mais DNA que uma célula haplóide. Mais tarde descobriu-se que as células poliplóides possuíam os esperados múltiplos das células haplóides. Todas essas descobertas confirmaram a associação do DNA aos cromossomos. Estudos posteriores revelaram um comportamento muito diferente do DNA e do RNA, em células com diversas atividades metabólicas. Por exemplo, a quantidade de DNA dos núcleos das células de ratos submetidos severamente à fome permanecia sempre igual, enquanto a quantidade de RNA desses mesmos animais declinava rapidamente:

> A invariabilidade do DNA aparece como Uma consequência natural da especial função que hoje se lhe atribui, a saber, a de ser o depositário das características hereditárias da espécie (Mendel *et alii,* 1948: 2020-2021).

A descoberta da dupla-hélice

Muitas coisas foram aprendidas naqueles anos sobre o DNA, e as conclusões que se tiraram foram muitas vezes notavelmente proféticas. A inércia metabólica do DNA, por exemplo, parecia confirmar a suposição, muito em voga entre os teóricos do gene, no sentido de que este funcionava como uma espécie de "molde". "A implicação lógica é de que o gene não necessita 'fazer' alguma coisa [no metabolismo da célula], mas que apenas fornece um modelo para a síntese" (Mazia, 1952:115). A absoluta constância quantitativa do DNA estava em perfeito acordo com esse postulado.

Para responder à pergunta de como o gene podia servir de molde, era necessário saber-se mais sobre a estrutura da molécula do DNA. Muitos pesquisadores tinham plena consciência disso. Desde Levene, existia a certeza de que o DNA devia possuir uma estrutura longitudinal, consistindo em uma espinha dorsal de desoxirribose e fósforo, aos quais de alguma forma as bases se conectavam. O que precisava ser descoberto era como os três tipos de moléculas se ligavam entre si. Só então seria possível determinar a maneira como o DNA podia realizar a sua função. Três laboratórios em particular estavam na pista quente desse objetivo, e talvez tenham tido, no início do seu trabalho sobre esse projeto, iguais possibilidades de sucesso. Um deles era o de Linus Pauling, do Califórnia Institute of Technology (Pasadena), que havia descoberto a estrutura de hélice alfa das proteínas, e que trouxe tão importantes contribuições para o nosso conhecimento das forças que ligam as moléculas entre si.

O segundo grupo, Maurice Wilkins e seus colaboradores, funcionava no Kings College, de Londres. Sua competência especial era a cristalografia com raios-X, e nesse grupo, Rosalind Franklin conseguiu obter algumas imagens excelentes dos padrões de difração por raios-X do DNA. A partir do trabalho dela, bem como de outras descobertas, surgiram diversas indagações. Seria a espinha dorsal do DNA uma molécula em linha reta, ou torcida em forma de espiral? Mais, haveria uma única espiral, ou duas, ou três? Finalmente, como as bases da purina e pirimidina se conectam com a espinha dorsal? Estariam estas bases ligadas pelo lado de fora, como as cerdas de um pincel? Ou, caso houvesse uma dupla ou tripla hélice, estariam esses cabelos pelo lado interno, e como se ligariam as bases umas às outras? Essas e muitas outras perguntas foram levantadas pelos grupos de Pauling e do Kings College, mas ainda não haviam sido bem ordenadas, quando um terceiro grupo de pesquisadores começou a ocupar-se com o DNA, em Cambridge: James D. Watson e Francis Crick.

É desnecessário reproduzir aqui os passos positivos, os palpites errados e as múltiplas frustrações dos três grupos de pesquisadores, pois isso já tantas vezes foi feito e muito bem (Olby, 1974; Judson, 1979). O importante a mencionar é que um dos pesquisadores, James D. Watson, mais do que qualquer um dos outros, deu-se conta da importância decisiva da molécula do DNA para a biologia, e foi essa compreensão que o instigou, sem cessar, a levar em frente o seu trabalho, até chegar a um resultado conclusivo, a despeito da sua qualificação técnica bastante modesta para essa tarefa. Wilkins, ainda em 1950, estava a se perguntar "o que afinal o ácido nucléico fazia nas células".

Watson (n. 1928) havia realizado sua pesquisa de pós-graduação em Bloomington, Indiana, sob a orientação de S. E. Luria. Aí, e em Cold Spring Harbor, ele aprendeu sobre a importância do DNA, e quando alguns outros dos seus projetos de pesquisa não puderam ser desenvolvidos, por razões técnicas, ele decidiu ir para a Inglaterra, com o objetivo de dedicar-se ao estudo do DNA. No

laboratório Cavendish, em Cambridge, ele encontrou uma alma irmã, na pessoa de Francis Crick (n. 1916). Crick, igualmente brilhante como Watson, detinha alguns conhecimentos técnicos que faltavam a Watson, mas, pelo menos no princípio, nem de longe era tão compulsivo como Watson em relação à importância do DNA. Ambos eram altamente carentes de certos tipos de conhecimento, mas falando com muitas pessoas, visitando laboratórios importantes, e realizando sem interrupção experimentos com vários modelos, chegaram finalmente a dar com a solução certa, em fevereiro e março de 1953. Modelos bem definidos das várias moléculas componentes foram-lhes de grande valia para chegar à estrutura tridimensional do DNA.

Havia um dado de informação que era crucial: a descoberta de Chargaff (1950) da proporção 1/1 das purinas e pirimidinas (AT e GC). Embora tal descoberta já estivesse à disposição há três anos, ela foi mais ou menos ignorada pelos três grupos de pesquisadores. Quando Watson e Crick finalmente se deram conta da importância dessa relação numérica, necessitaram apenas de mais três semanas de manipulação com os seus modelos bem delimitados para darem com a estrutura correta.

O resultado final, com que hoje qualquer estudante de nível médio está familiarizado, consiste em que o DNA é uma dupla-hélice, e que suas duas fitas, semelhantemente aos degraus de uma escada em caracol, se conectam por uma sequência de pares de base (uma purina e uma pirimidina). Como pouco tempo depois se descobriu, é a sequência dos quatro pares de base possíveis (AT, TA, CG, GC) que determina a informação genética. Tal informação funciona como um guia na composição dos polipeptídios e das proteínas, e por isso ela controla a diferenciação celular. A dupla-hélice de Watson e Crick ajustava-se tão perfeitamente a todos os fatos que foi aceita quase de imediato por todo o mundo, inclusive pelos dois laboratórios concorrentes mais ativos, de Pauling e Wilkins. O fato dissipou todas as dúvidas remanescentes sobre se o DNA era ou não o verdadeiro material genético.

Roux, em 1883, havia imaginado que o processo básico da transmissão genética era a divisão do núcleo em "duas metades idênticas". Tal expressão coloca mal a ênfase. O que de fato acontece é que o fenômeno central é a duplicação do material genético, seguido de sua segregação em duas células-filhas. O evento decisivo na divisão da célula é, portanto, a exata replicação do DNA. A maneira exata como isso acontecia era algo completamente misterioso, até ser descoberta a estrutura da dupla-hélice. Para Watson e Crick, isso ficou imediatamente claro, segundo disseram (com bastante modéstia) na sua publicação original (1953a: 737): "Não escapou à nossa atenção que a formação específica de pares, que havíamos postulado, sugeria imediatamente um possível mecanismo de cópia do material genético". Como eles sublinharam numa publicação posterior, o destrançar-se da hélice juntamente com a ruptura dos elos entre as bases de purina e pirimidina produzem uma dupla matriz, que representa o mecanismo de réplica do DNA.

A compreensão da dupla-hélice e da sua função exerceu um profundo impacto não apenas na genética, mas também na embriologia, na fisiologia, na teoria evolucionista, e mesmo na filosofia (Delbrück, 1971). O problema do genótipo e do fenótipo podia agora ser armado em termos definitivos, batendo-se o último prego no caixão da teoria da hereditariedade dos caracteres adquiridos. Embora muitas vezes tenha sido manifestada a suspeita, já nos anos 1880 e 1890, de que o material genético pudesse ser diferente do material de construção do organismo, e mesmo que os termos "genótipo" e "fenótipo" já tenham sido introduzidos em 1908, somente em 1944 é que foi percebido de modo pleno o quanto era profunda a diferença entre o genótipo e o fenótipo. Só a partir de 1953 ficou claro que o DNA do genótipo em si mesmo não entra no processo do desenvolvimento,

mas que simplesmente contribuía como um quadro de instruções. O desabrochar da biologia molecular, nos anos 1950, coincidiu com o surgimento da ciência da informática, e alguns termos chaves dessa área, como programa e código, passaram a integrar o vocabulário da genética molecular.

O "programa genético" codificado, modificado de geração a geração, e incorporando informações históricas, tomou-se um conceito familiar e poderoso. Ainda não foi escrita uma história dos antecedentes desse conceito. O conceito do mneme, de Hering (1870) e de Semon (1904), conquanto originalmente introduzido para embalar a idéia de uma hereditariedade dos caracteres adquiridos, está decisivamente nessa linha. Mais próximo ainda chegou a comparação de His (1901) entre a atividade do plasma germinal e a produção de mensagens, em que estas podiam levar a consequências muito mais complexas que a simples mensagem. Não obstante isso, a conceituação do programa genético, como um dirigente implacável (Delbrück, 1971), foi algo de tão novo que ninguém jamais nem mesmo chegou próximo à idéia antes dos anos 1940.

Dificilmente houve um marco tão decisivo em toda a história da biologia como a descoberta da dupla-hélice. Concordo com o julgamento de Beadle (1969: 2):

> Muitas vezes eu disse que considero a elucidação da estrutura detalhada do DNA como uma das grandes realizações da biologia do século XX, comparável em importância à obra de Darwin e de Mendel no século XIX. Digo isso porque a estrutura Watson-Crick indicou de imediato a forma como ela se replica e copia a si mesma, como ela entra no desenvolvimento e no funcionamento, e como ela suporta as alterações mutacionais que constituem a base da evolução orgânica.

A descoberta da dupla-hélice abriu um campo imenso e novo de pesquisas excitantes, e não há exagero em dizer-se que, em decorrência disso, a biologia molecular dominou completamente o campo da biologia nos cinquenta anos seguintes.[7] A longa busca da natureza verdadeira da hereditariedade chegou ao fim. As questões em aberto passaram mais e mais a ser de natureza fisiológica, tratando das funções dos genes e do seu papel na ontologia e na neurofisiologia. De qualquer maneira, a história da genética de transmissão estava encerrada.

Nenhum dos achados da genética de transmissão (resumidos no Capítulo 17) foi modificado de maneira relevante pelas descobertas da biologia molecular. Vale a pena lembrar que a análise fina da estrutura do gene (reconhecimento de subunidades, por Benzer) foi cumprida com os métodos da genética clássica, não com os métodos bioquímicos. A afirmação que por vezes se faz, no sentido de que a genética de transmissão, devido aos novos métodos da biologia molecular, foi "reduzida à" genética molecular não tem nenhum fundamento (Hull, 1974). Que os genes fossem moléculas é algo que já havia sido postulado pelos biólogos nos anos 1880, uma hipótese também subscrita pela maioria dos mais proeminentes mendelianos. Todavia, antes de 1944, isso não passava de uma hipótese. O haver fornecido uma explicação química para os fenômenos da genética de transmissão é o feito inquestionável da biologia molecular. A estrutura do DNA (dupla-hélice) (1) explica a natureza da sequência linear dos genes, (2) revela o mecanismo da replicação exata dos genes,

elucida em termos químicos a natureza das mutações, (4) e mostra por que a mutação, a recombinação e a função são fenômenos separados, no nível da molécula.

Muito maior tem sido o impacto da biologia molecular na nossa compreensão do funcionamento

do gene, onde se abriu uma fronteira inteiramente nova. A classificação dos genes em várias categorias, como DNAs estruturais, reguladores e repetitivos, encontra-se ainda num estágio preliminar. O papel dos nucleossomos e das várias proteínas nos cromossomos dos eucariotos é compreendido apenas de uma maneira rudimentar. O papel dos introns, dos transposons, e do DNA supostamente "silencioso", permanece ainda um mistério. Quase a cada mês se descobrem fenômenos novos, levantando novos enigmas. Pelo pouco que sabemos sobre isso, parece haver indicação de que todos esses fenômenos se relacionam com a função reguladora do gene. A genética molecular ainda tem muito de uma história inacabada.

A genética no pensamento moderno

Poucos ramos da biologia exerceram um impacto tão profundo no pensamento humano, e nos negócios humanos, quanto a genética. É assunto demasiadamente vasto para ser tratado adequadamente em umas poucas páginas, e o mais que posso fazer é chamar a atenção para as diversas aplicações dos conhecimentos genéticos.

Que certas doenças humanas pudessem ter uma causa genética era algo sabido há muito tempo, pelo fato de se repetirem com frequência em certas famílias. A hemofilia, tão espalhada entre os descendentes de sexo masculino da rainha Victoria, talvez seja o exemplo mais conhecido. A polidactilia foi descrita por Maupertius e Réaumur, no século XVIII. Hoje em dia, conhecem-se centenas de doenças genéticas do homem, e em muitos casos ficou estabelecido em que cromossomo se localiza o gene mutante (McKusick, 1973). [8]

Três aspectos da genética humana assumem um particular interesse. O primeiro é que algumas doenças genéticas do homem representam falhas do metabolismo. O médico inglês Garrod, já em 1902, havia-sugerido que a doença alcaptonúria era causada pelo bloqueio de uma sequência de reações metabólicas, e que esse bloqueio era devido a uma deficiência congênita de uma enzima específica (veja também Garrod, 1909). Conquanto vastamente ignorada, quando publicada pela primeira vez, a teoria de Garrod, ao ser descoberta por Beadle e Tatum, desempenhou um importante papel no desenvolvimento da genética fisiológica.

Um segundo aspecto importante da genética humana é que ela forçou os geneticistas a estudarem aquelas condições fenotípicas que possuem um modo de hereditariedade um tanto heterodoxo. Assim, hoje é sabido com bastante certeza que o gene, ou conjunto de genes, responsável pela esquizofrenia têm uma baixa "penetração". Isso significa que uma pessoa pode não revelar os sinais dessa doença, mesmo que ele ou ela possuam as condições genéticas para tanto. Os genes de baixa penetração são muito comuns na *Drosophila* (como mostraram os trabalhos de Timofeeff-Ressovsky e de Goldschmidt), mas, por razões evidentes, os geneticistas abstêm-se de estudá-los. Existem outros genes variáveis na intensidade da sua expressão (como, ao que parece, os genes da diabetes), e o estudo dos mesmos da mesma forma ampliou o nosso conhecimento dos modos da hereditariedade.

Talvez o efeito de maior alcance que o pensamento genético teve sobre o homem moderno seja o de ter levantado a possibilidade de que quase todas ás características humanas teriam uma parcial base genética. Tal afirmação aplica-se não apenas aos atributos físicos, mas também aos atributos mentais e comportamentais. A contribuição relativa da constituição genética nas características humanas não-físicas, particularmente a inteligência, constitui um dos assuntos biológicos e sociais

mais controvertidos dos nossos dias.

Finalmente, é preciso destacar o quanto a genética adquiriu importância na criação de animais e plantas. A produção de leite e a produção de ovos são dois exemplos magníficos das realizações da genética animal. O cultivo de plantas resistentes às doenças e o desenvolvimento do milho híbrido e de cereais de haste constituem outras tantas ilustrações. Mesmo que a dita revolução verde não tenha alcançado o sucesso previsto, nem por isso deixou de incrementar, por vezes espetacularmente, a produtividade de muitas plantas frutíferas e forrageiras. O homem primitivo, em milhares de anos, fez menos progressos nos seus esforços de melhoria das plantas frutíferas do que foi capaz de fazê-lo a genética no curto período de dez anos.

Qualquer um que leia um moderno manual de genética fica assombrado com a opulência de fatos e interpretações. No que diz respeito a um não-especialista, mesmo o texto mais elementar contém não apenas "tudo o que você deseja saber sobre a hereditariedade", mas realmente muito mais do que você deseja saber. A situação ainda mais se complica pelo fato de que a genética moderna está mais ou menos compartimentada em três ou quatro áreas amplamente independentes: genética de transmissão ou clássica, genética evolutiva ou de populações, genética molecular e genética fisiológica ou do desenvolvimento.

Isso cria uma dificuldade formidável para o historiador das idéias, quando pretende resumir em alguns períodos os conceitos mais importantes que emergiram da massa de pesquisas realizadas e publicadas de 1865 a 1980. Minha tentativa nesse sentido é evidentemente provisória:

1. A descoberta mais espetacular, e totalmente inesperada até 1940, foi que o material genético, hoje sabidamente constituído de DNA, não participa como tal na construção do corpo de um indivíduo novo, mas apenas serve como um esquema, como um conjunto de instruções, designado "programa genético".
2. O código, cujo programa é traduzido nos organismos individuais, é o mesmo em todo o mundo vivo, desde os mais rudimentares microorganismos até os animais e plantas superiores.
3. O programa genético (genoma), em todos os organismos diplóides de reprodução sexual, é duplo, consistindo em um conjunto de instruções procedente do pai e outro procedente da mãe. Os dois programas são, em geral, estritamente homólogos, e atuam em conjunto como uma unidade.
4. O programa consiste em moléculas de DNA, associadas no eucarioto a certas proteínas (como as histonas), cuja função precisa é ainda incerta, mas que aparentemente apóiam a regulação da atividade dos diferentes *loci* nas diferentes células.
5. O caminho que leva do DNA do genoma para as proteínas do citoplasma (transcrição e tradução) é estritamente uma via de mão única. As proteínas do corpo não podem induzir qualquer mudança do DNA. À herança dos caracteres adquiridos é por isso uma impossibilidade química.
6. O material genético (DNA) é totalmente constante ("sólido") de geração em geração, exceto no caso muito ocasional (cerca de um em cem mil) de "mutação" (isto é, erro de replicação).
7. Todo indivíduo dos organismos que se reproduzem sexualmente é geneticamente único, porque diversos alelos diferentes podem estar representados em dezenas de milhares de *loci,* numa determinada população ou espécie.

8. Esse enorme estoque de variação genética oferece um material quase ilimitado para o exercício da seleção natural.

EPÍLOGO: POR UMA CIÊNCIA DA CIÊNCIA

Com cada vez mais frequência se lêem referências a uma "ciência da ciência". O que se entende por essa designação? Ela diz respeito a uma disciplina em evolução que combinaria a sociologia da ciência, a história da ciência, a filosofia da ciência, bem como a psicologia dos cientistas, com toda espécie de generalizações que se podem fazer sobre as atividades dos cientistas e sobre o desenvolvimento e a metodologia da ciência. Ela incluiria também generalizações sobre a evolução intelectual e sobre o estilo da obra dos grandes autores da ciência, e por isso também da vasta plêiade de outros cientistas que deram contribuições para o gradual progresso do nosso saber e da nossa compreensão.

Os filósofos e os sociólogos da ciência formularam, e até certo ponto responderam, numerosas questões. Por exemplo, que generalizações podem ser feitas em relação à origem de novas tradições de pesquisa, seu florescimento, seu declínio e sua substituição? É verdadeiro que existem revoluções científicas, e, em caso positivo, a sua maneira de atuar seria coerente com a descrição que delas faz Thomaz Kuhn? Nos meios da ciência e dos cientistas, quais seriam os fatores mais importantes que determinam a ocorrência' de períodos revolucionários, ou pelo menos inovadores? Qual é a proporção relativa dos avanços científicos possibilitados por novas tecnologias, novas observações, ou por novos tipos de experimento, em comparação com os avanços determinados por novas idéias e novos conceitos? E, além disso, seria legítimo fazer tal distinção, ou teriam a realização de novos experimentos e a coleta de novas observações meramente: a função de testar as novas hipóteses e teorias?

Nenhuma teoria da ciência proposta até hoje foi universalmente aceita. O positivismo lógico havia apresentado uma teoria da ciência bastante bem elaborada, tratando tanto da descoberta como da explicação. Mas desde que a crítica generalizada das últimas décadas está a indicar claramente que ela necessita de uma severa revisão, se é que ela tem algum valor, julgo que não cabe fazer aqui a sua exposição. Numerosos esforços foram empreendidos para substituí-la (os de Popper, Feyerabend, Lakatos, e outros), mas parece que ainda estamos longe de uma síntese.

As observações e generalizações dos sociólogos da ciência (como Merton), no seu todo, parecem menos vulneráveis; com efeito, no âmbito dos seus objetivos, descrevem bastante bem a situação. Sem dúvida, o seu trabalho trata principalmente de problemas específicos, tais como as descobertas múltiplas e independentes ou a função do sistema de prioridades na premiação dos cientistas. No presente momento, nenhum sociólogo ousaria afirmar que dispomos de uma sociologia da ciência bem acabada. O que temos até agora são "contribuições para uma sociologia da ciência".

Todos os escritos que no passado se ocuparam com a ciência da ciência voltavam-se de modo fortemente unilateral em favor das ciências físicas. As notas e comentários a seguir poderão servir para trazer as ciências biológicas de modo mais expressivo nessa área de interesse. Infelizmente, não fui capaz de compor uma ciência elaborada da ciência biológica, e minha contribuição se limita àquilo que Schopenhauer teria chamado *parerga kai paralipomenü.* Espero que ela possa estimular outros a fazerem melhor.

Os cientistas e o meio científico

O desenvolvimento da ciência é o desenvolvimento das idéias dos cientistas. Toda idéia nova ou modificada nasceu do cérebro de um cientista individual. Isso é plenamente reconhecido pelos historiadores, e se reflete também na linguagem científica, quando se faz referência às leis de Mendel, ao Darwinismo, ou à teoria da relatividade de Einstein. Por razões de simplificação, o pensamento dos grandes líderes intelectuais e inovadores de conceito é muitas vezes apresentado, nas histórias da ciência, como se ele fosse de uma unidade monolítica e constante. Têm-se feito referências a Lamarck 1809 Ou a Darwin 1859, como se fossem tranquilamente relegados ao olvido os relatos, hoje mais bem conhecidos, da evolução das idéias de Darwin, suas dúvidas, hesitações, incoerências, contradições e frequentes mudanças dé pensamento, apresentando-se em vez disso o desenvolvimento das suas idéias como uma sequência lógica de inferências e conclusões. O quanto isso era equivocado ficou evidente a partir do momento em que os historiadores começaram a estudar as obras e a correspondência de Darwin de modo crítico, e particularmente quando analisaram seus cadernos de notas e seus manuscritos inéditos (1975; 1980). Limoges (1970, Gruber (1974), Kohn (1975; 1980), Herbert (1977) Schweber (1977) e Ospovat (1979) mostraram como foi desorientadora a representação tradicional do nascimento das teorias dé Darwin.

Suas idéias sobre a especiação, por exemplo, sofreram uma mudança radical nos anos 1850 (Sulloway, 1979), e em 1870 ele se inclinava muito mais para a hereditariedade tênue do que em 1850.

O pensamento de muitos dos maiores cientistas caracterizou-se por um longo processo de maturação, e muitas vezes por reviravoltas completas. Lineu, por exemplo, que no princípio proclamava com tanta ênfase a constância e a permanência das espécies, desenvolveu no fim da sua vida uma teoria de espécies por hibridação. Lamarck acreditava na constância das espécies até a idade dos seus 55 anos, passando então a adotar a evolução; mas, nos quinze ou vinte anos que se seguiram, afastou-se mais e mais de um conceito linear da mesma, inclinando-se para uma conceituação dendroídea. Rensch, Sumner e Mayr foram neolamarckianos, nos seus anos mais jovens, mas mais tarde acabaram por adotar inteiramente o selecionismo. Efetivamente, alguns dos maiores cientistas modificaram as suas idéias, com grande frequência e de maneira profunda. Nunca se poderá entender a importância de um pensador ao longo da sua vida, quando não se acompanham as evoluções ocorridas no seu pensamento. O mesmo se aplica também a muitos filósofos. O Kant da *Cosmoginia* (1755), da *Crítica da razão pura* (1781) e o da *Crítica do juízo* (1970) eram três pensadores muito diferentes. Os cientistas que nunca modificaram as suas idéias principais, desde o princípio até o final de suas carreiras, constituem provavelmente uma pequena minoria. Ninguém, enquanto eu saiba, dedicou especial estudo às mudanças drásticas no pensamento de grandes cientistas (por vezes verdadeiras conversões). Existem muitas questões insolúveis nessa área. Existiria uma faixa etária especial em que tais mudanças acontecem com maior frequência? O que ocasiona essas mudanças? Seria verdadeiro que alguns cientistas se, "renegam" nos seus últimos anos?

Todas as interpretações feitas por um cientista são hipóteses, e todas as hipóteses são tentativas. Elas devem ser constantemente testadas, e revistas sempre que se revelarem insatisfatórias. Daí que a mudança de pensamento de um cientista, de um grande cientista em particular, não apenas não é sinal de fraqueza, mas sim evidência de uma atenção constante ao respectivo problema e capacidade de

testar sempre de novo a hipótese.

Existem grandes diferenças na personalidade dos diversos autores, e isso determina o estilo das suas pesquisas. Ostwald (1909) classifica os cientistas em românticos e clássicos. Os românticos borbulham de idéias, as quais devem ser tratadas rapidamente para darem lugar às próximas.

Algumas dessas idéias são de uma criatividade soberba; outras são válidas, quando não tolas. O romântico geralmente não hesita em abandonar suas idéias menos bem-sucedidas. O clássico, ao contrário, se debruça no aperfeiçoamento de algo que já existe. Ele tende a dedicar-se a um assunto exaustivamente. Tende também a defender o *status quo*. Sulloway (1982) mostrou que estatisticamente existe uma profunda diferença no estilo dos primogênitos e dos caçulas. Os primogênitos têm propensão a ser conservadores, muitas vezes correspondendo bastante bem à designação dos clássicos de Ostwald. No curso de revoluções científicas, eles se inclinam a defender o paradigma existente. Os caçulas, em contrapartida, tendem a ser revolucionários e propor teorias heterodoxas.

Dificilmente alguém descreveu melhor que Darwin a maneira como. funciona o espírito de um cientista bem-sucedido. Ele afirmou reiteradamente que não conseguia fazer qualquer observação, sem que fosse acompanhada de "especulação", como dizia. Tudo o que ele via suscitava perguntas em sua mente. Outra característica dos bons cientistas é a flexibilidade – a prontidão em abandonar uma teoria, ou uma suposição, tão logo a evidência indique que elas não são válidas. Diversos dos arquitetos da síntese evolucionista dos anos 1930 abandonaram idéias definidas por eles anteriormente, quando estas se revelaram errôneas. Uma terceira generalização que pode ser feita em relação aos grandes cientistas é que eles abrangem uma considerável gama de interesses. São capazes de se servir de conceitos, fatos e idéias de campos vizinhos, quando da elaboração das teorias dos seus próprios campos. Sabem recorrer a boas analogias e dão valor aos estudos comparativos.

Estratégias de pesquisa

Medawar (1967) acentuou, com muita propriedade, o quanto é importante para um cientista um programa de pesquisa factível. Por exemplo, todos os geneticistas, desde Nägeli e Weismann a Bateson, fracassaram no desenvolvimento de teorias bem-sucedidas da hereditariedade, porque tentavam explicar simultaneamente a hereditariedade (transmissão do material genético de geração para geração) e o desenvolvimento. O desejo de assim proceder não causava surpresa, porque quase todos eles chegaram aos problemas genéticos a partir do campo da embriologia. Foi o gênio de Morgan que colocou de lado todas as questões fisiológicas e do desenvolvimento (embora ele mesmo fosse procedente da embriologia), para concentrar-se estritamente nos problemas da transmissão. Suas descobertas pioneiras, de 1910 e 1915, deveram-se inteiramente a essa restrição sábia. Os problemas do desenvolvimento que as suas descobertas (bem como as dos seus colaboradores) levantaram eram simplesmente postos de lado. Isso foi uma decisão muito feliz, porque alguns desses problemas – por exemplo, por que os genes em posição-cis podem ter efeitos diferentes em relação aos de posição-trans (efeito de posição) – continuam ainda não plenamente resolvidos, passados mais de cinquenta anos da sua descoberta.

Existem muitas razões potenciais que explicam por que um problema possa ainda não estar preparado para uma solução. O instrumental técnico para a sua análise pode ainda não ter sido

forjado, e também podem não ter sido ainda elaborados certos conceitos, particularmente quando necessitam da contribuição de campos vizinhos. Nesses casos, os problemas ainda-não-resolvidos devem ser tratados como "caixas-pretas", a serem abertas quando for chegado o seu tempo, como fez Darwin em relação à fonte da ilimitada variação da natureza.

Referindo-me a Weismann, já tive de mencionar uma segunda estratégia empobrecedora da pesquisa: a falta de uma separação do problema nos seus elementos componentes. O estudo da hereditariedade, por exemplo, não podia fazer qualquer progresso, enquanto não fossem adequadamente separados os problemas da transmissão e do desenvolvimento. Tal necessidade de distinguir os componentes de um problema complexo vale tanto para a ciência como para a filosofia; a ausência de uma compartimentação do conceito de teleologia nos seus quatro componentes (veja o Capítulo 2) e a falta de uma distinção entre a categoria espécie e o táxon (Capítulo 4) são apenas dois exemplos.

Outra estratégia de pesquisa que, ao longo do tempo, tem sido prejudicial ao progresso da ciência é a reiterada confirmação de descobertas já de há muito confirmadas. Os grandes anatomistas comparativos do século XIX – Haeckel, Gegenbaur e Huxley – recorreram com grande sucesso à anatomia comparada para confirmar a teoria darwiniana da descendência comum. No entanto, anatomistas comparativos continuaram a considerar o estabelecimento de homologias e a procura da descendência comum como seu objetivo único, muito tempo após ter desaparecido qualquer oposição a essa teoria (Coleman, 1980). Somente a escola russa de Severtsov se afastava um pouco dessa tradição, o mesmo tendo feito também Böker, que indagava questões de outra natureza, mas infelizmente um pouco desfiguradas pela sua filosofia lamarkiana. Quase cem anos se passaram, depois de Darwin, antes que a introdução de novas *Frastellungen* revitalizasse a anatomia comparada (por meio da obra de D. D. Davis, W. Bock, e outros). Ao lermos as publicações da escola de Morgan, depois de 1920, tem-se a impressão que os seus membros também padeciam da mesma deficiência. A ênfase principal das suas pesquisas, em face da oposição de Bateson, continuava a ser o fornecimento de provas para a justeza da teoria cromossômica da hereditariedade, embora naquela época essa teoria já estivesse firmada para além de qualquer dúvida razoável. Em decorrência disso, os avanços significativos da genética, ao longo dos anos 1930 e 1940, foram realizados por representantes de outras escolas genéticas.

Outra estratégia pobre consiste em limitar-se ao acúmulo de fatos e descrições, sem utilizá-los para desenvolver novas generalizações e novos conceitos. Não foi sem razão que os detratores da taxionomia ridicularizaram aqueles taxionomistas que pareciam não ter outro objetivo de pesquisa a não ser descrever sempre novas espécies, como se essa atividade fosse o alfa e o ômega da taxionomia. Por mais necessário e inquestionável que seja o inventário da diversidade do mundo orgânico, todo sistematizador consciente deseja ir além desse estágio lineano. A mesma crítica pode ser aplicada a certos práticos de quase todos os ramos da biologia. O recenseamento dos "quadrados", nos primeiros tempos da ecologia, era outra atitude puramente descritiva.

Existe uma lei dos retrocessos declinantes na pesquisa, como igualmente em tantos outros aspectos da atividade humana, e compete à perspicácia do cientista reconhecer quando esse ponto foi alcançado. Curiosamente, existem alguns pesquisadores que mais de uma vez estiveram no ponto de fazer uma descoberta importante, mas acabaram por declinar de sua linha de investigação para se dedicarem a um problema inteiramente novo. O motivo, em geral, parece ter sido que eles falharam na formulação das perguntas adequadas e significativas, pensando assim que a linha de pesquisa na

qual estavam engajados estivesse exaurida. Trata-se de mais um ponto que evidencia a importância de saber levantar as questões certas.

O poder das ideologias

Muitas vezes se tem observado que cientistas diferentes chegam a tirar, dos mesmos fatos, conclusões inteiramente diferentes, quando não diametralmente opostas. Como pode acontecer isso? Evidentemente, tal divergência é o resultado das profundas divergências de ideologia *(Weltanschauung)* dos respectivos cientistas. Por exemplo, os cientistas dos meados do século XIX podiam estar plenamente de acordo quanto à admirável adaptação dos insetos para visitarem as flores, e as flores, por sua vez, para serem polinizadas pelos insetos. E no entanto, um teólogo natural pré-darwiniano considerava esses fatos uma estrita evidência da sabedoria do Criador, enquanto um darwinista encarava os mesmos fatos como excelente confirmação do poder da seleção natural. Se um autor é adepto do essencialismo ou do pensamento de população, se acredita no reducionismo ou no emergentismo, ou se discerne claramente ou não a diferença entre as causas próximas e as causas últimas – todas essas diferenças básicas de ideologia determinarão as teorias biológicas que para eles são aceitáveis. Por esse motivo, a mudança e a substituição das teorias científicas individuais adquire menos importância na história da ciência que o poder e a aceitação das ideologias que podem estar influenciando o pensamento dos cientistas.

O estudo das filosofias, ou ideologias básicas dos cientistas, é muito difícil, porque raramente elas são articuladas. Elas consistem amplamente em admissões tácitas, aceitas sem discussão, a ponto de nunca serem mencionadas. O historiador da biologia defronta-se com algumas de suas maiores dificuldades ao se propor esquadrinhar tais admissões pacíficas; e todo aquele que tentar pôr em causa essas "verdades eternas" encontra formidáveis resistências. Na biologia, ao longo de centenas de anos, a crença na hereditariedade dos caracteres adquiridos, a crença num progresso irresistível e numa *scala naturae,* a diferença fundamental entre os seres orgânicos e o mundo inanimado e uma estrutura essencialista do mundo dos fenômenos representam apenas algumas das admissões tácitas que afetaram o progresso da ciência. Em todas as grandes controvérsias na história da biologia, estavam envolvidas polaridades ideológicas básicas, indicadas por alternativas, tais como quantidade *versus* qualidade, redução *versus* emergência, essencialismo *versus* pensamento de população, monismo *versus* dualismo, descontinuidade *versus* continuidade, mecanicismo *versus* vitalismo, mecanismo *versus* teleologia, estaticismo *versus* evolucionismo, e outras ainda, discutidas no Capítulo 2. A resistência de Lyell ao evolucionismo era devida não apenas à sua teologia natural, mas também ao seu essencialismo, que simplesmente não podia admitir uma variação das espécies "além dos limites do seu tipo". Coleman (1970) mostrou o quanto a resistência de Bateson à teoria dos cromossomos se apoiava em razões de ordem ideológica. Pode-se chegar ao ponto de dizer que a resistência de um cientista a um teoria nova quase sempre se baseia em motivos ideológicos, muito mais que em razões lógicas ou em objeções contrárias à evidência em que se funda essa teoria. Para uma excelente análise das causas da resistência a idéias novas, veja Barber (1961).

Componentes mutuamente incompatíveis

Quando se estuda de perto o pensamento de qualquer cientista inovador, descobre-se quase sem

exceção que ele contém componentes mutuamente contraditórios. Isso talvez seja menos surpreendente no caso de Lamarck, que tinha 55 anos de idade quando se deu a espetacular reviravolta no seu pensamento, passando de um mundo estático a um mundo evolutivo. Ele sobrepôs suas idéias recentes ao pensamento tradicional do século XVIII, e o resultado compreensível foi grande número de contradições flagrantes.

Quando se analisa o conjunto de idéias de um autor do passado, é preciso ter o cuidado de evitar o julgamento de suas incoerências com base nos conhecimentos modernos. Provavelmente, nenhum cientista jamais esteve isento de incoerências internas no seu aparato conceitual. Lyell pregava o uniformitarismo, mas chegou a chamar a atenção mesmo de alguns de seus contemporâneos o quanto a sua explicação sobre a origem das espécies novas se aproximava de uma teoria não-uniformitarista. Darwin, ao explicar a adaptação pela seleção natural, aplicava o pensamento de população, mas empregou perigosamente uma linguagem tipológica em algumas de suas discussões sobre a especiação. Nenhum dos darwinianos conferiu tanto vigor à seleção natural como A. R. Wallace, e no entanto ele foi incapaz de aplicá-la ao homem. Darwin, como também muitos outros geneticistas anteriores ao ano 1900, acentuou frequentemente a integridade das partículas genéticas (como demonstrado pela reversão e outros fenômenos), mas todos eles admitiam também uma certa margem de fusão (mais tarde chamada mistura) de partículas equivalentes. Os historiadores da ciência, na minha opinião, não prestaram suficiente atenção a tais contradições e incompatibilidades conceituais. Com muita frequência, o pensamento de um cientista é apresentado como um sistema harmonioso e bem-acabado, quando na realidade normalmente consiste em fragmentos e peças que passaram por uma constante revisão, uma revisão, porém, feita em etapas sucessivas, de tal sorte que certos componentes já não se harmonizavam mais com outros. Seria uma empresa fascinante examinar o pensamento dos líderes da pesquisa biológica, em relação a tais contradições.

Prematuro ou desconforme?

Descobertas científicas importantes são muitas vezes, ampla ou completamente, ignoradas por seus contemporâneos. Muitos exemplos desse fato podem ser citados na literatura, e talvez o caso mais famoso seja o das leis de Mendel, publicadas em 1866 e negligenciadas até 1900. A demonstração de Avery, de que o agente transformador do pneumococo era ácido nucléico, muitas vezes vem citada como sendo outro exemplo. Essa descoberta foi publicada em 1944, mas até 1953 não havia recebido nem de longe a atenção que um achado tão espetacular merecia. Minha própria descoberta sobre a importância das populações periféricas isoladas, em relação ao seu influxo sobre a especiação e a macroevolução, publicada em 1954, quase não mereceu alguma referência até os anos 1970. Mas hoje ela se tomou tão em voga, a ponto de ser citada mais vezes, num recente manual de macroevolução (Stanley, 1979), que qualquer outra obra de paleontólogos.

Muitas vezes se tem dito que tal negligência acontece porque as descobertas são “prematuras”. Stent (1972) deu a seguinte definição:

> Uma descoberta é prematura quando suas implicações não podem ser conectadas, mediante uma série de passos simples e lógicos, com os conhecimentos vigentes, ou em geral aceitos.

Na realidade, parece bastante duvidoso que uma descoberta possa ser designada prematura,

particularmente quando feita por alguém que de modo deliberado estava à procura de tal solução, como foi o caso de Mendel. Minha análise pessoal da situação, sem querer entrar em muitos detalhes, é de que uma descoberta, com toda probabilidade, ficará ignorada, quando efetuada num campo que à época não está na moda, vale dizer, se ela se situa fora dos interesses de pesquisas dominantes no período. No caso de Mendel, a maioria dos hibridadores estava interessada na "substância das espécies", e uma análise dos caracteres individuais estava além das fronteiras do seu problema. Os embriologistas que mais especularam sobre a genética, naquele período, interessavam-se unicamente (ou ao menos principalmente) pelos aspectos de desenvolvimento da hereditariedade. A segregação e as proporções eram algo irrelevante no âmbito de suas preocupações.

No caso da descoberta de Avery, para tomarmos o segundo exemplo citado na literatura, minha experiência de testemunha ocular leva-me a crer que a sua importância, ou pelo menos as suas implicações, foi perfeitamente percebida por muitos geneticistas, e foi por meio deles que Watson tomou consciência da importância do problema. Entretanto, a análise da estrutura do DNA (portanto sua aptidão como molécula que recebe e transporta a informação) situava-se fora da área de competência desses biólogos. O problema devia ser assumido pelos químicos, e isso efetivamente foi realizado por Chargaff e outros. Esse exemplo certamente não caracterizou caso de precocidade, exceto no sentido de que a maioria dos químicos e dos biofísicos, que se ocupavam com o DNA, nem de longe estava tão consciente da importância dessa molécula como os biólogos. Por fim, com referência ao terceiro exemplo, a importância das populações periféricas isoladas foi ignorada por quase todos os geneticistas, por não incidir na sua área de competência. Foi necessário o surgimento de uma situação ideal, como a frequente ocorrência de populações periféricas isoladas da *Drosophila,* nas ilhas Havaianas, para que um geneticista (Carson) começasse a se ocupar com esse problema. As espécies perifericamente isoladas também não foram levadas em consideração pelos paleontólogos, porque, antes de 1972, eles virtualmente se limitavam a um pensamento "vertical". Não foi por coincidência que um dos dois paleontólogos (S. J. Gould) que aplicaram o conceito à sua área esteve associado a mim, nos anos precedentes, na ministração de um cirso avançado sobre biologia evolutiva.

Disso concluo que o termo "prematuro" talvez não seja a melhor palavra para designar esse fenômeno. O que acontece é que simplesmente há pouco contato entre os pesquisadores de áreas diferentes, e que a maioria deles, em geral, não tem a idéia de relacionar as descobertas de campos vizinhos com os problemas do seu próprio campo. A maior parte dos cientistas interessa-se verdadeiramente só por aquelas descobertas que incidem sobre o seu próprio trabalho e que sejam acessíveis às suas técnicas e instrumentos de pesquisa.

A forma das publicações

Muitas vezes foi observado que a obra de Mendel não teria sido ignorada durante 34 anos, se tivesse sido publicada em uma revista de botânica mais conhecida e de melhor prestígio, em vez de nas atas de uma sociedade regional de história natural. Por certo, é bem verdade que a particular facilidade de penetração, de que venha a gozar a publicação de uma descoberta científica ou de nova formulação de regras gerais, assume considerável relevância, e merece ser sublinhada mais do que se fez pelo passado. Castle e Weinberg publicaram suas descobertas, hoje designadas a Lei de Hardy-Weinberg, em períodos relativamente obscuros, ficando por isso a sua prioridade longamente

na sobra, enquanto Hardy publicou as suas próprias em *Science,* onde todo o mundo rapidamente delas pôde tomar conhecimento.

Lembro-me, no âmbito do meu próprio trabalho, de diversos casos ilustrativos da importância do suporte da publicação. No início dos anos 1930, era de modo geral tranquilamente aceito que o dimorfismo sexual da cor da plumagem dos pássaros era devido à supressão, nas fêmeas, da plumagem colorida (dos machos), em virtude do hormônio feminino. Em 1933, descobri que em muitas espécies de pássaros havia uma profunda variação geográfica na natureza e no grau do dimorfismo sexual, nas ilhas da Indo-Austrália. Em uma das espécies *(Petroica multicolor),* em algumas ilhas, descobri que havia um dimorfismo sexual padrão, exatamente como na Austrália, onde a espécie tinha origem. Em outras ilhas, todavia, os machos possuíam penas iguais às das fêmeas, tendo assim os dois sexos a coloração críptica feminina, enquanto ainda em outras ilhas as fêmeas ostentavam as plumas do galo, onde ambos os sexos revelavam a coloração brilhante, preta, branca e vermelha, normal dos machos adultos. Tendo em vista ser muito improvável que houvesse qualquer variação geográfica dos hormônios sexuais dessa espécie, concluí que o dimorfismo sexual era controlado diretamente pelo potencial dos germes das penas. Publiquei essa descoberta (que para mim, um jovem, marcaria época) nos anais do American Museum of Natural History (1933; 1934), onde, evidentemente, nenhum endocrinologista ou fisiólogo do desenvolvimento jamais a leu, e por isso foi completamente ignorada.

Até meados do século XIX, praticamente os únicos meios de publicação para um biólogo eram os periódicos de academias e de várias sociedades de ciência e de história natural. Exceto com referência à Academia de Paris, à Linnean Society of London e à Zoological Society of London, a maioria dos periódicos das sociedades era pouco lida, pelo menos internacionalmente. A situação melhorou consideravelmente à medida que se fundavam cada vez mais revistas especializadas, tendo inclusive diversos ramos específicos da biologia conhecido uma pujança meteórica, a partir do momento em que se tomou disponível uma revista especializada.

A publicação de livros, assim diz a experiência, ou pelo menos assim era nas gerações passadas, é de grande importância para o prestígio de um cientista. Nas primeiras edições do *American Men of Science,* os cientistas mais eminentes eram designados com um asterisco, e era de conhecimento geral que isso acontecia tão logo um cientista tivesse publicado um livro. Entretanto, a publicação de livros também tem os seus inconvenientes. De certa forma, admite-se que os livros contêm o resumo do estágio de avanço em certa área, ou da situação relativa a um determinado problema. Se um autor incluir idéias originais em um livro que, no restante do seu conteúdo, é um sumário da literatura, é muito provável que suas idéias novas passem desapercebidas. Por isso, é preciso aconselhar os autores jovens a publicarem suas idéias inovadas em separado, em artigos de revistas, onde é muito menor o perigo de serem ignoradas.

Outra norma geral pode ser traçada. Não é sábio por parte de um autor combinar numa única publicação matérias altamente heterogêneas. O título de uma tal publicação, na maioria dos casos, evoca somente um dos tópicos, fazendo com que os demais, provavelmente, permaneçam ignorados. Isso tem sido especialmente válido em relação à literatura taxionômica. Se alguém publicar idéias novas e interessantes sobre o conceito da espécie, sobre a especiação ou sobre a teoria biogeográfica, em uma monografia taxionômica intitulada *Uma revisão da família XX de besouros (ou de peixes),* não deverá surpreender-se se ninguém der a menor atenção às suas idéias. Agora que dispomos de revistas técnicas para quase toda subdivisão ou disciplina da biologia, é mais fácil para

um autor encaminhar as suas contribuições às revistas mais apropriadas, para assim conseguir que sejam lidas pelos seus pares.

A maturação das teorias e dos conceitos

A espinha dorsal da ciência é o sistema de generalizações, teorias e conceitos, que compõem o aparato explicativo dos fenômenos observados. O principal objetivo da filosofia das ciências tem sido determinar como as teorias são formadas e testadas; como se devem distinguir as hipóteses, as leis e as teorias; quais as diferenças entre a lógica da descoberta e a lógica da explicação; e como devem ser tratados todos os problemas correlatos. Não tenho a intenção de retomar aqui todo esse assunto, mas tão-somente discutir alguns fatores particulares que tiveram o seu papel, ou para melhor ou para pior, no desenvolvimento dos conceitos e teorias científicos.

Contribuições positivas para a melhoria dos conceitos

É raro que uma idéia nova esteja plenamente desenvolvida quando aparece pela primeira vez. Darwin acrescentou muitos elementos ao seu conceito da seleção natural, depois que este lhe ocorreu pela primeira vez, em setembro de 1838. De fato, quando se lê a primeira expressão de uma idéia de um autor, fica-se normalmente surpreso com o seu caráter vago. Eventualmente, ela também está permeada de elementos estranhos ou mesmo contraditórios.

Conceitos e teorias usualmente fazem parte da tradição integral de pesquisa de um ramo específico da ciência, e, sob certos aspectos, é mais instrutivo estudar os fatores que contribuem (ou o contrário) para a maturação de tal disciplina científica, que tentar a análise de um conceito particular. Proponho-me aqui a discutir alguns desses fatores, sem qualquer preocupação com a sua ordem de importância.

A eliminação de teorias ou de conceitos inválidos

Nada fortaleceu tanto a teoria da seleção natural como a refutação, uma a uma, de todas as teorias concorrentes, tais como o saltacionismo, a ortogênese, a herança dos caracteres adquiridos, e outras. Outro exemplo disso pode ser identificado na maturação do moderno conceito da hereditariedade. Cerca de doze conceitos anteriores, desde os gregos até 1900, tiveram que ser refutados, para abrir espaço ao atual conceito da genética de transmissão (veja o Capítulo 16).

A eliminação de incoerências e contradições

As incoerências e outros aspectos que surpreendem como contradições internas muitas vezes não transparecem de forma alguma durante os estágios menos amadurecidos das teorias. Quando o pensador subscreve ao mesmo tempo conceitos aparentemente incompatíveis, ele age como se os conceitos diversos estivessem localizados em compartimentos diferentes do seu cérebro, sem canais de intercomunicação. Por exemplo, a maioria daqueles que admitiam a hereditariedade tênue, nos séculos XVIII e XIX, era essencialista e devia ser adepta das essências imutáveis. Os primitivos

mendelianos, para darmos outro exemplo, atribuíam as mudanças evolutivas à mutação casual, ignorando o fato de que tal processo casual jamais poderia conduzir às notáveis adaptações no mundo vivo. Alguns dos primeiros evolucionistas, por exemplo Asa Gray, acreditavam piamente num Deus pessoal, e contudo admitiam a seleção natural e outros aspectos do darwinismo, que outros contemporâneos seus consideravam totalmente incompatíveis com o criacionismo. Surgiam dilemas sérios toda vez que teorias ou fatos científicos entravam em conflito com a filosofia ou ideologia básicas de um cientista. Normalmente, em tais casos, é mais fácil conviver com uma contradição que abrir mão seja da ciência, seja da ideologia endossada. Em todo caso, quando as contradições dizem respeito apenas a teorias concorrentes, uma ou outra delas comprovar-se-á finalmente como sendo inválida, e teremos então um claro avanço científico.

As contribuições de outras áreas

Muitos dos grandes avanços na maturação de conceitos e de teorias deveram-se ao aporte de idéias e de técnicas procedentes de outras áreas. Tal aporte pode provir de outros ramos da biologia, a exemplo da genética que acolheu idéias dos efeitos práticos da criação de plantas e animais, da citologia, da sistemática, bem como das ciências físicas (da química em particular), ou das matemáticas. Muitas vezes, teorias ou esquemas bem desenvolvidos de uma ciência podem igualmente ser aplicados, e com grande proveito, quando transpostos para outra ciência.

A eliminação de confusões semânticas

Termos técnicos, quando claramente definidos e bem compreendidos, são de grande valia no avanço do conhecimento científico. Ao contrário, quando um termo é inadvertidamente transferido de um conceito para outro (como fez T. H. Morgan em relação à palavra "mutação"), ou quando o mesmo termo é usado para conceitos diferentes, resultará uma considerável confusão, até que fique esclarecida a ambiguidade. A introdução de novos termos técnicos muitas vezes ajuda a destrinchar esse tipo de confusão. Exemplos disso são o termo "táxon" (para o qual anteriormente se usava também o termo "categoria"), o termo "subespécie" (para o qual os taxionomistas também haviam usado a palavra "variedade", que por sua vez também se usava para as variantes individuais), ou o termo "mecanismos de isolamento" (para o qual antes não existia termo algum). Poder-se-iam citar exemplos de qualquer ramo da biologia, onde a introdução de termos novos resultou no aclaramento de uma área antes confusa. A síntese evolucionista dos anos 1930 e 1940 foi grandemente facilitada pela introdução dos termos "politípico" por Huxley e Mayr, "simpátrico" e "alopátrico" por Mayr, "patrimônio genético" pela escola russa, "flutuação genética" por Sewall Wright, bem como termos, como "princípio fundador" e "homeostase genética". Ao serem definidos com propriedade e delimitados claramente, no confronto de outros fenômenos com os quais eram anteriormente confundidos, esses termos muito contribuíram para eliminar as controvérsias.

Quando um termo é transferido de um conceito para outro, sem se levarem em conta as mudanças de conceituação subjacentes, resultarão inevitáveis equívocos. E no entanto, em muitos casos, a manutenção de um termo técnico tem sido preferível à introdução contínua de termos novos, cada vez que ocorria uma mudança ligeira ou gradual do conceito envolvido. O termo "gene", por exemplo, quando proposto por Johannsen, era especificamente atribuído a uma entidade "não-

material", uma "unidade de medida". Na escola da Morgan, o termo foi logo aplicado a um *locus* definido e nitidamente material, no cromossomo; e na genética molecular, a um certo conjunto de pares de base, igualmente uma entidade estritamente material. Poderiamos seguir sem parar, dando exemplos desse tipo.

As metáforas desempenham importante papel na história da ciência. Algumas são felizes, outras infelizes. O termo "seleção natural", de Darwin, situa-se no limite entre as duas categorias, e conheceu uma estrênua resistência por parte da maioria dos seus contemporâneos. Eles buscavam personificar o agente da seleção, e insistiam em que não havia real diferença entre a seleção pela Natureza e a criação pelo Criador. Quando, por pressão de seus amigos, Darwin adotou a expressão spenceriana "sobrevivência dos mais aptos", ele passou de frito a queimado, porque sua nova metáfora estava a sugerir um raciocínio circular. O termo "flutuação genética", introduzido por Sewall Wright, para designar os processos estocásticos das mudanças na frequência dos alelos de populações pequenas, foi erroneamente interpretado por certos autores como sendo uma deriva constante numa direção única. Um estudo da introdução e do destino das metáforas na biologia seria um tema interessante para um historiador.

A fusão eclética de duas teorias concorrentes

As teorias biológicas são habitualmente bastante complexas. Raramente acontece que uma teoria goze de um monopólio incontestável. O caso mais frequente é que duas ou mais teorias se fazem concorrência, e a controvérsia sobre qual delas seria a correta pode prolongar-se por décadas, quando não por séculos. A solução final quase nunca representa a vitória completa de uma das teorias alternativas, mas quase sempre uma síntese dos melhores elementos de todas elas. Por exemplo, a moderna teoria eclética da recapitulação combina os componentes válidos de duas teorias anteriormente em litígio – a dos *Naturphilosophen* e de K. E. von Baer – com a teoria darwiniana da descendência comum: a ontogênese recapitula – com maiores ou menores desvios – os estágios ontogenéticos (mas *não* os estágios adultos) dos ancestrais.

A controvérsia sobre a natureza do material genético, que grassou desde aproximadamente 1880 até bem em pleno século XX, constitui um outro exemplo. Os fisicalistas acreditavam que ele era ou uma força física, ou algo "puramente químico", enquanto os embriologistas e os naturalistas estavam tão impressionados com a incrível especificidade e precisão da hereditariedade que, a partir de Darwin e Weismann, postulavam para ela uma base bem estruturada – ou "morfológica", no dizer dos seus adversários. Evidentemente, as macromoléculas eram desconhecidas ao longo da maior parte da duração dessa controvérsia. Quando foi encontrada a resposta final, em 1953, revelou-se que o material genético era ao *mesmo tempo* químico e altamente estruturado. A controvérsia foi dirimida mediante a síntese dos pontos de vista opostos.

Os obstáculos da maturação das teorias e dos conceitos

Os historiadores da ciência descreveram numerosos fatores que tiveram o efeito de retardar a maturação de um programa de pesquisa, ou de impedir a adoção de uma teoria correta; mas existem dois fatores que nem sempre mereceram a devida atenção.

Falha no reconhecimento das alternativas

Mostrei anteriormente como por vezes é possível sintetizar duas teorias concorrentes, mediante um processo de fusão eclética. Infelizmente, não é isso que acontece de hábito. Quando uma teoria científica está parcialmente errada, o procedimento em geral adotado não é tentar melhorá-la, pela remoção e substituição dos seus elementos falsos, mas muito mais propor uma contra teoria, que funciona como uma espécie de antítese, como se a teoria original fosse completamente errada. Entretanto, esta contra teoria revelar-se-á errada sob certos aspectos, que eram corretos na teoria original. Por exemplo, quando as pesquisas embriológicas evidenciaram que a pré-formação (no sentido da encapsulação) não existia, esta não foi substituída por uma teoria modificada da pré-formação (o programa genético), mas sim por uma teoria pura e simples da epigênese. Outro exemplo: a teoria da recapitulação dos estágios adultos dos ancestrais foi contraposta por uma teoria da embriogênese, que negava qualquer efeito de heranças ancestrais, atribuindo as semelhanças dos estágios ontogenéticos a uma progressão paralela e puramente fortuita do menos especializado ao mais especializado. Por fim, as teorias neolamarckianas da evolução, que se apoiavam nas influências do meio ambiente, foram contrapostas por teorias mutacionais, em que as mudanças evolutivas eram atribuídas inteiramente a uma "pressão mutacional" (mutações repetidas na mesma direção), em que ficava excluída qualquer função do meio ambiente, mesmo como um agente da seleção natural.

Vê-se, portanto, que a história da ciência se caracteriza por amplos movimentos pendulares. Sempre que se introduz uma teoria inteiramente nova, ou mais ainda quando entra em ação uma nova tradição de pesquisa, certas verdades que antes eram aceitas são relegadas ao abandono. Em certos casos, isso parece desnecessário. Em outros casos, o "estágio de antítese" parece ser necessário, antes que se possa alcançar uma síntese equilibrada. Por exemplo, as teorias da especiação simpátrica foram propostas com tanta frequência e de modo tão acrítico, entre 1859 a 1940, que talvez tenha sido necessário enfatizar a prevalência da especiação geográfica, com acento quase intolerante, para forçar uma aproximação mais crítica do problema dessa especiação simpátrica.

As oscilações do pêndulo podem resultar no abandono completo de uma tradição de pesquisa. A introdução do fisicalismo na fisiologia, por obra dos discípulos de Carl Ludwig e J. Müller, teve como consequência o abandono do começo, muito promissor, da fisiologia ecológica (a exemplo da obra de Bergmann), bem como de toda a questão dos porquês na fisiologia. Mesmo que isso tenha conduzido a um brilhante florescimento da fisiologia das causas próximas, foram necessários quase cem anos antes que fosse relançada uma nova fisiologia ecológica, que se concentrava na natureza adaptativa dos processos fisiológicos.

Muitas das prolongadas controvérsias na ciência foram devidas à falha dos adversários em perceber que os dois pontos de vista opostos não exauriam o número das possíveis escolhas explicativas. Pode-se perguntar se o velho axioma da divisão lógica – *Tertium non datur* – não seria a norma subconsciente para essa atitude. Para Louis Agassiz, a explicação para a diversidade orgânica era, ou que se devia ao plano do Criador, ou o subproduto acidental do jogo cego das forças físicas (Mayr, 1959e). A explicação de Darwin (seleção natural) estava tão além dos modelos de explicação alternativa de Agassiz que nem sequer foi aflorada pelos argumentos deste. A argumentação de Agassiz, evidentemente, não passava de uma versão da velha alternativa "acaso *versus* necessidade". O próprio Monod (1970) deixou de perceber que o processo da seleção natural

oferece uma opção que ultrapassa a escolha insípida entre acaso e necessidade. As posições clássicas do certame pré-formação *versus* epigênese (Roe, 1981), ou da formulação da teoria da recapitulação de von Baer-Haeckel, constituem outros exemplos. Seria interessante fazer-se um levantamento de quantas vezes as controvérsias maiores na história da biologia envolviam tais alternativas insuficientes. A grande frequência dessas alternativas incompletas deveria alertar os participantes de qualquer controvérsia, no sentido de verificar cuidadosamente se não existe uma terceira opção, que eliminaria o aparente impasse da contenda.

Um segundo tipo de falsa alternativa envolve casos em que se coloca uma questão de "ou/ou", quando na realidade as ditas duas alternativas nada mais são que os dois lados da mesma moeda. Exemplo disso é a afirmação (White, 1978) de que a especiação é muito mais frequentemente cromossômica que geográfica. White, evidentemente, tem razão ao dizer que arranjos cromossômicos muitas vezes estão vitalmente envolvidos na especiação, mas isso de forma alguma requer que se abandone o processo da especiação geográfica. Muito pelo contrário, tais rearranjos cromossômicos verificam-se com muita facilidade em populações fundadoras perifericamente isoladas, vale dizer, no isolamento geográfico. O princípio dos "dois lados da mesma moeda" foi ignorado na recomendação recente de um biólogo de população, no sentido de esquecer as espécies, visto que não passam de invenções arbitrárias do taxionomista, e dedicar-se, em vez disso, ao estudo das populações. Esse autor perdeu de vista o fato de que uma população se relaciona com dois outros tipos de populações: as que não compartilham o mesmo espaço, mas compartilham os mesmos mecanismos de isolamento (isto é, populações coespecíficas); e as que compartilham o mesmo espaço, mas que são reprodutivamente isoladas (isto é, espécies diferentes).

Alternativas falsas estiveram na base de quase todas as mais importantes controvérsias na história da biologia evolutiva: isolamento ou seleção natural (M. Wagner), mutação ou seleção natural (de Vries, Bateson, Morgan), evolução gradual ou herança descontínua (mendelianos *versus* biometricistas), importância do meio ambiente ou seleção natural (neolamarckianos e seus adversários), comportamento ou mutação (pré-adaptacionistas), para só mencionar umas poucas. O princípio das "duas faces da mesma moeda" deve ser levado em consideração em todo problema biológico, porque cada fenômeno na biologia possui tanto causas próximas como causas evolutivas. Nem a *Entwicklungsmechanik,* que trata dos fatores próximos, nem a embriologia comparada (filogenética), que trata das causas evolucionárias, têm condições de contar a história completa. O dimorfismo sexual (interpretação hormonal *versus* interpretação selecionista) constitui outro exemplo dessa dualidade causai, o mesmo acontecendo com todos os fenômenos sazonais, como a migração dos pássaros (Mayr, 1961). Os dois tipos de explicação não são, como erroneamente interpretado por alguns autores, soluções alternativas do problema; mas, sim, tanto um como o outro devem ser explorados, antes de podermos chegar a uma explicação plena do fenômeno..

Uma falsa busca de leis

Isso representa um segundo embaraço para a maturação de teorias e conceitos. No que concerne à aplicação de leis na biologia, é preciso lembrar que as ciências físicas davam todas as normas durante cerca de cem anos. Somente a partir de 1859 é que as ciências biológicas começaram a emancipar-se da dominação das ciências físicas. Quaisquer que fossem as regularidades e generalizações que um biólogo encontrasse, anteriormente àquele ano, ele se sentia obrigado a

explicá-las em termos da linguagem e do aparato conceitual das ciências físicas.

Tenho destacado na presente obra muitos exemplos em que o fisicalismo exerceu um efeito deletério sobre os desenvolvimentos da biologia.

Por exemplo, nas ciências físicas, quando uma lei é válida para um particular conjunto de fenômenos, ela normalmente também e válida para todos os conjuntos de fenômenos semelhantes, a menos que o próprio fracasso da aplicação da lei revele que se trata de fenômenos que *não* são semelhantes. Tal método deu provas de um considerável valor heurístico nas ciências físicas. Na biologia, em que se encontram tantos fenômenos únicos, e onde virtualmente todas as assim chamadas leis têm exceções, a crença na universalidade das leis conduziu a numerosas generalizações inválidas e a controvérsias. Repetidamente, quando as observações relativas a uma espécie ou a um táxon superior eram estendidas, por generalização, a todos os outros *taxa,* evidenciava-se que a generalização não procedia.

O quinarianismo representou um dos muitos esforços equivocados para tomar a biologia "científica", fazendo-a quantitativa, ou obrigando-a a obedecer a "leis" definidas. Parecia muito pouco científico que os *taxa* tivessem tamanhos desiguais; por isso, foram empreendidos esforços para comprimir todos os organismos em grupos de número fixo, normalmente cinco. Para os adeptos do quinarianismo, a introdução dessa classificação numérica tornava a sistemática tão científica quanto a física de Galileu e Newton.

Outro exemplo é o esforço de Schwann para explicar a origem das células como sendo análoga à origem dos cristais.

> O resultado principal das minhas pesquisas é que um princípio de desenvolvimento uniforme controla as unidades elementares individuais de todos os organismos, analogamente ao caso dos cristais que se formam pelas mesmas leis, a despeito da diversidade dos seus tamanhos (1839: IV).

Quando Edgar Anderson descobriu, nos anos 1930 e 1940, o quanto era comum entre as plantas a hibridação clandestina, ele, Epling, Stebbins, bem como outros botânicos, convenceram-se de que a razão por que os zoólogos não descobriam uma frequência igualmente elevada de hibridação entre os animais era por não darem suficiente atenção a esse fato. Nos 25 anos seguintes foram feitos consideráveis esforços para descobrir essa particularidade nos animais, mas os resultados, de modo geral, foram negativos. Os animais superiores simplesmente constituem sistemas genéticos diferentes das plantas. O mesmo se aplica no caso da poliploidicidade. Cerca de 50% das plantas floríferas são poliplóides, e alguns dos mais destacados citogeneticistas, nos anos 1920 a 1940, convenceram-se de que "por isso" a poliploidicidade devia ser igualmente comum entre os animais. Na realidade, à exceção de alguns grupos que abandonaram a reprodução sexual, a poliploidicidade é muito rara no reino animal, e as diferenças no número de cromossomos, que num certo período foram interpretadas como sendo devidas à poliploidicidade, têm na maioria dos casos uma explicação diferente (White, 1973; 1978).

Para darmos um outro exemplo, certos grupos de animais, como os peixes de água doce, possuem reduzidas facilidades de dispersão. Normalmente, eles só podem se difundir de uma área de distribuição para outra, se as respectivas massas terrestres estiverem em contato físico entre si. Certos biogeógrafos, especializados na distribuição dos peixes de água doce, ou de outras espécies

de limitado poder de colonização, avançaram por isso para a conclusão de que a distribuição de todos os grupos de animais refletia a história antiga das massas continentais. Na realidade, a maioria das espécies em muitos grupos de organismos pode dispersar-se ao longo de vastos intervalos aquáticos; portanto, chegar-se-ia a conclusões erradas, se fosse tomado o padrão de distribuição dessas espécies de fácil dispersão como base de reconstrução das antigas conexões dos continentes.

A unicidade é a característica da maioria dos sistemas complexos. Os cientistas físicos, evidentemente, também se deparam com a unicidade. Durante as recentes explorações do espaço, as descobertas sobre cada um dos planetas explorados revelaram que a sua atmosfera e sua geologia de superfície eram únicas. Isso não significa que as generalizações não sejam possíveis nas ciências ricas de fenômenos únicos; significa simplesmente que elas devem ser formuladas em termos probabilísticos, e significa também que tais generalizações probabilísticas (ou como se queira chamá-las) têm muito maior importância na prática quotidiana de um cientista que as ditas leis universais.

O valor heurístico das teorias erradas

Fato curioso é que muitas vezes teorias errôneas tiveram um efeito benéfico em ramos particulares da ciência. Tais teorias chegaram a estimular uma procura de fatos e provas que teriam sido ignorados pelas teorias contrárias, mas que se revelaram, no entanto, muito úteis para dar suporte a um esquema explicativo diferente. Por exemplo, o geoffroysmo – crença num impacto direto do meio ambiente – desenvolveu uma pesquisa ativa na busca de correlações entre o ambiente e certos traços de adaptação. Essa extensa literatura acabou por oferecer um suporte poderoso para a teoria da seleção natural. Os selecionistas não precisaram descobrir tais correlações, porque estas já haviam sido reunidas e cuidadosamente esquematizadas pelos neolamarckianos.

O vitalismo, no século XVIII e começo do século XIX, talvez tenha tido um efeito mais benéfico sobre a fisiologia que o mecanicismo. O vitalista Bichat teve maior influência sobre as subsequentes pesquisas de Magendie e Bemard que os mecanicistas, como LaMettrie e Holbach. A teologia natural produziu uma coletânea esplêndida de observações sobre todo o tipo de adaptações na natureza. Esse material pôde ser incorporado *in toto* à biologia evolucionista, tão logo o "plano" foi substituído pela seleção natural. As observações comportamentais dos teólogos – como Reimarus Kirby – constituíram a mais valiosa base para os estudos posteriores sobre o comportamento animal.

Tais fatos sugerem que se uma tradição de pesquisa é capaz de acumular uma quantidade maciça de fatos, que aparentemente a sustentam, deve representar algo de errado nas teorias opostas. Isso também confirma a observação antiga de que os fatos, desde que corretos, jamais perdem o seu valor, enquanto as hipóteses e as teorias podem estimular a pesquisa, independentemente de serem elas válidas ou não.

As ciências e o meio externo

A ênfase das seções precedentes concentrou-se nos desdobramentos no seio da própria ciência. Todavia, os sociólogos das ciências observaram corretamente que a ciência não acontece num vácuo, mas inevitavelmente reflete o *Zeitgeist* geral da época. Tentei descrever isso com algum detalhe no

Capítulo 3, como também fiz referência à controvérsia entre "extemalistas" e "internalistas", no Capítulo 1. No presente capítulo, tentarei discutir alguns problemas mais específicos.

Em. um área de pesquisa tão importante como a biologia, quase sempre existe um ramo dominante, que dita a moda para um determinado período, como a sistemática no tempo de Lineu, a fisiologia nos anos 1830 a 1850, a evolução e a filogenia nos anos 1860 e 1870, a genética nas duas primeiras décadas do século XX – esta finalmente partilhando o proscênio com a *Entwicklungsmechanik*-, a biologia molecular a partir dos anos 1950, e hoje talvez a ecologia. Esses períodos não são estritamente consecutivos, pois o surgimento e o declínio de cada um deles podem ser suficientemente extensos, a ponto de dois ou mais chegarem a coexistir. Sobrepondo-se a esses desenvolvimentos internos das disciplinas, existem também influências mais amplas, que afetam simultaneamente todos os ramos da biologia. O romantismo e a *Naturphilosophie* na Alemanha, de 1780 a 1830, foram uma dessas influências; a teologia natural na Inglaterra, na primeira metade do século XIX, constitui outro exemplo; o reducionismo fisicalista, em grande parte do século XX, é outro ainda. Cada uma dessas teorias superimpostas exerceu um efeito benéfico sobre certas partes da biologia, mas uma influência inibidora, quando não claramente deletérea, sobre outras. A única generalização ampla que desejo fazer, neste momento, é que cada uma dessas grandes influências beneficiou tanto a biologia funcional quanto a biologia evolucionista, mas, na medida em que favoreciam a uma, prejudicavam a outra. Somente nas décadas recentes é que se percebeu mais claramente o quanto são profundas as diferenças do arcabouço conceitual dessas duas divisões maiores da biologia.

Toda tradição de pesquisa, que é dominante, privilegia certos modelos explicativos, e há o grande risco de que tais explicações venham a ser aplicadas a situações em que elas são totalmente inadequadas. Quando os "movimentos e as forças" estavam na moda, como explicação nas ciências físicas, os processos fisiológicos nos organismos eram explicados por "movimentos das moléculas". Quando Newton unificou a mecânica terrestre e cósmica, pela introdução da força da gravidade, uma "força vital" pareceu de repente explicar todos os fenômenos dos organismos vivos. Tendo em conta que os objetos inanimados normalmente consistem em elementos idênticos, o geneticista Johannsen, cuja formação era em grande parte em química fisiológica e física, tentou "purificar" as populações geneticamente heterogêneas, mediante o isolamento de "linhas puras". Muitos outros exemplos semelhantes ainda poderiam ser levantados, mostrando como a doação de conceitos ou de técnicas da moda fracassou na produção de resultados significativos.

Decoração ou influência genuína

Merton (1973) observou, com muita propriedade, que um cientista almeja ser reconhecido. Ele teme que seu trabalho acabe por não chamar a atenção, se não for expresso na linguagem e no imaginário da moda.

Sempre que possível, ele citará algum cientista famoso, ou algum filósofo, para dar suporte às suas conclusões. Isso tem sido interpretado ingenuamente por alguns historiadores da ciência como prova de uma influência direta das autoridades citadas sobre o pensamento do respectivo cientista. Todavia, um estudo mais aproximado dos escritos desses cientistas muitas vezes revela que eles chegaram às suas conclusões de modo inteiramente independente, e que lhes pespegaram o "rótulo de aprovação" de um autor renomado, apenas durante a elaboração do seu trabalho.

Quando Locke estava no auge da sua fama, os cientistas afirmavam que eles chegaram aos seus resultados por meio do empirismo desse autor, embora não tivessem alterado minimamente a sua maneira de aproximação após a leitura de Locke. Nos anos mais recentes, quando Karl Popper era a grande moda entre os cientistas, escolas opostas de taxionomistas autoproclamavam-se como as verdadeiras seguidoras de Popper. No tempo em que Darwin elaborava sua obra, a indução (ou o que se imaginava ser indução) tinha grande prestígio, o que o levou a proclamar solenemente que ele estava seguindo "o verdadeiro método baconiano", quando na realidade sua aproximação hipotético-dedutiva podia ser tudo, menos inducionismo. Depois que Dobzhansky chamou a atenção para as análises populacionais matemáticas de Fisher, Haldane e Wright, muitos evolucionistas que se prezavam citaram em suas bibliografias os trabalhos desses três autores, embora admitissem mais tarde nunca tê-los lido no original, ou só muito parcialmente. Na Renascença, quando o método da divisão lógica (dicotômica) estava no auge da sua influência, todos os botânicos proclamavam orgulhosamente que estavam seguindo o método aristotélico de classificação, mesmo que o próprio Aristóteles tivesse apontado explicitamente que a dicotomia não era a maneira de se estabelecerem classificações biológicas; e sabe-se hoje que aqueles botânicos chegaram por si próprios aos seus agrupamentos mediante a inspeção, muito mais do que mediante a divisão lógica. Chamo a atenção para tudo isso como uma advertência para aqueles que se propõem reconstituir influências. O mero fato de que um autor cita uma certa obra, ou diz que está seguindo os princípios deste ou daquele filósofo ou cientista, não significa necessariamente que esse trabalho citado tenha tido uma influência decisiva sobre o seu pensamento.

Enquanto a matemática, a física e a química gozavam de um alto prestígio, ao longo dos séculos XVIII e XIX, constituía estratégia salutar para um cientista recorrer a uma roupagem adequada, para dar notoriedade ao seu trabalho. Por esse motivo, tal apresentação de fachada ocorria, com maior frequência, quando um autor encaixava a matemática em seu artigo, mesmo que nada acrescentasse aos seus resultados já obtidos. Um taxionomista bem conhecido pediu à sua mulher, uma matemática, que acrescentasse um apêndice a todos os seus trabalhos taxionômicos, contendo estatísticas elaboradas das suas mensurações, mesmo que na prática jamais tivesse feito uso dessas estatísticas nas suas conclusões taxionômicas.

Em contrapartida, conhecem-se muitos exemplos na história da biologia, talvez mais numerosos do que se poderia pensar, em que uma lei, um princípio ou uma generalização foram ignorados quando apresentados pela primeira vez, por virem expressos em palavras, em vez de na forma de equações matemáticas. Quando, por fim, expressos matematicamente, foram saudados e geralmente aceitos. Por exemplo, Castle (1903) demonstrou que a composição genotípica de uma população permanecia constante quando cessava a seleção, mas esse fato foi ignorado até que Hardy e Weinberg lhe forneceram a fórmula matemática. Em 1939, mostrei que a fauna dos pássaros de uma ilha do Pacífico era o resultado de um equilíbrio entre a colonização e a extinção, e analisei esse princípio detalhadamente em relação à Nova Caledônia. Mais uma vez, isso foi ignorado pelo espaço de 25 anos, até que MacArthur e Wilson formulassem o fenômeno em termos matemáticos, na sua teoria da biogeografia insular (1967).

Tradicionalmente, os pesquisadores tendiam a referir-se ao trabalho dos seus adversários em termos pouco lisonjeiros, quando não derrogatórios:

> O meu trabalho é dinâmico, o seu é estático; a minha explicação é analítica, a sua puramente

descritiva; a minha explicação é estritamente mecanicista (isto é, ela explica tudo em termos químicos-físicos), a sua é holística (ela deixa muitas coisas sem explicação).

Curiosamente, os seus adversários podiam devolver-lhe algumas das mesmas críticas. Assim, durante grande parte do século XIX, o ideal era conseguir explicar todas as coisas em termos das forças e dos movimentos newtonianos, e isso a tal ponto que se chegava a usar as "palavras corretas", mesmo quando não havia o menor sinal de uma verdadeira análise newtoniana. A teoria da hereditariedade mecânico-fisiológica, de Nägeli (1884), constitui uma ilustração perfeita. Tudo o que Nägeli foi realmente capaz de produzir foi pura especulação (e tudo o que nela havia de novo revelou-se errado!). E, no entanto, ele se gabava de haver proposto uma teoria estritamente "mecanicista". E "mecanicista" significava científico. Isso deve ser dito aqui, porque um historiador, ao considerar tais afirmações do lado de fora, pode deixar de perceber que elas não passavam de armas psicológicas. Rebaixar o teu adversário significa enaltecer o teu próprio *status*. Foi esse o motivo por que Rutherford se referia à biologia como "coleção de selos postais".

As fontes da influência

É fenômeno bem conhecido que certos autores podem ignorar fatos e idéias, durante anos e décadas, embora disponíveis, até chegar o momento favorável de poderem ser utilizados na construção de uma nova teoria ou conceito. Por exemplo, o crescimento exponencial de populações, na ausência de fatores que se oponham, devia ser fato bem conhecido de Darwin, desde os seus tempos de estudante em Cambridge. Naquela época, ele havia lido atentamente Paley, que escreveu de modo brilhante sobre a "superfecundidade". Muitos autores consultados por ele, nos dez anos seguintes, acentuaram o mesmo princípio; no entanto, só em 28 de setembro de 1838 Darwin associou esse fato com o conceito amplamente difundido da luta pela existência, fazendo disso a base da sua teoria da seleção natural.

Nada é mais verdadeiro que a famosa afirmação de Pasteur de que somente "as mentes preparadas" fazem descobertas. Mas pouca atenção tem sido dada até hoje ao processo pelo qual a mente é preparada. O mero conhecimento de certos fatos não é suficiente, nem basta a existência de certos conceitos e idéias, quando eles se ocultam num compartimento diferente do cérebro. Um número impressionante de novos conceitos e teorias importantes tem como base componentes de há muito disponíveis, mas que ninguém fora capaz de conectá-los adequadamente. Isso deve ser lembrado, quando se buscam influências externas no desenvolvimento das idéias científicas. Idéias procedentes da sociologia, da economia, da antropologia e da ética podem ficar armazenadas nos centros da memória, sem terem canais de comunicação com a biologia evolucionista, com a ecologia, ou com a etologia.

Por ocasião do desenvolvimento do seu conceito de divergência dos caracteres, por exemplo, Darwin afirmou que havia sido decisivamente influenciado pelo conceito de Milne-Edwards da divisão funcional do trabalho, segundo o qual a divisão do trabalho dos órgãos de um corpo era comparável à divisão do trabalho nas linhas de produção e na economia social. Schweber (1977) admirou-se de que Darwin não tivesse atribuído esse pensamento aos autores britânicos que, a partir de Adam Smith, jamais deixaram de enfatizar a importância da divisão do trabalho e da concorrência, a par de assuntos correlatos. Sem dúvida alguma, Darwin tinha pleno conhecimento

dessas idéias, tendo lido a maior parte da literatura correspondente. No entanto, ele guardou esses conhecimentos em algum compartimento do seu cérebro, sem atinar com isso quando especulava sobre a divergência evolutiva. Somente quando Milne-Edwards fez a associação, é que Darwin percebeu aquilo que devia ser óbvio para ele durante os quinze anos anteriores.

Todo o problema da relação entre os diversos corpos de conhecimento requer maior estudo. A maioria dos palentólogos (virtualmente todos!), entre 1859 até Simpson, explicava os fenômenos macroevolutivos recorrendo a saltos ou a tendências ortogenéticas (ou a ambas as coisas). Quando as evidências genéticas revelaram como virtualmente certo que nenhum desses dois esquemas explicativos podia ser válido, Simpson demonstrou que os fenômenos macroevolutivos eram perfeitamente coerentes com a teoria darwiniana. Ele não "provou" isso, pois como se poderia prová-lo? Todavia, a partir daquele momento, cabia aos adversários do darwinismo refutar a tese de Simpson.

O mesmo se aplicou ao meu próprio caso. Mostrei que os fenômenos da especiação, da biologia das espécies, da variação geográfica adaptativa, da formação dos *taxa* superiores, e assim por diante, eram inteiramente coerentes com a explicação darwiniana, e mostrei também que as explicações divergentes, avançadas pelos mendelianos, não eram coerentes com a evidência oriunda da sistemática. Não é possível nem fazer derivar os fenômenos no nível da população e das espécies dos fenômenos no nível do gene, nem vice-versa. Mas pode-se mostrar que eles são compatíveis. Os reducionistas postulavam que os fenômenos de um nível são inexoravelmente consequência dos fenômenos de nível diferente; mas *não* é isso que ocorre.

A refutação, de parte de uma teoria ou de uma tradição de pesquisa, não afeta necessariamente a tese principal. Por exemplo, Darwin aceitou em certa medida a hereditariedade tênue em sua teoria, porém, a posterior demonstração de que tal hereditariedade não existe não enfraqueceu a sua teoria da seleção natural. Se algo ocorreu, foi o seu fortalecimento. Em qualquer teoria composta ou complexa, os diversos componentes podem manifestar um nível considerável de independência entre si.

O papel dos avanços técnicos na pesquisa científica

Os historiadores da ciência acentuaram devidamente a importância dos melhoramentos tecnológicos na história das ciências. Isso é documentado abundantemente em todas as disciplinas científicas. Reiteradamente tenho chamado a atenção para a importância do invento do microscópio; e toda a história da citologia corresponde à história dos resultados das melhorias técnicas. Ela começa com a descoberta do microscópio por Jannson e Jannson (pelo ano de 1590), passando para as lentes acromáticas (1823), as lentes de imersão a óleo (1878), a objetiva apocromática (1886), o microscópio de contraste de fase (1934), e o microscópio eletrônico (1938). Paralelamente, houve constantes melhoramentos na feitura de preparações microscópicas (micrótomos, técnicas de liquefação) nos processos de fixação e de coloração. O verdadeiro conhecimento do citoplasma teve que esperar até a descoberta do microscópio eletrônico. A importância de novos instrumentos e de novas técnicas é ainda maior na biologia molecular. Aqui, virtualmente, todo conhecimento novo foi proporcionado por uma técnica nova.

Outro aspecto importante da tecnologia na biologia é o uso de diferentes tipos de organismos

experimentais. Mendel mostrou que as ervilhas eram ideais para o estudo das unidades da hereditariedade, enquanto, juntamente com de Vries, descobria que outras plantas *(Hieracium* e *Oenothera*) possuíam propriedades complexas, levando a resultados desorientadores. A maioria das espécies de animais e de plantas presta-se para experimentos de seleção, mas não assim o feijão de horta, autofertilizante e quase homozigótico, escolhido por Johannsen, para experimentos desse tipo. C. W. Woodworth, discípulo de W. E. Castle, chamou a atenção do seu mestre para o fato de

> que o rápido ciclo de reprodução da mosca das frutas *Drosophila* levava nítida vantagem sobre os animais de laboratório que Castle então utilizava nos experimentos reprodutivos (Davenport, 1941).

A partir do laboratório de Castle, o uso da *Drosophila* estendeu-se aos laboratórios de Lutz e de Morgan.

A história da genética fornece muitos exemplos de uma escolha feliz ou infeliz de animais e de plantas experimentais. O *Neurospora* de Beadle e Tatum e o emprego subsequente de bactérias *(Echerichia coli),* bem como de vários vírus, revelaram-se como escolhas felizes. Por outro lado, a escolha desafortunada do *Hieracium* apomítico, por parte de Nägeli, levou-o a pôr em dúvida as leis de Mendel. O *Oenothera* de de Vries induziu-o a postular uma especiação por mutações singulares, e o feijão de horta de Johannsen incitou-o a negar a importância da seleção natural. É particularmente importante que os profissionais que ingressam na área da biologia, a partir das ciências físicas, onde a maioria das generalizações tem validade universal, estejam bem conscientes de que todos os organismos possuem propriedades únicas, e que as descobertas relativas a um organismo não podem ser automaticamente transferidas aos outros. Devem também ter presente que certas espécies são muito mais propícias para certas pesquisas do que outras. Os organismos são sistemas biológicos complexos, tendo cada um características únicas. Quando se examina a literatura sobre a biologia comportamental, anterior a 1940, nota-se que a maior parte dela é dedicada aos estudos sobre "O rato", onde os comentários e as discussões supunham implicitamente que tudo o que se descobria sobre o rato fosse igualmente válido para qualquer outro animal (Beach, 1950). Nos estudos posteriores sobre os primatas, o animal de referência era simplesmente mencionado como "O macaco", como se todos os macacos tivessem as mesmas características. Nos estudos fisiológicos e embriológicos sobre os pássaros, normalmente se fazia referência às "Galinhas", ou aos "Pombos", como se isso cobrisse a diversidade total das nove mil espécies de aves.

Grande parte do progresso da citologia, realizado nos anos 1870 e 1880, foi devida à descoberta de sempre novos tipos de materiais citológicos, cada um deles possuindo certas vantagens sobre os outros. A descoberta do *Ascaris* de van Beneden e o achado de Boveri de certos ouriços-do-mar permitiram chegar a conclusões que não seriam possíveis com o recurso a qualquer outro material disponível.

Para o avanço científico na biologia, a escolha da técnica correta e de um adequado material biológico é de natureza crucial, mas em geral também a escolha de um bom método. Ninguém põe em dúvida que a técnica apropriada para o estudo dos fenômenos funcionais seja o experimento; todavia, é preciso enfatizar que a explicação causai dos fenômenos históricos (evolutivos) repousa em inferências, a partir das observações. A cegueira de muitos experimentalistas, em relação às descobertas dos naturalistas, foi motivada, em grande parte, por sua obstinada insistência em que

somente o experimento podia dar respostas para questões científicas. Que um desenvolvimento histórico como a especiação ou, mais amplamente, a evolução como um todo só podia ser interpretado mediante inferência, baseada em uma adequada série de observações, foi algo que não só não foi reconhecido pelos experimentalistas, no primeiro terço do século XX, mas inclusive veementemente rejeitado. Em época bem recente, um deles observou que "uma abordagem experimental da origem das espécies está curiosamente ausente nas obras de Darwin". Foi uma atitude desse tipo que tomou Bateson tão cego às descobertas dos taxionomistas, a ponto de ele ignorar completamente, ainda em 1922, os seus resultados conclusivos. Quando parte da narrativa histórica consiste em processos funcionais, estes podem ser testados mediante experimento. Mas a sequência histórica, como tal, envolvendo usualmente populações e outros sistemas complexos, só pode ser reconstruída com base em inferências derivadas da observação. Foi essa obsessão pelo valor exclusivo do experimento que desencaminhou de Vries, passando a acreditar que a origem das espécies era devida ao fenômeno das mutações. Seria interessante percorrer a história da ciência, para verificar como uma insistência descabida sobre o experimento fez com que a pesquisa se orientasse para direções inadequadas.

Progresso em ciência

Considerando que o número dos problemas científicos insolúveis aparentemente sempre está a crescer, foram ocasionalmente levantadas dúvidas sobre se a ciência realmente estaria fazendo algum progresso. Não é fácil definir um progresso científico. Ele, em geral, se caracteriza pela melhoria da compreensão de fenômenos anteriormente enigmáticos, pela remoção de contradições, pela abertura de caixas-pretas, pela possibilidade de melhores previsões probabilísticas, e pelo estabelecimento de conexões causais entre fenômenos anteriormente desconexos. A despeito da dificuldade de definição, um cientista atuante raramente está em dúvida quanto a que uma nova descoberta, nova teoria ou novo conceito contribuem ou não para o progresso da ciência. De qualquer maneira, muitas vezes foi posto em relevo (Kuhn, 1962; Feyerabend, 1975) que a ciência é muitas vezes irracional nos seus métodos, e que os progressos em uma direção podem ser acompanhados de regressos em outras.

Tenho enfatizado no Capítulo 1 que, na minha opinião, o progresso nas ciências biológicas não se caracteriza tanto pelas descobertas individuais, por importantes que sejam, ou pela proposição de teorias novas, mas muito mais pelo gradual e decisivo desenvolvimento de novos conceitos, e pelo abandono dos que antes eram dominantes. Na maioria dos casos, o desenvolvimento dos conceitos novos mais importantes não foi devido a descobertas individuais, mas muito mais à integração nova de fatos anteriormente estabelecidos. A teoria darwiniana da descendência com modificações, por meio da seleção natural, representa boa ilustração desse princípio. Há outros exemplos desses conceitos baseados sobre fatos anteriormente conhecidos: haja vista, por exemplo, as noções de espécies biológicas, do programa genético, da recombinação genética, da especiação acelerada das populações perifericamente isoladas, da teoria da célula, e do próprio gene.

As mudanças mais drásticas no aparato conceitual de uma ciência são geralmente designadas revoluções científicas, assunto sobre o qual muito se tem escrito nos últimos vinte anos. Como pude destacar em ocasião anterior (Mayr, 1972b), a revolução darwiniana, como quase todas as mais

importantes controvérsias biológicas, prolongou-se ao longo de muitos anos, muito mais do que normalmente acontece com as revoluções científicas. Não tenho conhecimento de um só caso na biologia em que houve uma drástica substituição de paradigmas, entre dois períodos de "ciência normal". Por outro lado, não há dúvida de que certas descobertas, conceitos novos, reformulação de conceitos antigos e novas técnicas tiveram um profundo impacto nos desenvolvimentos seguintes da biologia. Basta mencionar apenas a publicação do *Origin*, a redescoberta de Mendel, a síntese evolucionista e a descoberta da estrutura do DNA. Conquanto o conceito de revolução científica não reflita adequadamente o que acontece durante a expansão de uma ciência particular, seria igualmente irreal imaginar o progresso da ciência como sendo constante e em ritmo regular.

Pode ser que o ceticismo em relação ao progresso geral da ciência seja maior nas ciências físicas, onde as conquistas espetaculares, do século XVII até o final do século XIX, foram seguidas de desdobramentos, como o princípio da complementaridade, o princípio do indeterminismo, os enigmas das partículas elementares, a relatividade, e outros mais, introduzindo incertezas antes insuspeitadas. Parece que o progresso nas ciências biológicas tem sido muito mais constante e muito mais visível: haja vista a substituição de um mundo estático por um mundo evolutivo, a descendência comum, a seleção natural, a hereditariedade particularizada, o papel dos hormônios e das enzimas, o conceito de população, as espécies biológicas, o controle do desenvolvimento por um modelo genético, os vários componentes da teoria etológica, e importantes contribuições para o entendimento da função de todos os órgãos do corpo – só para mencionarmos uma pequena parte do número imenso de avanços concretos na nossa compreensão. Embora permaneçam ainda grandes mistérios, particularmente com respeito aos sistemas complexos e seu funcionamento, ninguém pode duvidar do enorme progresso que fez a ciência biológica, e continua fazendo.

Entretanto, quando se trata de desenvolver uma ciência das ciências verdadeiramente compreensiva, isto só será possível mediante a comparação das regras gerais oriundas das ciências físicas com as das ciências biológicas e sociais, e tentando efetuar uma integração dessas três vertentes. Presumo que a matéria-prima para essas comparações e para uma integração já está disponível, e bastaria só que alguém a assumisse como objeto de sua pesquisa.

NOTAS

Como escrever a história da biologia

Isso é muito bem ilustrado pelas duas maiores e mais bem conhecidas histórias da biologia, a de Radl (1907-1908) e a de Nordenskiöld (1928). Ambas não apenas foram escritas há mais de cinquenta anos, mas também por dois autores que tinham seus pontos de vista bem definidos. Radl, por exemplo, tinha algo de romântico, e concedia grande importância a Paracelso, Schelling e Hegel. A história da biologia de Nordenskiöld, conquanto ainda bastante autorizada, contém muitos pontos fracos. Em particular, ele escreveu numa época em que o darwinismo havia atingido o seu ponto mais baixo de prestígio, pelo menos no continente europeu. Devido ao seu viés antidarwinista, a sua apresentação da história da biologia evolutiva é virtualmente desaproveitável. Em contrapartida, o seu tratamento da história da anatomia, da embriologia e da fisiologia continua perfeitamente válido. Ambos os autores acentuam os aspectos lexicográficos e biográficos, e tratam dos assuntos essencialmente em ordem cronológica. Nordenskiöld era de opinião que a história da biologia devia ser "um segmento da história geral da cultura", e afirmou que o seu esforço consistiu em concentrar-se "no tratamento dos princípios teóricos e nas generalizações … que ocorrem na pesquisa biológica". Na sua real apresentação da matéria, ele não observou os seus próprios princípios, eminentemente válidos, pelo menos na medida das exigências da moderna historiografia científica.

O lugar da biologia nas ciências e sua estrutura conceitual

1. As relações entre a ciência e a religião são, de qualquer maneira, muito mais complexas do que possa ser apresentado aqui. Veja também Hooykaas (1972), Maritain (1942), Simpson (1949), Merton (1938), Dillenberger (1960), e Moore (1979).
2. A história do método hipotético-dedutivo ainda não foi escrita. Seus começos remontam ao método dedutivo de Descartes. Locke, Hume e outros filósofos utilizaram-no ocasionalmente. Whewell foi um vigoroso defensor desse método. Além de Darwin, vários evolucionistas e outros cientistas o utilizaram, no século XIX. Weismann (1892: 303) faz dele uma excelente descrição; de fato, foi o seu método principal ao longo de toda sua carreira. Hempel, Popper e outros filósofos endossaram-no, em décadas recentes. Veja também Hull (1973) e Ruse (1975b; 1979a).
3. Um autor bem conhecido, por exemplo, afirmou que na biologia "o método experimental substituiu o método enciclopédico", no século XIX (sic!). Na realidade, Gesner (1551) e Aldrovandi (1599) foram os últimos enciclopedistas; e qualificar como enciclopedistas autores como Ray, Toumefort, Buffon, Adanson e Lineu significa denegri-los e dar provas de uma ignorância chocante. Quando os experimentalistas não taxavam o trabalho dos naturalistas como enciclopédico, designavam-no como

"puramente descritivo".

4. Com bastante frequência, na história da ciência e da filosofia, um fisicalista declarado mudou o seu ponto de vista, em algum período da sua vida, e passou a reconhecer a autonomia e a independência metodológica da biologia. Cassirer descreveu bem esse fenômeno no seu *The Problem of Knowledge* (1950: 118-216). Ninguém melhor que Kant constitui um exemplo ilustrativo disso. No seu *Metaphysical eleménts of Natural Science* (1786), ele ainda declarava que a aproximação científica e a aproximação matemática da natureza eram uma e mesma coisa, e que em qualquer teoria particular só existia ciência real na medida em que entrasse a matemática. Na época em que publicou *A crítica do juízo,* apenas alguns anos mais tarde (1790), ele confessou que os problemas da biologia, em particular os da diversidade e da adaptação, não podiam ser resolvidos com a metodologia e o limitado aparato conceitual das ciências físicas. Que o próprio Kant tenha fracassado miseravelmente na proposição de uma filosofia da biologia, é irrelevante neste contexto. O que importa é que ele reconheceu claramente que o modelo newtoniano de movimento e forças, bem como a aproximação reducionista dos organismos, simplesmente não dava respostas para as questões mais importantes da biologia. O próprio Leibniz, que entre os filósofos pré-kantianos parecia o que mais simpatizava com a biologia, postulava que todos os fenômenos da natureza deviam ser explicados segundo as mesmas leis, vale dizer, matemática e mecanicamente.
5. Glossários como os contidos nos meus livros *Animal Species and Evolution* (1963) ou *Principies of Systematic Zoology* (1969) são verdadeiras listas dos conceitos importantes nas respectivas áreas da biologia.
6. Nem toda conceituação que põe ênfase no indivíduo conduz ao "pensamento de população". Os nominalistas, por exemplo, acentuavam que só existem os indivíduos, encaixados em classes que levam nomes. Todavia, ao se lerem os seus escritos, nota-se que eles tratam dos indivíduos num sentido estritamente filosófico (lógico), não se detendo na sua individualidade biológica única. E Lamarck, quando negava a existência das espécies, e dizia que "só existem indivíduos", considerava esses indivíduos idênticos, porque em qualquer lugar eles estavam expostos a "circunstâncias" idênticas. Os filósofos escoceses do século XVIII, que também trataram amplamente dos indivíduos, fizeram-no sob os aspectos políticos, isto é, o indivíduo *versus* a sociedade ou o Estado, ignorando ainda as características da unicidade biológica.

O papel do nominalismo no surgimento do pensamento de população é ainda obscuro. Essa corrente de pensamento teve uma longa história. O sofista Arístenes já foi um promotor das idéias nominalistas. O gramático Martianus Capella (cerca de 400 d. C.) definiu o gênero de maneira inteiramente nominalista, como "o ajuntamento de muitas espécies sob um nome". Seus escritos eram bastante populares ao longo da Idade Média, e sem dúvida influenciaram o estabelecimento do nominalismo. Os escritos de Locke assumem uma importância mais imediata, por serem uma curiosa mistura de essencialismo e nominalismo. O empirismo certamente favorecia um pensamento de população, mas, enquanto eu saiba, ninguém ainda se ocupou em estabelecer a sua conexão.

7. É interessante notar que, duzentos anos mais tarde, K. E. von Baer aplicou, exatamente, igual raciocínio. Considerando que o desenvolvimento do embrião do pinto, a partir da fertilização do ovo, era tão claramente orientado para um fim, o universo como um todo e todos os processos nele contidos, inclusive a evolução orgânica, deviam ter um fator desconhecido que "determinava" o desenvolvimento de um modo direcionado para um objetivo.
8. Existe a possibilidade no sentido de que uma narrativa histórica possa ser dissecada em numerosos passos distintos, cada um deles influenciado por uma constelação de condições e de leis importantes. Todavia, uma tal análise não seria prática, devido ao grande número de passos e de fatores que afetam o curso dos eventos, dificultando a previsibilidade de cada um desses passos. Sobre a previsão, veja também Suppers (1971), Williams (1973a), Good (1973), Fergusson (1976), e *Amer. Nat.:* III: 386-394).
9. Como disse Mandelbaum (1971: 380), o conceito de emergência tem uma longa história. Ele foi sustentado por materialistas como Marx e Engels, por positivistas como Comte, pelos não-dualistas Alexander e Sellars, e pelos dualistas Lovejoy e Broad. G. H. Lewes, no seu *Problems of Life and Mind* (especialmente vol. II, 1874-75), desenvolveu a primeira filosofia bem elaborada, baseada no princípio da emergência. A emergência foi o aspecto mais característico da filosofia de Claude Bemard. Para Engels, a emergência de propriedades novas e irredutíveis na natureza era admitida como uma manifestação da autotransformação dialética fundamental da matéria, e por isso uma aceitação dessas propriedades não conflitava com o materialismo (Mandelbaum, 1971: 28).

    A física moderna aceitou mais e mais o emergentismo. A partir do mero conhecimento da estrutura atômica, como disse Weisskopf (1977: 406), "os teóricos [não familiarizados com o mundo real] jamais poderiam prever a existência dos líquidos". (O mesmo me foi dito por Niels Bohr, em 1953). Weisskopf continua: "Um conhecimento das leis básicas é insuficiente para uma real compreensão de como as 'partes' se relacionam com o 'todo', a cada nível dos conjuntos hierárquicos" (p. 410).
10. Nada revela tão profundamente a drástica mudança na filosofia da biologia, nas décadas recentes, do que a comparação desses novos livros com a literatura mais antiga, representada por H. Driesch, H. Bergson, A. N. Whitehead, A. Arber, J. S. Haldane, R. S. Lillie, J. von Uexküll, E. E. Agar, mas também as obras de L. J. Henderson, J. H. Woodger, L. L. Whyte, G. Sommerhoff, J. D. Bemal, e E. S. Russell.

O meio intelectual em transformação da biologia

1. Quase todos os parágrafos desta resenha são uma condensação de uma história muito mais complexa do que aparece na minha exposição. A história completa será contada ao longo dos Capítulos 4-19 e, no que se refere à biologia funcional, num volume futuro. A tarefa que me propus é formidável. Espero que eu tenha tido razoável sucesso em captar os humores cambiantes da biologia como um todo, bem como os altos e baixos das diversas disciplinas biológicas. Onde percebo ter falhado foi em apresentar um quadro suficiente do inteiro contexto sociocultural e intelectual de cada período, e como e em que medida ele influenciou o desenvolvimento conceitual das várias áreas

da biologia. Falta-me o preparo que um historiador social ou intelectual poderia oferecer para essa tarefa. Mas talvez uma única pessoa não teria condições de fornecer um quadro equilibrado, uma vez que um cientista e um historiador social, ao se proporem analisar as causas dos desenvolvimentos científicos, inevitavelmente divergiriam na consignação do peso dado aos fatores internos e aos fatores do meio geral contemporâneo.

2. Para outras considerações relativas ao meio cambiante da biologia, consulte as várias histórias da biologia citadas anteriormente. Também Smith (1976), Hall (1969), Leclercq (1959), Taton (1958; 1964), Pledge (1939), Allen (1975), Coleman (1971), Dawes (1952).
3. Para o surgimento da filosofia jônica nas costas da Ásia Menor, veja Sarton (1952, vol. I). Para outros detalhes sobre o efeito da filosofia grega sobre a história da biologia, veja os Capítulos 7-19. Para outras leituras ainda, consulte Adkins (1970), Kirk e Raven (1971), Freeman (1946), Guthrie (1965), de Santillana (1961).
4. Os termos "acaso" e "necessidade" repetidas vezes acolheram sentidos diferentes ao longo da história da filosofia. Eu os emprego no seu sentido habitual de hoje.
5. Uso os termos "essencialismo" e "essencialístico" de conformidade com a definição de Popper (veja o Capítulo 2).
6. Existe uma imensa literatura sobre Aristóteles, onde a maior parte, evidentemente, trata de problemas de limitado interesse para o biólogo. Pareceu-me que Düring (1966) é o melhor, com respeito a uma avaliação geral. Tópicos especiais são tratados por Balme, 1970 (zoologia aristotélica), 1980 (não-essencialismo aristotélico), e Gotthelf, 1976. Existem excelentes discussões introdutórias em algumas edições inglesas de Aristóteles, particularmente na Loeb Library. Veja também os livros de Randall (1960) e Grene (1963).

Parte I. A diversidade da vida

1. Apresentar um relato da história intelectual da sistemática é tarefa particularmente difícil, porque não existe um verdadeiro precedente. O fato de quão poucos historiadores da ciência entendem o desenvolvimento conceitual da sistemática se toma evidente, quando examinamos cada uma das histórias mais bem conhecidas da ciência ou de períodos específicos. A história da sistemática é abordada pela maioria das histórias da botânica (Sachs, Jessen, Green, Mägdefrau), mas sobretudo nas biografias e em detalhes da classificação. Existem alguns tratamentos especiais excelentes, como os dos herbalistas, Ray, Lineu, Buffon, Cuvier, Darwin, e outros, mas ninguém até agora apresentou uma "visão a distância". Não foi fácil extrair a história essencial dos conceitos em transformação de uma massa imensa de detalhes. Espero que a minha análise possa ser considerada bastante equilibrada.
2. Para uma literatura sobre taxionomia popular, veja também Conklin (1962), Berlin, Breedlove e Raven (1974), Majnep e Bulmer (1977), e Gould (1979).
3. Infelizmente não existe uma boa história dos mais importantes museus, ou das coleções de plantas e animais no mundo. Há histórias individuais de museus, por exemplo,

Anon. (Murray) 1904-1912, ou Lingner (1970). Veja também Stresemann (1975: 367-373), para uma história das coleções de pássaros nos museus americanos. Para coleções de plantas, veja Lanjouw e Stafleu (1956). Uma história do Museum d'Histoire Naturelle (Paris), por Limoges, está em preparação.

4. Leidy (1853), Kiichenmeister (1857), Leuckart (1886), Hoeppli (1959), Foster (1965).
5. As melhores informações sobre a história da protozoologia – centradas em biografias – podem ser encontradas em Corliss (1978: parte I; 1979: parte II, com excelente bibliografia). Veja também Cole (1926), e informações históricas nos manuais de Manwell (1961) e Kudo (1966). Para ulteriores detalhes, consultem-se as histórias da botânica, como as de Sachs (1882), Ballauff (1954), Jessen (1864), Mägdefrau (1973), Green (1909).
6. Para uma história da paleontologia, consulte Geikie (1897), Zittel (1899), Gilispie (1951), Haber (1959), Hölder (1960), Edwards (1967), Schneer (1969), Rudwick (1972). Também Guyénot (1941: 337-358); Ley (1968: 191-221).
7. Para Louis Agassiz, o sistema natural dos organismos era "um sistema idealizado pela Inteligência Suprema e manifesto nesses objetos" (1857: 4). Ele resumiu as suas idéias no *Essay on Classification:*

> Todos os seres organizados ostentam em si mesmos todas essas categorias de estruturas e de existência, sobre as quais pode fundar-se um sistema natural, de tal sorte que, identificando-as, a mente do homem está apenas a traduzir em linguagem humana os pensamentos divinos expressos nas realidades vivas da natureza (p. 136).

8. A literatura sobre a história das classificações é infindável. Já em 1763, Adanson produziu uma história da classificação das plantas. Hyman (1940) dá uma pequena história de cada um dos filos e classes de invertebrados por ela estudados. Mais recentemente, foi publicado bom número de estudos especializados dos *taxa* individuais. Como exemplos, podem ser citados Winsor (1976b), sobre os radiados, e Corliss (1978-79), sobre os ciliados. Os grandes manuais de zoologia, como o alemão, de Kükenthal (1923), e o francês, de Grassé (1948ss., *Traité de zoologie*), constituem guias indispensáveis.
9. Grande número de autores participou nesse avanço intelectual. Aí se incluem Beckner (1959), Cain (1958; 1959a; 1959b), Hennig (1950; 1966), Huxley (1940; 1958), Hull (1970), Inger (1958), Mayr (1942; 1963; 1969), Michener (1957), Remane (1952), Rensch (1934; 1947), e Simpson (1945; 1961).

Surpreendentemente, as controvérsias atuais sobre a sistemática são as mesmas do período pós-darwiniano; por certo, muitas delas remontam a Lineu, aos botânicos renascentistas, e mesmo a Aristóteles. A cronologia, neste caso, é menos importante do que uma análise clara e detalhada dos problemas. Um trato voltado para os problemas parece ser, nessas circunstâncias, o método mais apropriado para uma história das idéias. Escolhi este método de apresentação, mesmo correndo o risco de ser acusado de haver escrito um manual dos princípios da sistemática, em vez de uma história cronológica.

Macrotaxionomia, a ciência da classificação

1. Para a melhor análise disponível do método de classificação aristotélico, veja Lloyd (1961) e Peck (1965). Também Balme (1962) e Stresemann (1975: 3-6).
2. Os *taxa* superiores reconhecidos por Aristóteles foram os seguintes: entre os animais de sangue (vertebrados), ele identificou seis grupos bastante desiguais: (1) quadrúpedes vivíparos com pêlos (mamíferos); (2) pássaros; (3) cetáceos; (4) peixes; (5) serpentes; (6) quadrúpedes ovíparos dotados de sangue (a maioria dos répteis e anfíbios).

Entre os animais não dotados de sangue ele reconhece quatro grupos: malacites (cefalópodes e crustáceos de concha mole; (2) crustáceos; (3) testáceos (a maioria dos moluscos, equinodermos, ascídios, e outros animais marinhos de carapaça dura); e (4) insetos. Em lugar algum Aristóteles delineia claramente o quadro dessas classificações (em particular a dos animais dotados de sangue). Elas são muito mais extraídas dos seus escritos, por obra de compiladores posteriores, embora a *Historia Animalium* 4.523a-b contenha uma listagem bastante explícita dos animais não dotados de sangue.

3. Para outras referências a Aristóteles, veja os Capítulos 3 e 7.
4. Aquilo que os antigos conheciam sobre os animais de países estrangeiros foi relatado por Sarton (1927-1948). Para uma história amena desse assunto, que encerra também os "contos dos viajantes", referidos por Heródoto, bem como uma descrição da credulidade dos primitivos compiladores, veja Ley (1968).
5. Para uma excelente discussão dos métodos de classificação dos herbalistas, e para uma crítica do tratamento dado por Sachs (1890), veja Larson (1971). Para ulteriores referências sobre herbários, veja Meyer (1854-1857), Fischer (1929), Arber (1938), e Thomdike (1945).
6. As obras de Brunfels, Bock e Fuchs muito estimularam a descrição das plantas. Mencionarei aqui apenas autores como Mattioli (1500-1577), Lobel (1538-1616), Cordus (1515-1544), e Lécluse (Clusius) (15261609). Eles não apenas introduziram muitas novas espécies na literatura, mas diversos deles, Lobel em particular, adotaram o método de Bock de agrupar plantas que "se assemelhavam umas às outras". A origem (ou a redescoberta) da "classificação ascendente", mais tarde tão enfatizada por Adanson, teve claramente a sua origem nos escritos de Bock, Lobel e outros botânicos do século XVI. Nenhum deles a aplicou de modo tão coerente como Bauhin. (Veja Mägdefrau, 1973: 21-31; Zimmermann, 1953: 114-120; Larson, 1971: 6-20.)
7. Para uma melhor compreensão da lógica escolástica, enquanto aplicável à classificação descendente, veja Maritain (1946), Cain (1958: 1959a), Steam (1959), e Stafleu (1971). Para uma história do desenvolvimento de diagnoses, veja Hoppe (1978).
8. "Pesagem" é o termo usado para a avaliação dos caracteres taxionômicos. Ela se baseia na idéia de que a escolha de certos caracteres leva a classificações melhores, e mais "naturais", do que a utilização de outros. Como o peso de um caráter deve ser determinado, é questão que permaneceu controvertida. Tradicionalmente, certos caracteres foram considerados mais úteis (tendo mais "peso") que outros (Mayr, 1969: 217-228).
9. A melhor análise do método de Cesalpino pode ser encontrada em Bremekamp (1953b). Veja também Sachs (1890), Stafleu (1969), Larson, Sloan (1972), e Sprague (1950: 7-12).
10. Em relação a Ray, veja Sachs (1890: 69-74), Raven (1950), Sprague (1950: 19-20),

Crowther (1960), Larson (1971: 37-44), Sloan, Mägdefrau (1973: 43-46).

11. Sobre Turner, veja Raven (1947: 38-137), Stresemann (1975). Sobre Rondelet, veja Guyénot (1941). Sobre Belon, veja Guyénot (1941: 44-47, 139, 210), Stresemann (1975: 16-18, 24-26, 45). Sobre Gesner, veja Stresemann 91975: 18-21, 25), Larson (1971: 15-18), Ley (1929), Fischer (1967). Sobre Aldrovandi, veja Stresemann (1975: 19, 21, 27, 41), Guyénot (1941: 52,139).
12. Já o pai de Lineu, segundo se dizia, adotou o nome Lineu, e quase todos os escritos de Carl foram publicados sob esse nome. Mais tarde (1762), quando feito nobre, ele passou a chamar-se Carl von Linné.
13. Os títulos a seguir permitem uma boa introdução aos conceitos e práticas de Lineu. Os mais abrangentes dentre eles são os de Hagberg, Larson e Stafleu. A forma como eu os trato não é biográfica. Daudin (1926), Hagberg (1939), Svenson (1945), Stearn (1962), Cain (1958), Hofsten (1958), Larson (1971), Stafleu (1971), Stearn (1971). Certos aspectos do pensamento de Lineu são tratados alhures, no presente volume – por exemplo, a sua avaliação dos caracteres taxionômicos, o seu conceito de um sistema natural, o seu conceito de espécie e a sua nomenclatura binominal.
14. Para uma excelente análise da filosofia da natureza de Lineu, veja Hofsten (1958). Também Stearn (1962), Egerton (1973) e Limoges (em Linné, 1972).
15. Sobre o tipo de lógica que era particularmente importante para Lineu, veja Joseph (1916) ou Maritain (1946). A lógica de Lineu também é discutida por Larson (1971) e particularmente por Cain (1958).
16. Para o conceito de Lineu sobre o gênero, veja particularmente Cain (1958), Stearn (1962), Larson (1971: 73-93) e Stafleu (1971: 68-76, 91-103).
17. Para uma análise da história dos conceitos de descrição e diagnose, de Aristóteles a Darwin, veja Hoppe (1978).
18. Sir Joseph Banks conseguiu persuadir o almirantado a permitir a ele e ao seu naturalista, o sueco Solander (um discípulo de Lineu), a acompanharem Cook na primeira das suas grandes viagens aos Mares do Sul (1768-1771). Isso constituiu um precedente, mais tarde seguido por outros viajantes, particularmente na viagem de Cook no *Resolution* (1772-1775), da qual os Forster trouxeram de volta as suas famosas coleções. Foi o exemplo deles que inspirou Alexander von Humboldt (como ele mesmo enfatiza) e, por sua vez, Darwin no *Beagle*. Foi igualmente importante o prestígio social e científico dado por Banks à história natural. Ele desempenhou por muitos anos a função de presidente da Royal Society, e deu ativo apoio às coleções de história natural e aos museus. Foi ele quem persuadiu o jovem J. E. Smith a comprar as coleções de Lineu, as quais, cinco anos mais tarde (1789), levaram à fundação do Linnean Society of London.
19. O primeiro conceito de uma classificação natural de Buffon é descrito no "Premier Discours" *{Oeuvr. Phil*.: 13a-b) da seguinte forma:

A mim parece que a única maneira de se fazer uma classificação informativa e natural é juntar as coisas que são semelhantes e separar aquelas que diferem entre si [classificação ascendente!]. Se os indivíduos revelarem uma perfeita semelhança entre si, ou diferenças que apenas podem ser percebidas com dificuldade, tais indivíduos serão da mesma espécie

[continua descrevendo o modo de reconhecer diferentes espécies de um mesmo gênero e de gêneros diferentes] … Essa é a ordem metódica que deve ser seguida nos arranjos de produtos naturais. Entenda-se, de qualquer maneira, que as semelhanças e as diferenças devem basear-se não apenas em um aspecto, mas sim no conjunto todo [dos caracteres], e deverão levar em conta a forma, o tamanho, o aspecto exterior, o número e a posição das diversas partes, e a verdadeira substância da coisa em si mesma.

20. Para maiores informações sobre Cuvier, veja os outros capítulos. Também Coleman (1964), Winsor (1976b: 7-27), e mais especificamente Cain (1959a: 186-204). A maioria das novas classes de invertebrados de Cuvier já era conhecida de Lineu, como ordens no seio da sua classe Vermes. Por meio de suas dissecações, Lineu descobriu o quanto elas eram fundamentalmente diferentes entre si.
21. Um tratamento mais completo da *scala naturae* será dado em outros capítulos. Veja também Lovejoy (1936) e Ritterbush (1964:122-141).
22. Abraham Trembley (1700-1784), embora mais conhecido por seu trabalho sobre a regeneração, contribuiu muito para o nosso conhecimento sobre os invertebrados de água doce, mediante numerosos estudos realizados entre 1741 e 1746. Ele foi o primeiro a dar-se conta do caráter animal dos zoófitos, baseando-se no seu trabalho sobre a hidra e o briozoário *Lophopus*. Além disso, ele trouxe importantes contribuições sobre os protozoários ciliados e rotíferos (Baker, 1952: 102-129).
23. Para uma excelente discussão do sistema quinário e outros sistemas numerológicos de classificação das aves, veja Stresemann (1975: 170-191); para o quinarianismo na zoologia dos invertebrados, veja também Winsor (1976b).
24. Sobre de Candolle, veja Nordenskiöld (1928: 436-438), Cassirer (1950: 135-136), Cain (1959a: 7-12), e Mägdefrau (1873: 64-66).
25. O termo "táxon" foi proposto pela primeira vez por Meyer-Abich (1926: 126-137) e retomado pelo botânico holandês Lam, ao final dos anos 1940. Após ter sido oficialmente adotado pelo Congresso Internacional de Botânica, em 1950, e ter-se convertido em nome de uma nova revista (*Taxon*), dedicada à sistemática (particularmente das plantas), o termo se tomou corrente nos anos 1950. No que tange aos animais, ele ainda não é usado no *Classification of Mammals* de Simpson (1945, mas escrito anteriormente), mas é usado por Mayr, Linsley e Usinger (1953). Entretanto, o termo "categoria" ainda é usado ocasionalmente na literatura atual, quando se faz referência ao táxon.

Agrupamento segundo ascendência comum

1. Para uma bibliografia sobre a taxionomia de Darwin, veja Simpson (1959; 1961), Cain (1959a: 207-216), Ghiselin (1969: 78-88).
2. Além das suas monografias sobre os cirrípedes e do *Orígin,* Darwin expõe suas idéias sobre a classificação em trabalhos diversos (Ghiselin, 1969), particularmente no *Descent of Man* (1875, 2a. ed.: 146-165), e no seu livro sobre as orquídeas, *The Various Contrivances by Which Orchids Are Fertilized by Insects* (1862).
3. Uma excelente história da pesquisa filogenética, de Haeckel até o final do século, é a

de Alfred Kühn (1950). Ela trata em particular das tentativas de F. Müller, Dohm, Claus e Hatschek para esclarecer a filogenia dos artrópodes, descobrir a posição Pycnogonida e do *Limulus,* e determinar a relação mútua dos crustáceos, aracnídeos e insetos. As numerosas especulações desse período, sobre a origem dos cordados e a evolução das classes de vertebrados, vêm descritas e analisadas com muita competência. Contém também uma excelente bibliografia.

4. Um apanhado sobre essas controvérsias pode ser colhido do estudo dos artigos e da literatura citados pelos seguintes autores: Dougherty (1963), Clark (1964), Ulrich (1972), Siewing (1976), Salvini-Plawen e Splechtna (1979).
5. As afirmações da fenética numérica suscitaram grande número de contestações. A literatura a seguir (e as inclusas bibliografias) oferece uma excelente visão geral das mais importantes objeções levantadas pelos críticos: Simpson (1964a), Mayr (1965a; 1969: 203-232; 1981b), Hull (1970), Johnson (1968).
6. Os caracteres autapomorfos são caracteres derivados (apomorfos) que evoluíram só em um dos dois grupos irmãos, enquanto os caracteres sinapomorfos são caracteres derivados compartilhados por ambos os grupos irmãos.
7. Os seguintes nomes representam alguns dos críticos da cladística: Ashlock (1974), Mayr (1976: 433-476), Michener (1977), Szalay (1977), Hull (1979).
8. Estudos da taxionomia evolutiva: Simpson (1945; 1975: 3-19), Bock (1973; 1977), Ashlock (1979), Mayr (1981b).
9. Refiro-me apenas a algumas publicações antigas. Hoje em dia, publicam-se anualmente revistas, volumes de simpósio e manuais. São excessivamente numerosos, e em constante mudança, para serem mencionados.
10. Alguns títulos (com inclusas bibliografias) poderão proporcionar acesso à vasta literatura sobre a epistemologia da classificação: Beckner (1959), Hull (1965), Bock (1977), Hull (1978). Além disso, grande parte da literatura indicada sob os n~5 e 7 pode ser útil, e assim também a literatura filosófica em geral, de Mill e Jevons a Gasking, Hempel e Popper.
11. A classificação da maioria dos organismos está hoje consolidada a tal ponto que raramente uma reorganização de monta se faz necessária. Nos filos dos invertebrados houve a necessidade de uma reorganização completa dos turbelários, no segundo terço deste século, quando se descobriu que a ramificação dos intestinos (tricládios e policládios) não passava de um aspecto de adaptação, passando-se então a escolher a estrutura do sistema reprodutor e da faringe como os aspectos diagnósticos mais importantes. De qualquer maneira, na nova classificação foi possível manter grande parte da antiga. A classificação dos procariotos (Fox *et alii,* 1980) representou outro caso em que a utilização de um novo caráter (RNA ribossômico) resultou numa classificação fundamentalmente diferente, pelo menos em certos grupos.

Microtaxionomia, a ciência das espécies

1. O número de definições da espécie, na literatura biológica, refletindo os diferentes conceitos sobre a mesma, é virtualmente ilimitado. Um apanhado histórico dessas

definições foi dado por Mayr (1957). Ele encerra uma extensa bibliografia, com referências a resumos anteriores, tais como os de Bachmann (1905), Besnard (1864), Du Rietz (1930), Plate (1914), Spring (1838) e Uhlmann (1923). Para uma discussão mais detalhada do problema da espécie, veja Mayr (1963: 12-30, 334-359, 400-423); Simpson (1961: 147-180); Poulton (1908: 46-94).

Para uma ulterior discussão da relação entre o táxon da espécie e categoria da espécie, veja Mayr (1969: 23-53, 181-197).

Para outros artigos recentes sobre o problema da espécie, veja Dobzhansky (1935); Camp e Gilly (1943); Hull (1965); Beaudry (1960); Heslop-Harriosn (1963); Vent (1974); Wiley (1978); Slobodchikoff (1976).

2. *Phenon* (pl. *phena*) é o termo conveniente para as diferentes formas, ou fenótipos, que podem ser encontrados no seio de uma única população – as "variedades, segundo a maior parte da literatura mais antiga. Os fenos envolvem os sexos (quando há dimorfismo sexual), os estágios etários, variações sazonais e variantes individuais (morfes, e assim por diante). Para um estudo mais detalhado dos fenos, veja Mayr (1969: 5, 144-162).
3. O termo "táxon" foi proposto pela primeira vez por Meyer-Abich (1926), adotado por alguns botânicos nos anos 1940, incorporado, em 1950, ao Código Internacional de Nomenclatura Botânica, e empregado na zoologia em 1953 por Mayr, Linsley e Usinger. No Capítulo 5, voltamos ao assunto.
4. Para a história antiga do conceito da espécie, veja Balme (1962), Crombie (1961: 150-151), Zirkle (1959), Mayr (1968), Sloan (1978).
5. Em 1798, Cuvier definia a espécie da seguinte maneira (*Tabl. élem.*: 11):

> A totalidade (*collection*) de todos os corpos organizados, nascidos uns dos outros, ou de pais comuns, e de todos aqueles que a eles se assemelham como se assemelham entre si, chama-se espécie.

A herança escolástica do seu pensamento é delatada pela afirmação adicional: "Os corpos organizados que … parecem não diferir da espécie, a não ser por causas acidentais … qualificam-se como variedades dessa espécie".

6. Para o conceito de espécie de Lineu, e suas alterações ao longo da sua vida, veja Ramsbottom (1938), Cain (1958), Larson (1971: 99-111), e Stafleu (1971: 134). Outros autores que se ocuparam com o conceito de espécie de Lineu são Greene (1912), Daudin (1926), Svenson (1945; 1953), Zimmermann (1953), Bremekamp (1953c) e von Hofsten (1958), segundo indicado pela bibliografia de Stafleu.
7. Além de Kölreuter, houve numerosos outros hibridadores de espécies (por exemplo, Gärtner e Naudin), os quais pensavam que podiam determinar a natureza da espécie "por meio do experimento", isto é, pelo cruzamento de espécies. Darwin mostrou-se muito interessado no assunto. O objetivo desses hibridadores não era descobrir as leis da hereditariedade, como pensaram erradamente certos historiadores da genética.
8. Para o conceito de espécie de Buffon, veja Lovejoy (1959b: 84113), Roger (1963: 567-577), Stafleu (1971: 302-310), Farber (1972), Sloan (1978: 531-539) e Larson (1979).
9. Para o último conceito de espécie de Lamarck, veja *Nouv. Dict. nouv. écl.* X (1817: 441-451)

e Szyfman (1977).

10. As dificuldades que os botânicos parecem enfrentar com o conceito biológico de espécie estão refletidas nas publicações de Davis e Heywood (1963), Raven (1977) e Cronquist (1978), bem como nos artigos citados por esses autores.
11. Para um listagem mais completa das idéias de Darwin sobre a espécie, como expressas nos seus cadernos de notas, veja Kottler (1978: 178-180) e Sulloway (1979). Seus cadernos sobre a transmutação das espécies (NBT) levam as referências B, C, D e E (de Beer, 1960-61; de Beer *et alii,* 1967).
12. Ele finalmente adotou o conceito biológico de espécie, em 1975.
13. O esclarecimento gradual do conceito biológico de espécie é bem espelhado na série de artigos de Mayr sobre o assunto: Mayr, 1940; 1942; 1946; 1948; 1955, 1957; 1963; 1969a; 1969b. Diversos deles foram reproduzidos em Mayr, 1976.
14. Para uma discussão dos mecanismos de isolamento, veja Mayr (1963), Capítulos 5 e 6; Blair (1961); e diversos artigos de recensão recentes.
15. Sobre as fronteiras de uma espécie Darwin diz:

> O domínio ocupado pelos habitantes de qualquer região de forma alguma depende unicamente das condições físicas que se alteram insensivelmente, mas em grande parte da presença de outras espécies, das quais depende, ou pelas quais entra em competição … a área de qualquer espécie, na dependência do influxo da área de outras, tenderá a delimitar-se de modo preciso (*Origin*: 175).

16. Kerner (1869), Wettstein (1898) e Cajander (1921) foram os pioneiros da taxionomia das plantas. Veja também Langlet (1971).
17. O mais belo trabalho sobre a biossistemática talvez tenha sido o do grupo de Clausen, Keck e Hiesey, do Camegie Institution (Clausen, 1951). Veja também Stebbins (1950) e Grant (1971).
18. A discriminação entre espécies gêmeas é de grande importância na biologia aplicada. O complexo dos mosquitos da malária, *Anopheles maculipennis,* constitui uma ilustração clássica; outra ilustração foi a descoberta de uma espécie gêmea (*M. subarvalis),* confundida até os anos 1960 com o rato dos prados, *Microtus arvalis,* notório por sua enorme expansão populacional, do oeste da Europa até as costas siberianas do Pacífico; outra ainda, o poliqueta muito estudado, *Capitella capitata,* excelente indicador da poluição marinha, que só recentemente, mediante análise de enzima, se revelou como sendo composto de seis espécies gêmeas (Grassle, 1976).
19. Igual observação foi expressa vigorosamente por Wagner, em um simpósio sobre biossistemática (1970).
20. Parte dessa literatura foi recenseada por Richardson (1968). Ela é muito deficiente em relação à literatura germânica (Palias, Esper, Gloger, os primeiros escritos de Moritz Wagner e a literatura estritamente taxionômica). Stresemann (1975) preenche muitas dessas lacunas, e tem uma percepção superior dos problemas envolvidos. Veja também Mayr (1963: 334-339).
21. Para maiores detalhes sobre a história do conceito de subespécie, veja Mayr (1963: 346-

351) e Stresemann (1975). A propósito da terminologia rica, mas hoje caduca, sobre as variantes infra-específicas, veja Plate (1914: 124-143) e Rensch (1929).

22. Wiley (1978) tentou combinar os critérios da definição da espécie biológica com os da espécie evolutiva, mas a sua definição se refere ao mesmo tempo aos *taxa* e às categorias de classificação, e conserva alguns defeitos do conceito evolutivo da espécie.

Parte II. Evolução

1. Existem muitas histórias sobre a ciência da evolução publicadas em inglês, em francês, em alemão, em russo, e em outras línguas. Algumas das mais antigas são demasiadamente acríticas para ainda serem aproveitáveis, como as de Osbom (1894) ou a de Perrier (1896). A melhor introdução sobre o advento do pensamento evolucionaste é de Toulmin e Goodfield (1965). O melhor livro-fonte, embora concentrando-se sobretudo na filogenia, é o de Zimmermann (1953). Greene (1959) é muito informativo e agradável. Veja também Ostoya (1951).

Origens sem evolução

1. Veja Reiser (1958: 38-47), Hull (1865), Mayr (1959a), Popper (1945).
2. Para a literatura sobre Aristóteles, veja os Capítulos 3 e 4. Também Balme (1970).
3. O nominalismo teve sua origem com Roscellinus e Abelardo, foi promovido por Duns Scotus e Roger Bacon, e levado ao seu apogeu por Occam. Ele influenciou claramente a filosofia indutiva na Inglaterra (por exemplo, a de Locke).
4. Descartes foi um pouco ambivalente, e disse em outra ocasião que também se poderia admitir que Deus pudesse ter-se dado por satisfeito meramente criando as leis da natureza, e que isso teria resultado no desenvolvimento do mundo tal qual o vemos hoje. Para a atitude de Descartes sobre a evolução, veja Zimmermann (1953: 161-166).
5. O conceito de heterogenia – a conversão de uma espécie em outra – foi promovido particularmente por Theofrasto *(Inquirição sobre as plantas,* livro 2). Virgílio descreveu nas *Geórgicas* como o trigo e a cevada se convertiam em aveia selvagem. A história do conceito é discutida com competência por Zirkle (1959). Veja também o Capítulo 6.
6. Os volumes de Gillispie (1951), Schneer (1969) e Rudwick (1972) fornecem uma excelente introdução à história antiga da geologia e sua literatura. Veja também Albritton (1980) e Blei (1981).
7. Wemer foi aparentemente o primeiro a estabelecer estratos sedimentares. Sendo basicamente um mineralogista, ele tentou (sem sucesso) determinar a idade dos estratos com critérios mineralógicos. Infelizmente, ele incorreu em diversos erros importantes, como por exemplo a inclusão do granito e outras pedras ígneas entre as rochas sedimentares. Sem dúvida, hoje em dia se reconhece mais e mais o seu papel de pioneiro na geologia.
8. Blumenbach (1790: 18) ria-se daqueles que queriam fazer proceder toda a fauna viva

dos passageiros da arca de Noé, dizendo:

> Acho perfeitamente incompreensível como poderia a preguiça ter feito a peregrinação do monte Ararat até a América do Sul, uma vez que ela necessita de uma hora para avançar seis pés.

9. Para a história da paleontologia, consulte Geikie (1879), von Zittel (1899), Zimmermann (1953: 187-195), Hölder (1960), Scherz (1971), Rudwick (1972) e Blei (1981).
10. Veja Cuvier (1812), Coleman (1964), Rudwick (1972). Também Hofsten (1936).
11. Quanto a Leeuwenhoek, veja o Capítulo 4.
12. Para uma visão geral, veja Bowler (1974b). Para estudos genéricos sobre o Iluminismo, consulte Cassirer (1951), Hazar (1954), Gay (1966) e Hampson (1968).
13. Veja também Nisbet (1979), Bury (1920), Leibniz (cerca de 1712).
14. Sobre Bonnet, veja Lovejoy (1936: 283-286), Zimmermann (1953: 210-219), Savioz (1948).
15. Sobre Maupertius, veja Brunet (1929), Glass (1959), Roger (1963), Jacob (1970).
16. Sobre Buffon, consulte Wilkie (1959), Lovejoy (1959b), Roger (1952; 1963), Piveteau (1964), Hanks (1966), Bowler (1973) e Farber.
17. Em relação a outros aspectos do pensamento de Buffon, veja também os Capítulos 4 e 6.
18. Sua afirmação de que *"les animaux ne sont à beaucoup d'égards que des productions de la terre"* ("os animais, sob muitos aspectos, não são outra coisa que produções da terra") eliminou grandemente a importância do ponto de vista histórico na zoogeografia. Entretanto, essa maneira de pensar foi adotada por Alexander von Homboldt, por outros biogeógrafos contemporâneos, bem como por Herder. Foi por esse motivo que Darwin ficou tão surpreso ao constatar que as faunas da zona tropical e as faunas da zona temperada da América do Sul se assemelhavam entre si mais do que com as das zonas correspondentes da América do Sul e da África.
19. Veja Diderot (1749; 1769/1966), Vartanian (1953), Mayer (1959) e Crocker (1959).
20. Uma primeira introdução útil à literatura de Reimarus, particularmente em relação ao seu deísmo, é a reedição da sua própria obra (1973). Veja também Stresemann (1975).
21. Veja Berlin (1974), Toulmin e Goodfield (1965: 135-140), Zimmermann (1953: 238-245), Lovejoy (1959c: 207-221), Cassirer (1950: 217-225).
22. Veja King-Hele (1963), Ritterbusch (1964: 159-175), Harrison (1972: 247-264).
23. Zimmermann acentua com toda razão (1953: 195-210) que Lineu conhecia muito bem numerosos fatos, utilizados mais tarde por Darwin como provas da evolução. Como, por exemplo, o aparecimento de uma evidente mutação (a do *Peloriá),* que permanecia constante nas gerações seguintes, podendo, no entanto, ser cruzada com a espécie parental *(Linariá)*. Ele conhecia a opulenta fauna fóssil de certas regiões do seu país, mas foi incapaz de encontrar-lhe uma interpretação evolucionaste. Sabendo perfeitamente o quanto diferiam as faunas e as flores de um continente para outro, Lineu, contudo, foi impedido de chegar às conclusões a que chegou Darwin, por permanecer apegado à interpretação literal da Bíblia, segundo a qual Adão e Eva tinham dado nomes a todas as criaturas, e a arca de Noé havia depositado todos os seus passageiros em um único lugar. Entretanto, ele admite que as floras locais da América do Norte, da África e de outras partes do mundo continham

tantas espécies semelhantes "que o seu aparecimento original, a partir de uma única espécie, parecia possível" (veja em particular o seu *Fundamentum Fructificationis,* 1762; veja também *Amoenitates Academicae,* 6: 279-304). A maneira pela qual Lineu havia tratado a sistemática do homem e dos grandes macacos prestava-se facilmente a uma interpretação evolucionista. Por fim, encontram-se disseminados nos seus escritos indícios de que ele tenha chegado a admitir a idéia de que o mundo podia ser muito velho (Nathorst, 1908). Ver também Hofsten (1958).

A evolução antes de Darwin

1. Existe uma rica literatura sobre Lamarck, citada e discutida com competência por Burkhardt (1977), sendo de longe o melhor e o mais abrangente estudo moderno sobre ele. Para alguns aspectos adicionais do pensamento de Lamarck, veja também Hodge (1971a; a melhor exposição sobre as bases fisiológicas do pensamento lamarckiano, embora subestime o impacto das suas pesquisas zoológicas) e Mayr (1972a). Três outros estudos ainda continuam de interesse: Packard (1901), Landrieu (1909), e Daudin (1926). Veja também Schiller (1971), Kühner (1913), Tschulok (1837). Para uma bibliografia completa das publicações de Lamarck, veja Landrieu (1909) e Burkhardt (1977). Existe a tradução inglesa de duas de suas obras, *The Zoological Philosophy* (1914), à qual se reportam todos os números das páginas, e *Hydrogeology* (1964). Para uma bibliografia da literatura alemã sobre Lamarck, veja Zimstein (1979); também Kohlbrugge, (1914).
2. Schiller (1971: 87-103) nega que a *série des cops organisés,* de Lamarck, tenha algo a ver com a *scala naturae,* mas não estou convencido dos seus argumentos. Posso admitir facilmente que a descoberta (pela anatomia comparada) de tipos anatômicos distintos, cada um com uma organização única e uma constelação de órgãos própria, tenha convertido a cadeia contínua de Bonnet em uma cadeia mais ou menos descontínua, como Daubenton sublinha enfaticamente (Burkhardt, 1977: 124). Entretanto, Lamarck jamais deixa de acentuar a continuidade (por mais tênue que seja) dos tipos (*masses*) de organismos.
3. Veja também o Capítulo 4. A maioria das histórias mais antigas sobre a evolução foram relatos dos supostos precursores de Darwin. Exemplos dessa literatura são Osbom (1894), Perrier (1896) e Glass *et alii* (1959). Veja também Kohlbrugge (1915). De particular interesse (embora lamentavelmente incompleto em relação aos autores não-britânicos) é o próprio "Historical Sketch" de Darwin, inserido no *Origin of Species* a partir da terceira edição (1861).
4. Geoffroy Saint-Hilaire (1847), Russell (1916), Schuster (1930), Cahn (1962) Bourdier (1969), Rudwick (1972).
5. Cuvier (1812; 1813), Russell (1916). Daudin (1926), Coleman (1964), Bourdier (1969), Rudwick (1972: 101-163). A minha própria exposição apóia-se grandemente na de Coleman.
6. Isso não embaraçou Lamarck de jeito algum. Uma vez que havia estimado a idade dos continentes, no seu *Hydrogéologie,* como sendo de muitos milhões de anos, ele

considerou três mil anos um espaço de tempo desprezível, mesmo irrelevante, para o problema da constância das espécies, especialmente em vista da constância das condições no vale do Nilo.

7. Talvez eu tenha exagerado a diferença entre a teologia da média dos físicos e a teologia da média dos naturalistas. Na realidade, houve alguns físicos que podiam muito bem ser classificados "teólogos naturais". Com efeito, alguns deles (o próprio Newton) chegaram aô ponto de postular que o Senhor intervinha no curso do mundo, sempre que não estivesse satisfeito com o desempenho das suas leis. Todavia, não resta dúvida que existia uma diferença fundamental entre a atitude do físico e a do naturalista.
8. A literatura sobre a teologia natural é vasta. Veja, por exemplo, Gillispie (1951), Hooykaas (1959), McPerson (1972).
9. Além de Hooykaas (1959), Rudwick (1972), Wilson (1972) e Bowler (1976), consulte também Cannon (1961), Simpson (1970) e Rudwick (1971). Esses autores trazem numerosas outras referências a publicações sobre o assunto.
10. A invalidade da tese de Huxley foi apontada pela primeira vez por Hooykaas (em 1959 e antes disso), e confirmada por Cannon (1960) e por virtualmente todos os que posteriormente escreveram sobre o assunto (inclusive Rudwick, Bartholomew e Ospovat).
11. Sobre o criacionismo de Lyell, veja K. Lyell (1881), Lovejoy (1959a: 356-414), Cannon (1961), Wilson (1970), Mayr (1972: 981-989), Bartholomew (1973), Ruse (1975), Ospovat (1977).
12. Millhauser (1959), Lovejoy (1959a) Hodge (1972), Gillispie (1951), Ruse (1979a: 98-116).
13. Para a discussão desse assunto, veja Hofstadter (1959), Medawar (1969: 45-67), Freeman (1974), Nichols (1974).
14. Resumido em Weismann (1893; 1895), e Freeman (1974).
15. Para o evolucionismo de von Baer, consulte também Holmes (1974), Oppenheimer (1959: 292-322) e Raikov (1968).
16. Potonié (1890), Kohlbrugge (1915), Uhlmann (1923), Schindewolf (1941), Temkin (1959: 323-355). Numa carta a Cuvier, de 8 de março de 1801, Kielmeyer manifestou a idéia de que muitas espécies recentes eram descendentes modificadas das espécies fósseis (Kohlbrugge, 1912: 291-295). Em 1850, na segunda edição do *Die Pflanze,* Schleiden admitiu a evolução, o mesmo fazendo também H. P. D. Reichenbach, em 1854.

Charles Darwin

1. À exceção possível de Freud, não há outro cientista sobre o qual se escreveu tanto, e ainda se continua escrevendo, do que sobre Darwin. Anualmente, novos artigos e livros aparecem em quantidade. Há duas bibliografias recentes: a de Loewenberg (1965) e a de Greene (1975). Desses livros, um dos melhores é o de Ruse (1979a), sendo um guia confiável na literatura darwiniana. Foi o primeiro estudo abrangente de Darwin a fazer uso do imenso

material manuscrito (na biblioteca da Universidade de Cambridge), que se tomou disponível a partir de 1959. Igualmente boa é também a obra, um pouco mais especializada, *Darwin on Man*, de Gruber (1974). Os estudos mais antigos, de Irvine (1955) e de Eiseley (1958), são ultrapassados; alguns outros, particularmente o de Himmelfarb (1959; veja o comentário de Anthony West no *The New Yorker,* de 10 de outubro de 1959, pp. 176-189; também o *Scientific American,* 1959), são muito unilaterais para serem de utilidade.

O manuscrito do "livro das espécies" de Darwin, que permanecia inédito, foi publicado em 1975, sob o título *Natural Selection*, graças aos dedicados esforços de R. C. Stauffer. Uma versão não-expurgada da autobiografia de Darwin foi dada a lume recentemente (Darwin, 1958). A primeira edição do *Origin* está hoje disponível em edição fac-símile de baixo custo (Darwin, 1964), Os *Notebooks on Transmutation* de Darwin foram publicados por de Beer (1960-67), tendo o mesmo também escrito uma agradável biografia de Darwin (1963). Transcrições de outros cadernos de notas foram publicadas por Barrett (1974) e por Herbert (1980). Os melhores estudos sobre o método de Darwin são os de Ghiselin (1969), Gruber (1974), Ruse (1979 e antes disso) e de Hodge (em preparação). O meio intelectual de 1859 vem muito bem descrito no estudo dos comentários críticos sobre o *Origin* (Hull, 1973).

2. O relatório pessoal de Darwin (1839; 1845, 2ª edição) sobre as suas observações na viagem do *Beagle* constitui um dos mais deliciosos e excitantes diários de viagem que existem. Toda observação que faz incita-o a perguntas desafiadoras. Ainda hoje em dia, o *Journal of Researches* é de uma leitura fascinante. Veja também Darwin (1958: 71-82), Moorhead (1969), Keynes (1978).
3. Sobre amadurecimento de Darwin como naturalista e seu alto nível de profissionalismo quando de retorno da viagem do *Beagle,* veja Herbert (1974-77).
4. Francis Darwin (1887), usualmente citado como *L. L. D.;* Darwin e Seward (1903), usualmente citado como *M. L. D.* Uma edição completa da correspondência de Darwin, que compreenderá uns dez volumes, encontra-se em preparação (Smith e Burkhardt, eds.).
5. Sua autobiografia é a fonte mais direta de que dispomos em relação às suas crenças religiosas (pp. 85-95), mas sobre esse assunto ela é tão pouco confiável como sob muitos outros respeitos. Darwin a escreveu pensando no bem da sua família, especialmente sua esposa Emma, profundamente religiosa. Não há surpresa, portanto, no fato de que Darwin tenha sido muito cauteloso na forma de relatar sua perda da fé. A afirmação de que ele possa ainda ter sido um teísta, à ocasião da feitura do *Origin,* parece não ser digna de crédito. A melhor exposição moderna dos pontos de vista religiosos de Darwin é a de Gillispie (1979), embora pessoalmente eu considere, muito mais do que Gillispie, que a escolha circunspecta das palavra se deva principalmente à sua prudência e consideração para com os amigos e familiares. Veja também Gruber (1974) e Ospovat (1980).
6. Quanto às idéias de Lyell sobre espécie, especiação e evolução, sob o aspecto de uma relação com o desenvolvimento das idéias de Darwin, veja Lyell (1881,1: 467-469), Cannon (1961), Coleman (1962), Rudwick (1970), Mayr (1972b), Bartholomew (1973), Wilson (1972), Bowler, (1970), Ospovat (1977), Hodge (1982?).

Os historiadores britânicos tenderam a atribuir a Lyell a introdução dos fatores ecológicos na explicação da evolução. Isso pode ser válido no que se refere à literatura

britânica. Mas as questões ecológicas desempenharam um grande papel, não apenas nos escritos de Buffon e Lineu, mas também nos de muitos outros autores do continente, como Palias, Blumenbach, os Forsters, E. A. W. Zimmermann, Willdenow, von Humboldt, de Candolle, von Buch, e outros. Faz muita falta um estudo comparado desses escritos, conquanto um excelente começo tenha sido realizado por Hofsten (1916), em relação ao problema da descontinuidade.

7. Para uma análise das mudanças no pensamento de Darwin, veja Gruber (1974), Herbert (1974), Kohn (1981), Sulloway (em preparação) e Hodge (em preparação).
8. Minha exposição sobre Darwin e as Galápagos baseia-se grandemente nas pesquisas originais de F. Sulloway, contidas num manuscrito inédito (1970), "Geographic isolation in Darwin's Thinking: a developmental study of the growth of an idea"; Sulloway (1979); e Sulloway (ms.) "Darwin's Genius", dedicado ao desenvolvimento das idéias de Darwin.
9. Para uma análise das idéias de Darwin sobre a especiação, veja Mayr (1959b), Herbert (1974), Kottler (1978) e particularmente Sulloway (1979), em que as mudanças no pensamento de Darwin são bem documentadas. Para uma ulterior discussão das dificuldades de Darwin com o papel do isolamento na especiação, veja Vorzimmer (1970: 159185).
10. Darwin havia escrito três primeiros esboços das suas idéias. A data daquele que teria sido o primeiro é incerta, talvez 1839 (Vorzimmer, 1975), talvez mais tarde. Em julho de 1842, ele escreveu um esboço de 35 páginas manuscritas, e no verão de 1844 um ensaio de 189 páginas (231 páginas depois de passado a limpo). Tanto o esboço como o ensaio foram publicados por F. Darwin, em 1909, e republicados por de Beer (Darwin e Wallace, 1958).
11. Listas extensas das publicações de Wallace são fornecidas por Marchant (1916) e McKinney (1972). Este último dá uma excelente apresentação do pensamento de Wallace e uma reconstrução histórica de como ele chegou às suas idéias.
12. Wallace gastava todo centavo na compra de livros para a sua biblioteca pessoal, e leu todos os livros disponíveis das bibliotecas públicas. Ele lembra Harry Truman, que dizia ter lido todos os três mil volumes das bibliotecas locais, com a idade de treze anos.

A evidência de Darwin para a evolução e descendência comum

1. A história da geologia e da paleontologia, em relação à evolução, foi magnificamente tratada em diversos livros recentes, como por exemplo Rudwick (1972) e Bowler (1976). Visto que o meu próprio tratamento desse excitante período é lamentavelmente curto, remeto a esses excelentes volumes. Mas veja também Gillispie (1951), Schneer (1969) e a literatura que cito no Capítulo 7, nº 9. Sobre a conversão de Pictet ao evolucionismo, veja Hull (1973).
2. No *Origin,* Darwin explanou numerosos fenômenos que se revelavam coerentes com a teoria da descendência comum, mas que eram inexplicáveis ou caprichosos sob o conceito da criação especial; veja, por exemplo, as pp. 4, 55, 59, 95, 129, 133, 139, 152, 155, 159, 167, 188, 194, 203, 355, 372, 390, 394, 396, 398,406,411-458,469, 473,478,482, 488. Veja também Gillispie (1979).
3. Para uma apresentação mais detalhada da teoria de Darwin sobre a classificação, veja o Capítulo 4.

4. O belo estudo de M. Winsor (1976) lança muita luz sobre o período crucial de 1800 a 1850, mas essa análise deveria ser es; tendida às obras de muitos outros taxionomistas franceses, alemães e britânicos, particularmente entomologistas e zoólogos dos vertebrados.
5. Existe uma soberba história dos começos da biogeografia, por Hofsten (1916). Ela trata particularmente do período pré-darwiniano e da explicação da descontinuidade da distribuição.
6. Sobre o desenvolvimento do pensamento de de Candolle, veja Asa Cray (1863) e Hofsten (1916).
7. Para discussões sobre a biogeografia de Darwin, veja particularmente Darlington (1959), Egerton (1968) e Ghiselin (1969).
8. A história da biogeografia pós-darwiniana apóia-se de tal maneira em Darwin, como aprofundamento das suas idéias pioneiras, que melhor seria tratá-la como continuação direta da própria biogeografia darwiniana. Com efeito, os conceitos dos principais biogeográfos da atualidade são notavelmente semelhantes aos de Darwin (exceto, evidentemente, em relação às placas tectônicas, que lhe eram desconhecidas). Existem muitos textos modernos sobre biogeografia. A obra de referência, anterior, porém, à descoberta das placas tectônicas, é a de Darlington (1957). Os seguintes títulos recentes dão acesso a uma vasta literatura biogeográfica: Schmidt (1955), Elton (1958), de Lattin (1967), Udvardy (1969), Carlquist (1974), Müller (1980). Veja também o nº 11, a seguir.
9. Nos anos 1930 e 1940, em uma série de análises, Mayr demonstrou a invalidade de afirmações anteriores no sentido de que a distribuição dos pássaros do arquipélago indo-australiano tinha ocorrido via pontes continentais. Em vez disso, os padrões da distribuição são inteiramente coerentes com a hipótese de uma dispersão transoceânica. Isso foi documentado em artigos publicados de 1931 a 1965, nos quais se introduziram muitas inovações metodológicas. Referências a essas publicações, bem como a reimpressão da maioria delas, podem ser encontradas em Mayr (1976). Entre elas, as duas mais importantes para a metodologia das análises de pontes terrestres são Mayr (1941; 1944a). Uma boa introdução às contribuições maciças, para biogeografia, de Simpson é proporcionada por duas das suas publicações-resumo (Simpson, 1965; 1980).
10. Dos anos 1890 a 1940, a biogeografia era completamente dominada pela hipótese das pontes terrestres. E o que refletem as grandes obras da época: Arldt (1907); Scharff (1907; 1912); Gadow (1913); e, entre os botânicos, Skottsberg (1956). Mesmo um autor tão perspicaz como Rensch (1936) aceitava sem discussão que todos os modos de distribuição no arquipélago malaio se explicavam pela ocorrência de pontes terrestres.
11. Para os diversos pontos de vista sobre a dispersão das plantas, além de Carlquist, veja também Guppy (1906), Ridley (1930), Gulick (1932), Skottsberg (1956), Gressitt (1963), Baker e Stebbins (1965).
12. Takeuchi, Uyeda e Kanamori (1970), Hallam (1973), Wilson, Uyeda (1978).
13. Croizat (1958; 1964), Croizat, Nelson e Rosen (1974), e Nelson e Rosen (1980).

14. Cody e Diamond (1975). MacArthur e Wilson (1967).
15. Provavelmente, não existe outro ramo da biologia em que possamos dispor de uma tão soberba história da morfologia: a obra de Russell (1916), não superada até hoje, sendo notável pela sua análise genuína das fontes primárias. Veja também Cole (1944), Simpson (1959) e Gould (1970). Também *Amer. Zool.* 15: 294-481. A anatomia é bem coberta por Nordenskiöld (1928); veja também Singer (1926).
16. Existe uma enorme literatura sobre Goethe, acrítica na sua maior parte. Veja Russel (1916), Troll (1926), Bráuning-Oktavio (1956), Wells (1967), Nisbet (1972), Eyde (1975).
17. Entre os morfologistas do século XX, que promoveram a morfologia, contam-se Naef (1919, 1931), Meyer (1926), Lubosch (1931), Kálin (1941) e Zangerl (1948); entre os botânicos, Troll.
18. Para a morfologia de Cuvier, veja Russell (1916), Daudin (1926) e Coleman (1964).
19. O melhor estudo de Geoffroy ainda é o de Russell (1916: 52-58). Uma interpretação um tanto diferente, recorrendo a fontes inéditas, é dada por Bourdier (1969). Veja também Cahn (1962), Buffetaut (1979).
20. Muitas vezes se disse que o debate entre Geoffroy e Cuvier era um debate entre um evolucionista e um antievolucionista, o que é totalmente falso (Lubosch, 1918: 357; Piveteau, 1950; Coleman, 1964; Bourdier, 1969). O problema da evolução só estava envolvido incidentalmente. Tratava-se simplesmente de um debate entre interpretações diferentes da estrutura animal e sobre os efeitos da função sobre a estrutura. Tratava-se, se assim quisermos exprimir, primeiramente de um debate sobre a metodologia da anatomia comparada, e secundariamente sobre a filosofia da natureza.
21. Veja Owen (1848), Russell (1916: 102-112), Ruse (1979a: 116127,133-137, 227-228), MacLeod (1965).
22. Para a discussão sobre o tipo de evidência útil para comprovar ou refutar a inferência da homologia, veja Remane (1952), Simpson (1961) e Bock (1979).
23. Nada ilustra melhor as dificuldades de consignar a morfologia a uma área particular da biologia do que a falta de comunicação entre as suas diversas correntes. Havia os morfologistas poligenéticos, como Gegenbaur, Haeckel e Huwley (até Remane e Romer); havia uma forte herança de morfologia idealística (Naef, Kälin, Lubosch); e havia os morfologistas evolutivos (Böker, D. Davis, Bock, von Wahlert). Havia também algumas escolas nacionais, sendo a mais influente delas a de Severtsov e Schmalhausen, na USSR (veja Adams, 1980b). Mencionem-se ainda as várias escolas que tratavam das causas próximas, como a de His e da *Entwicklungsmechanik,* de Roux a Harrison e Spemann, ou a dos funcionalistas "idealistas", como d'Arcy Thompson (Davis, 1955).
24. A literatura de referência nessa área são duas publicações de Davis (1960; 1964); outras contribuições podem ser encontradas em Bock (1959), Bock e von Wahlert (1965) e Frazetta (1975).
25. Grande parte da história é excelentemente analisada em Russell (1916). O tratamento mais atualizado dos aspectos evolutivos da embriologia encontra-se em Gould (1977). Veja também von Baer (1828), de Beer (1940; 1951), Lovejoy (1959a), Oppenheimer

(1959), Coleman, Ospovat (1976). Em relação a Meckel, Serrès, Agassiz, Haeckel e outros, veja Gould (1977).

26. A história fascinante da descoberta da corda dorsal, em vários grupos de cordados, vem bem apresentada por Arzt (1955).
27. Os manuais mais antigos sobre a evolução (também alguns recentes) concentravam-se na listagem das provas da evolução, como por exemplo Plate (1925) e Moody (1962). Os livros-texto mais recentes concentram-se principalmente nos problemas das causas e dos mecanismos da evolução.

A causa da evolução: a seleção natural

1. Darwin era um leitor onívoro, não só de assuntos de geologia e de história natural, mas também de filosofia e de livros de cultura geral. É evidente que tais leituras devem ter contribuído para a formação das suas idéias; por isso, a justo título, diversos autores recentes analisaram as leituras de Darwin: Gruber (1974), Schweber (1977), Ruse (1979), Manier (1978) e Kohn (1981). Os diários de Darwin indicam, além das suas outras atividades, a quantidade das suas leituras semanais, e deixam transparecer com clareza que alguns livros eram por ele apenas olhados por cima, à procura de uma informação específica. Schweber é de opinião que a leitura dos comentários de Brewster sobre Comte e dos escritos de Quetelet foi de especial importância; Ruse, por seu lado, considera que decisiva foi a leitura da Herschel e Whewell. Tudo isso conferiu a Darwin uma "mente preparada", mas a excitação refletida na sua anotação de caderno de 28 de setembro de 1838, bem como as expressões bem definidas da sua autobiografia (p. 120) para mim indicam que a leitura da sentença de Malthus exerceu um impacto decisivo no seu pensamento.
2. Existe uma vasta literatura sobre a natureza da revolução darwiniana e sobre a origem e o desenvolvimento da teoria da seleção natural de Darwin. As publicações recentes mais importantes são as seguintes: Limoges (1970), Herbert (1971; 1974; 1977), Greene (1971), Mayr (1972b; 1977a), Gruber e Barrett (1974), Schweber (1977), Ruse (1979a), Ospovat (1979), Kohn (1981), Hodge (em preparação). Embora exista vasto consenso entre esses autores, permanecem ainda alguns aspectos não resolvidos, a maioria deles questões de ênfase. Entre elas: (1) Teria a interpretação de Darwin sobre a luta pela existência mudado lentamente, de 1836 a setembro de 1838, do conceito benigno da teologia natural para a luta feroz malthusiana, ou teria isso ocorrido subitamente em 28 de setembro de 1838? (2) O forte acento de Darwin sobre a unicidade genética do indivíduo teria como base exclusiva as experiências dos criadores e dos taxionomistas, ou teria sofrido também a influência dos filósofos escoceses? (3) De modo mais geral, em que medida Darwin realmente colhia idéias novas dos filósofos, e em que medida ele simplesmente revestia as suas idéias da linguagem filosófica então em vigor (particularmente a de Herschel e Whewell), no intuito de conferir-lhes maior respeitabilidade?
3. A partir das suas observações pessoais na América do Sul, e das suas leituras, Darwin se deu conta de que as populações naturais das espécies podem estar sujeitas a

enormes flutuações. Uma seca nos Pampas, por exemplo, matou milhões de cabeças de gado. Observações desse tipo trouxeram para Darwin a certeza da aptidão superior dos poucos sobreviventes, e reforçavam a ênfase de Lyell sobre a competição, na luta pela existência. Para as numerosas referências relativas ao tamanho variável das populações, à competição e à sobrevivência, nos cadernos e nas cartas de Darwin, veja Egerton (1968); muitas coisas encontram-se também em Stauffer (1975). A melhor exposição sobre as alterações históricas no equilíbrio do conceito de natureza encontra-se em Egerton (1973). Veja também Stauffer (1960), sobre a influência de Lineu sobre Darwin.

4. Diversos autores, de maneira mais ou menos independente, reconheceram a importância da passagem de Darwin de uma competição entre as espécies para uma competição entre os indivíduos: Vorzimmer (1969), Herbert (1971), Ghiselin (1969; 1971-72). A doutrina darwiniana de que a luta pela existência é uma competição pela *reprodução* entre os indivíduos infelizmente não foi bem entendida pela maioria daqueles que depois manipularam a seu talante a luta pela existência, particularmente os racistas e os adeptos do assim chamado darwinismo social (ou, mais corretamente, spencerianismo social). Isso é válido, por exemplo, para a maioria dos autores citados por Greene (1977); mas, ocasionalmente, o próprio Darwin se exprimia de uma maneira ambígua (Greene, 1981).
5. Por exemplo, Young (1969; 1971); mas veja também Freeman (1974).
6. Mais espantoso ainda, como se verá mais adiante, é que já havia duas outras pessoas que tinham avançado a teoria da seleção natural (1818, 1831), anteriormente a Darwin e Wallace. Todas elas, em todo caso, tinham mais coisas em comum do que apenas a concordância nas idéias. Todos eles eram britânicos, e pelo menos três deles haviam lido Malthus, e todos eles eram influenciados pelo mesmo *Zeitgeist*. Permanece a pergunta, no entanto, por que só tão poucos foram influenciados por esse espírito.
7. Infelizmente, todos os relatos do próprio Wallace de como ele chegou ao pensamento da seleção natural foram escritos quarenta ou cinquenta anos depois, quando metáforas, como a sobrevivência dos mais aptos, já estavam impressas na mente de todas as pessoas. Por isso, não podemos afirmar com total certeza a maneira como as diversas peças do modelo explicativo de Wallace se juntaram em 1858. Veja também Smith (1972).
8. Veja, por exemplo, Darlington (1959). O próprio Darwin referiu-se aos seus reais ou supostos precursores, num apanhado histórico inserido no *Origin,* a partir da terceira edição. A maioria dos casos citados por Zirkle (1941), como proposições anteriores da seleção natural, incide, em todo caso, na categoria da "eliminação" (veja anteriormente). Para excertos dos escritos de Wells, Matthew, Blyth e Chambers, veja McKinney (1971).
9. Lyell relata que ele foi acusado por "críticos alemães" (aparentemente, referia-se a Bronn) de haver invocado "a intervenção direta miraculosa da Causa Primeira para cada introdução de uma nova espécie, e de haver portanto negado a [sua] própria doutrina [uniformitarista] das populações, baseada num sistema ordinário de causas secundárias", onde insistia em que, de conformidade com Herschel, essa criação de

novas espécies "deveria produzir-se pela intervenção das causas secundárias". Mas quando ele descreve sob que circunstâncias isso ocorreria, invoca a mais crassa das criações especiais miraculosas, que ele mesmo mais tarde chamou "hipótese da intervenção perpétua". Tal hipótese, segundo ele, dar-nos-ia uma idéia "dos atributos da Mente Dirigente". Isso nos permite imaginar "as circunstâncias que devem ser contempladas e pré-conhecidas, antes que possa ser decidido quais os poderes e quais as qualidades que uma nova espécie deve possuir, para capacitá-la a subsistir por um tempo determinado, e cumprir, assim, a sua função em relação a todos os outros seres, destinados a conviver com ela, antes que ela desapareça. Seria necessário, talvez, poder ter conhecimento do número dos representantes que cada nova espécie deveria atingir, em uma determinada região, daí a dez mil anos, etc. etc. (Lyell: 1881: 467-469). Todos os aspectos de cada nova espécie são "pré-ordenados", "predeterminados", "acertados". Não se concebe aí nenhuma causa secundária ou intermediária que pudesse realizar isso. As idéias de Lyell, malgrado as suas afirmações em contrário, caracterizam um perfeito criacionismo (veja também Cannon, 1961; Mayr, 1972b).

10. Esse assunto foi muito bem coberto por numerosos estudos, sendo mencionado em todas as históricas do evolucionismo.
11. Existe ainda grande incerteza quanto à natureza das revoluções científicas. Todas elas têm algo em comum, a saber, o fato de que depois delas as coisas não são mais o que eram antes. Em muitos outros aspectos, cada revolução é única. Greene (1971) e Mayr (1972b) mostraram como a revolução darwiniana se afasta da descrição das revoluções científicas dada por Kuhn. Por exemplo, não houve uma crise de situação nos anos 1850; não houve a substituição de um paradigma por outro; e cerca de duzentos anos transcorreram entre o começo da revolução darwiniana (Buffon, 1749) e o seu desfecho (a síntese evolucionista de 1947), muito embora tenha havido um clímax na metade do seu curso (1859).
12. Os escritos de Poulton (1896), Kellogg (1907), Delage e Goldsmith (1912), Plate (1913) e Tschulok (1922) oferecem excelentes introduções para as controvérsias sobre a seleção natural.
13. Para discussões mais detalhadas sobre as mudanças que se operaram nos conceitos metafísicos em função da teoria da seleção natural, veja também Passmore (1959), Bowler (1977b), Ruse (1979a) e Gillespie (1979).
14. Para uma discussão completa do problema da teleologia, veja o Capítulo 2.
15. Para resenhas sobre a genética do mometismo, com referência à vasta literatura conexa, veja Ford (1964: 201-246) e Tumer (1971; 1977). Grande parte da análise genética foi realizada por P. M. Sheppard e C. A. Clarke. Mais literatura ainda sobre o mimetismo pode ser encontrada em Wickler (1968) e Blaisdell (1976).
16. O termo "neolamarckismo" foi proposto por A. S. Packard em 1884. Veja também Cope (1887; 1896), Kellogg (1907), Pfeifer (1965), Boesiger (1980), Bowler (1977a), Dexter (1979) e Burkhardt (1980).
17. A falta de espaço fez-me resistir à tentação de dar um tratamento mais extenso à fascinante história da teoria (ou melhor, das "teorias") da ortogênese. Para ulteriores

leituras, veja Nägeli (1865; 1884), von Baer (1876), Eimer (1888), Kellogg (1907), Ospovat (1978) e Bowler (1979).

18. Acredito que C. O. Whitman (1919,1: 9-11) tenha sido o primeiro a reconhecer claramente a importância dos embaraços do desenvolvimento e da variação. Quando publicada, esta obra não se encaixava no pensamento atomista ("saco-de-feijão") dos mendelianos, e foi ignorada (veja também Mayr, 1963; Bowler, 1979: 68).
19. Para uma ulterior discussão do progresso evolucionário, veja Ayala (1974), Huxley (1942), Goudge (1961), Mandelbaum (1971), Simpson (1974) e Thoday (1975).
20. Para as interpretações neodarwinianas das tendências evolutivas, veja Franz (1920; 1935), Huxley (1942), Simpson (1949), Rensch (1960) e Stebbins (1969; 1974).

A diversidade e a síntese do pensamento evolucionista

1. Excelente relato da aceitação de Darwin na Alemanha é o de Montgomery (1974); veja também Mullen (1964), Quemer (1975), Stresemann (1975), Gregory (1977), Mayr e Provine (1980).
2. Poulton (1896), Vorzimmer (1970), Hodge (1974).
3. Haller (1963), Pfeifer (1974), Cravens (1978). Para o impacto do darwinismo na vida intelectual da América, veja Wilson (1967) e Russett (1976).
4. É preciso mencionar aqui, para sermos completos, um movimento do pensamento popular e da teoria social que se usou chamar darwinismo social. Na realidade, foi Herbert Spencer o pai intelectual desse conceito, e melhor seria chamá-lo spencerianismo social. Ele preconizava a luta pela existência, a competição sem recompensa e os declínios sociais, alegando que esse era o pensamento de Darwin. Infelizmente, a historiografia desse assunto é tão deformada quanto o próprio movimento. Tendo em vista que o darwinismo social não faz parte da história das idéias na biologia, não seria aqui o lugar de discuti-lo em detalhe. Devo, todavia, referir a literatura mais importante. Veja, particularmente na América, Hofstadter (1944), Freeman (1974), Greene (1977; 1981), Bannister (1979).
5. Farley (1974), R. E. Stebbins (1974), Conry (1974), Limoges (1976), Durand (1978) e Boesiger (1980).
6. Para os escritos evolucionistas mais importantes de Weismann, veja Weismann (1883; 1886; 1892) e Gaupp (1917). Weismann já havia postulado, numa publicação anterior (1868: 27), que a constituição genética de um organismo deve exercer uma influência restritiva da sua capacidade de variação.
7. A exposição original de Darlington (1932) ainda era muito tipológica. Preocupava-se quase exclusivamente com os mecanismos, não formulando nunca questões evolucionistas (os "porquês"?).
8. Veja também Allen (1979), onde as diferenças entre os dois campos vêm bem descritas. Entretanto, Allen tende a ser um pouco vago quanto às relações entre mutacionismo e hereditariedade particularizada (mendeliana). Mais autores do que ele pensava opunham-se ao mutacionismo, mas aceitavam a hereditariedade mendeliana para os caracteres descontínuos (Mayr e Provine, 1980).

9. Bateson jamais vacilou na sua insistência de que toda mudança evolutivamente significativa é devida ao aparecimento de descontinuidades importantes. Ele reafirmou isso em 1913, na sua conferência de Melboume em 1914, e na sua conferência de Toronto em 1922. Ele diz, por exemplo:

> A pesquisa moderna não encoraja minimamente, nem sanciona, a idéia de que a evolução gradual aconteceria pela transformação de massas de indivíduos, muito embora tal fantasia se tenha fixado na imaginação popular (1914: 18).

Ninguém discordava dele mais vigorosamente do que Poulton (1908a).

10. Allen (1969), Bowler (1978). Minha interpretação pessoal, com o seu acento no pensamento tipológico de de Vries, mais do que na sua repulsa ao darwinismo social, se aproxima bem mais de Allen que de Bowler. Para a genética do *Oenothera*, veja Cleland (1972).
11. Diversos apanhados sobre a genética evolucionista são hoje disponíveis: Peters (1959), Spiess (1962), Jameson (1977).
12. Provine (1971), Cock (1973), Norton (1973), de Marraise (1974).
13. Gloger (1833). A despeito do seu interesse pela variação, Gloger não era de forma alguma um evolucionista. Ele considerava as variedades geográficas como sendo da mesma natureza – como as diferenças de idade e de sexo. E desde que estas últimas não levam à formação de novas espécies, "não podem se originar espécies climáticas, mas tão somente variedades" (p. 106). Pela reversão das condições climáticas, as raças climáticas, "dentro de uns poucos anos", voltariam à sua condição primitiva (p. 107).
14. Para a literatura sobre o papel do isolamento, veja Mayr (1942; 1955; 1963), Lesch (1975), Stresemann (1975) e Sulloway (1979). Esses autores trazem referências à literatura original de Wagner, Romanes, Gulick, Wallace, Seebohm, K. Jordan, D. S. Jordan, J. Grinnell, e outros protagonistas da controvérsia.

Desenvolvimentos pós-síntese

1. Entre os manuais recentes, devem ser mencionados os de Nei, Grant (1977), Dobzhansky, Ayala, Stebbins e Valentine (1977), e Futuyama (1979).
2. É muito interessante observar que, desde o começo do seu trabalho sobre genética na Rússia (1922) até 1936, Dobzhansky ocupava-se com problemas da atuação do gene (pleiotropia, efeito de posição, causas da esterilidade, e outros), e isso mesmo após ter iniciado a leitura dos artigos de Sewall Wright e de ter começado a trabalhar com a *Drosophila pseudoobscura.* Sua redescoberta da evolução das populações (da qual estava plenamente convencido durante suas pesquisas sobre os coccinelídeos na Rússia) foi devida às suas coleções de *Drosophila pseudoobscura,* às suas pesquisas bibliográficas enquanto escrevia o *Genetics and the Origin of Species,* e às conversações com naturalistas quando da sua estadia no Ocidente, em 1936.
3. O método da eletroforese de gel de amido foi desenvolvido por Oliver Smithies (1955). C. L. Markert combinou-o com técnicas de coloração histoquímicas, para

resolver e identificar formas isozímicas das enzimas. Para uma cobertura do assunto, veja Markert (1975).

4. Para uma discussão mais detalhada do pensamento de Darwin sobre a geração espontânea e sobre a origem da vida, consulte Gruber (1974: 151-156).
5. Existe uma vasta literatura sobre a origem da vida, sendo anualmente publicados novos volumes e artigos em revistas. Uma excelente introdução (mas não a última palavra em todos os aspectos) é a de Miller e Orgel (1974). Veja também Eigen e Schuster (1977-78), e a tradução inglesa da obra de Oparin (1938). Até hoje, nenhuma das várias teorias sobre o início da vida foi universalmente aceita. Algumas delas são discutidas em Fox e Dose (1977) e Dickerson (1978). Veja também Monod (1974a). Para a geração espontânea, consulte Farley (1977).
6. Há uma vasta literatura sobre a evolução não-darwiniana. Uma posição de neutralidade encontra-se em Kimura e Ohta (1971) e Nei (1975). Uma ênfase no selecionismo encontra-se em Dobzhansky *et alii* (1977), Clarke (1976), e em várias contribuições de Ayala (1976) e de Salzano (1975). Veja também Lewontin (1974).
7. A questão sobre em que medida o dimorfismo sexual é o resultado da seleção sexual, e em que medida resultado da seleção natural, é assunto que se discute desde os tempos de Darwin. Darwin e Wallace tinham posições totalmente diferentes sobre esse ponto, como exposto por Kellogg (1907: 106-128), Mayr (1972c), Blaisdell (1976) e Kottler (1980). Veja também Turner (1978), West-Eberhard (1979), Hamilton e Barth (1962), e Endler (1978). O grau e o tipo do dimorfismo sexual são o produto final do compromisso entre muitas pressões seletivas parcialmente opostas. Cada caso é potencialmente diferente de qualquer outro.
8. O conceito clássico da seleção sexual limitava-se a um sucesso reprodutivo estreitamente definido. Estudos recentes mostram que qualquer traço comportamental, que leva a uma sobrevivência melhorada ou a um sucesso reprodutivo, pode ser selecionado. Aí se incluem as interações genitores-descendentes, as rivalidades entre irmãos, e toda sorte de interações de indivíduos coespecíficos, aparentados ou não, sejam elas egoístas ou altruístas. Para uma introdução neste vasto assunto, consulte Alexander (1979) e Trivers (ms.). Para o significado evolutivo da competição Social, veja West-Eberhard (1979).
9. Hamilton (1964a, b), Williams (1975, Wilson (1975), Ghiselin (1974a), Smith (1978), Caplan (1978a), Ruse (1979b), Dawkins (1976), Gregory, Silvers e Dutch (1978), Barash (1979), Alexander (1979), Barlow e Silverberg (1980), Blum e Blum (1979).
10. Para uma bibliografia recente sobre a especiação simpátrica, veja também Futuyama e Mayer (1980), Paterson (1981) e Mayr (1982).
11. Segundo Templeton, essa interpretação modificada das revoluções genéticas requeriria a introdução de um termo novo (“transferência genética”). Entretanto, essa mudança de interpretação é muito menor do que aquela que existe entre a espécie de Lineu, o gene de Johannsen, a mutação de de Vries e os atuais conceitos designados por esses termos. Se a cada vez que se modificasse um conceito científico fosse introduzido um novo termo, perder-nos-íamos em terminologias. Além disso, Galton já havia forjado esse termo “transiliência”, para um salto maior junto a um indivíduo único.

12. As contribuições fundamentais para esse novo modo de pensar foram fornecidas por Walter Bock. De particular importância são as suas publicações sobre a função e o papel (Bock e von Wahlert, 1965), sobre a pré-adaptação e os caminhos múltiplos (1959), e sobre as sequências macroevolutivas (1970).
13. Veja Cowan (1977,1: 133-208), Haller (1963), Ludmerer (1972), Bajema (1977), Pickens (1968) e Searle (1976).

Parte III. A variação e sua hereditariedade

1. Existe uma enorme quantidade de livros sobre a história da genética. As mais abrangentes são: Barthelmess (1952), Brink (1967), Dunn (1951; 1965a), Stubbe (1965), Sturtevant (1965a). Qualquer um que venha a ler essas obras descobrirá o quanto sou devedor a esses autores.

Dois livros-texto apresentam de modo excelente as descobertas da genética, de um ponto de vista histórico. Eles são particularmente recomendáveis para um historiador que queira saber mais sobre a genética: trata-se de Moore (1963) e Whitehouse (1965).

Essa área também está muito bem suprida de livros-fonte, dos quais transcrevo apenas uma pequena lista: Krizenecky (1965), Moore (1972), Peters (1959), Stem e Sherwood (1966), Voeller (1968), Spiess (1962), Levine (1971), Taylor (1965).

Teorias primitivas e experimentos de cruzamento

1. Para uma resenha das idéias dos antigos sobre a hereditariedade e a geração, veja His (1870), Zirkle (1935; 1936; 1946; 1951), Balss (1936) e Lesky (1950). Também Hall (1969,1, 13-163).
2. Para maiores detalhes sobre os hibridadores de espécies e cultivadores de plantas, veja Roberts (1929), Olby (1966), Stubbe (1973). Tanto Roberts como Olby incluem uma excelente exposição da obra de Kölreuter.
3. Veja Roberts (1929: 129-136), Dunn (1965a: 30), Olby (1966: 6265, 167-170).
4. Tanto ele como outros, Darwin inclusive, obtiveram proporções 3/1, mas não as reconheceram como tais. Veja Dunn (1965b: 31), Roberts (1929: 276, 283) e Zirkle (1951).

Células germinais, veículos da hereditariedade

1. A história do estudo das células foi apresentada repetidas vezes e tão bem, que aqui não cabe mais do que um apanhado geral. Todo aquele que desejar um estudo mais detalhado deverá consultar as seguintes publicações: Backer, que publicou uma série particularmente valiosa de estudos (com bibliografia) sobre a história da citologia (1948-1955). Mas veja também Coleman (1965), Hughes (1959), Klein (1936), Maulitz (1971), Moore (1963), Pickstone (1973), com muitos detalhes, Studnicka (1931), Wilson (1896), o grande clássico! Essas obras contêm referências à literatura

clássica, como os escritos de Brown (1833), Schleiden (1838), Schwann (1839), Virchow (1858), e bem assim a outras obras publicadas de 1800 a 1900, que cito nas páginas seguintes.

Para uma história dos melhoramentos do microscópio e das técnicas microscópicas, veja Hughes (1959).

2. Baker (1948-1955), Berg (1942), Jacob (1973), Lindeboom (1970), Wilson (144).
3. É duvidoso que haja qualquer conexão entre o seu conceito de cristalização e o conceito de cristalização orgânica, muito em voga no século XVIII. Veja Coleman (1964: 161-162) e Maulitz (1971).
4. Para ulteriores detalhes sobre o sexo e a fertilização, veja Hughes (1959: 29-76), Barthelmess (1952: 97-121), Olby (1966: 86-100), Coleman (1965), Stubbe (1965: 194-207). Tanto quanto conheço a literatura, a melhor exposição sobre a descoberta da sexualidade das plantas continua sendo a de Sachs (1875); Camerarius, Kölreuter, Sprengel, seus precursores e adversários, bem como a descoberta da sexualidade e da fecundação dos criptógamos, serão abordados às pp. 359-444.
5. Ghiselin (1974a), G. W. Williams (1975), White (1978: 696-758), Maynard Smith (1976). Veja também Stebbins (1950) e Grant (1971), em relação às plantas.
6. Hughes (1959: 62-67). A literatura secundária sobre a história da citologia infelizmente padece de um viés nacional, de que é preciso resguardar-se. A exposição de Wilson talvez seja a mais imparcial (1896). Veja também Barthelmess (1952) e Klein (1936).
7. Os vários esquemas têm sido comentados detalhadamente por Strasburger (1884), Hertwig (1884), de Vries (1889), Weismann (1892), Delage (1895), Wilson (1896), e mais recentemente por Baker (19481955), Barthelmess (1952), Coleman (1965), Dunn (1965a: 33-49) e Geison (1969).
8. Entre as denominações de tais partículas podem ser mencionados os termos: unidades fisiológicas (Spencer, 1864), gêmulas (Darwin, 1868), micelas (Nägeli, 1884), idioblastos (Hertwig, 1884), pangenes (de Vries, 1889), bióforos (Weismann, 1892) e plastossomos (Wiesner, 1892). Veja também Hall (1969 II: 304-354).
9. Para maiores detalhes sobre os aspectos cromossômicos da hereditariedade, veja Coleman (1965: 145-154), Wilson (1896: 182), Voeller (1968), Barthelmess (1952: 103-219), Hughes (1959: 55-73), Moore (1972: 19-47). Voeller (1968), um excelente leitor, contém excertos mais ou menos extensos dos escritos de Kölreuter, Oskar Hertwig, Foi, Strasburger, Weismann, Flemming, Roux, Van Beneden, Morgan, Sturtevant, e outros.
10. Para descrições detalhadas da divisão celular (mitose), veja qualquer manual moderno de biologia ou de citologia. Quanto aos aspectos históricos, veja Wilson (1896; 1925), Hughes (1959: 55-73) e Coleman (1965: 129-133).
11. Coleman (1965: 145-154) dá uma excelente visão desses desenvolvimentos. Veja também Barthelmess (1952: 112-113), Voeller (1968: 21-39) e Wilson (1896: 182).
12. Não cheguei a identificar precisamente quem foi o primeiro a reconhecer uma substância genética em separado, e que esta se localizava no núcleo. Haeckel (1866), Galton (1876), Weismann (1883, e artigos posteriores), Nägeli (1884), Hertwig (1884) e Strasburger (1884), todos eles contribuíram para estabelecer essa noção.

13. Infelizmente, só poucas das brilhantes contribuições de Theodor Boveri (1862-1915) podem ser mencionadas (veja também o Capítulo 16). Sua vida e obras são relatadas de modo excelente por Baltzer (1962).

A natureza da hereditariedade

1. Para uma interpretação um tanto diferente, veja Bowler (1974a).
2. Exemplo típico é o horticultor francês Verlot (1865), cujas conclusões são bem descritas por Roberts (1929: 136-143). Idéias semelhantes são sustentadas por Romanes (1896: 267-268).
3. Para uma análise particularmente perspicaz, veja Geison (1969), embora ocasionalmente confunda hereditariedade tênue com hereditariedade de mistura. Veja também Zirkle (1946), Olby (1966), Ghiselin (1969: 181-186; 1975), Vorzimmer (1970). Para a história primitiva da teoria da pangênese, veja Lesky (1950).
4. Veja principalmente Olby (1966: 70-79), Pearson (1914-1930), Galton (1872; 1876), Cowan (1972).
5. Gaupp (1917; biografia completa de Weismann), Schleip (1934; análise das suas contribuições científicas), Churchill (1968; elaboração do pensamento de Weismann).
6. Depois que Weismann havia publicado a sua teoria da continuidade do plasma germinal, foi-lhe chamado à atenção que teorias semelhantes já tinham sido divulgadas anteriormente. Estas Weismann discute no seu *Keimplasma* (1892). À p. 260, ele menciona Owen (1849), Galton (1872; 1876), Jäger (1878) e Nussbaum (1880), como os alegados precursores. Existem poucas dúvidas de que Weismann não tinha conhecimento desses autores mais antigos, e que desenvolveu as suas idéias de modo independente. É preciso admitir que ninguém havia dado atenção a essas idéias, anteriormente à publicação do ensaio de Weismann sobre a continuidade do plasma germinal.
7. Ocasionalmente, um genótipo abandona a sexualidade, mas a assexualidade não é muito espalhada no reino animal. Evidentemente, a sexualidade deve possuir uma vantagem seletiva, conquanto o seu papel evolutivo permaneça um assunto controvertido (veja o Capítulo 13).
8. De Vries (1889), Heimans (1962), Darden (1976).
9. Mendel (1866). Veja Stem e Sherwood (1966; incluindo as cartas de Mendel a Nägeli), Krizenecky (1965; o artigo clássico de Mendel, em alemão, e uma coletânea de 27 artigos originais, publicados no período da redescoberta), Iltis (1932), Olby (1966), Gustafson (1969). Todas as páginas que remetem a Mendel referem-se ao original alemão. Sobre a influência de Unger sobre Mendel, veja Olby (1971). Os continuados resultados da pesquisa sobre Mendel são publicados no *Folia Mendeliana,* Bmo.
10. A compreensão de Mendel desses erros de amostragem (o que ele deveu presumivelmente aos seus professores de física de Viena) foi de capital importância. Nos seus cruzamentos mais limitados, ele se deparou com desvios da esperada proporção 3/1, indo de 32/1 a 14/1. Tais desvios induziram Nägeli e Weldon

(presumivelmente também outros adversários da hereditariedade mendeliana) a rejeitarem a intervenção de Mendel, por não haverem entendido a natureza estatística das flutuações (erros de amostragem).

11. Igualmente, Mendel não excluía a possibilidade de que, no caso dos híbridos de espécie, "*der hydride Embryo aus gleichartigen Zellen gebildet wird, in welchen die Differezen gänzlich und bleibend vermischt sind"* ("o embrião é formado por células '*geleichartige',* em que as diferenças estão misturadas de maneira completa e permanente"; 1866: 41).

O florescimento da genética mendeliana

1. Não posso dar mais do que um apanhado sucinto da história da genética após 1900. Barthelmess (1952), Dunn (1965a), Sturtevant (1965a), Carlson (1,966) e grande parte da bibliografia especializada mostraram que o progresso na compreensão dos genes, sua mutação e hereditariedade, foi menos linear do que apresentado aqui. As teorias não-ortodoxas, em particular algumas que foram propostas por Bateson, Castle e Goldschmidt, não serão discutidas, por falta de espaço, mesmo sendo elas de considerável interesse, por ilustrarem o peculiar aparato conceitual que induziu os seus autores a adotarem interpretações diferentes da do grupo de Morgan. Para ulteriores detalhes, é preciso consultar as mencionadas histórias da genética.

Uma vez firmado o campo da genética, a sua bibliografia cresceu a uma taxa exponencial, e ainda continua crescendo. Para a literatura sobre o mendelianismo dos primeiros anos, veja também Brink (1967), Dunn (1951), Krizenecky (1965) e Olby (1966). (Veja também uma visão geral em *Isis,* 59: 233-324; e o ensaio de Mayr, 1973.)

2. Para ulteriores detalhes sobre a redescoberta de Mendel, veja *Gene tics,* 35 (1950), supl. do nº 5, parte 2: 1-47. Também Krizenecky (1965), Olby (1966), Roberts (1929), Stem e Sherwood (1966), Stubbe (1965), Sturtevant (1965b) e Dunn (1966).
3. Veja Heimans (1962; 1978), Darden (1976) e Zirkle (1968).
4. Veja Cleland (1972), também Heimans (1978), Olby (1966), Zirkle (1968).
5. Veja Correns (1924), Stein (1950), Wettstein (1939) e o *Dictionary of Scientifc Biography,* III: 421-423.
6. Darlington (1939). Para o sistema genético das plantas, consulte Stebbins (1950) e Grant (1964).
7. Castle, um professor de zoologia em Harvard, introduzira a genética na América bem antes de T. H. Morgan. Castle e seus discípulos, Sewall Wright, C. C. Little e L. C. Dunn, foram particularmente atuantes na genética dos mamíferos. Veja Dunn (1965b), Provine (1971), Carlson (1966: 23-38; uma exposição bastante unilateral) e Castle (1951). Nascido em 1867, Castle tinha mais ou menos a mesma idade que Morgan (nascido em 1866). No entanto, durante longo tempo só teve dois estudantes diplomados, no período crucial de 1900 a 1910, porque Mark, professor de zoologia de Harvard, tinha o privilégio de se ocupar dos candidatos a pós-graduação. Para uma exposição da escola de Castle, veja Russell (1954).
8. Cuénot (1902; 1928); Limoges (1976).

9. Veja W. Bateson (1928), B. Bateson (1928), Coleman (1970) e Darden (1977).
10. Veja Ley (1968), Jacob (1973), Bateson (1894), Stubbe (1965) e Larson (1971: 99-104).
11. Veja Allen (1978), Muller (1946) e Sturtevant (1959).
12. Veja Allen (1975), Davenport (1941), Castle (1951) e Sturtevant (1959).
13. Veja Hughes (1959: 77-111), Wilson (1925) e Morgan (1903). Para uma coletânea de artigos clássicos sobre cromossomos e genética, veja a nota de rodapé nº 20, a seguir.
14. Veja Baxter (1976), Muller (1943; 1966), Wilson (1896) e RollHansen (1978b).
15. Para a diferença entre a teoria do cromossomo e a teoria do gene, veja também Darden (1980) e Darden e Maull (1977).
16. Baltzer (1962) e Gilbert (1978).
17. Veja McKusick (1960). Além de Sutton e Boveri, outros chegaram essencialmente às mesmas conclusões, nos anos 1902 a 1904: Correns (1902), de Vries (1903; 1910), e Cannon (1902). Veja também Wilson (1925), Baltzer (1962), Moore (1972).
18. Veja Allen (1966), Zirkle (1946a), e Harris e Edwards (1970).
19. Para uma visão moderna dos cromossomos sexuais dos animais, veja White (1973: 573-695).
20. Existem muitas coletâneas de artigos valiosos sobre os cromossomos, como, por exemplo, Voeller (1968), e Phillips e Bumham (1977).
21. Veja Muller (1973), Pontecorvo (1968) e Carlson (1972; 1966).
22. Doncaster e Raynor haviam descrito o primeiro caso de hereditariedade ligada ao sexo (na traça *Abraxas*), já em 1906.
23. Os processos que se verificam durante as duas divisões celulares que precedem a formação são muito complexos, e ainda permanecem alguns aspectos controvertidos. Não posso fornecer uma análise detalhada dos processos citológicos em si mesmos (consulte os livros de citologia), nem relatar a história tortuosa ao longo da qual os fatos foram corretamente estabelecidos. Para a história dos começos (até mais ou menos 1890), veja Churchill (1970). Para os desenvolvimentos posteriores, veja Whitehouse (1965) e Grell (1978) (sobre o caráter muito precoce da realização dos intercruzamentos durante a meiose).
24. Embora Mendel não tivesse encontrado qualquer ligação, não era necessário que os sete pares de caracteres fossem determinados por genes, ou por sete cromossomos diferentes. Tem-se hoje como provável que só estivessem envolvidos quatro ou cinco cromossomos. As distâncias de mapa eram suficientemente grandes para permitirem muitas recombinações, por intercruzamento ou por movimentos cromossômicos, a ponto de dissimilarem a "sintenia" (isto é, a localização no mesmo cromossomo). Veja Nowitski e Blixt (1978).
25. Veja White (1973), Grant (1964) e Stebbins (1971).
26. Para maiores detalhes, veja Goleman (1970), Roll-Hansen (1978b; uma boa análise, particularmente dos conceitos de Johannsen, embora eu considere bastante equivocado o uso que Roll-Hansen faz dos termos "reducionista" e "holístico"). Também Dunn (1965a), Carlson (1966) e Allen (1978).
27. Encontra-se um excelente resumo da citogenética clássica em Swanson (1957). Veja também Grant (1964), bem como simpósios recentes e a literatura dos periódicos.
28. O último resumo das pesquisas sobre a estrutura fina dos cromossomos eucariotos pode ser encontrado nas atas do Simpósio de Cold Spring Harbor, sobre a cromatina (1978).

As teorias do gene

1. Para uma bibliografia sobre essa controvérsia, veja Provine (1971), Froggatt e Nevin (1971), Norton (1973; 1975), Cock (1973), Provine (1979), Mayr e Provine (1980), de Marraise (1974) e Yule (1902).
2. Para uma discussão do conceito de Darwin sobre a mistura, veja Ghiselin (1969: 161-164, 173-180), Olby (1966: 55-70), Vorzimmer (1970: 28-38, 97-126), Kottler (1978: 288-291). Veja também Cowan (1972: 391-394) sobre a história do conceito de reversão.
3. Para uma análise detalhada, veja Churchill (1974). Veja também Roll-Hansen (1978a: 202-206).
4. Para uma ulterior análise, veja Churchill (1974: 5-30) e Whitehouse (1965: 23-25, 32-33).
5. Galton repetidas vezes alterou a formulação dessa lei, sendo ela depois ainda modificada por Karl Pearson, que adotou entusiasticamente a maioria das idéias de Galton. Para uma exposição detalhada da complicada história da lei de Galton, veja Provine (1971: 19-35, 179-187), Swinbume (1965), Cowan (1972), Pearson (1914-1930), Froggatt e Nevin (1971). Galton estabeleceu firmemente o conceito da "hereditariedade", como sendo aqueles traços de um indivíduo que são devidos à herança dos seus ancestrais, e não devidos a uma resposta adaptativa ao meio ambiente. A hereditariedade é a parte da "natureza", na famosa oposição natureza *versus* nutrição. Devido ao seu pensamento, Galton teve condições de desenvolver dois importantes conceitos novos da estatística, a regressão e a correlação. Mas, apesar disso, é curioso que ele não tenha chegado a entender a seleção natural.
6. Winkler (1924), Wettstein (1926) e Correns e Wettstein (1937) apresentam excelentes balanços sobre a evidência da hereditariedade citoplásmica. Neles se incluem as propriedades dos organelos citoplásmicos (plastídios, e outros), mas são discutidos também os fenômenos que podem ser atribuídos a genes reguladores ou a outros tipos de determinação genética, que não podiam ser reduzidos aos simples fatores mendelianos. Esses fenômenos são de particular importância na genética fisiológica. Já em 1926, Johannsen era de opinião que o estudo das quatrocentas mutações conhecidas da *Drosophila melanogaster* ainda não atingia o coração do genótipo dessa espécie. Num olhar retrospectivo, podemos dizer que ele não estava completamente errado. Summer, nos seus escritos anteriores a 1927, endossava vigorosamente a mesma idéia.

   Para exposições modernas da hereditariedade citoplásmica das plantas, veja Caspari (1948), Dunn (1951: 291-314), Michaelis (1954), Hagemann (1964), Sager (1972), Grant (1975: cap. 12) e Grun (1976).
7. A obra de MacDowell (1914) contribuiu para a aceitação da hereditariedade multifatorial.
8. Para um panorama do efeito de posição, veja Sturtevant (1965b).

A base química da hereditariedade

1. Veja Miescher (1897), Fruton (1972: 180-261), Portugal e Cohen (1977), e Olby (1968).

2. Veja, por exemplo, Hess (1970; contém diversas referências importantes), Watson (1968), Olby (1974), Sayre (1975) e Judson (1979).
3. Veja Fruton (1972), Olby (1974, cf. *Science*, 187, 1975: 827-830), e Portugal e Cohen (1977).
4. Veja Koltzoff (1928), Koftsov (1939), Timofeeff-Ressovsky, Zimmer e Delbrück (1935), Schrödinger (1944) e Olby (1971).
5. Hotchkiss (1965; 1966), Olby (1974), Dubos (1976), Caims, Stent e Watson (1966).
6. Brachet teve a luminosa idéia de procurar os corantes que pudessem distinguir claramente os dois tipos de ácido nucléico. Percorrendo a inexaurível literatura dos pesquisadores alemães das técnicas de coloração, ele deu com um artigo de Unna, onde encontrou o que procurava. Aplicando sistematicamente esses corantes a todos os tipos de tecidos – produtores ativos de proteínas-, ele chegou à conclusão de que o RNA estava envolvido nas sínteses proteínicas. Para um bom resumo dos desdobramentos nos anos 1930 e 1940, veja Brachet (1957).
7. Na Universidade Harvard, no ano do desassossego (1968), o interesse dos estudantes passou bruscamente a voltar-se da biologia molecular para a ecologia, para o comportamento e para a evolução. A manifestação visível dessa mudança foi uma petição de dois terços do corpo de biólogos, no sentido de se abrirem mais cadeiras para os ramos não-moleculares da biologia e de reduzir a concentração de esforços nas áreas não propriamente biológicas. Embora a biologia molecular continuasse a florescer, o seu monopólio estava quebrado.
8. Veja Stem (1968: 1-26), McKusick (1975), e McKusick e Ruddle (1977).

GLOSSÁRIO

Para um glossário mais detalhado dos termos relativos à sistemática, veja Mayr, 1969; no que concerne à biologia evolucionista, veja Mayr, 1970. Os termos biológicos definidos no corpo do livro não são reproduzidos no glossário (veja o índice).

Alelo. Uma das diversas formas alternativas de um gene, ocupando o mesmo *locus* cromossômico.

Aletetraplóide. Um indivíduo ou uma espécie que resulta de uma duplicação dos cromossomos de um híbrido de espécie.

Angiospermas. Plantas floríferas.

Apomixia. Reprodução assexual, nas plantas, correspondendo à partenogênese, nos animais.

Autossomo (s). Qualquer cromossomo que não seja um cromossomo sexual.

Biota. A fauna e a flora de uma região.

Celoma. Conjunto de cavidades do corpo, limitadas pela mesoderme.

Cistron. O gene da função; a unidade funcional da hereditariedade.

Citoplasma. A parte da célula afora o núcleo.

Criptógamos. Plantas que não produzem sementes, como os fetos, os musgos e os cogumelos.

Cromatídeos. As duas unidades longitudinais de um cromossomo, resultantes de uma divisão na primeira prófase, tomando-se depois cromossomos-filhos, na mitose.

Cromatina. O material colorável do núcleo, sabendo-se hoje que consiste em DNA.

Cromossomo. Corpo longitudinal separado, no interior do núcleo, em que se organiza o material genético.

Crossing over. O intercâmbio recíproco de partes homólogas entre cromatídeos não-irmãos. Permuta.

Dendrograma. O diagrama do parentesco em forma de árvore.

Diacinese. Estágio da meiose, ao fim da prófase, durante o qual os cromossomos ficam fortemente condensados, e os quiasmas são particularmente bem visíveis.

Divisão redutiva. Uma das duas divisões da meiose, normalmente a primeira, em que o número de cromossomos é dividido ao meio.

Dominante. Alelo que, em um heterozigoto, determina o fenótipo.

Ecotipo. População local de plantas que a seleção natural adaptou às condições edáficas e bióticas, e cujo fenótipo revela esse ajustamento.

Efeito de posição. Uma mudança no efeito de um gene sobre o fenótipo, devida a uma mudança da sua posição no cromossomo.

Endosperma. Tecido que alimenta o embrião das plantas de sementes.

Epigênese. Aparecimento de estruturas, durante a ontogênese, a partir de um material indiferenciado.

Epistase. Interação de genes não-alélicos.

Espécies gêmeas. Espécies reprodutivamente isoladas, mas morfologicamente idênticas ou

quase idênticas.

Esporófito. Fase diplóide no ciclo vital das plantas.

Fago. Vírus bacteriano.

Fauna. A vida animal de uma região.

Fenótipo. A totalidade das características de um indivíduo.

Gameta. Célula reprodutora, isto é, o óvulo na fêmea e o espermatozóide no macho.

Gametófito. Fase haplóide do ciclo vital das plantas.

Gêmulas. Partículas invisíveis, hipotéticas, portadoras dos atributos genéticos.

Genótipo. A constituição genética total de um organismo.

Geração espontânea. A origem espontânea da vida, a partir da matéria inanimada.

Herbário. Um livro ilustrado, onde as plantas, particularmente as de uso medicinal, são designadas e descritas.

Hereditariedade de mistura. A fusão completa dos materiais genéticos paterno e materno.

Hereditariedade multifatorial. Controle de um caráter por genes diversos (poligenia).

Hereditariedade particulada. Ausência de fusão do material genético parental, durante a formação do zigoto.

Hereditariedade tênue. Hereditariedade durante a qual o material genético não é constante de geração em geração, mas pode ser modificado pelos efeitos do meio ambiente, pelo uso e desuso, ou por outros fatores.

Heterozigoto. Indivíduo que possui alelos diferentes no mesmo *locus,* nos dois cromossomos homólogos.

Homozigoto. Indivíduo que possui os mesmos alelos, nos *loci* correspondentes dos dois cromossomos homólogos.

Idioplasma. Termo de Nägeli para o material genético.

Infusórios. Palavra obsoleta designando pequenos organismo aquáticos (principalmente protozoários, rotíferos, algas de uma célula); utilizada sobretudo para designar os protozoários.

Ligação. V. Linkage.

Linha pura. Uma população geneticamente uniforme (isto é, homozigótica).

Linkage. A associação de certos genes, devido à sua posição no mesmo cromossomo. Ligação.

Macrogênese. Evolução por mudanças descontínuas; evolução aos saltos.

Mastodonte. Um parente extinto do elefante.

Mecanismos de isolamento. Propriedades biológicas dos indivíduos que impedem o intercruzamento de populações simpátricas.

Meiose. As duas divisões sucessivas do núcleo, que precedem a formação dos gametas.

Mesozóico. A era geológica que durou de 225 milhões de anos há 65 milhões de anos; foi a era dos répteis.

Mitose. A divisão do núcleo.

Monofilético. Diz-se de um táxon cujos membros são descendentes do ancestral comum mais próximo.

Mutação. Mudança descontínua no DNA cromossômico, normalmente um erro na replicação do DNA.

Não-disjunção. Fenômeno pelo qual os dois cromossomos homólogos de um par deixam de dirigir-se aos pólos opostos, na primeira divisão meiótica; em decorrência disso, uma das células-

filhas possui os dois cromossomos, e a outra nenhum.

Neodarwinismo (Romanes, 1896). Teoria darwiniana da evolução que rejeita explicitamente qualquer hereditariedade dos caracteres adquiridos.

Nicho. Espaço multidimensional de uma espécie na economia da natureza; trata-se das suas exigências ecológicas.

Ortogênese. Hipótese segundo a qual uma tendência retilínea da evolução se deve a um princípio finalístico imanente.

Pangênese. Hipótese segundo a qual todas a partes do corpo fornecem material genético para os órgãos reprodutores e, particularmente, para os gametas.

Paquitene. Estado da prófase da meiose, durante o qual os cromossomos homólogos se dispõem aos pares.

Partenogênese. Desenvolvimento de um óvulo, sem fertilização.

Permuta. V. *Crossing-over*.

Pesagem. Atribuição de um valor a um caráter taxionômico.

Placas tectônicas. Teoria geológica segundo a qual a crosta terrestre consiste em placas continentais móveis.

Poligenia. A determinação de um caráter fenotípico por diversos genes.

Poliplóide. Que possui mais do que dois conjuntos de cromossomos haplóides.

Plâncton. Pequenos organismos (animais e plantas) que flutuam na água; particularmente algas e crustáceos.

Parapátrico. Refere-se a duas espécies que ocupam áreas geográficas contíguas, mas que não mantêm nenhum (ou apenas mínimo) intercruzamento na zona de contato.

Pré-formação. A teoria de que todas as estruturas de um organismo estão presentes em um dos gametas.

Pleiotrópico. Um gene que influencia diversas características do fenótipo.

Proboscídeos. Parentes dó elefante, incluindo os extintos mamutes e mastodontes.

Procariotos. Organismos primitivos (bactérias e algas verde-claras), desprovidos de núcleo, e cujo ácido nucléico se organiza em um único filamento.

Quiasma. Lugar em que, durante a meiose, dois cromossomos homólogos estabelecem estreito contato, e em que normalmente acontece um intercâmbio de partes homólogas entre os cromatídeos não-irmãos.

Recessivo. Alelo que, em um heterozigoto, não vem expresso no fenótipo.

Reprodução assexual. Toda forma de reprodução realizada sem a formação de um zigoto (por fusão de dois gametas).

Semidominância. Fenômeno no qual o fenótipo do heterozigoto é intermediário entre os fenótipos de dois homozigotos.

Simpátrico. Coexistindo na mesma localidade.

Sinapse. Composição aos pares dos cromossomos homólogos, durante a primeira divisão meiótica.

Táxon. Grupo taxionômico, em qualquer nível de categoria.

Terciário. A mais recente das importantes eras geológicas, estendendo-se de cerca de 65 milhões de anos atrás até o recente.

Terebrátulas. Um grupo de braquiópodes (invertebrados) extintos.

Xenia. Efeito do pólen sobre os caracteres do endosperma.
Zigoto. A célula que se origina da união dos dois gametas e de seus respectivos núcleos.

{*} O tradutor achou por bem manter ao longo do livro, como acontece no original em inglês, o termo *zeitgeist* com a correspondente expressão em português – "espírito do tempo". E o mesmo acontece com outros termos estrangeiros usados pelo autor na obra original. (N. do R. T.)

{†} Ver nota do revisor técnico à pág. 15.

{‡} Mantém-se o símbolo em inglês – DNA – para o ácido desoxirribonucléico (ADN, em português). (N. do R. T.)

{§} Ver nota do revisor técnico à pág. 15.

{**} Ver nota do revisor técnico à pág. 15,

{††} Partidário do fisicismo – sistema explanatório do Universo pela relação das forças físicas. (N. do R. T.)

{‡‡} *De arte venendi.* (N. do R. T.)

{§§} Ver nota do revisor técnico à pág. 15.

{***} Embriologia mecanicista. Ver nota do revisor técnico à pág. 15.

{†††} Ver nota do revisor técnico à pág. 15.

{‡‡‡} Mantém-se o símbolo em inglês – RNA – para ácido Ribonucléico (ARN em português). V. N. do R. Anterior sobre DNA. (N. do R. T.)

{§§§} Ver nota do revisor técnico à pág. 15.

{****} Ver nota do revisor técnico à pág. 15.

{†††††} N. do R. T. É muito discutível se esses são assuntos da periferia da ciência.

{‡‡‡‡‡} Ver nota do revisor técnico à pág. 15.

{§§§§§} "Operational taxonomic units" (OTUS), no original, em inglês. (N. do R. T.)

{******} Morfe: característica morfológica (acepção nova, em português). (N. do R. T.)

{††††††} Feno: variante biológica (acepção nova, em português). (N. do R. T.)

{‡‡‡‡‡‡} Nível, como preferiu o tradutor para *ranking,* no original em inglês, deve ser entendido conto ordenação – posição num grupo. (N. do R. T.)

{§§§§§§} Pode-se também entender *splitters,* como separadores. (N. do. R. T.)

{*******} Também "cenoespécie". (N. do R. T.)

{†††††††} O tradutor achou por bem traduzir para o português, algumas vezes, os títulos das obras mencionadas pelo autor. (N. Do R. T.)

{‡‡‡‡‡‡‡} O tradutor manteve o termo original pela falta de um termo com o mesmo sentido em português. (N. do R. T.)

{§§§§§§§} Fenômeno também dominado "oscilação" ou "flutuação" genética. (N. do R. T.)

{********} Também chamada "hereditariedade de mistura". (N. do R. T.)

{††††††††} Catamênio, em língua portuguesa. (N. do R. T.)

{‡‡‡‡‡‡‡‡} Ao longo de todo o livro, como o leitor com cultura biológica pode notar, – talvez com estranheza, as expressões "Hereditariedade tênue" *(soft inheritance,* em inglês) e "Hereditariedade sólida" *(Hard inhritance,* em inglês) aparecem constantemente para designar, respectivamente, a herança biológica de caracteres adquiridos (não-genética) e a herança biológica propriamente dita (genética). Ora, essas não são expressões técnicas usuais, tanto em inglês como em português. Daí a preocupação do autor em justificar o seu uso. (N. do R. T.)

{§§§§§§§§} X =qui, 22ª letra do alfabeto grego, X^2 =teste estatístico. Fala-se: teste do qui-quadrado. (N. do R. T.)

{*********} Noventa e cinco anos depois, em 1995 (N. do R. T.).