



O RELOJOEIRO CEGO

*A teoria da evolução contra
o design divino*

RICHARD DAWKINS



A meus pais

Sumário

Prefácio

1. Explicando o muito improvável
2. Bom design
3. Acumulação de pequenas mudanças
4. Desbravando os caminhos do espaço animal
5. O poder e os arquivos
6. Origens e milagres
7. Evolução construtiva
8. Explosões e espirais
9. Pontuacionismo puncionado
10. A verdadeira e única árvore da vida
11. Rivais condenadas

Bibliografia

Apêndice (1991): Programas de computador e "a evolução da evolutibilidade"

Prefácio

Escrevi este livro na convicção de que nossa existência já foi o maior de todos os mistérios, mas deixou de sê-lo. Darwin e Wallace o desvendaram, embora durante algum tempo ainda devamos continuar a acrescentar notas de rodapé à sua solução. Escrevi este livro porque me surpreendi com o número de pessoas que não só pareciam desconhecer a bela e elegante solução para o mais profundo dos problemas como também, incrivelmente, em muitos casos nem sequer estavam cientes de que havia um problema a ser solucionado!

Refiro-me ao problema do design complexo.*¹ O computador em que escrevo estas palavras tem por volta de 64 kilobytes de capacidade de

¹* O termo design nesta tradução significa a organização das partes de um todo conforme ela influencia o funcionamento, a utilização, as qualidades

armazenamento de informação (cada byte armazena um caractere de exato). O computador foi projetado conscientemente e construído deliberadamente. O cérebro com o qual o leitor entende minhas palavras é um arranjo de cerca de 10 milhões de quiloneurônios. Muitos desses bilhões de células nervosas têm mais de mil "fios elétricos" que as conectam a outros neurônios. Além disso, no nível genético molecular, cada uma das mais de 1 trilhão de células do corpo contém cerca de mil vezes mais informação digital codificada com precisão do que todo meu computador. A complexidade dos organismos vivos só encontra paralelo na eficiência elegante de seu design visível. Se alguém achar que um design tão complexo não clama por uma explicação, eu desisto. Não, pensando bem, não desisto, pois um de meus objetivos neste livro é mostrar algo das maravilhas da complexidade biológica àqueles cujos olhos ainda não se abriram para elas. Mas é claro que, tendo evocado o mistério, meu outro grande objetivo é desfazê-lo novamente, explicando sua solução.

Explicar é uma arte difícil. Pode-se explicar algo de modo que o leitor entenda as palavras; e pode-se explicar algo de modo que a pessoa se sinta tomada pelo assunto. Para conseguir este último resultado, por vezes não basta exibir os dados de forma desapaixorada. Há que se tornar um advogado e lançar mão de todos os truques dessa profissão. Este livro não é um frio tratado científico. Há outros livros sobre o darwinismo que o são, muitos deles excelentes e informativos, devendo ser usados ao lado deste. Confesso que, longe de ser desapaixorado, este livro tem algumas partes escritas com tal paixão que, numa revista científica profissional, bem poderia suscitar comentários. É claro que procura informar, mas também tenta persuadir e até - não há presunção em declarar um objetivo- inspirar. Quero inspirar o leitor com uma visão de nossa existência como um mistério de dar frio na espinha, e simultaneamente quero transmitir o entusiasmo por se tratar de um mistério com uma solução elegante e ao nosso alcance. Mais ainda, quero persuadir o leitor de que a visão de mundo darwiniana não apenas é verdadeira, mas é também

estéticas desse todo. Pode aplicar-se a uma obra humana que foi projetada deliberadamente, como o design de uma máquina, por exemplo, ou à organização de um ser vivo, de um de seus Órgãos, de uma molécula etc. No caso dos seres vivos, esse design tem como causa, para os darwinistas, a seleção natural; para os criacionistas, o desígnio divino. Nessa mesma linha, o termo designer é usado para indicar o responsável pelo design: um projetista ou artífice no caso de produtos criados pelo homem, ou, no caso dos seres vivos, a seleção natural como supõem os darwinistas ou um Criador sobrenatural como postulam os criacionistas. (N. T.)

a única teoria conhecida que poderia em princípio solucionar o mistério de nossa existência. Isso faz dela uma teoria duplamente satisfatória: há boas razões para crer que o darwinismo vale não só para este planeta, mas para todo o universo, onde quer que se encontre alguma forma de vida.

Há um aspecto em que me declaro muito diferente dos advogados profissionais. Advogados e políticos são pagos para exercer sua paixão e seu poder de persuasão em prol de um cliente ou de uma causa em que eles podem não acreditar em seu foro íntimo. Nunca fiz isso, e nunca farei. Posso não estar sempre certo, mas dedico-me apaixonadamente à verdade e nunca digo algo que não acredito ser verdade. Lembro-me de como fiquei chocado ao visitar uma sociedade universitária de debates para discutir com criacionistas. Durante o jantar após o debate, coube a mim sentar ao lado de uma moça que fizera uma intervenção razoavelmente convincente em favor do criacionismo. Ela claramente não podia ser criacionista, por isso pedi que me contasse honestamente por que fizera aquilo. Ela admitiu com franqueza que estivera apenas exercitando seus dotes polêmicos, que lhe parecia mais estimulante advogar em prol de uma convicção que ela mesma não partilhava. Parece que é costume desse tipo de sociedade indicar aos oradores qual lado devem defender, pouco importando quais sejam suas crenças pessoais. Eu viera de longe para cumprir a desagradável tarefa de falar em público justamente porque acreditava na verdade da posição que devia expor. Quando descobri que os membros daquela sociedade estavam usando minha exposição como pretexto para jogos argumentativos, decidi recusar futuros convites de sociedades que patrocinam esse tipo de atitude insincera em questões em que está em jogo a verdade científica.

Por razões que não me são inteiramente claras, o darwinismo parece ter maior necessidade de defesa do que outras verdades igualmente bem estabelecidas de outros ramos das ciências. Muitos de nós não entendemos nada de física quântica ou das teorias de Einstein sobre relatividade especial e geral, mas isso não nos leva a fazer oposição a essas teorias! Mas o darwinismo, ao contrário do "einsteinismo" parece ser visto como legítimo saco de pancadas por críticos de todos os graus de ignorância. Suponho que um dos problemas do darwinismo, como bem observou Jacques Monod, é que todos pensam entendê-lo. Com efeito, trata-se de uma teoria notavelmente simples - pensando bem, até mesmo infantil em comparação com quase todas as teorias da física e da matemática. Essencialmente, ela se resume à idéia de que a reprodução não aleatória, conjugada à variação hereditária, terá conseqüências de grande alcance

uma vez que estas tenham tempo para ser cumulativas. Mas temos boas razões para crer que essa simplicidade é enganadora. Vale lembrar que, por mais simples que ela pareça, ninguém pensou nessa teoria antes de Darwin e Wallace, em meados do século XIX, quase duzentos anos depois dos Princípios de Newton e mais de 2 mil anos depois que Eratóstenes mediu a Terra. Como é possível que uma idéia tão simples não tenha sido descoberta por pensadores do calibre de Newton, Galileu, Descartes, Leibniz, Hume e Aristóteles? Por que ela teve de esperar por dois naturalistas vitorianos? O que havia de errado com os filósofos e matemáticos que a deixaram escapar? E como pode ser que uma idéia tão poderosa ainda seja tão estranha aos olhos do grande público?

É quase como se o cérebro humano tivesse sido especificamente concebido para não entender o darwinismo, para achá-lo inacreditável. Tome-se como exemplo a questão do "acaso", tantas vezes melodramaticamente adjetivado como acaso cego. A maioria das pessoas que atacam o darwinismo agarra-se com avidez indecorosa à idéia errônea de que nele tudo é acaso e aleatoriedade. Uma vez que a complexidade dos seres vivos encarna a própria antítese do acaso, obviamente quem pensar que o darwinismo se resume ao acaso não terá dificuldade em refutá-lo! Uma das minhas tarefas será destruir o mito sofregamente acalentado de que o darwinismo é uma teoria do "acaso". Outro fator que talvez nos predisponha a não acreditar no darwinismo está em nosso cérebro, que foi feito para lidar com eventos em escalas de tempo radicalmente diferentes daquelas que caracterizam a mudança evolutiva. Estamos equipados para observar processos que se desenrolam em segundos, minutos, anos ou, no máximo, décadas. O darwinismo é uma teoria de processos cumulativos tão lentos que se desenrolam ao longo de milhares e milhões de anos. Todos os nossos juízos intuitivos sobre o que é provável mostram-se errados por larga margem. Nosso refinado instrumental de ceticismo e teoria da probabilidade subjetiva erra tanto o alvo justamente por ser calibrado - ironicamente, pela própria evolução para atuar no âmbito de algumas décadas. Escapar da prisão dessa escala de tempo familiar requer um esforço de imaginação, tarefa que procurarei facilitar ao leitor.

Um terceiro elemento que talvez predisponha nosso cérebro a resistir ao darwinismo deriva de nosso grande sucesso como designers criativos. Nosso mundo é dominado por prodígios de engenharia e obras de arte. Estamos inteiramente acostumados à idéia de que a elegância complexa indica um design fabricado, premeditado. Essa é talvez a razão mais forte para a crença, partilhada pela imensa maioria das pessoas em

todas as épocas, na existência de alguma divindade sobrenatural. Foi necessário um grande salto imaginativo para que Darwin e Wallace vissem que, ao contrário do que sugere a intuição, há um modo diverso e bem mais plausível - tão logo o entendamos para explicar o surgimento do "design" complexo a partir da simplicidade primeira. Um salto imaginativo tão grande que até hoje muita gente ainda não parece disposta a arriscá-lo. O propósito central deste livro é ajudar o leitor a dar esse salto.

Todo autor espera que seus livros tenham um impacto duradouro, e não meramente efêmero. Mas todo advogado, além de expor os elementos atemporais de sua defesa, deve também responder àqueles advogados contemporâneos de opinião oposta ou aparentemente oposta. Há o risco de que algumas discussões, tão acaloradas hoje, venham a parecer terrivelmente ultrapassadas nas décadas vindouras. Como já se notou várias vezes, é paradoxal que a primeira edição de *A origem das espécies* represente uma exposição do darwinismo superior à da sexta edição. Isso porque Darwin sentiu-se progressivamente obrigado a responder às críticas que seus contemporâneos fizeram sobre a primeira edição - críticas que hoje nos parecem tão datadas que as réplicas de Darwin só atravancam e às vezes até desencaminham a leitura. Não obstante, mais vale não ceder à tentação de desconsiderar as críticas contemporâneas ditadas pela moda, ainda quando pareçam ser fogo de palha - por razões de cortesia não só para com os críticos como sobretudo para com os leitores desnorteados. Tenho lá meu palpite privado sobre quais capítulos deste livro hão de revelar-se efêmeros por esse motivo, mas o julgamento caberá ao leitor - e ao tempo.

Fico triste em saber que algumas amigas (poucas, por sorte) encaram o uso do pronome impessoal masculino como marca de exclusão das mulheres. Se fosse o caso de proceder a uma exclusão (o que não acontece), acho que preferiria excluir os homens; mas quando fiz uma tentativa de me referir a meu leitor abstrato como "ela", uma feminista acusou-me de condescendência paternalista: eu deveria ter escrito "ele-ou-ela" e "dele-ou-dela". Não há problema em fazê-lo quando não se dá importância à língua, mas então eu não teria direito a leitores de nenhum dos sexos. Neste livro, voltei às convenções correntes quanto ao uso dos pronomes. Refiro-me ao "leitor" com o gênero masculino, mas não estou pensando especificamente em homens, assim como os franceses não pensam em mesas como especificamente femininas. Na verdade, acho que o mais das vezes penso em meu texto estar sendo lido por leitoras, mas essa é uma

questão pessoal e eu odiaria constatar que tal tipo de consideração interfere no meu modo de usar minha língua materna.

Igualmente pessoais são meus motivos de gratidão. Aqueles a quem não posso fazer justiça compreenderão a omissão. Meus editores não viram razão para manter em segredo a identidade de seus leitores críticos (não os "críticos" - os resenhistas, com o devido respeito a muitos americanos com menos de quarenta anos, criticam os livros só depois de serem publicados, quando o autor já não pode fazer mais nada a respeito), e aprendi muito com as sugestões de John Krebs (mais uma vez), John Durant, Graham Cairns-Smith, Jeffrey Levington, Michael Ruse, Anthony Hallam e David Pye. Richard Gregory fez a gentileza de criticar o capítulo 12, cuja versão final só teve a ganhar com sua exclusão integral. Mark Ridley e Alan Grafen, que agora já não são meus alunos, formam com Bill Hamilton os luminares do grupo de colegas com quem discuto sobre evolução e cujas idéias me são úteis quase todos os dias. Eles, mais Pamela Wells, Peter Atkins e John Dawkins, criticaram prestativamente vários dos meus capítulos. Sarah Bunney introduziu várias melhorias, e John Gribbin corrigiu um grande erro. Alan Grafen e Will Atkinson deram-me conselhos sobre computação, e o Laboratório Apple Macintosh do Departamento de Zoologia permitiu gentilmente que eu usasse sua impressora laser para imprimir meus biomorfos.

Uma vez mais, pude valer-me do incansável dinamismo que Michael Rodgers (agora na Longman) transmite a todos a seu redor. Ele e Mary Cunnane, da editora Norton, souberam aplicar o acelerador (ao meu ânimo) e o freio (ao meu senso de humor) nas horas certas. Parte deste livro foi redigida durante uma licença sabática concedida pelo Departamento de Zoologia e pelo New College. Por fim, um débito que eu deveria ter reconhecido em meus dois livros anteriores: o sistema tutorial de ensino em Oxford e meus muitos alunos de zoologia ajudaram-me a exercitar ao longo dos anos os poucos dotes que possuo na difícil arte de explicar.

Richard Dawkins
Oxford, 1986

1. Explicando o muito improvável

Nós, animais, somos as coisas mais complexas do universo conhecido. É claro que o universo que conhecemos é um fragmento minúsculo do universo real. Talvez existam objetos ainda mais complexos do que nós em outros planetas, e talvez alguns deles já saibam de nossa existência. Mas isso não altera minha argumentação. As coisas complexas de todas as partes do universo merecem um tipo muito especial de explicação. Queremos saber como vieram a existir e por que são tão complexas. Conforme tentarei mostrar, a explicação deve ser a mesma, em suas linhas gerais, para todas as coisas complexas em qualquer lugar do universo; a mesma para nós, para os chimpanzés, os vermes, os carvalhos e os monstros do espaço estelar. Por outro lado, não será a mesma para aquelas coisas que chamarei de "simples" como as rochas, as nuvens, os rios, as galáxias e os quarks; estas são assunto da física. Macacos, cachorros, morcegos, baratas, pessoas, vermes, dentes-de-leão, bactérias e seres extraterrestres são assunto da biologia.

A diferença está na complexidade do design. A biologia é o estudo das coisas complexas que dão a impressão de ter um design intencional. A física é o estudo das coisas simples que não nos incitam a invocar um design deliberado. À primeira vista, artefatos humanos como computadores e carros parecerão exceções à regra: são complexos e obviamente seu design tem um propósito determinado, mas não são vivos e são feitos de metal e plástico, não de carne e osso. Neste livro, serão tratados invariavelmente como objetos biológicos.

O leitor talvez reaja com a seguinte pergunta: "Certo, mas eles são realmente objetos biológicos?" As palavras existem para nos servir, não para mandar em nós. Para fins diversos, é conveniente usar as palavras em sentidos diversos. A maior parte dos livros de culinária trata as lagostas como peixes. É o tipo de coisa que deixa apoplético qualquer zoólogo, que argumentaria ser mais justo chamar de peixes os humanos, que têm parentesco bem mais próximo com os peixes do que as lagostas. Aliás, falando em justiça e lagostas, eu soube que há pouco um tribunal precisou decidir se as lagostas eram insetos ou "animais" (tratava-se de saber se era permissível cozinhá-las vivas).

Zoologicamente falando, as lagostas certamente não são insetos. São animais, tanto quanto os insetos e os humanos. Não há razão para se exaltar sobre os modos como diferentes pessoas empregam as palavras, muito embora eu mesmo, em minha vida cotidiana, esteja pronto a me exaltar com gente que cozinha lagostas vivas. Cozinheiros e advogados precisam usar as palavras à sua própria maneira, exatamente como faço neste livro. Pouco importa se carros e computadores são ou não são "realmente" objetos biológicos. O que importa é que, se algo de tal complexidade for encontrado em um planeta, não hesitaremos em concluir que alguma forma de vida existe ou já existiu ali. As máquinas são produtos diretos de objetos vivos, devem sua complexidade e seu design a objetos vivos e são sintoma da existência de vida em um dado planeta. O mesmo vale para fósseis, esqueletos e cadáveres.

Afirmar que a física é o estudo de coisas simples, e isso também soar estranho à primeira vista. A física parece ser um assunto complicado, pois suas idéias são difíceis de entender. O design de nosso cérebro é tal que nos permite entender a caça e a coleta, o acalento e a criação de filhos: um mundo de objetos de porte médio movendo-se em três dimensões em velocidades moderadas. Somos mal equipados para compreender o muito pequeno e o muito grande, coisas cuja duração se mede em picossegundos ou giga-anos, partículas que não têm posição, forças e campos que não podemos ver ou tocar e que conhecemos tão-somente porque afetam coisas que podemos ver ou tocar. Julgamos a física complicada porque temos dificuldade para entendê-la e porque os livros de física estão repletos de matemática difícil. E, no entanto, os objetos que os físicos estudam são basicamente objetos simples: nuvens de gás, partículas diminutas ou agregados de matéria uniforme como os cristais, com padrões atômicos repetidos quase infinitamente. Nenhum deles tem componentes ativos intrincados, ao menos para os padrões biológicos. Mesmo objetos físicos muito grandes, como as estrelas, têm um conjunto razoavelmente limitado de componentes, arranjados mais ou menos acidentalmente. O comportamento dos objetos físicos, não biológicos, é tão simples que é possível descrevê-lo com a linguagem matemática à nossa disposição, razão pela qual os livros de física estão cheios de matemática.

Os livros de física podem ser complicados, mas eles, assim como os carros e os computadores, são produtos de objetos biológicos - cérebros humanos. Os objetos e os fenômenos que um livro de física descreve são mais simples que uma única célula do corpo de seu autor. E o

autor consiste em trilhões de células, muitas delas diferentes umas das outras, organizadas com arquitetura intrincada e engenharia de precisão para formar uma máquina capaz de escrever um livro (os trilhões a que me refiro são americanos, assim como todas as unidades que emprego neste livro: 1 trilhão americano é 1 milhão de milhões; 1 bilhão americano são 1000 milhões). Nossos cérebros não estão mais bem equipados para lidar com extremos de complexidade que com os extremos de tamanho ou com os demais extremos difíceis da física. Ainda não inventaram uma matemática capaz de descrever totalmente a constituição e o comportamento de objetos como um físico ou mesmo uma única célula sua. O que podemos fazer é tentar entender alguns dos princípios gerais de como as coisas vivas funcionam e por que existem.

Foi aí que começamos. Queríamos saber por que nós e as demais coisas complexas existimos. E agora podemos responder a essa questão em termos gerais, mesmo sem conseguir compreender os detalhes dessa complexidade. Lancemos mão de uma analogia. A maioria de nós não entende os pormenores da construção de aviões. Provavelmente seus construtores também não os compreendem inteiramente: os especialistas em motores não entendem muito de asas, e os especialistas em asas só entendem os motores de um modo vago. Os especialistas em asas nem sequer compreendem as asas com precisão matemática total: só sabem prever como uma asa se comportará em condições de turbulência à medida que puderem examinar um modelo em um túnel de vento ou em uma simulação por computador - o tipo de coisa que um biólogo faria para entender um animal. Mas, por mais incompletamente que entendamos como funciona um avião, todos nós compreendemos o processo geral que o produziu. Foi projetado por seres humanos em pranchetas de desenho. Outros humanos construíram as peças a partir dos desenhos, e depois muitos outros humanos (com ajuda de outras máquinas projetadas por humanos) aparafusaram, rebitaram, soldaram e colaram as peças, cada qual em seu devido lugar. O processo que produz um avião não é fundamentalmente misterioso para nós, porque foram seres humanos que o construíram. O arranjo sistemático de peças segundo um design planejado é algo que conhecemos e entendemos, pois já o vivenciamos em primeira mão - ao menos em nossa infância, brincando de montar nosso Meccano ou Erector.

E que dizer do nosso corpo? Cada um de nós é uma máquina semelhante a um avião, mas muito mais complexa. Também fomos projetados numa prancheta? Nossas peças foram montadas por engenheiro experiente? A resposta é negativa. É uma resposta surpreendente, e só a conhecemos e entendemos há pouco mais de um século. Quando Charles Darwin explicou a

questão, muita gente não quis ou não conseguiu entendê-lo. Eu mesmo me recusei terminantemente a acreditar na teoria de Darwin quando, ainda criança, a ouvi pela primeira vez. Quase todas as pessoas ao longo da história, ao menos até a segunda metade do século-xix, acreditaram firmemente no contrário - na Teoria do Designer Consciente. Muitas pessoas ainda a sustentam, talvez pelo fato notável de que a verdadeira explicação de nossa existência - a explicação darwinista - ainda não seja parte rotineira dos currículos fundamentais. E não resta dúvida de que o darwinismo é sobejamente incompreendido.

Tomei emprestado o relojoeiro de meu título a um famoso tratado do teólogo setecentista William Paley. Seu *Natural Theology - or Evidences of the Existence and Attributes of the Deity Collected from the Appearances of Nature* [Teologia natural - ou evidências da existência e dos atributos da divindade reunidos a partir dos fenômenos da natureza], publicado em 1802, contém a exposição mais conhecida do "Argumento do Desígnio" [Design], até hoje o mais influente dos argumentos em favor da existência de um Deus. É um livro que admiro muitíssimo, pois em sua própria época o autor fez o que estou lutando para fazer agora. Paley tinha um argumento a defender, algo em que acreditava com toda a paixão, e não poupou esforços para expô-lo claramente. Tinha a devida reverência pela complexidade do mundo dos seres vivos, e percebeu que esse mundo requer um tipo muito especial de explicação. Só errou na explicação - o que não é pouca coisa! Ele ofereceu a resposta religiosa tradicional para o enigma, mas articulou-a de um modo mais claro e convincente do que todos os seus predecessores. A explicação verdadeira é essencialmente diferente, e teve de esperar por um dos pensadores mais revolucionários de todos os tempos - Charles Darwin. Paley começa sua *Natural Theology* com uma passagem célebre:

Suponhamos que, ao cruzar um descampado, eu topasse com uma pedra, e que me perguntassem como a pedra viera dar ali; eu poderia bem responder que, tanto quanto sabia, ela devia estar ali desde sempre- e creio que não seria fácil acusar tal resposta de absurda. Mas suponhamos que eu tivesse encontrado um relógio no chão, e que me perguntassem como o relógio podia estar ali; desta feita eu dificilmente pensaria em responder que, tanto quanto sabia, o relógio devia estar ali desde sempre.

Paley percebe aqui a diferença entre objetos físicos naturais, como as pedras, e objetos projetados e manufaturados, como os relógios. Prossegue expondo a precisão com que as engrenagens e molas de um relógio

são moldadas e a complexidade de sua montagem. Se encontrássemos algo assim como um relógio em um descampado, e por menos que soubéssemos como ele viera a existir, toda essa precisão e complexidade de seu design acabariam por nos forçar a concluir que o relógio deve ter tido um criador; que deve ter existido, em algum momento e em algum lugar, um artífice (ou artífices) que o formou para o propósito que o vemos cumprir, um artífice que apreendeu sua construção e designou seus usos.

Ninguém em sã consciência poderia discordar dessa conclusão, insiste Paley, e contudo é exatamente isso que o ateu faz ao contemplar as obras da natureza, pois: todos os indícios de um artifício, todas as manifestações de um design que existem no relógio existem também nas obras da natureza, com a diferença de que, na natureza, são maiores ou mais numerosos, e isso num grau que excede todo cômputo.

Paley reforça seu argumento com belas e reverentes descrições analíticas do maquinário da vida, a começar do olho humano, um exemplo recorrente que mais tarde Darwin também usaria e que reaparecerá ao longo deste livro. Paley compara o olho a um instrumento projetado pelo homem como o telescópio, e conclui que "as provas de que o olho foi feito para a visão são precisamente as mesmas que mostram que o telescópio foi feito para auxiliá-la. O olho certamente contou com um designer, assim como o telescópio.

O argumento de Paley é exposto com arrebatada sinceridade no melhor da biologia de seu tempo, mas é incorreto - flagrante e essencialmente incorreto. É falsa a analogia entre o telescópio e o olho, entre o relógio e o organismo vivo. Apesar de todas as aparências, os únicos relojoeiros da natureza são as forças cegas da física, ainda que atuem de um modo muito especial. Um verdadeiro relojoeiro possui antevisão: ele projeta suas molas e engrenagens e planeja suas conexões imaginando o resultado final com um propósito em mente. A seleção natural, o processo cego, inconsciente e automático que Darwin descobriu e que agora sabemos ser a explicação para a existência e para a forma aparentemente premeditada de todos os seres vivos, não tem nenhum propósito em mente. Ela não tem nem mente nem capacidade de imaginação. Não planeja com vistas ao futuro. Não tem visão nem antevisão. Se é que se pode dizer que ela desempenha o papel de relojoeiro da natureza, é o papel de um relojoeiro cego.

Explicarei tudo isso e muito mais. Mas decerto não tentarei amesquinhar o prodígio dos "relógios" vivos que tanto inspirou Paley. Ao contrário, tentarei esclarecer minha idéia de que Paley poderia ter

avançado ainda mais. Quando se trata de admiração pelos "relógios" vivos, não fico atrás de ninguém. Sinto-me mais próximo do reverendo William Paley que do ilustre filósofo moderno e ateu notório - com quem certa vez discuti essas questões durante um jantar. Disse-lhe que não conseguia imaginar alguém sendo ateu antes de 1859, quando Darwin publicou A origem das espécies. "E quanto a Hume?", retrucou o filósofo. "Como Hume explicava a complexidade organizada do mundo vivo?", perguntei. "Não explicava", disse o filósofo. "Por que isso precisaria de uma explicação especial?"

Paley sabia da necessidade de uma explicação especial. Darwin sabia também, e suspeito que, no íntimo, meu amigo filósofo também sabia. Seja como for, minha tarefa aqui é expô-la. Quanto a David Hume, há quem diga que o grande filósofo escocês deu cabo do Argumento do Desígnio um século antes de Darwin. Na verdade, o que Hume fez foi criticar a lógica de se usar um aparente desígnio como prova irrefutável da existência de um Deus. Ele não apresentou nenhuma explicação alternativa para esse aparente desígnio, mas deixou a questão em aberto. Antes de Darwin, um ateu poderia ter afirmado, pautando-se em Hume: "Não tenho explicação para a complexidade do design dos seres vivos. Tudo o que sei é que Deus não é uma boa explicação, portanto devemos aguardar e esperar que alguém avenge algo melhor". Não posso deixar de sentir que uma tal atitude, ainda que logicamente correta, não satisfaria ninguém; penso igualmente que, antes de Darwin, o ateísmo até poderia ser logicamente sustentável, mas que só depois de Darwin é possível ser um ateu intelectualmente satisfeito. Gosto de imaginar que Hume concordaria comigo, mas alguns de seus escritos sugerem que ele subestimava a complexidade e a beleza do design biológico. Ainda quando naturalista mirim, Charles Darwin poderia ter-lhe dado algumas dicas, mas na época em que ele se matriculou na universidade de Edimburgo, onde Hume lecionara, o filósofo já estava morto havia quarenta anos.

Com toda esta minha loquacidade ao discorrer sobre complexidade e aparente desígnio, fica parecendo que esses termos têm um significado óbvio. Em certo sentido, têm mesmo - a maioria das pessoas entende intuitivamente o que significa complexidade. Mas esses dois conceitos, complexidade e desígnio, são tão centrais para este livro que devo tentar expressar em palavras com mais precisão a nossa noção de que há algo de especial nas coisas complexas e aparentemente planejadas.

O que é uma coisa complexa? Como reconhecê-la? Em que sentido vale dizer que um relógio, um avião, uma lacrainha e uma pessoa são

complexos, ao passo que a Lua é simples? O primeiro atributo que poderia nos ocorrer como necessário a uma coisa complexa é a heterogeneidade de sua constituição. Um pudim de leite ou um manjar-branco são simples no sentido de que, se os cortarmos ao meio, teremos duas metades com a mesma composição interna: um manjar-branco é homogêneo. Um carro é heterogêneo: ao contrário do manjar-branco, quase todas as partes do carro são diferentes das outras. Duas metades iguais de um carro não fazem um carro. Na maioria dos casos, isso significa simplesmente que um objeto complexo, à diferença de um objeto simples, tem muitas partes, sendo estas de mais de um tipo.

Tal heterogeneidade ou "multipartibilidade" pode ser uma condição necessária, mas não é suficiente. Há muitos objetos cuja composição interna e heterogênea é multipartida, sem por isso serem complexos no sentido em que desejo usar o termo. O monte Branco, por exemplo, consiste em muitos tipos de rochas, todas amontoadas de tal modo que, se fatiássemos a montanha em qualquer ponto, as duas partes resultantes difeririam em sua constituição interna. O monte Branco tem uma heterogeneidade estrutural inexistente no manjar-branco, mas ainda assim não é complexo no sentido em que um biólogo usa o termo.

Tentemos outra abordagem em nossa procura por uma definição de complexidade, desta vez com a idéia matemática de probabilidade. Suponhamos a seguinte definição: uma coisa complexa é algo cujas partes constituintes encontram-se arranjadas de tal modo que não seja provável esse arranjo ter ocorrido somente por acaso. Tomando emprestada uma analogia a um astrônomo eminente: se pegarmos as peças de um avião e as amontoarmos ao acaso, a probabilidade de que assim montemos um avião é desprezível. Há bilhões de maneiras possíveis de montar as peças de um avião, e apenas uma (ou pouquíssimas) resultaria em um avião de verdade. E há ainda mais maneiras de montar as peças soltas de um ser humano.

Esse caminho para definir complexidade parece promissor, mas precisamos de algo mais. Afinal, há bilhões de maneiras de amontoar os pedaços do monte Branco, e só uma delas é o monte Branco. O que, então, torna complexos o avião e o ser humano, se o monte Branco é simples? Qualquer amontoado aleatório de peças é único e, se analisado retrospectivamente, tão improvável quanto qualquer outro. Um monte de peças soltas num ferro-velho de aviões é único; não há dois montes de ferro-velho idênticos. Se começarmos a amontoar fragmentos de aviões, as chances de produzirmos o mesmo arranjo de lixo duas vezes são tão pequenas quanto as chances de produzirmos um avião capaz de funcionar.

Sendo assim, por que não dizemos que um monte de lixo, o monte Branco e a Lua são tão complexos quanto um avião ou um cachorro, uma vez que em todos esses casos o arranjo dos átomos é "improvável"?

A trava da minha bicicleta tem 4096 combinações possíveis. Cada uma delas é igualmente "improvável", visto que, se girarmos as rodas dentadas ao acaso, qualquer uma das 4096 combinações tem a mesma chance de aparecer. Posso girar as rodas ao acaso, ler o número resultante e exclamar, analisando retrospectivamente:

"Incrível, as chances contra o aparecimento desse número são de 4096:1. Um pequeno milagre! "- Isso equivale a considerar" complexo" o arranjo específico das rochas de uma montanha ou das peças de metal num ferro-velho. Mas uma dessas 4096 combinações é realmente única: a combinação 1207 é a única que solta a trava, O caráter único de 1207 não tem nada a ver com nossa visão retrospectiva: essa combinação é especificada de antemão pelo fabricante. Se alguém girasse as rodas ao acaso e chegasse a 1207 na primeira tentativa, seria fácil roubar a bicicleta, e pareceria ter ocorrido um pequeno milagre. Se alguém tivesse a mesma sorte com uma daquelas travas múltiplas dos cofres de banco, estaríamos diante de um milagre dos grandes, pois a probabilidade nesse caso seria de um em muitos milhões, e seria então possível roubar uma fortuna.

Ora, chegar ao afortunado número que abre o cofre do banco equivale, em nossa analogia, a entulhar peças de metal ao acaso e assim montar um Boeing 747. De todos os milhões de combinações únicas - e em retrospecto igualmente improváveis da minha trava de bicicleta, uma única é capaz de soltá-la. Similarmente, entre todos os milhões de arranjos únicos e em retrospecto igualmente improváveis de um monte de ferro-velho, um único (ou pouquíssimos) poderá voar. O caráter único do arranjo que voa, ou do que solta a trava, não tem nada a ver com nossa visão retrospectiva; ele é especificado de antemão. O fabricante de cofres fixou a combinação e transmitiu o segredo ao gerente do banco. A capacidade de voar é uma propriedade dos aviões que especificamos de antemão. Quando vemos um avião no ar, podemos ter certeza de que não foi montado ao acaso, simplesmente amontoando-se peças de metal, pois sabemos que as chances de um conglomerado aleatório voar são ínfimas.

Pois bem, se considerarmos todos os modos possíveis de amontoar as rochas do monte Branco, é verdade que só uma delas formaria o

monte Branco tal qual o conhecemos. Mas o nosso monte Branco é definido retrospectivamente. Qualquer um entre muitíssimos modos de empilhar rochas poderia ser classificado como uma montanha e vir a ser chamado de monte Branco. Não há nada de específico no monte Branco que conhecemos, nada nele foi especificado de antemão, nada nele equivale à decolagem de um avião ou à abertura da porta de um cofre, seguida da enxurrada de dinheiro.

No caso de um corpo vivo, o que seria equivalente à decolagem de um avião ou à abertura da porta de um cofre? Bem, às vezes algo literalmente igual: as andorinhas voam. Já vimos que não é fácil montar uma máquina de voar. Se tomássemos todas as células de uma andorinha e as juntássemos ao acaso, as chances de que o objeto resultante fosse capaz de voar não seriam, em termos práticos, diferentes de zero. Nem todos os seres vivos voam, mas todos fazem coisas igualmente improváveis e igualmente especificáveis de antemão. Baleias não voam, mas sabem nadar, e em eficiência seu nado não fica a dever ao vôo das andorinhas. As chances de que um conglomerado aleatório de células de baleia seja capaz de nadar - e nadar com tanta rapidez e eficiência quanto uma baleia - são desprezíveis.

Nesse ponto, algum filósofo com olhos de gavião (os gaviões têm visão muito aguçada: não conseguiríamos produzir um olho de gavião juntando ao acaso cristalininos e células fotossensíveis) começará a resmungar alguma coisa sobre argumentos circulares. Andorinhas voam, mas não sabem nadar; baleias nadam, mas não sabem voar. É retrospectivamente que decidimos se o nosso conglomerado aleatório teve êxito como voador ou nadador. Suponhamos que concordemos em julgar seu êxito como algo capaz de fazer X dor, e deixemos em aberto o que significa exatamente x até que tentemos juntar as células à nossa disposição. O amontoado final de células pode bem vir a ser um cavador eficiente como uma toupeira ou um trepador eficiente como um macaco; poderia ainda ser muito bom em windsurfe, ou em agarrar trapos ensecados, ou em caminhar em círculos de diâmetro decrescente até desaparecer. A lista poderia continuar indefinidamente. Ou será que não?

Se a lista de fato pudesse continuar indefinidamente, meu filósofo hipotético talvez tivesse razão. Se, não importa quão aleatoriamente amontoássemos pedaços de matéria, o conglomerado resultante fosse com freqüência bom em alguma coisa depois de uma análise retrospectiva, então poderíamos dizer que eu andei trapaceando com o exemplo da andorinha e da baleia. Mas os biólogos podem ser bem mais

específicos sobre o que significa ser "bom em alguma coisa". O requisito mínimo para que reconheçamos um objeto como animal ou planta é que ele seja capaz de prover para sua vida, de algum modo (mais precisamente, que ele - ou ao menos alguns indivíduos de sua espécie - seja capaz de viver o bastante para procriar). É verdade que há muitas maneiras de prover para a vida - voar, nadar, pular de árvore em árvore e assim por diante. Mas por muitas que sejam as maneiras de estar vivo, há certamente muito mais maneiras de estar morto, ou melhor, de não estar vivo. Podemos juntar células ao acaso inúmeras vezes e ao longo de 1 bilhão de anos, e ainda assim jamais conseguir um conglomerado capaz de voar, nadar, cavar, correr ou fazer qualquer coisa (mesmo deficientemente) que nos permita julgá-lo minimamente capaz de se manter vivo.

Esse foi um argumento longo e arrastado, e já é hora de recordar como enveredamos por ele. Procurávamos um modo preciso de expressar o que queremos dizer quando qualificamos uma coisa como complexa. Tentávamos apontar aquilo que os seres humanos, as toupeiras, as minhocas, os aviões e os relógios têm em comum e que os diferencia do manjar-branco, do monte Branco e da Lua. Chegamos à seguinte resposta: coisas complexas têm alguma qualidade, que pode ser especificada de antemão, cuja aquisição seria altamente improvável por mero acaso. No caso dos seres vivos, a qualidade em questão consiste em alguma espécie de "proficiência": seja a proficiência numa atividade específica como voar, a ponto de causar admiração em um engenheiro aeronáutico; seja a proficiência em algo mais geral, como a capacidade de escapar à morte ou de propagar seus genes pela reprodução. Escapar à morte é coisa trabalhosa. Abandonado a si mesmo - como acontece quando morre-, o corpo tende a regressar a um estado, de equilíbrio com seu ambiente. Se medirmos a temperatura, a acidez, a porcentagem de água ou o potencial elétrico de um corpo vivo, constataremos que diferem marcadamente das medidas correspondentes a seu redor. Nosso corpo, por exemplo, costuma ser mais quente que o ambiente, e em climas frios o organismo tem de se esforçar para manter esse diferencial. Quando morremos, esse esforço cessa, o diferencial de temperatura começa a desaparecer e terminamos com a temperatura ambiente. Nem todos os animais se esforçam tanto para evitar o equilíbrio com a temperatura ambiente, mas todos os animais fazem algum esforço comparável. Por exemplo: numa região seca, animais e plantas lutam para conservar conteúdo fluido de suas células, isto é, lutam contra a tendência natural da água a fluir de dentro deles para o mundo exterior seco. Quando não conseguem, eles morrem. De modo mais geral, se os seres

vivos não se esforçassem para evitá-lo, todos acabariam por se fundir em seu ambiente e deixariam de existir como seres autônomos. É o que acontece quando morrem.

À exceção das máquinas artificiais, que já decidimos considerar coisas vivas honorárias, o que não é vivo não funciona assim.

Uma coisa sem vida aceita as forças que tendem a colocá-la em equilíbrio com seu meio. É claro que o monte Branco existe há muito tempo e provavelmente persistirá por mais algum, mas ele não se esforça para seguir existindo. Uma rocha que pára por influência da gravidade continua no mesmo lugar. Nenhum esforço é necessário para conservá-la onde está. O monte Branco existe e continuará a existir até que se desgaste ou que um terremoto o derrube. Ele não toma providências para deter o desgaste ou para se refazer depois de derrubado, como fazem os seres vivos; simplesmente obedece às leis da física.

Isso equivale a negar que os seres vivos obedecem às leis da física? É claro que não. Não há razão para crer que as leis da física são violadas pela matéria viva. Não há nada de sobrenatural, não há nenhuma "força vital" rivalizando com as forças fundamentais da física. Estou apenas dizendo que, se tentarmos usar ingenuamente as leis da física para entender o comportamento de todo um ser vivo, não iremos muito longe. O corpo é uma coisa complexa, com muitas partes constitutivas, e para entender seu comportamento devemos aplicar as leis da física às suas partes, não ao todo. O comportamento do corpo como um todo emergirá então como consequência da interação de suas partes.

Tomemos, por exemplo, as leis do movimento. Se arremessarmos para o alto um pássaro morto, ele descreverá uma parábola graciosa, exatamente como prevêm os livros de física, cairá no chão e ali permanecerá. Ele se comporta como um corpo sólido de uma certa massa e de uma determinada resistência ao ar deve se comportar. Mas se arremessarmos um pássaro vivo, ele não descreverá uma parábola até cair no chão. Sairá voando, e talvez não queira pousar nas redondezas. Isso acontece porque ele tem músculos que se esforçam para resistir à gravidade e às demais forças físicas que agem sobre seu corpo. As leis da física são obedecidas em cada uma das células de seu corpo. O resultado é que os músculos movem as asas de tal modo que o pássaro segue pairando no ar. O pássaro não está violando a lei da gravidade. Ele é ininterruptamente puxado para baixo pela gravidade, mas suas asas executam um esforço ativo - sempre obedecendo às leis da física em seus músculos - para mantê-lo no ar a despeito da gravidade. Só pensaremos que ele está desafiando uma lei

física se formos ingênuos a ponto de tratá-lo como um amontoado indistinto de matéria com uma certa massa e resistência ao ar. Só quando lembrarmos de suas muitas partes internas, todas elas obedecendo às leis da física em seu próprio nível, é que entenderemos o comportamento de todo seu corpo. É claro que essa não é uma peculiaridade dos seres vivos. Ela se aplica a todas as máquinas fabricadas pelo homem e, potencialmente, a todos os objetos complexos e multipartidos.

Isso me conduz ao tópico final que desejo discutir neste capítulo altamente filosófico: o que entendemos por explicação? Já vimos o que definiremos como uma coisa complexa. Mas que tipo de explicação deve nos satisfazer quando tentamos imaginar como funciona uma máquina ou um ser vivo? A resposta é a que se encontra no parágrafo anterior. Se queremos entender como funciona uma máquina ou um ser vivo, devemos examinar seus componentes e indagar como interagem entre si. Se deparamos com uma coisa complexa que ainda não entendemos, poderemos vir a entendê-la com base em componentes mais simples, já conhecidos.

Se eu perguntar a um engenheiro como funciona um motor a vapor, tenho uma boa noção do tipo de resposta que deve me satisfazer. A exemplo de Julian Huxley, não me deixaria impressionar se o engenheiro dissesse que o motor é impelido pela force locomotif. E caso ele se estendesse sobre como o todo ultrapassa a soma das partes, eu o interromperia: "Deixe disso e me diga como ele funciona". Eu esperaria aprender algo sobre como os componentes do motor interagem para produzir o comportamento do motor inteiro. Aceitaria de início uma explicação baseada em grandes sub-componentes, cujo comportamento e estrutura interna, complicados demais, poderíamos deixar para mais tarde. As unidades de uma primeira explicação satisfatória poderiam atender por nomes como fornalha, caldeira, cilindro, pistão, válvula de pressão. O engenheiro contaria, sem maiores explicações, o que faz cada uma dessas unidades. Eu me daria por satisfeito para começar, sem perguntar como especificamente cada uma dessas unidades consegue cumprir sua função. Dado que cada uma das unidades faz uma coisa determinada, eu poderia então entender como elas interagem para pôr o motor em movimento.

É claro que, então, eu estaria livre para perguntar como funciona cada uma das partes. Tendo aceito previamente o fato de que a válvula de pressão regula o fluxo de vapor e tendo me valido desse fato para entender o comportamento do motor inteiro, posso voltar minha curiosidade para a própria válvula. Quero agora entender, com base nos componentes da válvula, como ela pode funcionar. Há uma hierarquia de

componentes e subcomponentes. A cada nível, explicamos o comportamento de um componente segundo as interações de subcomponentes cuja organização interna não entra em discussão, ao menos por ora. Vamos descendo pela hierarquia até chegarmos a unidades tão simples que, para fins práticos, não sentimos mais necessidade de indagar a seu respeito. Um exemplo: certo ou errado, muitos de nós se darão por satisfeitos chegando às propriedades das barras rígidas de ferro e usarão essas barras como unidades de explicação das máquinas mais Complexas que as contêm.

Mas os físicos não podem deixar de discutir as propriedades das barras de ferro. Querem saber por que são rígidas, e continuarão sua descida hierárquica até muitas camadas abaixo, até as partículas fundamentais e os quarks. Só que a vida é curta para que a maioria de nós queira acompanhar esse raciocínio. Para qualquer nível dado de organização complexa, pode-se normalmente encontrar uma explicação satisfatória uma ou duas camadas mais abaixo, e ponto final, O comportamento de um carro é explicável falando-se de cilindros, carburadores e velas. É verdade que cada um desses componentes encontra-se no topo de uma pirâmide de explicações em níveis inferiores. Mas se me perguntassem como funciona um carro, eu seria pernóstico se respondesse com base nas leis de Newton e nas leis da termodinâmica, e um obscurantista rematado se evocasse as partículas fundamentais. Obviamente é verdade que o comportamento de um automóvel deve-se, em essência, às interações de partículas fundamentais. Mas é bem mais útil explicá-lo segundo as interações dos pistões, cilindros e velas.

O comportamento de um computador pode ser explicado com base nas interações de portas eletrônicas semicondutoras, e o comportamento destas, por sua vez, é explicado pelos físicos em níveis ainda mais básicos. Mas, para a maioria dos propósitos, estaríamos desperdiçando nosso tempo se tentássemos entender o comportamento do computador inteiro em qualquer um desses dois níveis. Há muitas portas eletrônicas e muitas conexões entre elas. Uma explicação satisfatória deve depender de um número manejável de interações. É por isso que, se quisermos entender o funcionamento dos computadores, preferiremos uma explicação preliminar pautada em meia dúzia de grandes subcomponentes - memória, processador, disco rígido, unidade de controle, chaves de entrada e saída etc. Tendo compreendido as interações da meia dúzia de componentes principais, talvez queiramos indagar sobre a organização interna desses componentes. Só os engenheiros especializados descerão ao nível das portas E e NEM, e

só os físicos irão ainda mais longe, até o comportamento dos elétrons num meio semiconductor.

Para quem gosta de ismos , o nome mais adequado para meu tipo de explicação do funcionamento das coisas provavelmente seria "reducionismo hierárquico". O leitor das revistas intelectuais da moda deve ter notado que "reducionismo", assim como "pecado", é uma daquelas coisas que só são mencionadas por seus opositores. Em certos círculos, declarar-se reducionista seria quase igual a admitir que se comem bebês. Mas assim como ninguém come bebezinhos de fato, ninguém é reducionista em algum sentido digno de oposição. O reducionista inexistente - aquele a quem todos se opõem, mas que de fato só existe na imaginação - tenta explicar coisas complexas diretamente com base nas suas menores partes constituintes ou mesmo, em algumas versões extremas do mito, como a soma das partes! O reducionista hierárquico, por outro lado, explica uma entidade complexa em qualquer nível da hierarquia de organização com base nas entidades que estão apenas um nível abaixo, entidades que, por sua vez, provavelmente serão complexas a ponto de exigir nova redução a suas partes constituintes, e assim por diante. Nem é preciso dizer - ainda que o execrado reducionista comedor de bebês mítico tenha fama de negá-lo - que os tipos de explicação cabíveis nos níveis superiores da hierarquia são muito diferentes dos tipos de explicação cabíveis nos níveis inferiores. É esse o motivo de se explicar um carro falando em carburadores, e não em quarks. Mas o reducionista hierárquico acredita que os carburadores são explicáveis com base em unidades menores..., que por sua vez são explicáveis com base em unidades menores.. ., que são finalmente explicáveis com base nas mais ínfimas partículas fundamentais. Reducionismo, neste sentido, é apenas outro nome para o honesto desejo de entender como as coisas funcionam.

Começamos esta seção perguntando-nos que tipo de explicação para as coisas complexas nos satisfaria. Acabamos de examinar a questão do ponto de vista de um mecanismo: como ele funciona?

Concluimos que o comportamento de uma coisa complexa deve ser explicado com base nas interações de seus componentes, considerados como camadas sucessivas de uma hierarquia ordenada. Mas uma outra questão consiste em saber como essa coisa complexa veio a existir. Essa é a questão que ocupa este livro inteiro, portanto não me alongarei muito sobre isso neste momento. Quero apenas mencionar que também aqui se aplica o mesmo princípio geral válido para entendermos os mecanismos. Uma coisa complexa é algo cuja existência não nos parece óbvia, e sim

demasiado "improvável" Ela não pode ter aparecido por um só golpe de sorte. Explicaríamos seu surgimento como conseqüência de transformações graduais e cumulativas, ocorridas passo a passo a partir de coisas mais simples, a partir de objetos primordiais tão simples que seu surgimento pode ser atribuído ao acaso. Assim como o "reducionismo de um grande passo" não serve para explicar um mecanismo e deve ser substituído por uma série de pequenos passos graduais hierarquia abaixo, do mesmo modo não podemos afirmar que uma coisa complexa tem origem num único passo. Novamente teremos de recorrer a uma série de pequenos passos, desta feita ordenados seqüencialmente no tempo.

Num livro primorosamente escrito, *The Creation*, o físico-químico Peter Atkins, da Universidade de Oxford, começa dizendo:

Conduzirei sua mente em uma jornada. Uma jornada de compreensão, que nos levará aos confins do espaço, do tempo e do entendimento. Afirmarei que não há nada que não possa ser entendido, que não há nada que não possa ser explicado, e que tudo é extraordinariamente simples... - Boa parte do universo não requer explicação. Os elefantes, por exemplo. Uma vez que as moléculas tenham aprendido a competir e a criar outras moléculas à sua própria imagem, os elefantes e coisas semelhantes a eles no devido tempo estarão vagando pelos campos.

Atkins supõe que a evolução das coisas complexas - assunto de seu livro - é inevitável assim que se dêem as condições físicas apropriadas. Ele se pergunta quais seriam as condições físicas mínimas, qual o mínimo de estruturação que um Criador bem preguiçoso deveria providenciar para que o universo e, mais tarde, os elefantes e outras coisas complexas viessem um dia a existir. A resposta, de seu ponto de vista físico-químico, é que esse Criador poderia ser infinitamente preguiçoso. As unidades fundamentais originais que precisamos postular a fim de entender o surgimento de tudo consistem, para alguns físicos, em absolutamente nada ou, para outros, em unidades de simplicidade extrema, simples demais para precisarem de algo tão grandioso quanto uma Criação deliberada.

Atkins afirma que os elefantes e as demais coisas complexas não precisam de nenhuma explicação. Mas ele diz isso porque é um físico, que não põe em questão a teoria da evolução exposta pelos biólogos. Ele não quer de fato dizer que os elefantes não precisam de explicação; ele está satisfeito com a explicação dos elefantes proposta pelos biólogos,

contanto que não sejam questionados certos fatos da física. Como físico, sua tarefa consiste em justificar esses fatos. E isso ele faz muito bem. Minha posição é complementar. Sou biólogo, não ponho em questão os fatos da física, os fatos do mundo da simplicidade. Se os físicos ainda não são unânimes em achar que esses fatos simples já são compreendidos, não é problema meu. Minha tarefa é explicar os elefantes e o mundo das coisas complexas com base nas coisas mais simples, que os físicos ou já entendem ou procuram entender, O problema dos físicos diz respeito às mais elementares origens e leis naturais, O problema dos biólogos é o problema da complexidade. O biólogo tenta explicar o funcionamento e o surgimento das coisas complexas com base em coisas mais simples. Pode considerar cumprida sua tarefa quando chega a entidades tão simples que possam ser passadas adiante para os físicos.

Estou ciente de que minha caracterização de um objeto complexo - estatisticamente improvável quando não explicado retrospectivamente - pode parecer idiossincrática. O mesmo poderia valer para minha caracterização da física como estudo das coisas simples. Não me importo se o leitor preferir alguma outra maneira de definir complexidade, e teria prazer de discutir essa outra definição. Mas, qualquer que seja o nome que acabemos por dar a essa qualidade de ser estatisticamente-improvável-quando-não-explicado- retrospectivamente, eu gostaria que se reconhecesse que essa é uma qualidade importante, que exige um esforço especial de explicação. Essa é a qualidade que caracteriza os objetos biológicos, em contraste com os objetos da física. A explicação que apresentarmos não poderá contradizer as leis da física. Aliás, ela fará uso das leis da física, e de nada além das leis da física. Mas ela as empregará de um modo específico, que em geral não se discute nos livros de física. Esse modo é a teoria de Darwin, cujo cerne fundamental apresentarei no capítulo 3, sob o título de seleção cumulativa.

Nesse ínterim, quero seguir a trilha de Paley, enfatizando as dimensões do problema que nossa explicação deve enfrentar, a magnitude da complexidade biológica e a beleza e elegância do design dos seres vivos. O capítulo 2 contém uma discussão extensa de um exemplo específico, o "radar" dos morcegos, descoberto muito depois da época de Paley. Neste capítulo, inseri uma ilustração (figura 1) de um olho, seguida de duas ampliações de seções mais detalhadas - como Paley teria adorado o microscópio eletrônico! Na parte de cima da figura, temos uma seção transversal do olho inteiro. Esse nível de ampliação mostra o olho como instrumento óptico; a semelhança com uma câmara fotográfica é óbvia.A

íris é responsável pela variação da abertura, como o diafragma de uma câmara. O cristalino, que na verdade é apenas parte de um sistema complexo de lentes, responde pela parte variável do foco. O foco é modificado apertando-se o cristalino com os músculos (ou, no caso dos camaleões, movendo-se o cristalino para a frente e para trás, como numa câmara fabricada pelo homem). A imagem incide sobre a retina, que está atrás, e ali excita as fotocélulas.

Mais abaixo, vê-se a ampliação de uma pequena seção da retina. A luz vem da esquerda. As células sensíveis à luz (as "fotocélulas") não são a primeira coisa que a luz atinge, uma vez que se localizam mais para dentro e estão viradas em sentido contrário ao da luz. Essa característica curiosa será discutida mais adiante. A primeira coisa que a luz atinge é uma camada de células ganglionares, que constituem a "interface eletrônica" entre as fotocélulas e o cérebro. Na verdade, as células ganglionares são responsáveis por um pré-processamento bastante intrincado da informação, antes de transmiti-la ao cérebro, e em certo sentido o termo "interface" não lhes faz justiça: "computador satélite" seria mais adequado. Das células ganglionares partem "fios" que correm pela superfície da retina até o "ponto cego", onde mergulham através da retina para formar o cabo-tronco principal rumo ao cérebro - isto é, o nervo óptico. Há cerca de 3 milhões de células ganglionares na "interface eletrônica", reunindo dados de aproximadamente 125 milhões de fotocélulas.

Na parte inferior da figura, vemos a ampliação de uma única fotocélula, o bastonete. Ao examinarmos a elaborada arquitetura interna dessa célula, tenhamos em mente o fato de que toda essa complexidade se repete 125 milhões de vezes em cada retina, e que uma complexidade comparável se repete trilhões de vezes por todo o corpo. Esse número de 125 milhões de fotocélulas corresponde a 5 mil vezes o número de pontos de resolução de uma foto em uma revista de boa qualidade. As membranas dobradas à direita das fotocélulas na ilustração são as estruturas realmente responsáveis pela detecção da luz. Sua conformação em camadas aumenta a eficiência da fotocélula na captação de fótons, as partículas fundamentais que compõem a luz. Se um fóton não é captado na primeira membrana, ele pode ser captado na segunda, e assim por diante. Em conseqüência, alguns olhos são capazes de detectar até mesmo um fóton isolado. As emulsões mais rápidas e sensíveis à disposição dos fotógrafos precisam de 25 vezes mais fótons para detectar um ponto de luz. Os objetos com forma de losango na seção média da célula são principalmente

mitocôndrias. As mitocôndrias podem ser encontradas não apenas em fotocélulas, mas também na maioria das células. Cada uma delas pode ser entendida como uma usina química: a fim de entregar seu produto primário, a energia utilizável, cada uma processa mais de setecentas substâncias químicas diferentes, em longas e entrelaçadas linhas de montagem, dispostas sobre a superfície de suas membranas internas delicadamente dobradas. O glóbulo redondo à esquerda na figura é o núcleo, igualmente característico de todas as células animais e vegetais. Cada núcleo, como veremos no capítulo 5, contém um banco de dados codificado digitalmente, com mais informação do que todos os trinta volumes da Enciclopédia Britânica. E esse número vale para cada célula, não para a soma de todas as células de um corpo.

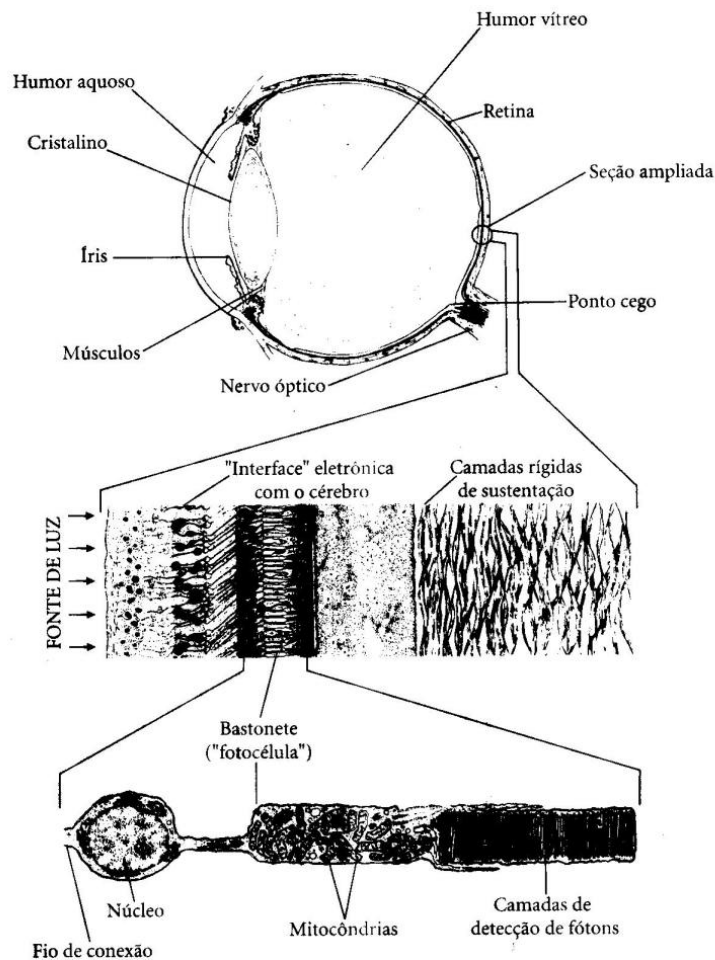


Figura 1

O bastonete ao pé da figura é uma única célula. O número total de células de um corpo humano chega a 10 trilhões. Quando comemos um bife, estamos estraçalhando o equivalente a mais de 100 bilhões de coleções da Enciclopédia Britânica.

2. Bom design

A seleção natural é o relojoeiro cego, cego porque não prevê, não planeja conseqüências, não tem propósito em vista. Mas os resultados vivos da seleção natural nos deixam pasmos porque parecem ter sido estruturados por um relojoeiro magistral, dando uma ilusão de desígnio e planejamento. O propósito deste livro é resolver esse paradoxo de modo satisfatório para o leitor, e o deste capítulo é deixá-lo ainda mais pasmo com o poder dessa ilusão. Observaremos um exemplo particular e concluiremos que, tratando-se de complexidade e beleza de design, o que Paley viu não era nem o começo.

Podemos dizer que um corpo ou órgão vivo tem um bom design quando possui atributos que um engenheiro inteligente e capaz teria inserido nele a fim de que cumprisse algum propósito significativo, como voar, nadar, ver, alimentar-se, reproduzir-se ou, de um modo mais geral, promover a sobrevivência e a replicação dos próprios genes. Não é necessário supor que o design de um corpo ou órgão seja o melhor que um engenheiro poderia conceber.

Muitas vezes, o melhor que um engenheiro pode fazer é ultrapassado pelo que outro engenheiro fará, especialmente se este último viver num período posterior da história da tecnologia. Mas qualquer engenheiro é capaz de reconhecer um objeto que tenha sido estruturado (mesmo se mal estruturado) para um propósito determinado, e até de deduzir a natureza desse propósito a partir da organização do objeto. No primeiro capítulo, ocupamo-nos principalmente de aspectos filosóficos. Neste capítulo, discorrerei sobre um exemplo específico da vida real que a meu ver impressionaria qualquer engenheiro: o sonar ("radar") dos morcegos. Para explicar cada ponto, começarei por apresentar um problema

enfrentado pela máquina viva; considerarei então as soluções para o problema que poderiam ocorrer a um engenheiro; por fim, passarei à solução que a natureza de fato adotou. É claro que esse exemplo serve apenas como ilustração. Um engenheiro que se impressione com os morcegos não deixará de se impressionar com outros incontáveis exemplos de design de seres vivos.

Os morcegos enfrentam um problema: como se orientar no escuro. Eles caçam à noite, e por isso não podem usar a luz para encontrar presas e evitar obstáculos. Poderíamos dizer que a culpa é toda deles, uma vez que evitariam o problema se alterassem seus hábitos e caçassem de dia. Mas a economia diurna já é altamente explorada por outras Criaturas, como os pássaros. Dado que há recursos disponíveis à noite, e dado que as ocupações diurnas já estão inteiramente tomadas, a seleção natural favoreceu aqueles morcegos que conseguiram ganhar a vida com caçadas noturnas. É provável, aliás, que as ocupações noturnas remontem à ascendência de todos os mamíferos. No tempo em que os dinossauros dominavam a economia diurna, nossos ancestrais mamíferos provavelmente só conseguiram sobreviver porque inventaram modos de ganhar a vida à noite. Foi só depois da misteriosa extinção em massa dos dinossauros, cerca de 65 milhões de anos atrás, que nossos antepassados puderam sair em massa à luz do dia.

Voltando aos morcegos, digamos que enfrentam um problema de engenharia: como achar seu caminho e encontrar suas presas na ausência de luz. Os morcegos não são as únicas criaturas a enfrentar essa dificuldade hoje em dia. Também os insetos noturnos que eles caçam têm de encontrar seu caminho de alguma maneira. Peixes abissais e baleias dispõem de pouca ou nenhuma luz, de dia como de noite, pois os raios do Sol não penetram muito além da superfície. Peixes e golfinhos que vivem em águas muito barrentas também não têm como enxergar porque a luz disponível é obstruída e dispersada pelos detritos na água. Muitos outros animais de nossa época sobrevivem em condições nas quais a visão é difícil ou impossível.

Dado o problema de como manobrar no escuro, que soluções poderiam ocorrer a um engenheiro? Talvez a primeira fosse a de fabricar luz, de usar uma lanterna ou um holofote. Os vaga-lumes e alguns peixes (em geral com a ajuda de bactérias) são capazes de fabricar luz, mas o processo parece consumir muita energia. Os vaga-lumes usam sua luz para atrair parceiras, o que não requer uma quantidade proibitiva de energia: o pequeno ponto luminoso do macho pode ser visto pelas fêmeas a certa

distância na escuridão, uma vez que seus olhos são expostos diretamente à fonte de luz. Usar luz para orientar-se requer muito mais energia, uma vez que os olhos têm de detectar a minúscula fração da luz refletida de cada parte do cenário. Assim, a fonte de luz tem de ser imensamente mais intensa se for usada como lanterna para iluminar o caminho e não como sinalização para outros indivíduos. De qualquer modo, quer seja ou não devido ao gasto de energia, parece que nenhum animal além do homem e de alguns estranhos peixes abissais usa luz fabricada para orientar-se.

Em que outra coisa o engenheiro poderia pensar? Bem, os humanos cegos parecem ter um tipo incomum de percepção dos obstáculos à sua frente. Isso se chama "visão facial", porque muitos cegos afirmam que ela produz no rosto uma sensação semelhante à do tato. Um relato menciona um menino completamente cego que conseguia passear de triciclo pelo quarteirão de sua casa usando essa "visão facial". Experimentos mostraram que, na realidade, a "visão facial" não tem relação nenhuma com o tato ou com a face, por mais que a sensação possa parecer vir da face, à maneira da dor em um membro fantasma (amputado). A sensação da "visão facial" deriva realmente dos ouvidos. Sem saber, os cegos usam ecos de seus próprios passos e de outros sons para pressentir a presença de obstáculos. Muito antes que isso fosse constatado, os engenheiros já fabricavam instrumentos para explorar o mesmo princípio - por exemplo, para medir a profundidade do mar sob um navio. Uma vez inventada a técnica, foi apenas uma questão de tempo para que os projetistas de armas a adaptassem para a detecção de submarinos. Na Segunda Guerra Mundial, os dois lados em conflito valeram-se largamente de tais dispositivos, sob nomes em código como Asdic (britânico) e Sonar (americano), bem como das tecnologias similares do Radar (americano) ou RDF (britânico), que usam ecos de rádio no lugar de ecos de som.

Os pioneiros do sonar e do radar não sabiam, mas hoje todo mundo sabe que os morcegos - ou melhor, a seleção natural agindo sobre os morcegos haviam desenvolvido esse sistema dezenas de milhões de anos antes, e que seu "radar" é capaz de proezas de detecção e navegação que deixariam um engenheiro boquiaberto. É tecnicamente incorreto falar de um "radar" dos morcegos, pois eles não utilizam ondas de rádio: o termo certo é sonar. Mas as teorias matemáticas básicas para o radar e o sonar são muito semelhantes, e boa parte da compreensão científica dos detalhes sobre a atuação dos morcegos deriva da aplicação das teorias do radar. O zoólogo americano Donald Griffin, em boa medida responsável pela descoberta do sonar dos morcegos, cunhou o termo "ecolocalização", a ser

aplicado tanto ao sonar como ao radar, seja usado por animais, seja por instrumentos humanos. Na prática, o termo costuma ser mais usado para se referir ao sonar animal.

É incorreto falar dos morcegos como se fossem todos iguais; seria como agrupar cães, leões, doninhas, ursos, hienas, pandas e lontras tão-somente porque são todos carnívoros. Grupos diferentes de morcegos usam o sonar de modo radicalmente diferente, e parecem mesmo tê-lo "inventado" separadamente, da mesma maneira que britânicos, alemães e americanos projetaram independentemente o radar. Nem todos os morcegos usam a ecolocalização. Os morcegos frugívoros tropicais do Velho Mundo têm boa visão, e a maior parte deles usa apenas os olhos para orientar-se. Contudo, algumas espécies de morcegos frugívoros (o *Rousettus*, por exemplo) são capazes de se orientar na escuridão total, quando até os melhores olhos são inúteis. Para isso eles empregam o sonar, mas de um tipo mais rudimentar que o dos morcegos menores das regiões temperadas. O *Rousettus* estala a língua com força e ritmadamente enquanto voa, e navega medindo o intervalo de tempo entre cada estalo e seu eco. Um bom número dos estalos do *Rousettus* são claramente audíveis para nós (o que, por definição, mostra que são sons, e não ultra-sons; o ultra-som é exatamente a mesma coisa que o som, só que é alto demais para que possamos ouvi-lo).

Em teoria, quanto mais alto o som, mais útil ele será para o sonar. Isso acontece porque sons de baixa frequência têm ondas longas, que não permitem determinar a diferença entre objetos próximos. Portanto, sendo tudo o mais igual, um míssil que utilizasse ecos em seu sistema de orientação deveria produzir sons de altíssima frequência. Com efeito, a maioria dos morcegos usa sons de altíssima frequência, os ultra-sons, altos demais para serem ouvidos pelos seres humanos. Ao contrário do *Rousettus*, que tem boa visão e utiliza uma quantidade moderada de sons não modificados de frequência relativamente baixa para fins de ecolocalização complementar, os morcegos menores parecem ser ecomáquinas avançadíssimas. Seus olhos são minúsculos e provavelmente na maior parte dos casos não vêem grande coisa. Vivem num mundo de ecos, e é provável que seus cérebros usem os ecos para fazer algo parecido com "ver" imagens, ainda que seja quase impossível para nós "visualizar" como poderiam ser essas imagens. Os ruídos que eles produzem não são apenas um tanto altos demais para que os ouçamos, como uma espécie de superapito de cachorros; em muitos casos, são muitíssimo mais altos que qualquer nota

que já se ouviu ou imaginou. Aliás, sorte nossa não podermos ouvi-los: são fortíssimos, seriam ensurdecedores e não nos deixariam dormir.

Esses morcegos são como aviões de espionagem em miniatura, repletos de instrumentos sofisticados. Seus cérebros são pacotes de minúsculas engenhocas eletrônicas finamente calibradas, protramadas com o intrincado software necessário para decodificar uma infinidade de ecos em tempo real. Suas faces são distorcidas como gárgulas, e nos parecem horrorosas até que vejamos o que de fato são - instrumentos refinados de propagação de ultra-som nas direções almeçadas.

Ainda que não possamos ouvir diretamente os pulsos de ultra-som desses morcegos, podemos ter uma idéia do que está acontecendo com a ajuda de uma máquina de tradução, um "detector de morcegos". A máquina capta os pulsos por meio de um microfone ultra-sônico especial e converte cada pulso em um estalo ou som audível, que ouvimos em fones de ouvido. Se levarmos um desses "detectores de morcego" a uma clareira onde um morcego se alimenta, saberemos quando cada pulso foi emitido, mesmo sem saber como é o "som" dos pulsos. Se nosso morcego for um Myotis, um morcego marrom comum, ouviremos uma seqüência de estalos a um ritmo de dez por segundo enquanto o morcego voar para cumprir suas atividades rotineiras. Esse é o ritmo de uma máquina de telex ou de uma metralhadora Bren.

Podemos presumir que a imagem que o morcego faz do mundo em que está voando é atualizada dez vezes por segundo. Quando estamos de olhos abertos, nossa imagem visual parece ser atualizada continuamente. Podemos ter idéia do que seria uma visão do mundo atualizada intermitentemente valendo-nos de um estroboscópio à noite. É o que se faz às vezes em discotecas, com alguns efeitos dramáticos: os dançarinos aparecem como uma sucessão de poses congeladas de estátuas. É claro que, se aceleramos o estroboscópio, a imagem corresponderá mais proximamente à nossa visão "contínua" normal. O ritmo de "amostragem" de visão estroboscópica, à velocidade de cruzeiro de morcego de cerca de dez amostras por segundo, seria quase tão bom como a visão "contínua" normal para determinadas finalidades rotineiras, embora não para apanhar uma bola ou um inseto.

Esse é simplesmente o ritmo de amostragem de um morcego em um vôo de cruzeiro comum. Quando um morceguinho marrom detecta um inseto e adota um curso de interceptação, o ritmo dos estalos se acelera. Mais rápido que uma metralhadora, pode chegar a picos de duzentos pulsos por segundo no momento em que o morcego finalmente se acerca do alvo móvel. Para imitar esses picos, teríamos de acelerar nosso estroboscópio para

que emitisse seus facho de luz duas vezes mais rápido que os ciclos da eletricidade de uso doméstico, que não são notados à luz fluorescente. É claro que não temos problemas para realizar todas as nossas funções visuais normais - até mesmo jogar squash ou tênis de mesa - num mundo visual "pulsando" nessa alta frequência. Supondo que os cérebros dos morcegos construam uma imagem do mundo análoga às nossas imagens visuais, podemos inferir a partir do ritmo dos pulsos que a eco-imagem do morcego é tão detalhada e "contínua" quanto nossa imagem visual. Mas é claro que podem existir outras razões para que ela não seja tão detalhada quanto nossa imagem visual.

Se os morcegos são capazes de elevar seu ritmo de amostragem a duzentos pulsos por segundo, por que não o mantêm o tempo todo? Se obviamente têm um botão de controle do ritmo de seu "estroboscópio", por que não o deixam permanentemente no máximo, mantendo assim sua percepção do mundo no nível mais apurado, o tempo todo, para qualquer emergência? Uma das razões é que esses ritmos acelerados só servem para alvos próximos. Se um pulso for emitido rápido demais em relação ao seu predecessor, ele se misturará ao eco que este emitiu ao voltar de um alvo distante. Mesmo que isso não acontecesse, provavelmente haveria boas razões econômicas para não se manter o ritmo dos pulsos sempre no máximo: deve ser custoso produzir pulsos ultra-sônicos altos, custoso em energia, custoso em desgaste da voz e dos ouvidos, talvez custoso em tempo de processamento. Um cérebro que está processando duzentos ecos distintos por segundo talvez não tenha capacidade extra para pensar em muita coisa mais. O ritmo de dez estalos por segundo também deve ser custoso, mas bem menos que o de duzentos por segundo. Um morcego que elevasse seu ritmo pagaria um preço adicional em energia, desgaste etc. que não seria justificado pela maior precisão do sonar. Quando o único objeto móvel nas redondezas é o próprio morcego, o mundo deve parecer suficientemente similar a cada décimo de segundo e não exigirá amostragem mais frequente. Quando a área próxima incluir um outro objeto móvel, em especial um inseto voador girando, revirando e mergulhando na tentativa desesperada de se livrar do perseguidor, o benefício extra Pela aceleração do ritmo de amostragem mais que justifica o custo adicional. É claro que estas considerações de custo e benefício são mera suposição, mas algo nessa linha certamente deve estar se passando.

O engenheiro que decide projetar um sonar ou radar eficiente logo depara com um problema resultante da necessidade de produzir pulsos extremamente altos. Eles têm de ser altos porque quando um som é emitido,

sua frente de onda avança como uma esfera sempre em expansão. A intensidade do som é distribuída e, em certo sentido, "diluída" por toda a superfície da esfera. A área da superfície de qualquer esfera é proporcional ao quadrado do raio. A intensidade do som em qualquer dado ponto da esfera diminui, mas não em proporção à distância (o raio), mas ao quadrado da distância a partir da fonte de som, à medida que a frente de onda avança e a esfera se expande. Isso significa que o som vai silenciando muito rapidamente conforme se distancia de sua fonte - no caso, o morcego.

Quando atinge um objeto - uma mosca, por exemplo - esse som diluído ricocheteia. Este som refletido, por sua vez, se distancia da mosca em uma frente de onda esférica que se expande. Como acontecia com o som original, o novo som decai em proporção ao quadrado da distância da mosca. Quando o eco finalmente chega até o morcego, a perda de intensidade não é proporcional à distância da mosca ao morcego ou sequer ao quadrado dessa distância, mas a algo assim como o quadrado do quadrado, a quarta potência da distância. Isso quer dizer que o som está extremamente tênue. O problema pode ser parcialmente superado se o morcego propagar o som com o equivalente de um megafone, contanto que ele saiba previamente a direção do alvo. De qualquer modo, se quiser receber um eco razoável de um alvo distante, o morcego terá de emitir guinchos altíssimos, e o instrumento de detecção do eco - o ouvido - terá de ser altamente sensível a sons muito tênues - os ecos. Os guinchos dos morcegos são de fato muito altos, e seus ouvidos são muito sensíveis.

Mas eis aqui o problema que se apresentaria ao engenheiro ocupado em conceber uma máquina à feição dos morcegos. Se for tão sensível assim, o microfone (ou ouvido) corre sério risco de ser gravemente danificado pelos altíssimos pulsos de sons emitidos. De nada vale combater o problema diminuindo a intensidade dos sons, pois então os ecos seriam inaudíveis. E de nada vale combater este último problema tornando o microfone (ou ouvido) mais sensível, pois isso o tornaria mais vulnerável aos sons emitidos - mesmo quando ligeiramente mais baixos que antes! Trata-se de um dilema inerente à notável diferença de intensidade entre o som e seu eco, uma diferença imposta inexoravelmente pelas leis da física.

Que outra solução poderia ocorrer ao engenheiro? Durante a Segunda Guerra Mundial, quando apareceu um problema análogo, os inventores do radar saíram-se com uma solução que chamaram radar "emissor/receptor". Os sinais de radar eram necessariamente emitidos em

pulsos muito fortes, que poderiam danificar as antenas sensíveis que aguardavam seu débil eco. O circuito "emissor/receptor" desconectava temporariamente a antena de recepção logo antes da emissão do pulso, e em seguida ligava-a novamente a tempo de receber o eco.

Os morcegos desenvolveram essa tecnologia de comutação "emissor/receptor" há muitíssimo tempo, provavelmente milhões de anos antes que nossos antepassados descessem das árvores. Explicarei agora como ela funciona. Nos ouvidos dos morcegos, assim como nos ouvidos humanos, o som é transmitido do tímpano para as células microfônicas sensíveis ao som por uma ponte composta de três ossos pequenos, conhecidos, graças à sua forma, como martelo, bigorna e estribo. Aliás, a montagem e a articulação desses três ossos corresponde exatamente ao que um engenheiro de som poderia ter concebido para uma função de impedância, mas essa é outra história. O que importa aqui é que alguns morcegos têm músculos bem desenvolvidos ligados ao estribo e ao martelo. Quando esses músculos se contraem, os ossos não transmitem o som com a mesma eficiência - algo assim como se calássemos um microfone apertando o polegar contra o diafragma vibratório. O morcego consegue usar esses músculos para desligar seus ouvidos temporariamente. Os músculos contraem-se imediatamente antes da emissão de um pulso, desligando assim os ouvidos e impedindo que se danifiquem. Em seguida, relaxam-se para que o ouvido volte a sensibilidade máxima, bem a tempo de receber o eco. Esse sistema de comutação "emissor/receptor" só funciona se for mantida uma sincronia precisa medida em frações de segundo. O morcego *Tadarida* é capaz de contrair e relaxar esses músculos cinquenta vezes por segundo, mantendo-os em perfeita sincronia com a metralhadora de pulsos em ultra-som. É uma proeza de sincronização, comparável a um hábil truque utilizado em alguns aviões de caça durante a Primeira Guerra Mundial: suas metralhadoras atiravam "através" das hélices, com disparos cuidadosamente sincronizados com a rotação das pás de modo que as balas passassem entre elas sem as despedaçar.

O próximo problema que talvez ocorresse ao nosso engenheiro é o seguinte. Se o sonar mede a distância dos alvos aferindo a duração do silêncio entre a emissão do som e o retorno do eco - o método que o morcego *Rousettus* parece usar - os sons deveriam ser pulsos breves, em staccato. Um som prolongado ainda estaria sendo emitido quando o eco voltasse, e assim, ainda que parcialmente amortecido pelos músculos do ouvido, perturbaria a detecção. Idealmente, portanto, os pulsos dos morcegos deveriam ser brevíssimos. Contudo, quanto mais breve for um

pulso, mais difícil será produzi-lo com força suficiente para proporcionar um eco aproveitável. Ao que parece, estamos diante de um novo dilema imposto pelas leis da física. Duas soluções poderiam ocorrer a engenheiros hábeis, e de fato ocorreram quando encontraram o mesmo problema, novamente no caso análogo do radar. A opção por uma ou outra das soluções depende do que parecer mais importante: medir a distância (do objeto ao instrumento) ou a velocidade (do objeto em relação ao instrumento). A primeira solução é conhecida entre engenheiros de radar como chirp radar ["radar de trinado"].

Imaginemos os sinais de radar como uma série de pulsos, sendo que cada pulso tem uma frequência portadora, análoga à "altura" de um pulso de som ou ultra-som. E os guinchos de morcegos, como vimos, têm um ritmo de repetição de pulsos que varia entre dezenas e centenas por segundo. Cada um desses pulsos tem uma frequência portadora de dezenas de milhares a centenas de milhares de ciclos por segundo. Cada pulso, em outras palavras, é um grito de alta frequência. De modo semelhante, cada pulso de radar é um "grito" de ondas de rádio, com uma alta frequência portadora. O traço específico do chirp radar é que ele não mantém uma mesma frequência portadora durante cada grito. Ao contrário, a frequência portadora sobe e desce rapidamente cerca de uma oitava. Fazendo uma analogia com os sons, cada emissão de radar pode ser comparada ao sobe-e-desce de um "fiiiuu!", um assobio de galanteio. A vantagem do chirp radar em comparação com o pulso em frequência fixa é a seguinte: não importa que o trinado original ainda esteja sendo emitido quando seu eco retorna, pois eles não se confundirão. Isso acontece porque o eco que se detecta em qualquer dado momento será reflexo de uma parte anterior do trinado, e portanto terá altura diferente.

Os inventores do radar fizeram bom uso dessa técnica engenhosa. Existe alguma indicação de que os morcegos também "descobriram" algo semelhante, como fizeram com o sistema emissor/receptor? Com efeito, numerosas espécies de morcegos gritos que chegam a descer uma oitava em cada grito. Esses gritos análogos ao assobio de galanteio são conhecidos como frequência modulada (FM). Eles parecem perfeitamente adequados ao uso da técnica do chirp radar. Contudo, as observações sugerem que os morcegos usam essa técnica não para distinguir um eco do som original que o produziu, e sim para o propósito mais sutil de fazer distinção entre vários ecos. Um morcego vive num mundo de ecos provenientes de objetos próximos, distantes e a uma distância intermediária. Ele deve ser capaz de distinguir uns de outros. Se emitir trinados descendentes como um

assobio de galanteio, a distinção pela altura será nítida. Quando um eco de um objeto distante finalmente regressar ao morcego, ele será um eco mais "velho" do que o eco que, no mesmo instante, chega de um objeto próximo - devendo portanto ter frequência mais alta. Diante de ecos contraditórios de vários objetos, o morcego pode aplicar uma regra prática: frequência mais alta significa mais distante.

A segunda boa idéia que poderia ocorrer ao engenheiro - especialmente ao interessado em medir a velocidade de um alvo móvel - seria a de explorar o que os físicos chamam de desvio Doppler. Podemos chamá-lo de "efeito de ambulância'", porque sua manifestação mais conhecida é a súbita queda da altura do som de uma sirene de ambulância que passa velozmente pelo ouvinte. O desvio Doppler se dá sempre que uma fonte de som (ou de luz ou de qualquer outro tipo de onda) e um receptor desse som mudam de posição relativa. É mais fácil imaginar que a fonte de som é imóvel e que o ouvinte está se deslocando. Suponhamos que a sirene de uma fábrica está soando continuamente, em uma mesma nota. O som propaga-se em uma série de ondas. As ondas são invisíveis, pois são ondas de pressão do ar. Se pudéssemos vê-las, seriam como os círculos concêntricos que se formam quando jogamos pedregulhos no meio de uma poça parada. Imagine que uma série de pedregulhos é arremessada em rápida sucessão no meio da poça, produzindo ondas que se irradiam constantemente de seu centro. Se atracarmos um barquinho de brinquedo a um ponto fixo da poça, ele irá se balançar ritmadamente conforme as ondas passam sob ele. A frequência do balanço é análoga à frequência de um som.

Suponhamos agora que o barquinho, em vez de estar atracado, está avançando na direção do centro, de onde provêm os círculos de ondas. Ele continuará balançando conforme atinja as sucessivas frentes de onda, só que agora com maior frequência, uma vez que se desloca na direção da fonte. Balançará em ritmo mais acelerado. E então, quando tiver ultrapassado a fonte das ondas e avançar para o outro lado da poça, a frequência de seus balanços obviamente decrescerá.

Pela mesma razão, se passarmos de motocicleta (silenciosa, de preferência) diante da sirene de uma fábrica, a altura de seu apito aumentará conforme nos aproximarmos: nossos ouvidos absorverão as ondas em ritmo mais acelerado do que se estivéssemos parados. Da mesma maneira, quando nossa motocicleta tiver deixado a fábrica para trás, distanciando-se da sirene, a altura do som será menor. Quando pararmos de nos mover, ouviremos a altura real da sirene, a meio caminho das duas alturas modificadas pelo desvio Doppler. Por conseguinte, se soubermos a altura

exata da sirene, poderemos teoricamente determinar a velocidade em que nos aproximamos ou distanciamos da fonte simplesmente pela comparação entre a altura aparente e a altura "verdadeira" conhecida.

O mesmo princípio funciona quando a fonte de som está se movendo e o ouvinte está parado - é o que acontece com as ambulâncias. Conta-se, muito implausivelmente, que o próprio Christian Doppler demonstrou esse efeito contratando uma banda de metais para tocar sobre um vagão ferroviário aberto que passava velozmente diante de uma platéia espantada. O que importa é o movimento relativo; no que diz respeito ao efeito Doppler, não faz diferença supor que a fonte se move em relação ao ouvido ou vice-versa. Se dois trens passarem um pelo outro em direções opostas, ambos viajando a cerca de 200 km/h, um passageiro em um dos trens ouvirá o apito do outro trem alterado por um dramático desvio Doppler, uma vez que a velocidade relativa será próxima de 400 km/h.

O efeito Doppler é utilizado em radares de trânsito para controle da velocidade dos veículos. Um instrumento estático emite sinais de radar ao longo de uma rua. As ondas de radar ricocheteiam nos carros que passam e são registradas pelo aparelho receptor. Quanto mais depressa andar o carro, maior a frequência do desvio Doppler. Comparando a frequência de saída com a frequência do eco, a polícia, ou melhor, o instrumento automático é capaz de calcular a velocidade de cada carro. Se a polícia pode explorar essa técnica para medir a velocidade dos maus motoristas, podemos esperar que os morcegos também a usem para medir a velocidade de suas presas?

A resposta é afirmativa. Os pequenos morcegos-ferradura [famílias Rhinolophidae e Hipposideridae] são bem conhecidos por seus pios longos, de altura fixa, tão diversos dos estalos em staccato ou dos fins descendentes de outros morcegos. Quando digo longos, refiro-me aos padrões dos morcegos. Seus "pios" duram menos que um décimo de segundo. E muitas vezes há um "fiuuu!" adicionado ao final de cada pio, como veremos. Para começar, imaginemos um morcego-ferradura emitindo um murmúrio contínuo em ultra-som enquanto voa rapidamente na direção de um objeto estático, como uma árvore. As ondas atingem a árvore em ritmo acelerado em decorrência do movimento do morcego em direção a ela. Se escondêssemos um microfone na árvore, este "ouviria" o som do desvio Doppler distorcido para cima, por causa do movimento do morcego. Não há microfone algum na árvore, mas o eco refletido por ela sofrerá esse mesmo desvio Doppler para cima em sua frequência. Ora, à medida que as frentes de onda do eco voltam da árvore para o morcego, ele continua se

aproximando rapidamente dela. Há portanto mais um desvio Doppler em jogo, que eleva ainda mais a percepção que o morcego tem da altura do eco. O movimento do morcego acarreta um duplo desvio Doppler, cuja magnitude é uma indicação precisa da velocidade do morcego em relação à árvore. Comparando a altura de seu guincho com a altura do eco, então, o morcego (ou melhor, o computador de bordo instalado em seu cérebro) poderia teoricamente calcular sua velocidade de aproximação. Isso não diria ao morcego a distância até a árvore, mas ainda assim poderia ser uma informação muito relevante.

Se o objeto que reflete os ecos não fosse uma árvore estática, mas um inseto em movimento, as conseqüências Doppler seriam mais complicadas, mas ainda assim o morcego poderia calcular a velocidade do movimento relativo entre ele e seu alvo, o que obviamente é o tipo de informação de que precisa o refinado míssil tele- guiado que é um morcego quando está caçando. Na verdade, alguns morcegos chegam a aplicar um truque mais interessante do que simplesmente emitir pios de frequência Constante e em seguida medir a altura dos ecos que retornam. Eles ajustam meticulosamente a altura de saída de seus pios de modo que a altura do eco seja constante após o desvio Doppler. Conforme se aproximam de um inseto em movimento, a altura de seus pios é continuamente alterada, à procura da frequência necessária para manter os ecos em uma altura fixa. Esse truque engenhoso mantém o eco naquela altura à qual os ouvidos são mais sensíveis dado importante, uma vez que os ecos são tão fracos. Os morcegos obtêm a informação necessária para seus cálculos Doppler por meio da monitoração da altura em que são obrigados a piar para conseguir o eco de altura fixa. Não sei se há aparelhos humanos - de sonar ou de radar - que façam uso desse truque sutil. Mas como tantas soluções engenhosas nesse campo foram primeiro desenvolvidas pelos morcegos, aposto que a resposta é afirmativa.

É de se esperar que essas duas técnicas tão diversas - a do desvio Doppler e a do chirp radar sejam úteis para propósitos diferentes. Alguns grupos de morcegos especializam-se em uma, outros em outra. Alguns grupos parecem tirar proveito do melhor de ambos os mundos, adicionando um "assobio de galanteio" em EM ao fim (por vezes ao começo) de cada "pio" longo e de altura constante. Outro truque curioso dos morcegos-ferradura diz respeito ao movimento de seu pavilhão auricular. Ao contrário de outros morcegos, o morcego-ferradura é capaz de mover seu pavilhão de orelha para a frente e para trás, em rápida alternância. É plausível que esse movimento adicional da superfície de escuta em relação

ao alvo cause modulações úteis no desvio Doppler, modulações que lhe forneçam mais informações. Quando a orelha se move na direção do alvo, a velocidade do movimento em direção ao alvo parece aumentar. Quando a orelha se move em direção contrária, o inverso acontece. O cérebro do morcego "sabe" a direção em que se movem as orelhas, e bem poderia fazer os cálculos necessários para explorar essas informações.

É provável que o problema mais difícil enfrentado pelos morcegos seja o perigo de "interferência" dos guinchos de outros morcegos. Alguns cientistas descobriram que é surpreendentemente difícil desviar um morcego de sua rota com a simples emissão de ultra-sons artificiais. Analisando em retrospecto, esse resultado era previsível. Os morcegos tiveram de resolver o problema de evitar a interferência há muito tempo. Muitas espécies de morcegos vivem em enormes aglomerações dentro de cavernas que devem ser uma babel ensurdecidora de ultra-sons e ecos, e mesmo assim conseguem voar rapidamente em meio à escuridão, evitando as paredes e os demais morcegos. Como um morcego consegue seguir o fio da meada de seus próprios ecos, sem os confundir com os ecos dos outros? A primeira solução que poderia ocorrer a um engenheiro seria alguma espécie de frequência codificada: cada morcego deve ter sua própria frequência privativa, à maneira das estações de rádio. Talvez algo assim aconteça em certa medida, mas está longe de ser toda a explicação.

Ainda não sabemos muito bem como os morcegos não criam interferência uns com os outros, mas temos uma indicação interessante dada por experimentos que tentavam desviar morcegos de suas rotas. Ao que se viu, é possível despistar alguns morcegos reemitindo seus próprios guinchos com um atraso artificial. Em outras palavras, dando-lhes ecos de seus próprios guinchos. Por meio de um controle cuidadoso da aparelhagem eletrônica que atrasa o falso eco, é até possível fazer com que os morcegos tentem pousar num apoio "fantasma". Suponho que esse seja o equivalente, para um morcego, da visão do mundo através de uma lente.

Pode ser que os morcegos usem algo que poderíamos chamar de "filtro de estranheza". Cada eco sucessivo dos guinchos de um morcego produz uma imagem do mundo que faz sentido com base na imagem prévia, construída sobre ecos anteriores. Se o cérebro do morcego ouvir o eco do guincho de um outro morcego e tentar incorporá-lo à imagem do mundo que construíra previamente, o novo eco não fará sentido, como se os objetos do mundo houvessem subitamente saltado em direções aleatórias. Os objetos não se comportam dessa maneira amalucada no mundo real, de modo que o cérebro pode descartar esses ecos aparentes com segurança, como ruído de

fundo. Quando um cientista emite "ecos" artificialmente atrasados ou acelerados dos guinchos do próprio morcego, os falsos ecos farão sentido com base na imagem do mundo que o morcego construíra previamente. Os falsos ecos passarão pelo filtro de estranheza porque são plausíveis no contexto dos ecos precedentes; darão a aparência de um pequeno deslocamento dos objetos, o que é algo plausível no mundo real. O cérebro do morcego parte do pressuposto de que o mundo descrito por um pulso de eco será igual ou ligeiramente diferente do mundo descrito pelos pulsos anteriores: o inseto perseguido pode ter mudado um pouco de lugar, por exemplo.

Há uma publicação acadêmica muito conhecida do filósofo Thomas Nagel, intitulada "What is it like to be a bat?" [Como é ser um morcego?]. O ensaio é menos sobre morcegos e mais sobre o problema filosófico de imaginar "como" é ser algo que não somos. A razão pela qual um morcego é um exemplo tão atraente para um filósofo deriva da suposição de que as experiências de um morcego capaz de ecolocalização são peculiarmente estranhas e diferentes das nossas. Se quisermos partilhar as experiências de um morcego, será grosseiramente enganoso ir a uma caverna, gritar ou bater duas colheres, contar conscientemente o tempo até a chegada do eco e então calcular a distância até a parede.

Isso não equivaleria a saber como é ser um morcego, assim como o que segue não é uma boa descrição de como é ver as cores: tomemos um instrumento para medir o comprimento de onda da luz que penetra nossos olhos; se ela for longa, estaremos vendo o vermelho, se ela for curta, estaremos vendo o violeta ou o azul. É um fato físico que a luz que chamamos de vermelha tem comprimento de onda superior ao da luz que chamamos de azul. Comprimentos de onda diferentes ativam as fotocélulas de nossa retina sensíveis ao vermelho ou ao azul. Mas não há traço algum do conceito de comprimento de onda em nossa percepção subjetiva das cores - nada sobre "como é" ver o azul ou o vermelho nos informa sobre o comprimento respectivo das ondas. Quando isso vem ao caso (o que é raro), temos de nos lembrar ou consultar um livro (é o que sempre faço). De modo semelhante, um morcego percebe a posição de um inseto por meio do que chamamos de ecos. Mas o morcego certamente não pensa em termos de atraso do eco quando percebe um inseto, assim como nós não pensamos em função dos comprimentos de onda quando vemos o azul ou o vermelho.

De fato, se me forçassem a fazer o impossível, isto é, a imaginar como é ser um morcego, eu presumiria que a ecolocalização poderia ser para eles algo bem parecido com o que a visão é para nós.

Somos animais tão integralmente visuais que mal percebemos como ver é uma tarefa complicada. Os objetos estão "lá fora" e nós pensamos que os "vemos" lá fora. Mas suspeito que nossas percepções são na verdade um sofisticado modelo de computador no cérebro, construído a partir das informações que vêm lá de fora, mas convertidas na cabeça sob uma forma em que essa informação possa ser utilizada. Diferenças no comprimento de onda da luz lá fora são codificadas como diferenças de "cor" em nosso modelo de computador dentro da cabeça. Forma e outros atributos são codificados da mesma maneira, de um modo que seja conveniente de se manejar. O sentido da visão é, para nós, muito diferente do sentido da audição, mas isso não pode ser devido diretamente às diferenças físicas entre luz e som. Afinal de contas, ambos são traduzidos pelos respectivos órgãos sensoriais para um mesmo tipo de impulso nervoso. É impossível dizer, a partir dos atributos físicos de um impulso nervoso, se ele está transmitindo informações sobre luz, som ou odor. O sentido da visão é tão diferente do sentido da audição ou do olfato porque o cérebro acha conveniente usar tipos diferentes de modelo interno do mundo visual, do mundo do som e do mundo do odor. Os sentidos da visão e da audição diferem tanto porque os usos internos de nossa informação visual e de nossa informação sonora são diferentes e servem a propósitos diversos. Não se trata diretamente de diferenças físicas entre a luz e o som.

Mas os morcegos utilizam sua informação sonora mais ou menos da mesma maneira que usamos nossa informação visual. Usam os sons para se aperceber, e atualizar constantemente essa percepção, da posição dos objetos no espaço tridimensional, assim como usamos a luz para fazer o mesmo. O tipo de modelo de computador interno necessário deverá então servir à representação interna das posições cambiantes dos objetos no espaço tridimensional. Estou querendo dizer que a forma da experiência subjetiva de um animal será uma propriedade de seu modelo de computador interno. O design desse modelo, ao longo da evolução, dependerá de sua adequabilidade para uma representação interna útil, seja qual for o estímulo físico proveniente do exterior. Nós e os morcegos precisamos do mesmo tipo de modelo interno para representar a posição dos objetos no espaço tridimensional. É irrelevante que os morcegos construam seu modelo interno com a ajuda de ecos, ao passo que nós o fazemos com a ajuda da luz. Em qualquer dos casos, a informação exterior será sempre traduzida para o mesmo tipo de impulsos nervosos enquanto trafega rumo ao cérebro.

Presumo, assim, que os morcegos "vêem" de um jeito parecido com o nosso, por mais que o meio físico usado para traduzir o mundo "lá fora"

em impulsos nervosos seja tão diferente - ultra- som em vez de luz. Talvez até os morcegos usem as sensações que chamamos de cor para algum propósito, para representar diferenças no mundo exterior que não guardam nenhuma relação com as propriedades físicas do comprimento de onda, mas que têm para o morcego um papel funcional semelhante ao que a cor tem para nós. Talvez os morcegos machos tenham uma superfície corporal com alguma textura específica, de modo que os ecos que refletem sejam percebidos pelas fêmeas como maravilhosamente coloridos - o equivalente sonoro da plumagem nupcial de uma ave-do-paraíso. Não estou propondo uma metáfora vaga. É possível que a sensação subjetiva de uma fêmea ao perceber um morcego macho seja, digamos, vermelho-rutilante - a mesma sensação que tenho quando vejo um flamingo. Ou talvez, pelo menos, a sensação causada na fêmea por seu parceiro não difira mais de minha percepção visual de um flamingo do que esta minha percepção difere da que um flamingo tem de outro flamingo.

Donald Griffin conta que, em 1940, quando ele e seu colega Robert Galambos anunciaram a uma conferência de zoólogos espantados suas descobertas sobre a ecolocalização dos morcegos, um cientista de renome ficou tão incrédulo e indignado que sacudiu Galambos pelos ombros enquanto protestava que não podíamos propor uma hipótese tão ultrajante. O radar e o sonar eram então descobertas altamente secretas da tecnologia militar, e a idéia de que morcegos fossem capazes de fazer qualquer coisa remotamente semelhante aos mais recentes triunfos da tecnologia eletrônica parecia a muitos não apenas implausível como também emocionalmente ofensiva.

É fácil simpatizar com esse ilustre cético. Existe algo de muito humano na sua relutância em acreditar. E ser "humano" é exatamente a explicação. É precisamente porque nossos sentidos humanos não são capazes de fazer o que os morcegos fazem que temos dificuldade em acreditar. É difícil imaginar que um animalzinho seja capaz de fazer "de cabeça" algo que só conseguimos entender por meio de instrumentos artificiais e cálculos no papel. Os cálculos matemáticos necessários para se explicar a visão seriam igualmente complexos e difíceis, e contudo ninguém jamais teve dificuldade em acreditar que animais pequenos possuem o sentido da visão. Essa inconsistência de nosso ceticismo deve-se, muito simplesmente, ao fato de que podemos ver, mas não podemos ecolocalizar.

Imagino algum outro mundo no qual uma conferência de criaturas eruditas semelhantes a morcegos, totalmente cegas, fica estarecida ao saber que certos animais, chamados de humanos, são realmente capazes de

usar os inaudíveis raios recém-descobertos chamados de "luz" - ainda um assunto militar altamente secreto - para se orientar. Essas criaturas humanas, de resto míseras, são quase inteiramente surdas (bem, são capazes de ouvir uma Coisa ou outra e até mesmo de produzir grunhidos baixos e arrastados, que só lhes servem para propósitos rudimentares como a Comunicação; não parecem capazes de usá-los para detectar objetos, por maiores que sejam). Por outro lado, têm órgãos altamente especializados, chamados "olhos", que servem para explorar os raios de "luz". O Sol é a fonte principal desses raios, e os humanos sabem explorar notavelmente os ecos complexos que ricocheteiam dos objetos expostos aos raios de luz do Sol. Possuem um aparelho engenhoso, chamado "cristalino", cuja forma parece ter sido matematicamente calculada para refratar esses raios silenciosos, de tal modo que ha uma relação biunívoca entre os objetos do mundo e as "imagens" formadas sobre uma camada de células chamada "retina". Essas células da retina são misteriosamente capazes de tornar a luz "audível" (por assim dizer), e elas transmitem toda essa informação para o cérebro. Nossos matemáticos mostraram que é teoricamente possível, com a ajuda de cálculos muito complexos, deslocar-se com segurança pelo mundo usando esses raios de luz, com a mesma eficácia que qualquer um de nós o faz usando os ultra-sons - e em alguns aspectos com eficácia ainda maior! Mas quem haveria de imaginar que um mísero humano fosse capaz de fazer tais cálculos?

A ecolocalização dos morcegos é apenas um entre milhares de exemplos que eu poderia ter escolhido para falar sobre um bom design. Os animais parecem ter sido projetados por um físico ou engenheiro dotado de teoria e técnica refinadíssimas, mas não temos razões para pensar que os próprios morcegos conhecem ou entendem a teoria à maneira de um físico. Devemos imaginar que o morcego é análogo ao radar de trânsito, não à pessoa que projetou esse instrumento. O inventor do radar de velocidade policial entendia a teoria subjacente ao efeito Doppler e exprimiu esse entendimento na forma de equações matemáticas, explicitadas no papel. O entendimento do inventor está embutido no design do instrumento, mas o próprio instrumento não sabe como funciona. O instrumento contém componentes eletrônicos, interligados de modo a comparar automaticamente duas frequências de radar e converter o resultado em unidades convenientes- no caso, quilômetros por hora. A computação necessária é complicada, mas perfeitamente ao alcance de uma caixinha de componentes eletrônicos modernos interligados da maneira correta. É claro que um cérebro consciente e sofisticado fez a montagem (ou ao menos o diagrama

de montagem), mas não há cérebro consciente envolvido nas operações corriqueiras da caixinha.

Nossos conhecimentos de tecnologia eletrônica prepararam-nos para aceitar a idéia de que uma máquina inconsciente pode funcionar como se entendesse idéias matemáticas complexas. Podemos transferir diretamente essa idéia para a máquina viva. Um morcego é uma máquina cuja eletrônica interna é tão interligada que os músculos de suas asas lhe permitem chegar aos insetos assim como um míssil teleguiado atinge um avião. Até aqui, nossa intuição, derivada da tecnologia, está correta. Mas o que sabemos da tecnologia também nos dispõe a pensar que a mente de um autor consciente e deliberado está por trás da gênese de máquinas complexas. Esta segunda intuição é equivocada no caso das máquinas vivas: neste caso, o "designer" é a seleção natural inconsciente, o relojoeiro cego.

Espero que essas histórias de morcegos tenham deixado o leitor tão pasmo quanto eu estou ou quanto William Paley estaria. Em certo sentido, meu propósito era idêntico ao de Paley. Não quero que o leitor subestime as prodigiosas obras da natureza e as dificuldades que temos para explicá-las. Ainda que desconhecida na época de Paley, a ecolocalização teria servido tão bem a seus propósitos quanto qualquer um de seus exemplos. Paley realçou seu argumento citando numerosos exemplos. Passou o corpo inteiro em revista, da cabeça aos pés, mostrando que todas as partes, todos os detalhes eram tão elaborados quanto o interior de um belo relógio. De certa maneira, eu gostaria de fazer o mesmo, pois há inúmeras histórias admiráveis para ser contadas, e eu adoro contar histórias. Mas não há necessidade de multiplicar exemplos. Um ou dois bastarão. A hipótese capaz de explicar a ecolocalização dos morcegos é uma boa candidata a explicar qualquer outra coisa no mundo da vida, e se a explicação de Paley para qualquer um de seus exemplos estivesse errada, não poderíamos salvá-la pela multiplicação dos exemplos. Segundo a hipótese de Paley, os relógios vivos foram efetivamente projetados e construídos por um exímio relojoeiro. Nossa hipótese moderna afirma que são obra das etapas evolutivas graduais da seleção natural.

Hoje em dia, os teólogos não são tão diretos como Paley. Não mencionam organismos vivos e complexos para depois asseverar que foram evidentemente projetados por um criador, como um relógio. Mas há uma tendência a mencioná-los e afirmar ser "impossível acreditar" que tal complexidade ou tal perfeição pudesse ter evoluído por meio de seleção natural. Sempre que leio uma observação desse teor, sinto vontade de anotar na margem: "Fale por você!" Há numerosos exemplos (contei 35 em um

único capítulo) em *The Probability of God* [A probabilidade de Deus], livro recém-publicado de Hugh Montefiore, bispo de Birmingham. Extrairei desse livro todos os exemplos seguintes deste capítulo porque se trata de uma tentativa sincera e honesta, por um autor culto e respeitável, de atualizar a teologia natural. Quando digo honesta, quero dizer honesta. Ao contrário de alguns de seus colegas teólogos, o bispo Montefiore não tem medo de dizer que o problema da existência de Deus é definitivamente uma questão de fato. Ele se recusa a apelar para evasivas do tipo "o cristianismo é um modo de vida; o problema da existência de Deus está excluído: é uma miragem criada pelas ilusões do realismo". Partes de seu livro - tratam de física e cosmologia, mas não tenho competência para comentar a esse respeito; posso apenas notar que ele parece citar físicos genuínos como autoridades a seu favor. Se ao menos tivesse feito o mesmo nas seções biológicas! Infelizmente, neste segundo caso ele preferiu consultar as obras de Arthur Koestler, Fred Hoyle, Gordon Rattray-Taylor e Karl Popper. O bispo acredita na evolução, mas não consegue acreditar que a seleção natural seja uma explicação adequada para o curso que a evolução tomou (em parte porque, como tantos outros, ele pensa que a seleção natural é "aleatória" e "sem sentido").

Ele se vale largamente daquilo que podemos chamar de Argumento da Incredulidade Pessoal. Ao longo de um capítulo, encontram-se as seguintes afirmações, na ordem seguinte:

*[...] parece não haver explicação nas linhas darwinistas [...]
Não é mais fácil explicar [...] É difícil entender Não é fácil entender [...]
É igualmente difícil explicar [...] Não acho fácil ver Não acho fácil entender [...]
Acho difícil entender [...] não parece ser possível explicar [...] Não vejo como [...] o neodarwinismo parece inadequado para explicar muitas das complexidades do comportamento animal [...] não é fácil entender de que modo esse comportamento poderia ter evoluído unicamente por meio da seleção natural [...] É impossível [...] Como poderia um órgão tão complexo evoluir? [...] Não é fácil perceber [...] É difícil perceber [...]*

O Argumento da Incredulidade Pessoal é extremamente fraco, como o próprio Darwin notou. Por vezes, baseia-se na simples ignorância. Por exemplo, um dos casos que o bispo acha difícil compreender é a cor branca dos ursos polares:

Quanto à camuflagem nem sempre é fácil explicá-la com as premissas neodarwinistas. Se os ursos-polares dominam o Ártico, então não

deveriam ter necessidade de adquirir uma camuflagem branca ao longo da evolução.

ISSO deveria ser traduzido assim:

Pessoalmente, do alto de minha cabeça, sentado em meu estúdio, sem nunca ter estado no Ártico nem Visto um urso-polar em liberdade, e com minha formação em literatura clássica e teologia, até hoje não consegui imaginar de que maneira os ursos-polares poderiam extrair algum benefício do fato de serem brancos.

Neste caso específico, pressupõe-se que só as presas necessitam de camuflagem. Não se leva em conta que também os predadores podem se beneficiar ficando invisíveis para as presas. Os ursos-polares tocaiam as focas que descansam sobre o gelo. Se uma foca vir o urso ainda de longe, terá tempo de escapar. Suspeito que, se tentar imaginar um urso pardo tentando surpreender uma foca na neve, o bispo verá imediatamente a resposta para seu problema.

Demolir o argumento do urso-polar revelou-se fácil demais, porém, em um aspecto importante, essa não é a questão. Mesmo que a maior autoridade do mundo fosse incapaz de explicar algum fenômeno biológico notável, isso não significaria que se trata de algo inexplicável. Muitos mistérios persistiram por séculos, mas finalmente puderam ser explicados. Em nosso caso, a maioria dos biólogos modernos não teria grande dificuldade para explicar cada um dos 35 exemplos do bispo com base na teoria da seleção natural, ainda que muitos deles não sejam tão fáceis quanto o dos ursos-polares. Mas não estamos testando o engenho humano. Mesmo que encontrássemos um exemplo que não conseguíssemos explicar, deveríamos hesitar antes de tirar qualquer conclusão grandiosa fundamentada na nossa incapacidade. O próprio Darwin foi muito claro a esse respeito.

Há versões mais sérias do argumento da incredulidade pessoal, versões que não se baseiam na mera ignorância ou na falta de engenho. Uma das formas do argumento faz uso direto da imensa admiração que todos nós sentimos diante de qualquer máquina altamente complexa, como o elaboradíssimo equipamento de ecolocalização dos morcegos. Conclui-se daí ser de algum modo evidente que nada tão maravilhoso poderia ter evoluído graças à seleção natural. O bispo cita e aprova a seguinte passagem de G. Bennet sobre teias de aranhas:

É impossível, para quem tiver observado por algumas horas o trabalho das aranhas, ter alguma dúvida de que nem aranhas atuais dessa espécie nem suas antepassadas foram jamais as arquitetas da teia ou que esta poderia ter sido produzida gradualmente por meio da variação aleatória; seria igualmente absurdo supor que as proporções intrincadas e exatas do Partenon foram produzidas pelo simples empilhamento de pedaços de mármore.

Não é nem um pouco impossível. Acredito justamente nisso, e tenho algum conhecimento sobre as aranhas e suas teias.

O bispo passa então ao olho humano, indagando retoricamente e supondo que não terá resposta: "*Como um órgão tão complexo poderia ter evoluído?*" Isso não é um argumento, é apenas uma expressão de incredulidade. A meu ver, essa incredulidade intuitiva que tende a existir em todos nós em se tratando do que Darwin denominou órgãos de extrema perfeição e complexidade tem duas razões. Primeiramente, não somos capazes de uma apreensão intuitiva do vasto tempo à disposição da mudança evolutiva. Muitos céticos a respeito da seleção natural estão dispostos a aceitar que ela é capaz de introduzir pequenas mudanças, como a cor escura que evoluiu em várias espécies de mariposas a partir da revolução Industrial. Tendo aceito isso, não deixam de mencionar que se trata de uma mudança minúscula. Como sublinha o bispo, a mariposa escura não é uma nova espécie. Sei bem que essa mudança é pequena, e desprezível se comparada à evolução do olho ou da ecolocalização. Por outro lado, as mariposas só precisaram de cem anos para fazer a mudança. Cem anos pode ser muito tempo para nós, uma vez que supera nossa expectativa de vida; para um geólogo, cem anos são aproximadamente um milésimo de sua Unidade usual de medida!

Os olhos não deixam registro fóssil, de modo que não sabemos quanto tempo foi preciso para que nosso tipo de olho evoluísse do nada até sua complexidade e perfeição atuais - mas sabemos que teve várias centenas de milhões de anos à sua disposição. Para fins de comparação, pensemos nas mudanças que o homem conseguiu criar em muito menos tempo por meio da seleção genética de cães. Em poucas centenas, ou no máximo em alguns milhares de anos, passamos do lobo ao pequinês, ao buldogue, ao chihuahua e ao são-bernardo. Ah, mas ainda são cães, não são? Não se transformaram num animal de "tipo" diferente! Sim, se o leitor gosta de jogar com palavras, está livre para chamá-los simplesmente de cães. Mas vejamos quanto tempo está em questão. Representemos o tempo total que foi necessário para criar todas essas raças de cães a partir do lobo por um

simples passo de caminhada. Seguindo a mesma escala, quantos passos teríamos de dar para voltar a Lucy e seus congêneres, isto é, aos mais antigos fósseis de hominídeos inequivocamente eretos? Teríamos de caminhar por cerca de três quilômetros. E até onde teríamos de andar para chegar ao começo da evolução na Terra? Teríamos de dar uma pernada como de Londres a Bagdá. Tenhamos em mente a quantidade de mudanças necessárias para passar de lobo a chihuahua, para em seguida multiplicá-la pelo número de passos entre Londres e Bagdá. Isso deve proporcionar uma noção intuitiva da quantidade de mudanças que podemos supor na evolução natural real.

A segunda base de nossa incredulidade natural quanto à evolução de órgãos muito complexos como o olho humano e o ouvido dos morcegos vem de uma aplicação intuitiva da teoria da probabilidade. O bispo Montefiore cita uma passagem de C. E. Raven sobre os cucos. Esses pássaros põem seus ovos nos ninhos de outras aves, que então servem inadvertidamente de pais adotivos. Como tantas adaptações biológicas, a do cuco não é simples, mas múltipla. Vários aspectos da vida dos cucos tornam-nos aptos à vida parasitária. Um exemplo: a mãe tem o hábito de por OVOS no ninho de outras aves, e o filhote tem o hábito de jogar os colegas para fora do ninho. Esses dois hábitos ajudam o cuco em sua vida parasitária. Raven prossegue:

Percebe-se que cada item dessa seqüência de condições é essencial para o sucesso do todo. Isoladamente, cada qual é inútil. O opus perfectum em sua totalidade necessariamente foi concluído no mesmo momento. As chances contra a ocorrência aleatória de uma tal série de coincidências são astronômicas, conforme já vimos.

Argumentos dessa ordem são em princípio mais respeitáveis que o argumento baseado na mera incredulidade. Medir a improbabilidade estatística de uma suposição é a maneira correta de avaliar sua credibilidade. Não é outro o método que usaremos em várias passagens deste livro. Mas temos de fazer as coisas direito! Há dois erros no argumento de Raven. Em primeiro lugar, temos a confusão costumeira e, devo dizer, irritante entre seleção natural e "aleatoriedade". As mutações são aleatórias; a seleção natural é o exato Oposto do acaso. Em segundo lugar, simplesmente não é verdade que "isoladamente cada qual é inútil". Não é verdade que o Conjunto da obra perfeita tem de ter sido concluído simultaneamente. Não é verdade que cada parte é essencial para o sucesso do conjunto. Um sistema simples, rudimentar e engatilhado de Olho/ouvido/ecolocalização/parasitismo de cuco é melhor do que nenhum.

Sem olho nenhum, somos inteiramente cegos. Com meio olho já podemos detectar a direção geral do movimento de um predador, ainda que não obtenhamos uma imagem bem nítida. E isso pode fazer toda a diferença entre a vida e a morte. Esses temas serão retomados mais pormenorizadamente nos dois próximos capítulos.

3. Acumulação de pequenas mudanças

Vimos como é esmagadoramente improvável que os seres vivos, com seu primoroso "design", tenham surgido por acaso. Mas então como foi que vieram a existir? A resposta a resposta de Darwin – é que ocorreram transformações graduais, passo a passo, de um início simples, de entidades primordiais suficientemente simples para terem surgido por acaso. Cada mudança sucessiva no processo evolutivo gradual foi simples o bastante, relativamente à mudança anterior, para ter acontecido por acaso. Mas a seqüência integral dos passos cumulativos não constitui absolutamente um processo aleatório, considerando a complexidade do produto final em comparação com o ponto de partida original, O processo cumulativo é dirigido pela sobrevivência não aleatória. Este capítulo destina-se a demonstrar o poder dessa seleção cumulativa como um processo fundamentalmente não aleatório.

Caminhando por uma praia pedregosa, podemos notar que as pedras não estão dispostas a esmo. As menores tendem a ser encontradas em zonas separadas, acompanhando a linha da praia, e as maiores em zonas ou faixas diferentes. Essas pedras foram classificadas, organizadas, selecionadas. Uma tribo que habita o litoral poderia refletir sobre esse indício de classificação ou organização no mundo e desenvolver um mito para explicá-la; talvez a atribuíssem a um Grande Espírito celeste metódico e organizado. É possível que sorríssemos com superioridade diante dessa idéia supersticiosa e explicássemos que a disposição das pedras na verdade foi produto das forças cegas da física - neste caso, da ação das ondas. As ondas não têm propósitos nem intenções, não têm mente metódica, não têm mente nenhuma. Simplesmente jogam as pedras com força na praia, e, como pedras grandes e pedras pequenas sofrem efeitos diferentes com esse tratamento, acabam parando em níveis diferentes na areia. Um

pouquinho de ordem surgiu da desordem sem que alguma mente houvesse planejado esse resultado.

As ondas e as pedras constituem, juntas, um exemplo simples de um sistema que gera automaticamente uma não-aleatoriedade. O mundo está repleto de sistemas assim. O exemplo mais simples que me ocorre é um buraco. Apenas objetos menores do que o buraco podem passar por ele. Isso significa que, se começarmos com um agrupamento aleatório de objetos sobre o buraco e alguma força sacudir e deslocar aleatoriamente esses objetos, depois de algum tempo os objetos que estiverem em cima do buraco e os que estiverem embaixo terão sido classificados de maneira não aleatória. O espaço abaixo do buraco tenderá a conter objetos menores do que ele, e o espaço acima, objetos maiores. Obviamente, os homens há muito tempo exploram esse princípio simples de geração de não-aleatoriedade no útil invento conhecido como peneira.

O Sistema Solar é um arranjo estável de planetas, cometas e fragmentos de rocha orbitando o Sol, sendo, presumivelmente, um dentre muitos sistemas orbitantes similares no universo. Quanto mais um satélite está próximo de seu sol, mais rápido precisa mover-se para compensar a gravidade do sol e permanecer em uma órbita estável. Para cada órbita específica existe apenas uma velocidade de deslocamento do satélite que lhe permite permanecer nessa órbita. Se ele estivesse se movendo em qualquer outra velocidade, poderia ocorrer uma destas três coisas: ele se desgarraria e se perderia no espaço, colidiria com o sol ou passaria a descrever outra órbita. E, se repararmos nos planetas de nosso sistema solar - vejam só! - cada um deles está se deslocando exatamente à velocidade que o mantém em uma órbita estável ao redor do Sol. Um afortunado milagre ou um desígnio providente? Não, apenas mais uma "peneira" natural. É claro que todos os planetas que vemos orbitar o Sol têm de estar se deslocando exatamente na velocidade certa, pois do contrário não estariam lá para ser vistos! Mas, também obviamente, isso não indica um desígnio consciente. Trata-se apenas de mais um tipo de peneira.

A imensidão de ordem não aleatória que encontramos nos seres vivos não pode ser explicada apenas por uma peneiragem assim tão simples. Nem de longe. Lembremos a analogia da fechadura de combinação. O tipo de não-aleatoriedade que pode ser gerado por uma peneiragem simples equivale, aproximadamente, a abrir uma fechadura de combinação que só tem um disco de segredo: é fácil abri-la por pura sorte. O tipo de não-

aleatoriedade que vemos nos sistemas vivos, por outro lado, equivale a uma gigantesca fechadura de combinação com um número quase Incontável de discos de segredo. Gerar por "peneiragem" simples uma molécula biológica como a hemoglobina, o pigmento vermelho do sangue, equivaleria a amontoar a esmo todas as unidades componentes da hemoglobina e esperar que a molécula de hemoglobina se Constituísse sozinha por pura sorte. A imensidão de sorte que seria necessária para essa proeza é inconcebível, e tem sido usada por Isaac Asimov e outros para desconcertar os leitores.

A molécula de hemoglobina consiste em quatro cadeias de aminoácidos enroscadas umas nas outras. Pensemos em apenas uma dessas quatro cadeias. Ela se compõe de 146 aminoácidos. Existem vinte tipos diferentes de aminoácidos comumente encontrados em seres vivos, O número de modos possíveis de arranjar vinte tipos de coisas em cadeias com 146 elos é inconcebivelmente grande- Asimov o chama de "número hemoglobina". É fácil calculá-lo, mas impossível visualizar a resposta. O primeiro elo na cadeia com 146 elos poderia ser qualquer um dos vinte aminoácidos possíveis, O segundo elo também poderia ser qualquer um dos vinte, portanto o número de cadeias de dois elos possíveis é 20×20 , ou seja, 400. O número de cadeias de três elos possíveis é $20 \times 20 \times 20$, ou 8000. O número de cadeias de 146 elos possíveis é vinte vezes ele próprio 146 vezes. Um número assombrosamente grande. Um milhão é escrito com um 1 e seis zeros depois dele. Um bilhão (1000 milhões) é um 1 seguido de nove zeros. O número que buscamos, o "número hemoglobina", é (quase) um 1 seguido de 190 zeros! A chance de se obter hemoglobina por pura sorte é de uma contra esse número descomunal. E uma molécula de hemoglobina tem apenas uma diminuta fração da complexidade de um organismo vivo. A peneiragem simples, por si só, obviamente nem chega perto de ser capaz de gerar o grau de ordem existente em um ser vivo. A peneiragem é um ingrediente essencial na geração da ordem biológica, mas está longe de ser todo o necessário. É preciso algo mais. Para explicar o que quero dizer, precisarei fazer uma distinção entre seleção de "um só passo" e seleção "cumulativa". As peneiras simples que figuraram até aqui são todas exemplos de seleção de um só passo. A organização biológica é produto da seleção cumulativa.

A diferença essencial entre a seleção de um só passo e a seleção cumulativa é a seguinte: na seleção de um só passo, as entidades selecionadas ou classificadas, pedregulhos ou seja o que for, são classificadas definitivamente. Na seleção cumulativa, por sua vez, as entidades "reproduzem-se" ou, de alguma outra maneira, os resultados de

um processo de peneiragem são incluídos na peneiragem seguinte, cujos resultados por sua vez passam para a próxima e assim por diante. As entidades são sujeitas à seleção ou classificação ao longo de muitas "gerações" sucessivamente. O produto final de uma geração de seleção é o ponto de partida para a próxima geração de seleção, e assim por muitas gerações. É natural tomar de empréstimo palavras como "reproduzir e "seleção", associadas aos seres vivos, pois estes são os principais exemplos que conhecemos de coisas que figuram em seleções cumulativas. Na prática, talvez sejam as únicas coisas que o fazem, mas, por ora, não quero afirmar isso categoricamente.

Às vezes as nuvens, amassadas e esculpidas aleatoriamente pelos ventos, assumem formas que lembram objetos conhecidos. Uma foto muito divulgada, tirada pelo piloto de um pequeno avião, mostra uma imagem ligeiramente parecida com o rosto de Jesus olhando lá do céu. Todos nós já vimos nuvens que nos recordam todo tipo de coisa: um cavalo-marinho, um rosto sorridente. Essas semelhanças derivam de uma seleção de um só passo, ou seja, acontecem por mera coincidência. Por isso, não são lá muito impressionantes. A semelhança dos signos do zodíaco com os animais a quem devem seus nomes - Escorpião, Leão etc. é tão banal quanto as previsões dos astrólogos. Não nos assombremos com ela, mas ficamos pasmos diante das adaptações biológicas - produtos da seleção cumulativa. Dizemos que é estranha, sobrenatural ou espetacular a semelhança de um inseto de asas foliformes com uma folha ou de um louva-a-deus com um raminho de flores cor-de-rosa. A semelhança de uma nuvem com uma doninha apenas nos diverte, mal vale a pena chamarmos a atenção de quem está do nosso lado para ela. Além disso, nós mesmos provavelmente mudaremos de idéia quanto ao que exatamente aquela nuvem lembra.

HAMLET. Vês aquela nuvem, não tem quase a forma de um camelo?
POLONIUS. Pela eucaristia, é mesmo igual a um camelo!

HAMLET. Acho que parece uma doninha.
POLONIUS. Tem o dorso de uma doninha.

HAMLET. Ou será de uma baleia?

POLONIUS. É mesmo igual a uma baleia.

Não sei quem afirmou que, com tempo suficiente, um macaco batendo aleatoriamente numa máquina de escrever poderia produzir todas as obras de Shakespeare. A frase crucial, obviamente, é "com tempo suficiente". Limitemos um pouco a tarefa de nosso macaco. Suponhamos que ele deve produzir não as obras completas de Shakespeare, mas só a breve

frase "Methinks it is like a weasel" (Acho que parece uma doninha), e facilitemos relativamente o trabalho dando a ele um teclado restrito, contendo apenas as 26 letras (maiúsculas) e a barra de espaço. Quanto tempo ele demoraria para escrever essa breve sentença?

A sentença tem 28 caracteres; suponhamos que o macaco terá uma série de "tentativas" distintas, cada uma composta de 28 toques no teclado. Se ele digitar a frase corretamente, o experimento chega ao fim. Senão, permitiremos que ele faça outra "tentativa" de 28 caracteres. Não conheço nenhum macaco, mas por sorte minha filhinha de onze meses é perita em aleatoriedade, e com ávida presteza se dispôs a fazer o papel do macaco datilógrafo. Eis o que ela digitou no computador:

Hamlet. Do you see yonder cloud that's almost in a shape of a camel?/ Polonius. By the mass, and 'tis like a camel, indeed./ Hamlet. Methinks it is like a weasel./ Polonius. It is backed like a weasel./ Hamlet. Or like a whale?/ Polonius. Very like a whale.

```
UMMK JK CDZZ F ZD DSDSKSM
S ss FMCV PU l DDRGLKDXRRDO
RDTE QDWFVDVIOY UDSKZWDCCVYT
H CHVY NMGNBAYTDFCCVD D
RCDFYYIRM N NFSDK LD K WDWK
JJKAUIZMZI UXDKIDISFUMDKUDXI
```

Ela tem a agenda lotada, fui obrigado a programar o computador para simular um bebê ou um macaco digitando aleatoriamente:

```
WDLDMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P
Y YVMQZPGJXWVHGLAWFVCKQYOPY
MWR SWTNUXMLCDLEUBXTQHNZVJQF
FU OVAODVYKDGXDEKYVMOGGS VI
HZQZDSFZIHIVPHZPETPPWVOVPMZGF
GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF
```

E assim por diante, por um longo tempo. Não é difícil calcular quanto tempo deveríamos sensatamente esperar até que o computador (ou o bebê, ou o macaco), trabalhando aleatoriamente, digitasse METHINKS ir is LIKE A WEASEL. Pensemos no número total de frases possíveis com o número certo de caracteres que o bebê, o macaco ou o computador grafando aleatoriamente poderiam registrar. É esse mesmo tipo de cálculo que fizemos para a hemoglobina, produzindo um resultado igualmente grande. Existem 27 letras possíveis (contando o "espaço" como uma letra) na

primeira posição. Assim, a chance de o macaco digitar corretamente a primeira letra - M - é 1 em 27. A chance de ele digitar as duas primeiras letras - ME - é a chance de ele acertar a segunda letra - E - (1 em 27) depois de também ter acertado a primeira - M -, portanto, $1/27 \times 1/27$, ou seja, $1/729$. A chance de acertar a primeira palavra - METHINKS - é $1/27$ para cada uma das oito letras, portanto $(1/27) \times (1/27) \times (1/27) \times (1/27) \dots$ Etc. oito vezes, ou seja, $(1/27)$ elevado à oitava potência. A chance de ele acertar toda a sentença de 28 caracteres é $(1/27)$ à 28ª potência, ou seja, $(1/27)$ multiplicado por si mesmo 28 vezes. São probabilidades muito pequenas, cerca de uma em 10 mil milhões de milhões de milhões de milhões de milhões de milhões de milhões. Para dizer o mínimo, a frase em questão demoraria muito tempo para aparecer; as obras completas de Shakespeare, então, nem se fala.

Já basta de seleção de um só passo por variação aleatória. E quanto à seleção cumulativa: em que grau ela seria mais eficaz? Muito, muitíssimo mais eficaz, talvez mais do que percebemos de início, embora isso seja quase óbvio depois de um pouco de reflexão. Novamente, usamos nosso macaco-computador, mas com uma diferença crucial em seu programa. Ele mais uma vez começa escolhendo uma seqüência aleatória de 28 letras, como antes:

WDLMNLT DTJBKWIRZREZLMQCO P

E então "procria" a partir dessa frase aleatória. Duplica a frase repetidamente, mas com uma certa chance de erro aleatório "mutação" - ao fazer a cópia. O computador examina as frases mutantes sem sentido, a "prole" da frase original, e escolhe aquela que, mesmo se muito ligeiramente, mais se assemelha à frase visada, METHINKS IT IS LIKE A WEASEL. No exemplo acima, a frase vencedora da "geração" seguinte foi:

WDLTMNLT DTJBSWIRZREZLMQCO P

Uma melhora nem um pouco óbvia! Mas o procedimento é repetido, de novo uma "prole" mutante é "procriada" a partir da frase, e uma nova "vencedora" é escolhida, isso prossegue, geração após geração. Depois de dez gerações, a frase escolhida para "reproduzir-se" foi:

MDLDMNLS ITJISWHRZREZ MECS P

Após Vinte gerações, tivemos:

MELDINLS IT ISWPRKE Z WECZEL

A esta altura, o ansioso observador quer acreditar que já consegue ver alguma semelhança com a frase esperada. Na trigésima geração, não resta dúvida:

METHINGS IT ISWLIKE B WECSEL

A quadragésima geração nos deixa a uma letra do nosso alvo:

METHINKS IT IS LIKE I WEASEL

E o alvo finalmente foi atingido na 43ª geração. Uma segunda rodada no computador começou com a frase:

Y YVMQKZPFJXWVHGLAWFVCHQYOPY

Passou por (novamente sendo verificada apenas a cada dez gerações):

YYVMQSKPFTXWSHLIKEFV HQYSPY

YETHINKSPITXIXHLIKEFA WQYSEY

METHINKS IT ISSLIKE A WEFSEY

METHINKS IT ISBLIKE A WEASES

METHHINKS IT ISJLIKE A WEASEO

METHINKS IT IS LIKE A WEASEP

E chegou à frase desejada na 64ª geração. Em uma terceira rodada, o computador começou assim:

GEWRGZRPBCTPGQMCKHFDBGW ZCCF

E chegou a METHINKS IT IS LIKE A WEASEL em 41 gerações de "reprodução" seletiva.

O tempo exato que o computador demorou para atingir a frase desejada não é relevante. Se o leitor quiser saber, o computador completou todo o exercício para mim, da primeira vez, enquanto eu almoçava. Levou aproximadamente uma hora. (Os aficionados da computação talvez achem que demorou demais. A razão disso foi o programa ter sido escrito em BASIC, uma espécie de linguagem de bebê para computadores. Quando reescrevi o programa em Pascal, o computador demorou onze segundos.) Os computadores são um tanto mais rápidos nesse tipo de tarefa do que os macacos, mas a diferença, de fato, não é significativa. O que importa é a diferença entre o tempo requerido pela seleção cumulativa e o tempo que o mesmo computador, trabalhando a todo o vapor no mesmo ritmo, levaria para chegar à frase desejada se fosse obrigado a usar o outro procedimento, o da seleção de um só passo: aproximadamente 1 milhão de milhões de milhões de milhões de milhões de anos. Isso é mais do que 1 milhão de milhões de milhões de vezes o tempo de existência do universo até hoje. Na verdade, seria mais justo dizer apenas que, em comparação com o tempo que um macaco ou um computador programado para trabalhar

aleatoriamente levaria para digitar nossa frase escolhida, a idade total do universo até hoje é uma magnitude tão pequena a ponto de ser desprezível, tão pequena que está dentro da margem de erro deste tipo de cálculo rudimentar. Em contraste, o tempo requerido para que um computador trabalhando aleatoriamente mas com a restrição da seleção cumulativa realizasse a mesma tarefa está dentro da esfera da compreensão humana corriqueira, entre onze segundos e o tempo de um almoço.

Sendo assim, há uma grande diferença entre a seleção cumulativa (na qual cada melhora, por menor que seja, é usada Como base para a construção futura) e a seleção de um só passo (na qual cada nova "tentativa" deve partir do zero). Se o progresso evolutivo tivesse de basear-se na seleção de um só passo, nunca teria chegado a lugar nenhum. Mas se, de algum modo, as condições necessárias para a seleção cumulativa pudessem ter sido fornecidas pelas forças cegas da natureza, as conseqüências poderiam ter sido estranhas e prodigiosas. Com efeito, foi isso exatamente o que aconteceu neste planeta, e nós mesmos estamos entre as mais recentes, se não as mais estranhas e prodigiosas, dessas conseqüências.

Espantosamente, ainda podemos encontrar descrições de cálculos como os que fiz para a hemoglobina usadas como se fossem argumentos contra a teoria de Darwin. As pessoas que assim procedem, muitas vezes especialistas em suas áreas, seja astronomia, seja qualquer outra, parecem acreditar sinceramente que o darwinismo explica a organização dos seres vivos com base no acaso - tão- somente na "seleção de um só passo". Essa crença de que a evolução darwinista é "aleatória" não é meramente falsa - é o oposto exato da verdade, O acaso é um ingrediente secundário na receita darwiniana; o ingrediente mais importante é a seleção cumulativa, que é um fator absolutamente não aleatório. As nuvens não têm capacidade para participar de uma seleção cumulativa. Inexistem mecanismos que permitam a nuvens de determinadas formas gerar uma prole semelhante a si mesmas. Se tal mecanismo existisse, se uma nuvem parecida com uma doninha ou um camelo pudesse originar uma linhagem de nuvens com aproximadamente a mesma forma, a seleção cumulativa teria a oportunidade de atuar. Evidentemente, as nuvens às vezes se fragmentam formando nuvens "filhas", mas isso não basta para haver uma seleção cumulativa. Também é necessário que a "prole" de qualquer nuvem específica se assemelhe mais à sua "mãe" do que a qualquer outra "mãe" na "população". Essa condição de vital importância claramente não é compreendida por alguns dos filósofos que em anos recentes se interessaram pela teoria da seleção natural. É

necessário adicionalmente que as chances de uma nuvem específica sobreviver e gerar cópias dependa de sua forma. Talvez em alguma galáxia distante essas condições tenham de fato surgido, e o resultado, caso tenham decorrido suficientes milhões de anos, seja uma forma de vida etérea e semifluida. Isto poderia render uma boa história de ficção científica - A nuvem branca, poderíamos chamá-la -, mas, para nossos propósitos, um modelo para computador como o do macaco/Shakespeare facilita a compreensão.

Embora o modelo do macaco/Shakespeare ajude a explicar a distinção entre a seleção de um só passo e a seleção cumulativa, em aspectos importantes ele é desorientador. Um desses aspectos é que, em cada geração de "reprodução" seletiva, as frases componentes da "prole" mutante foram julgadas segundo o critério da semelhança com um alvo ideal distante, a frase METHINKS IT IS LIKE A WEASEL. A vida não é assim. A evolução não tem um objetivo de longo prazo. Não existe um alvo muito distante, nenhuma perfeição final que sirva de critério de seleção, embora a vaidade humana acalente a idéia absurda de que nossa espécie é o objetivo final da evolução. Na vida real, o critério de seleção é sempre de curto prazo: a simples sobrevivência ou, de modo mais geral, o êxito reprodutivo. Se, analisando retrospectivamente, depois de muitas eras parece ter havido um progresso na direção de algum objetivo distante, trata-se sempre de uma conseqüência incidental da seleção de curto prazo por numerosas gerações. A seleção natural cumulativa é um "relojoeiro" cego para o futuro e sem um objetivo de longo prazo.

Podemos alterar nosso modelo de computador para explicar esse argumento. Podemos também torná-lo mais realista em outros aspectos. Letras e palavras são manifestações exclusivamente humanas; portanto, agora façamos o computador gerar desenhos. Talvez até vejamos formas semelhantes a animais desenvolver-se no computador, por seleção cumulativa de formas mutantes. Não prejudiquemos a questão embutindo no programa formas de animais específicos logo de saída. Queremos que elas surjam unicamente como resultado de seleção cumulativa de mutações aleatórias.

Na vida real, a forma de cada animal individual é produzida pelo desenvolvimento embrionário. A evolução ocorre porque, em gerações sucessivas, há ligeiras diferenças no desenvolvimento embrionário. Tais diferenças emergem devido a mudanças (mutações - este é o pequeno elemento aleatório no processo que mencionei) nos genes que controlam o desenvolvimento. Assim, em nosso modelo de computador, precisamos de algo

equivalente ao desenvolvimento embrionário, e de algo equivalente a genes capazes de mutação. Existem muitos modos de satisfazer essas especificações em um modelo de computador. Escolhi um desses modos e desenvolvi um programa que o incorporava. Descreverei a seguir esse modelo de computador, pois a meu ver ele é revelador. Caso o leitor não saiba nada sobre computadores, basta que se lembre de que são máquinas que fazem exatamente o que as mandamos fazer, mas muitas vezes nos surpreendem com o resultado. Uma lista de instruções para o computador chama-se programa.

O desenvolvimento embrionário é um processo tão elaborado que não pode ser simulado com realismo em um pequeno computador. Temos de representá-lo por um processo análogo simplificado. Precisamos descobrir uma regra simples de desenho que o computador possa seguir com facilidade e que possamos fazer variar sob a influência de "genes". Que regra de desenho deveríamos usar? Os manuais de ciência da computação costumam ilustrar o poder do que denominam programação "recursiva" com um procedimento simples de crescimento em árvore. O computador começa desenhando uma única linha vertical. Em seguida, a linha ramifica-se em duas. Então cada ramo se divide em dois sub-ramos, que por sua vez se partem em sub-sub-ramos e assim por diante. É um procedimento "recursivo" porque a mesma regra (neste caso, uma regra de ramificação) aplica-se em âmbito local por toda a árvore. Por mais que a árvore cresça, a mesma regra de ramificação continua a ser aplicada às extremidades de todos os seus galhos.

A "profundidade" de recursividade significa o número de sub-sub-.. ramos que permitimos aparecer antes de determos o processo. A figura 2 mostra o que acontece quando mandamos o computador obedecer exatamente à mesma regra de desenho, mas avançando até várias profundidades de recursividade. Em níveis de recursividade avançados, o padrão torna-se muito elaborado, mas continua sendo produzido segundo a mesma regra muito simples de ramificação, como podemos notar facilmente na figura 2. Evidentemente, isso é o que acontece em uma árvore real. O padrão de ramificação de um carvalho ou de uma macieira parece complexo, mas não é. A regra básica de ramificação é simples. Como ela se aplica recursivamente nas extremidades em crescimento por toda a árvore - ramos produzem sub-ramos, que por sua vez geram sub-sub-ramos e assim por diante -, a árvore torna-se grande e frondosa.

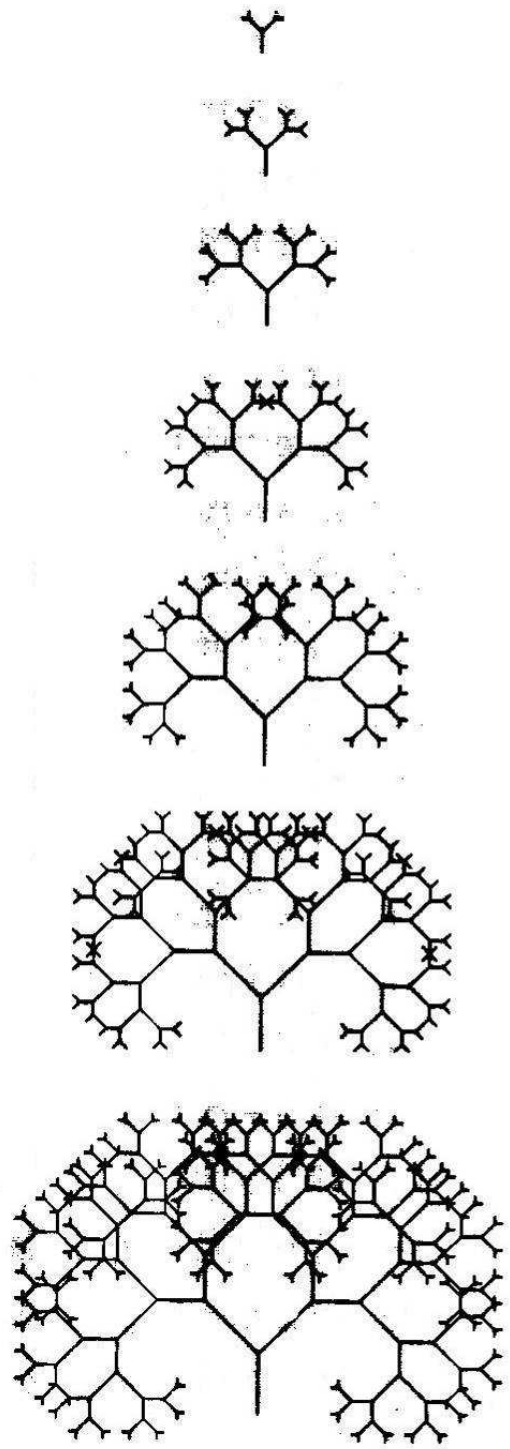


Figura 2

A ramificação recursiva também é uma boa metáfora para o envolvimento embrionário das plantas e animais em geral. Não estou dizendo que os embriões de animais se parecem com árvores que se ramificam. Não se parecem. Mas todos os embriões crescem por divisão celular. As células sempre se dividem em duas células-filhas. E os genes sempre exercem seus efeitos finais sobre os organismos por meio de influências locais sobre as células e sobre os padrões de ramificação em duas direções da divisão celular, Os genes dos animais nunca são um esquema grandioso, uma planta que representa o corpo inteiro. Como veremos, os genes são mais como uma receita, e não como uma planta, e além disso uma receita que é seguida não pelo embrião em desenvolvimento como um todo, mas individualmente pelas células ou por agrupamentos locais de células em processo de divisão. Não estou negando que o embrião, e posteriormente o organismo adulto, tem uma forma em grande escala. Mas essa forma emerge devido a numerosos efeitos locais bem pequenos sobre as células por todo o corpo em desenvolvimento, e esses efeitos locais consistem primordialmente em ramificações em duas direções, na forma de divisão da célula em duas direções. Em última análise, é influenciando esses eventos locais que os genes exercem influência sobre o corpo adulto.

Portanto, a regra simples da ramificação no traçado de árvores parece ser um promissor processo análogo do desenvolvimento embrionário. Assim, nós a traduzimos para um breve procedimento de computador, damos-lhe o rótulo de DESENVOLVIMENTO e providenciamos sua incorporação a um programa maior denominado EVOLUÇÃO. No primeiro passo para a criação desse programa maior, agora voltaremos nossa atenção para os genes. Como devemos representar os "genes" em nosso modelo de computador? Na vida real, os genes fazem duas coisas: influenciam o desenvolvimento e são transmitidos às gerações posteriores. Nos animais e plantas reais existem dezenas de milhares de genes, mas limitaremos modestamente a nove os genes de nosso modelo de computador. Cada um dos nove genes é representado no computador simplesmente por um número, que chamaremos valor. O valor de um dado gene poderia ser, digamos, 4 ou 7.

Como faremos com que esses genes influenciem o desenvolvimento? Há muitas coisas que eles poderiam fazer. A idéia básica é que deveriam exercer alguma ligeira influência quantitativa sobre a regra de desenho que intitulamos DESENVOLVIMENTO. Por exemplo, um gene poderia influenciar o ângulo da ramificação; outro, o comprimento de algum ramo específico. Outra coisa óbvia que um gene poderia fazer é influenciar a profundidade

de recursividade, ou seja, o número de ramificações sucessivas. Determinei que o Gene 9 produzisse esse efeito. Assim, o leitor pode ver a figura 2 como uma representação de sete organismos aparentados, idênticos uns aos outros exceto no que se refere ao Gene 9. Não descreverei pormenorizadamente o que cada um dos outros oito genes faz.

O leitor pode ter uma idéia geral do tipo de coisa que eles fazem observando a figura 3. No meio da figura encontra-se a árvore básica, uma das mostradas na figura 2. Ao redor dessa árvore central vemos outras oito. Todas são iguais à árvore central, com a exceção de que um gene, que é diferente para cada uma das oito árvores, foi alterado - sofreu "mutação". Por exemplo, a figura à direita da árvore central mostra o que acontece quando o Gene 5 sofre a mutação que consiste em acrescentar + 1 ao seu valor. Se eu dispusesse de mais espaço, teria mostrado um conjunto de dezoito mutantes ao redor da árvore central. A razão disso é que existem nove genes, e cada um pode sofrer mutação "para cima" (adiciona-se 1 ao seu valor) ou "para baixo" (subtrai-se 1 de seu valor). Portanto, um conjunto de dezoito árvores bastaria para representar todos os possíveis mutantes de um só passo que podem derivar de uma árvore central.

Cada uma dessas árvores tem sua "fórmula genética" própria, única: os valores numéricos de seus nove genes. Não escrevi as fórmulas genéticas porque, em si, não teriam significado algum para o leitor. Isso também vale para os genes de verdade, que só começam a ter algum significado quando são traduzidos, mediante a síntese de proteínas, em regras de crescimento para um embrião em desenvolvimento. Também no modelo de computador os valores numéricos dos nove genes só significam alguma coisa quando se traduzem em regras de crescimento para o padrão de ramificação da árvore. Mas podemos ter uma idéia do que cada gene faz comparando os corpos dos dois organismos que sabemos diferir com respeito a um certo gene. Por exemplo, comparando a árvore básica no centro da figura com as duas árvores ao seu lado temos uma idéia do que o Gene 5 faz.

² Este livro foi digitalizado e distribuído GRATUITAMENTE pela equipe Digital Source com a intenção de facilitar o acesso ao conhecimento a quem não pode pagar e também proporcionar aos Deficientes Visuais a oportunidade de conhecerem novas obras.

Se quiser outros títulos nos procure http://groups.google.com/group/Viciados_em_Livros, será um prazer recebê-lo em nosso grupo.

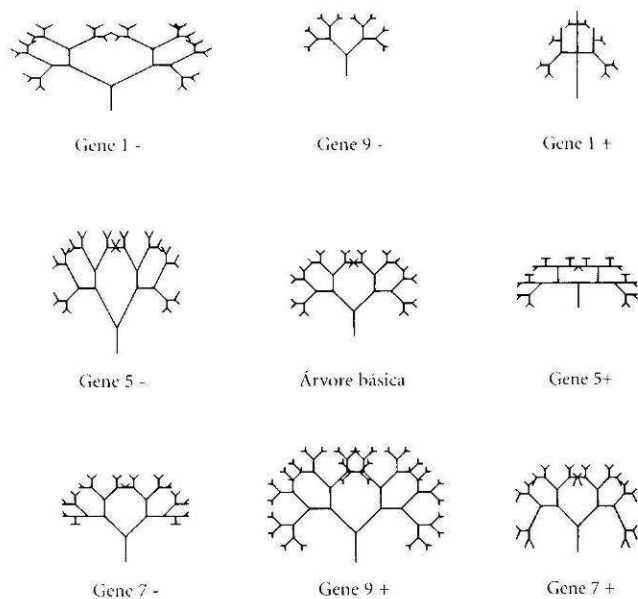


Figura 3

Os geneticistas, na vida real, também fazem exatamente isso. Eles em geral não sabem como os genes exercem seus efeitos sobre os embriões. E não conhecem a fórmula genética completa de qualquer animal. Mas, comparando os corpos de dois animais adultos que sabidamente diferem no aspecto de um único gene, os geneticistas podem constatar que efeitos esse gene específico produz. Na verdade, isso é mais complicado, pois os efeitos dos genes interagem de outras maneiras que são mais complexas do que a simples adição. Isto se aplica exatamente da mesma forma às árvores geradas no computador. E em alto grau, como as figuras posteriores demonstrarão.

O leitor notará que todas as formas são simétricas em relação a um eixo esquerda/direita. Essa é uma restrição que impus ao procedimento que chamei DESENVOLVIMENTO. Fiz isso em parte por uma razão estética, mas também para economizar no número de genes necessários (se os genes não exercessem efeitos simétricos dos dois lados da árvore, teríamos de separar os genes para o lado direito e os genes para o lado esquerdo) e porque eu esperava que evoluíssem formas semelhantes às de animais (e a maioria dos corpos de animais são bem simétricos). Pela mesma razão, daqui para a frente não mais chamarei essas criaturas de "árvores", e sim de "corpos" ou "biomorfos". Biomorfo é o nome cunhado por Desmond Morris para as vagas formas semelhantes a animais que figuram em suas pinturas surrealistas. Essas pinturas têm um lugar especial em minhas preferências, pois uma delas foi reproduzida na capa de meu primeiro

livro. Desmond Morris afirma que seus biomorfos "evoluem" em sua mente, e que essa evolução pode ser acompanhada em suas sucessivas pinturas.

Voltando aos biomorfos computadorizados e ao conjunto de dezoito mutantes possíveis, vemos na figura 3 um grupo representativo de oito deles. Como cada membro desse grupo está apenas a um passo mutacional em relação ao biomorfo central, podemos facilmente imaginá-los como filhos do genitor que está no centro. Temos nosso análogo da REPRODUÇÃO que, como o DESENVOLVIMENTO, podemos inserir em outro pequeno programa de computador, pronto para ser embutido em nosso grande programa intitulado EVOLUÇÃO. Cabe aqui fazer duas observações acerca da REPRODUÇÃO. Primeiro, não há sexo; a reprodução é assexuada. Assim, imagino os biomorfos como fêmeas, pois os animais assexuados, como os pulgões, quase sempre são encontrados basicamente na forma feminina. Segundo, fiz a restrição de que as mutações ocorressem uma por vez. Uma cria difere do genitor em apenas um dos nove genes; além disso, todas as mutações ocorrem adicionando-se +1 ou 1 ao valor do gene correspondente do genitor. São convenções meramente arbitrárias: poderiam ter sido diferentes e ainda assim permanecer biologicamente realistas.

O mesmo não se aplica à característica seguinte do modelo, que incorpora um princípio fundamental da biologia: a forma de cada cria não deriva diretamente da forma do genitor. Cada cria adquire sua forma a partir dos valores de seus próprios nove genes (que influenciam os ângulos, as distâncias etc.). E cada cria adquire seus nove genes a partir dos nove genes do genitor. É exatamente assim que ocorre na vida real. O corpo não é transmitido de uma geração a outra; os genes, sim. Os genes influenciam o desenvolvimento embrionário do corpo em que se encontram. E então esses mesmos genes são ou não são transmitidos à geração seguinte. A natureza dos genes não é afetada por sua participação no desenvolvimento do corpo, mas a probabilidade de que sejam transmitidos pode ser afetada pelo êxito do corpo que eles ajudaram a criar. Daí a necessidade de que, no modelo de computador, os dois procedimentos intitulados DESENVOLVIMENTO e REPRODUÇÃO sejam escritos como dois compartimentos estanques. Eles são estanques exceto no aspecto de que a REPRODUÇÃO transmite valores de genes para o DESENVOLVIMENTO, onde esses genes influenciam as regras de crescimento. Deixemos bem claro aqui que o DESENVOLVIMENTO não repassa os valores dos genes para a REPRODUÇÃO - isso equivaleria a "lamarckismo" (ver capítulo 11).

Montamos, assim, nossos dois módulos de programas, rotulados como DESENVOLVIMENTO e REPRODUÇÃO. A REPRODUÇÃO transmite genes para as gerações seguintes, com a possibilidade de mutação. O DESENVOLVIMENTO, com os genes fornecidos pela REPRODUÇÃO em uma dada geração, traduz esses genes em ação de desenho, formando o traçado de um corpo na tela do computador.

É hora de juntarmos os dois módulos no grande programa intitulado EVOLUÇÃO.

A EVOLUÇÃO consiste basicamente na repetição incessante da REPRODUÇÃO. Em cada geração, a REPRODUÇÃO passa os genes que lhe são fornecidos pela geração anterior à geração seguinte, mas com pequenos erros aleatórios - mutações. Uma mutação consiste simplesmente na adição de + 1 ou 1 ao valor de um gene escolhido aleatoriamente. Isso significa que, com o passar das gerações, a quantidade total de diferença genética em relação ao ancestral original pode tornar-se muito substancial, cumulativamente, um pequeno passo por vez. Porém, embora as mutações sejam aleatórias, a mudança cumulativa ao longo das gerações não é aleatória. A prole em qualquer geração difere do genitor em direções aleatórias. Mas, nessa prole, o que será selecionado para passar à geração seguinte não é aleatório. É aqui que entra a seleção darwiniana. O critério de seleção não são os próprios genes, mas os corpos cuja forma os genes influenciam por meio do DESENVOLVIMENTO.

Além de serem REPRODUZIDOS, os genes de cada geração também são passados para o DESENVOLVIMENTO, que faz crescer o corpo apropriado na tela, seguindo suas próprias regras estritamente estipuladas. Em cada geração, toda uma " ninhada " de " crias " (ou seja, de indivíduos da geração seguinte) é mostrada na tela. Todas elas são crias mutantes do mesmo genitor, diferindo dele unicamente graças a um gene. Essa taxa altíssima de mutação é uma característica distintamente não biológica de nosso modelo de computador. Na vida real, a probabilidade de que um gene sofra mutação é freqüentemente inferior a uma em 1 milhão. A razão de incorporar uma taxa elevada de mutação em nosso modelo é que a tela do computador foi feita para mostrar imagens convenientes para os olhos humanos, e os humanos não têm paciência de esperar 1 milhão de gerações até ocorrer uma mutação!

O olho humano tem um papel ativo a desempenhar nesta história. Ele é o agente selecionador. Examina a ninhada de crias e escolhe uma que irá se reproduzir. A escolhida torna-se então genitora da geração seguinte, e uma ninhada de suas crias mutantes é mostrada simultaneamente

na tela. O olho humano, assim, está fazendo exatamente o que faz na criação de cães com pedigree ou de rosas premiadas. Em outras palavras, nosso modelo é estritamente um modelo de seleção artificial, e não de seleção natural. O critério para o "sucesso" não é o critério direto da sobrevivência, como ocorre na seleção natural real. Nesta, se um corpo tem o que precisa para sobreviver, seus genes automaticamente sobrevivem porque estão no interior do corpo. Assim, os genes que sobrevivem tendem a ser, automaticamente, aqueles que conferem aos corpos as qualidades que os ajudam a sobreviver. No modelo de computador, por sua vez, o critério de seleção não é a sobrevivência, mas a capacidade de apelar para o capricho humano. Não necessariamente um capricho infundado, casual, pois podemos decidir selecionar de modo consistente segundo alguma qualidade como "semelhança com um salgueiro". Mas, pela minha experiência, o selecionador humano o mais das vezes é caprichoso e oportunista. E também nisso não difere de certos tipos de seleção natural.

O humano diz ao computador qual indivíduo na prole em curso deverá reproduzir-se. Os genes do escolhido são transmitidos à REPRODUÇÃO, e uma nova geração começa. Este processo, como a evolução na vida real, continua indefinidamente. Cada geração de biomorfos está apenas a um único passo mutacional de sua antecessora e de sua sucessora. Mas, após cem gerações de EVOLUÇÃO, os biomorfos podem estar a até cem passos mutacionais de seu ancestral original. E em cem passos mutacionais muita coisa pode acontecer.

Eu não tinha idéia de quanta coisa podia acontecer quando comecei a brincar com meu recém-criado programa EVOLUÇÃO. O que mais me surpreendeu foi que os biomorfos podem deixar de se parecer com árvores muito depressa. A estrutura básica de ramificação bidirecional está sempre presente, mas é facilmente obscurecida, pois as linhas se cruzam e recruzam, compondo massas sólidas de cor (nas figuras impressas, essas massas aparecem apenas em branco e preto). A figura 4 mostra uma história evolutiva específica que consiste em não mais de 29 gerações. O ancestral é uma criatura minúscula, um simples pontinho. Embora o corpo do ancestral seja um pontinho, como uma bactéria no lodo primevo, escondido em seu interior há o potencial de ramificar-se exatamente no padrão da árvore central da figura 3, só que seu Gene lhe ordena que se ramifique "zero vezes". Todas as criaturas representadas na página descendem do pontinho, mas, para evitar aglomeração na página, não imprimi todos os

descendentes que efetivamente vi. Imprimi apenas a cria bem-sucedida de cada geração (isto é, o genitor da geração seguinte) e uma ou duas de suas "irmãs" malsucedidas. Assim, a figura mostra basicamente apenas a linha principal da evolução, guiada por minha seleção estética. Todos os estágios da linha principal são mostrados.

Examinemos brevemente algumas das primeiras gerações da principal linha de evolução na figura 4. O pontinho torna-se um Y na geração 2. Nas duas gerações seguintes, o Y torna-se maior. Depois os ramos curvam-se ligeiramente, como uma catapulta bem-feita. Na geração 7, a curva acentua-se, e os dois ramos quase se encontram. Os ramos curvos tornam-se maiores, e cada um adquire dois pequenos prolongamentos na geração 8. Na geração 9 esses prolongamentos perdem-se novamente, e a haste da catapulta alonga-se. A geração 10 lembra um corte de uma flor; os ramos laterais curvos parecem pétalas envolvendo um prolongamento central ou "estigma". Na geração 11, a mesma forma de "flor" torna-se maior e ligeiramente mais complexa.

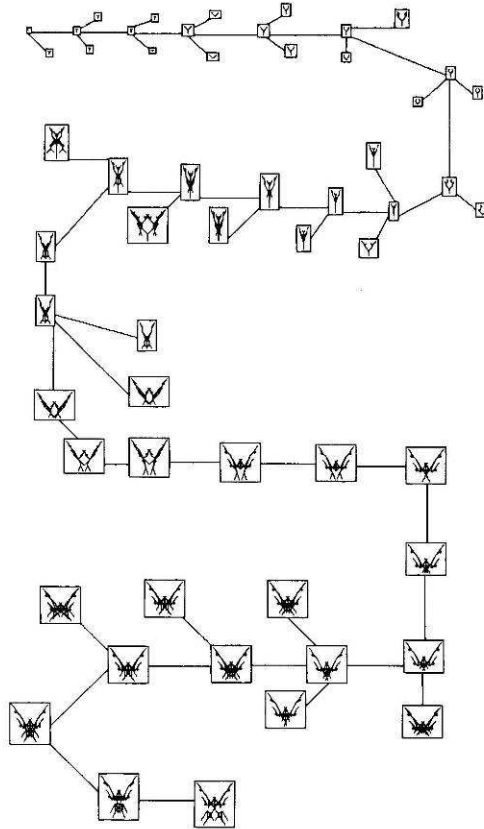


Figura 4

Figura 4

Não continuarei a descrição. A figura fala por si, até a 29ª geração. Note como cada geração difere apenas um pouco de sua genitora e de suas irmãs. Como cada uma é diferente da genitora, naturalmente se espera que será um pouco mais diferente de suas avós e de suas netas (e bisnetas). É assim que funciona a evolução cumulativa, embora, devido à nossa elevada taxa de mutação, nós a tenhamos acelerado aqui para taxas que não são realistas, isso faz com que a figura 4 pareça mais um pedigree de espécies do que de indivíduos, mas o princípio é o mesmo.

Quando escrevi o programa, não pensei que ele faria evoluir muito mais do que uma variedade de formas semelhantes a árvores. Esperava ver chorões, cedros-do-líbano, álamos-pretos, algas marinhas, talvez galhadas de veados. Nada na minha intuição de biólogo, nada em meus vinte anos de experiência em programação de computadores e nada em meus mais

ambiciosos sonhos me preparou para o que de fato emergiu na tela. Não me lembro exatamente quando, na seqüência, comecei a dar-me conta de que era possível fazer evoluir alguma semelhança com algo que lembrasse um inseto. Empolgado, com base nessa conjetura comecei a fazer com que a reprodução, geração após geração, se desse a partir da cria que mais lembrasse um inseto. Minha incredulidade aumentou paralelamente à semelhança que foi evoluindo. O leitor pode ver os resultados que acabaram por aparecer na parte inferior da figura 4. É bem verdade que eles têm oito pernas, como uma aranha, em vez de seis como um inseto, mas mesmo assim! Ainda não consigo disfarçar o júbilo que senti quando vi pela primeira vez essas elaboradas criaturas surgindo diante dos meus olhos. Mentalmente, ouvi com toda a clareza os triunfantes acordes iniciais de Also sprach Zarathustra (o tema de 2001- uma odisséia no espaço). Não consegui comer, e naquela noite "meus" insetos enxamearam sob minhas pestanas enquanto eu tentava adormecer.

Existem jogos de computador no mercado nos quais o jogador tem a ilusão de que está vagueando por um labirinto subterrâneo, que possui uma geografia definida, embora complexa, e onde ele encontra dragões, minotauros e outros adversários míticos. Nesses jogos, os monstros são bem pouco numerosos. São todos criados por um programador humano, que também cria a geografia do labirinto. No jogo da evolução, quer na versão computadorizada, quer na vida real, o jogador (ou observador) tem a mesma sensação de vaguear metaforicamente por um labirinto de passagens ramificadas, mas o número de possíveis caminhos é praticamente infinito, e os monstros encontrados são imprevisíveis e não projetados. Vagueando pelos confins da Terra dos Biomorfos, encontrei camarões-duendes, templos astecas, janelas de igrejas góticas, desenhos aborígenes de cangurus e, em uma memorável mas irreproduzível ocasião, uma caricatura passável de meu professor de lógica em Wykeham. A figura 5 é mais uma pequena coleção de minha sala de troféus, e todas as formas foram desenvolvidas da mesma maneira. Quero salientar que essas formas não são impressões de artistas. Não foram retocadas nem adulteradas de modo nenhum. São exatamente como o computador as desenhou quando evoluíram dentro dele. O papel do olho humano limitou-se a selecionar entre os indivíduos da descendência que sofreu mutações aleatórias ao longo de muitas gerações de evolução cumulativa.

Temos agora um modelo muito mais realista da evolução do que o do macaco que datilografa Shakespeare. Mas o modelo de biomorfos ainda é deficiente. Ele nos mostra o poder da seleção cumulativa para gerar uma variedade quase infinita de formas quase biológicas, mas emprega a seleção artificial, e não a natural. O olho humano faz a seleção. Poderíamos dispensar o olho humano e fazer o próprio computador efetuar a seleção, com base em algum critério biologicamente realista? Isso é mais difícil do que pode parecer. Vale a pena gastar algum tempo explicando por quê.

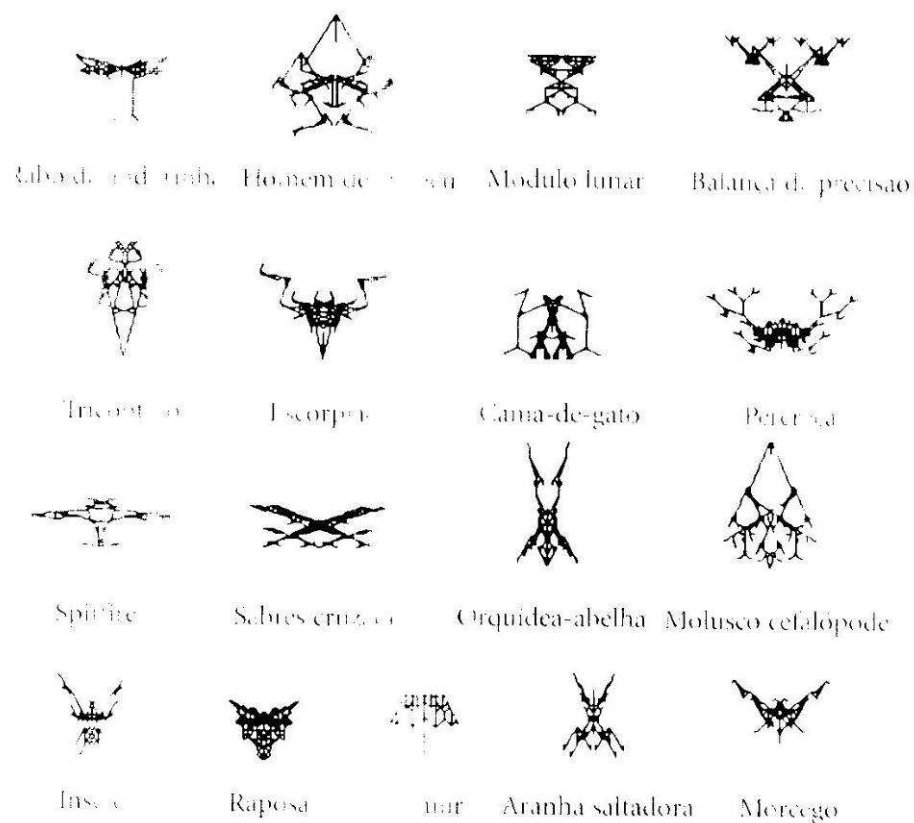


Figura 5

Figura 5

Selecionar segundo uma fórmula genética específica é fácil, contanto que possamos ler os genes de todos os animais. Mas a seleção natural não escolhe os genes diretamente; ela escolhe os efeitos que os genes têm sobre os corpos, tecnicamente denominados efeitos fenotípicos.

O olho humano é hábil na escolha de efeitos fenotípicos, como demonstrado pelas numerosas raças de cães, gado e pombos, e também, se é que posso afirmar tal coisa, como demonstrado pela figura 5. Para fazer o computador escolher diretamente efeitos fenotípicos, teríamos de escrever um programa de reconhecimento de padrões muito sofisticado. Existem programas de reconhecimento de padrões; são usados para ler material impresso e até mesmo manuscrito. Mas são programas difíceis, avançadíssimos, que requerem computadores muito grandes e rápidos. Mesmo que um programa de reconhecimento de padrões desse tipo não estivesse além de minhas habilidades de programador e além da capacidade de meu modesto computador de 64 kilobytes, eu não perderia tempo com ele, pois estamos diante de uma tarefa que o olho humano executa melhor, atuando em conjunto com o computador de dez giganeuronios em nossa cabeça - e isto é o mais importante.

Não seria demasiado difícil fazer o computador selecionar com base em vagas características gerais - digamos, alto-magro, baixo-gordo, talvez curvilíneo, pontudo, até mesmo com ornamentação rococó. Um método seria programar o computador para lembrar os tipos de qualidades que os humanos preferiram no passado e efetuar uma seleção contínua desse mesmo tipo geral no futuro. Só que isso não nos deixaria mais próximos de simular a seleção natural. O importante é que a natureza não precisa dos serviços de um computador para selecionar, exceto em casos especiais, como o de uma pavoa escolhendo um pavão. Na natureza, o agente selecionador usual é direto, puro e simples: é a morte. Obviamente, as razões da sobrevivência nada têm de simples - é por isso que a seleção natural pode formar animais e plantas com essa assombrosa complexidade. Mas há algo de muito bruto e simples na morte em si. E a morte não aleatória é a única coisa necessária para selecionar fenótipos, e portanto os genes que eles contêm, na natureza.

Para simular a seleção natural no computador de um modo interessante, devemos esquecer a ornamentação rococó e todas as demais qualidades visualmente definidas. Em vez disso, devemos nos concentrar na simulação da morte não aleatória. Os biomorfos devem interagir, no computador, com a simulação de um ambiente hostil. Alguma coisa na forma dos biomorfos deve determinar se eles sobrevivem ou não nesse meio. Idealmente, o meio hostil deveria incluir outros biomorfos em processo de evolução: "predadores", "presas", "parasitas", "competidores". A forma específica de um biomorfo presa deveria determinar sua vulnerabilidade a ser capturado, por exemplo, por formas específicas de biomorfos

predadores. Tais critérios de vulnerabilidade não deveriam ser inseridos pelo programador. Deveriam emergir de um modo análogo àquele como as próprias turmas emergem. Então a evolução no computador realmente decolaria, pois estariam satisfeitas as condições para uma "corrida armamentista" auto-aumentadora (ver capítulo 7), e não ousou especular onde tudo isso terminaria. Infelizmente, creio que talvez esteja além de minhas habilidades de programador forjar um mundo assim.

Se é que existe alguém engenhoso o bastante para criá-lo, seriam os programadores que elaboram aqueles barulhentos e vulgares jogos arcade - os derivados de Space Invaders. Nesses programas, cria-se um mundo simulado, que possui uma geografia, com frequência em três dimensões, e uma dimensão temporal que transcorre velozmente. Seres crescem na tela no espaço tridimensional simulado, colidem uns contra os outros, atiram, engolem criaturas em meio a ruídos repugnantes. A simulação pode ser tão boa que o jogador com o joystick tem uma forte ilusão de que ele próprio faz parte daquele mundo forjado. Imagino que esse tipo de programação tem seu ponto máximo nas cabines usadas para treinar pilotos de aviões e espaçonaves. Mas mesmo esses programas não são nada em comparação com o programa que teria de ser escrito para simular o desenvolvimento de uma corrida armamentista entre predadores e presa, inserida em um ecossistema forjado completo. Mas certamente um programa assim poderia ser criado. Se houver por aí algum programador profissional disposto a colaborar nesse desafio, eu gostaria de ter notícias dele.

Nesse meio tempo, há algo muito mais fácil, e pretendo fazê-lo quando o verão chegar. Vou levar o computador para algum canto sombreado do jardim. A tela é colorida, e eu já tenho uma versão do programa que usa alguns "genes" adicionais para controlar a cor, de um modo parecido com aquele como os outros nove genes controlam a forma. Começarei com algum biomorfo razoavelmente compacto e de cor vibrante. O computador exibirá simultaneamente uma série de crias mutantes desse biomorfo, diferindo dele quanto a forma e/ou cor. Acredito que abelhas, borboletas e outros insetos virão visitar a tela e "escolher" um determinado biomorfo pousando em algum ponto particular da tela. Quando um certo número de escolhas tiver sido registrado, o computador apagará a tela, "procriará" a partir do biomorfo preferido e exibirá a geração seguinte de crias mutantes.

Nutro grandes esperanças de que, passado um bom número de gerações, os insetos em liberdade acabem por causar a evolução de flores no ambiente computadorizado. Se isso acontecer, as flores

computadorizadas terão evoluído sob a mesma pressão evolutiva que causou a evolução das flores no ambiente natural. Fico encorajado pelo fato de que os insetos costumam visitar as manchas de cor vibrante nos vestidos das mulheres (e também por experimentos mais sistemáticos já publicados). Uma outra possibilidade, que me pareceria ainda mais empolgante, é que os insetos de verdade causem a evolução de formas semelhantes a insetos no computador. Minha esperança tem por base um precedente: no passado, as abelhas causaram a evolução das orquídeas-abelha [Listem apiferaj: ao longo de várias gerações de evolução cumulativa dessas orquídeas, os machos das abelhas moldaram a forma dessas flores ao tentar copular com elas, assim carregando seu pólen. Imagine a "orquídea-abelha" da figura 5 em cores - o leitor não se sentiria atraído se fosse uma abelha?

Meu motivo maior de pessimismo está no funcionamento da visão dos insetos, muito diferente da nossa. As telas de vídeo foram concebidas para olhos humanos, não para olhos de abelha. Isso facilmente poderia significar que, muito embora nós e as abelhas, cada qual à sua maneira, percebamos o aspecto apiforme das orquídeas-abelha, é possível que as abelhas não enxerguem nada numa tela de vídeo. Talvez elas não vejam mais que as 625 linhas de pontos luminosos. Ainda assim, vale a tentativa. Quando este livro for publicado, eu já saberei a resposta.

Há um clichê popular, geralmente pronunciado em um tom que Stephen Potter chamaria de "bombástico", segundo o qual não se tira de um computador mais do que se pôs nele. Em outras versões, diz-se que os computadores fazem exatamente apenas aquilo que os mandamos fazer, e portanto jamais são criativos. O clichê é verdadeiro apenas em um sentido escandalosamente trivial, equivalente a dizer que Shakespeare não escreveu nada além do que lhe ensinou seu primeiro mestre-escola: palavras. Programei o processo que denominei EVOLUÇÃO no computador, mas não planejei os meus insetos, nem o escorpião, nem o Spitfire, nem o módulo lunar. Não tinha a menor suspeita de que eles viriam a emergir, portanto o termo "emergir" é o mais apropriado. É verdade que meus olhos fizeram a seleção que guiou a evolução, mas a cada estágio eu me vi limitado a um punhado de crias oferecidas pela mutação aleatória, e minha "estratégia" de seleção foi sempre oportunista, caprichosa e de curto prazo. Não visava a nenhum alvo distante - como não o faz a seleção natural.

Posso dramatizar essa questão descrevendo a única vez em que tentei visar a um alvo distante. Devo começar por uma confissão, que de resto o leitor certamente já intuiu. A história evolutiva da figura 4 é

uma reconstrução. Não foi a primeira vez que vi "meus" insetos. Quando eles originalmente emergiram anunciados pelos clarins, eu não tinha como registrar seus genes. Lá estavam eles na tela do computador, e eu não podia chegar até eles, não podia decifrar seus genes. Demorei a desligar o computador enquanto torturava meu cérebro, tentando imaginar alguma maneira de salvá-los - mas não havia como. Os genes estavam embutidos muito profundamente, como na vida real. Eu podia imprimir a imagem dos corpos dos insetos, mas seus genes estavam perdidos. Modifiquei imediatamente o programa, de modo que no futuro eu pudesse manter registros acessíveis das fórmulas genéticas, mas era tarde demais: eu perdera meus insetos.

Tentei "encontrá-los" de novo. Se haviam evoluído uma vez, parecia ser possível que evoluíssem de novo. Como o acorde perdido, a idéia me perseguia. Vaguei pela Terra dos Biomorfos, numa paisagem infinita de coisas e criaturas estranhas, mas não consegui encontrar meus insetos. Sabia que eles tinham de estar à espreita em algum lugar. Eu conhecia os genes que haviam servido de ponto de partida para a evolução original. Tinha uma figura com os corpos dos insetos. Tinha até uma figura da seqüência evolutiva de corpos que, a partir de um ancestral em forma de pontinho, gradativamente culminava nos meus insetos. Mas não tinha sua fórmula genética.

O leitor pode achar que seria fácil reconstituir o caminho evolutivo - mas não foi. A razão, que voltarei a abordar adiante, está no número astronômico de biomorfos possíveis que um caminho evolutivo suficientemente longo oferece, mesmo quando há apenas nove genes variando. Por diversas vezes, em minha peregrinação pela Terra dos Biomorfos, pensei estar próximo de um precursor dos meus insetos, mas logo em seguida a evolução enveredava pelo caminho errado, por mais que eu me esforçasse no papel do selecionador. Por fim, em um desses passeios evolutivos e com um sentimento de triunfo quase tão intenso como na primeira ocasião, eu finalmente os encurralei. Não sabia (e ainda não sei) se aqueles insetos eram exatamente iguais aos originais, os insetos "dos acordes perdidos de Zaratustra", ouse eram superficialmente "convergentes" (ver o próximo capítulo), mas dei-me por satisfeito. Desta vez, não houve erro: anotei suas fórmulas genéticas e agora posso fazer "evoluir" insetos sempre que quiser.

É claro que estou dramatizando um pouco, mas há um elemento sério nesta história que cabe notar: ainda que eu tenha programado o computador, ordenando-lhe detalhadamente o que fazer, eu não planejei os

animais que evoluíram nele e fiquei completamente surpreso ao ver seus precursores pela primeira vez. Eu era tão impotente para controlar sua evolução que não podia nem sequer retrair um caminho evolutivo específico, por mais que o desejasse. Duvido que tivesse reencontrado meus insetos se não tivesse imprimido as figuras com o conjunto completo de seus precursores evolutivos - mesmo assim, o processo foi difícil e tedioso. Será paradoxal essa impotência do programador para controlar ou prever o curso da evolução no computador? Será que algo misterioso ou mesmo místico estaria acontecendo dentro da máquina? É claro que não, como também não há nada de místico na evolução dos animais e plantas reais. Podemos usar o modelo de computador para resolver o paradoxo e com isso aprender alguma coisa sobre a evolução real.

Antecipando um pouco, descrevo agora a base para a resolução do paradoxo. Há um conjunto definido de biomorfos, cada qual postado permanentemente em seu lugar único do espaço matemático. Digo que cada biomorfo está permanentemente em seu lugar porque, conhecendo-se sua fórmula genética, é possível encontrá-lo instantaneamente; ademais, seus vizinhos nesse espaço peculiar são os biomorfos que diferem dele por apenas um gene. Agora que conheço a fórmula genética dos meus insetos, posso reproduzi-los à vontade e posso ordenar ao computador que providencie a "evolução" em direção a eles a partir de qualquer ponto de partida arbitrário. Quando desenvolvemos uma nova criatura por meio de seleção artificial no modelo de computador, temos a sensação de estar criando algo, o que não deixa de ser verdade. Mas o fato é que estamos apenas encontrando a criatura, pois em termos matemáticos ela já ocupa um lugar específico no espaço genético da Terra dos Biomorfos. Mas o processo é criativo porque é extremamente difícil encontrar uma criatura específica: a Terra dos Biomorfos é vastíssima e o número total de suas criaturas é praticamente infinito. Não é viável sair procurando a esmo, aleatoriamente. É necessário algum procedimento de busca mais eficiente, ou seja, mais criativo.

Algumas pessoas querem crer que os computadores que jogam xadrez examinam internamente cada uma das possíveis seqüências de jogadas. Essa crença deve ser reconfortante quando são derrotadas pelo computador, mas é inteiramente falsa. O número de movimentos possíveis é descomunal; o universo de busca é bilhões de vezes grandes demais para que a busca às cegas funcione. A arte de escrever um bom programa de xadrez está em imaginar atalhos eficientes por esse universo de busca. A

seleção cumulativa - seja artificial, como no modelo de computador, seja natural, como no mundo real - é um procedimento de busca eficiente, e suas conseqüências assemelham-se muito à inteligência criativa. Esse é, afinal, o fundamento do Argumento do Desígnio de William Paley. Tecnicamente falando, o que fazemos no jogo dos biomorfos no computador resume-se a encontrar animais que, em sentido matemático, estão à nossa espera. Mas temos a sensação de um processo de criação artística. Vasculhar um espaço pequeno, que contém poucas entidades, não costuma proporcionar a sensação de um processo criativo. A brincadeira infantil de procurar no quarto um objeto que foi escondido ali não parece criativa: revirar tudo ao acaso a fim de encontrar o objeto procurado só funciona quando o espaço a ser vasculhado é pequeno. À medida que o universo de busca se amplia, tornam-se necessários procedimentos de busca mais e mais sofisticados. Em um espaço de busca suficientemente vasto, esses procedimentos tornam-se indistinguíveis da verdadeira criatividade.

Os modelos computadorizados de biomorfos ilustram bem esse argumento e constituem uma ponte instrutiva entre os processos criativos humanos (como o planejamento de uma estratégia vitoriosa no xadrez) e a criatividade evolutiva da seleção natural, nosso relojoeiro cego. Para percebermos isso, devemos desenvolver a idéia da Terra dos Biomorfos como um "espaço" matemático, um panorama infinito mas ordenado de variedade morfológica, no qual cada criatura ocupa seu lugar específico, à espera de ser descoberta. As dezessete criaturas da figura 5 não foram dispostas de qualquer maneira especial sobre a página, mas na Terra dos Biomorfos cada qual ocupa uma posição única, determinada por sua fórmula genética, circundada por suas vizinhas específicas. Todas as criaturas da Terra dos Biomorfos têm uma relação espacial definida entre si. O que isso significa? Que sentido podemos atribuir à posição espacial?

Estamos falando de um espaço genético. Cada animal tem sua própria posição no espaço genético. Vizinhos próximos no espaço genético são animais que diferem entre si por uma única mutação. Na figura 3, a árvore básica ao centro é circundada por oito de suas dezoito vizinhas imediatas no espaço genético. Os dezoito vizinhos de um animal são os dezoito tipos de crias que ele pode gerar e os dezoito tipos de genitor do qual ele poderia ter provindo, dadas as regras de nosso modelo de computador. No grau seguinte de "parentesco", cada animal tem 324 vizinhos (18 x 18, deixando de lado as retromutações para simplificar),

isto é, o número de seus possíveis netos, avós, tios e sobrinhos. Mais um grau de "parentesco", e cada animal terá 5832 vizinhos (18 x 18 x 18), isto é, o número de possíveis bisnetos, bisavós, primos irmãos etc.

De que nos serve raciocinar segundo um espaço genético? Aonde isso nos leva? A resposta é que isso nos permite entender a evolução como um processo gradual e cumulativo. A cada nova geração, de acordo com as regras do nosso modelo, só podemos dar um passo no espaço genético. Em 29 gerações, não será possível dar mais que 29 passos a contar do ancestral de partida. Qualquer história evolutiva consiste em um caminho ou trajeto particular no espaço genético. Por exemplo, a história evolutiva registrada na figura 4 é um trajeto sinuoso específico através do espaço genético, ligando um pontinho a um inseto e passando por 28 estágios intermediários. É isso que quero dizer quando falo metaforicamente em "vaguear" pela Terra dos Biomorfos.

Tentei representar esse espaço genético na forma de uma figura. O problema é que as figuras são bidimensionais, enquanto o espaço genético em que se encontram os biomorfos não é bidimensional, e nem mesmo tridimensional. É um espaço de nove dimensões! Em matéria de matemática, o mais importante é não se deixar intimidar. A coisa não é tão difícil quanto o clero matemático às vezes quer nos fazer crer. Sempre que me sinto intimidado, recordo a tirada de Silvanus Thompson em *Calculus Made Easy* [O cálculo fácil]: "O que um tolo pode fazer, outro tolo também pode". Se pudéssemos desenhar em nove dimensões, poderíamos fazer com que cada dimensão correspondesse a um dos nove genes. A posição de um certo animal - o escorpião, o morcego ou o inseto - é fixada no espaço genético pelo valor numérico de seus nove genes. A mudança evolutiva consiste em uma caminhada passo a passo através do espaço de nove dimensões. O grau de diferença genética entre dois animais, e portanto o tempo necessário para a evolução e a dificuldade de evoluir de um para outro, é medido como a distância entre ambos nesse espaço de nove dimensões.

Infelizmente não podemos desenhar em nove dimensões. Tentei contornar o problema desenhando uma figura bidimensional que transmitisse algo da sensação de passar de um ponto ao outro no espaço genético de nove dimensões da Terra dos Biomorfos.

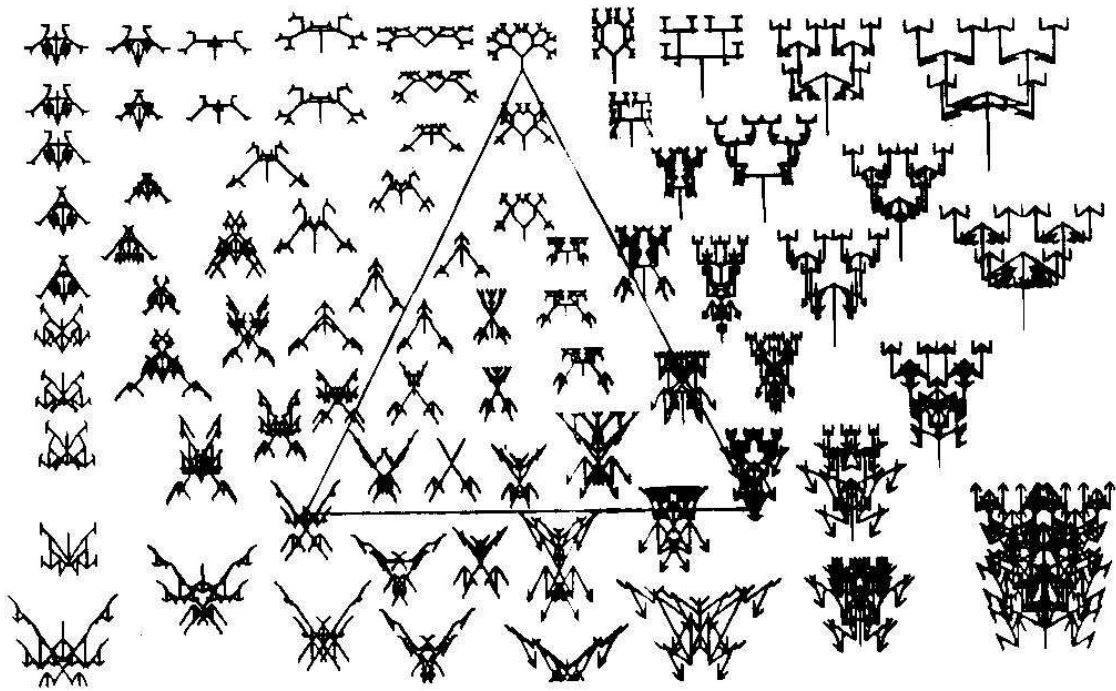


Figura 6

Há várias maneiras de fazê-lo; escolhi uma que chamarei de truque do triângulo. Examinemos a figura 6. Nos três vértices do triângulo encontram-se três biomorfos escolhidos ao acaso. O de cima é a árvore básica, o da esquerda é um dos "meus" insetos, e o da direita não tem nome, mas me pareceu bonito. Como todos os biomorfos, cada um desses três tem sua própria fórmula genética, que determina sua posição única no espaço genético de nove dimensões.

Esse triângulo repousa sobre um "plano" bidimensional que corta o hipervolume de nove dimensões (o que um tolo pode fazer, outro tolo também pode). O plano é semelhante a uma placa de vidro enfiada em uma geléia. O triângulo foi desenhado sobre a placa de vidro, bem como alguns dos biomorfos cujas fórmulas genéticas permitem que se encontrem nesse plano específico. O que lhes permite isso? É aqui que os três biomorfos dos vértices entram em jogo. Nós os chamaremos de biomorfos-âncora.

O leitor deve recordar que, no "espaço" genético, a "distância" é definida pela idéia de que biomorfos geneticamente semelhantes são vizinhos próximos e biomorfos geneticamente dessemelhantes são vizinhos distantes. Neste plano específico, as distâncias foram calculadas a

partir dos três biomorfos-âncora. Para qualquer dado ponto na placa de vidro (dentro ou fora do triângulo), a fórmula genética apropriada é calculada como uma "média ponderada" das fórmulas genéticas dos três biomorfos-âncora. O leitor já deve ter percebido como se faz a ponderação: ela toma por base as distâncias na página ou, mais precisamente, a proximidade do ponto em questão com os três biomorfos-âncora. Assim, quanto mais próximos estivermos do inseto no plano, mais os nossos biomorfos se parecerão com um inseto. Se nos deslocarmos pelo vidro em direção à árvore, os "insetos" lembrarão cada vez menos um inseto e cada vez mais uma árvore. Se formos para o centro do triângulo, encontraremos animais (como a aranha com um candelabro judaico de sete hastes na cabeça) que representarão "meios- termos genéticos" entre os três biomorfos-âncora.

Mas esse modo de apresentação confere demasiada proeminência aos três biomorfos-âncora. É verdade que o computador fez uso deles para calcular a fórmula genética apropriada para cada ponto da figura, mas quaisquer outros três pontos-âncora no plano teriam servido igualmente bem para o nosso truque, fornecendo resultados idênticos. É por isso que, na figura 7, não desenhei o triângulo. A figura 7 é análoga à figura anterior, mas mostra um outro plano. Usei o mesmo inseto como âncora, desta vez do lado direito da figura. As outras âncoras são o Spitfire e a orquídea apiforme, que já compareciam na figura 5. Neste plano também se nota que os biomorfos vizinhos são mais parecidos entre si do que biomorfos distantes. O Spitfire, por exemplo, faz parte de um esquadrão de aeronaves semelhantes, voando em formação. Uma vez que o inseto figura nas duas placas de vidro, o leitor pode imaginar que esses dois planos se interceptam em ângulo. Relativamente à figura 6, o plano da figura 7 apresenta uma "rotação" em torno do inseto.

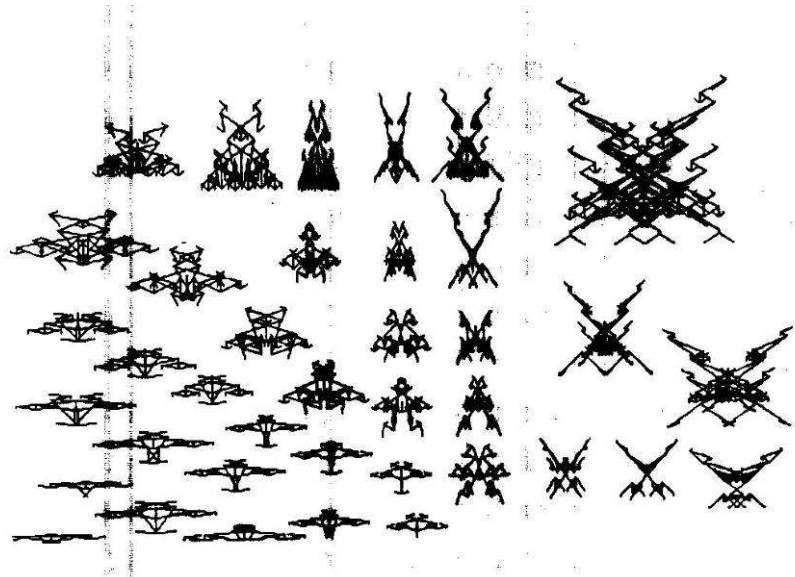


Figura 7

A eliminação do triângulo é um aperfeiçoamento do nosso método, pois ele introduzia um elemento de distração ao conferir proeminência indevida a três pontos específicos. Temos ainda outro aperfeiçoamento a introduzir. Nas figuras 6 e 7, a distância espacial representa a distância genética, mas a escala está distorcida. Um centímetro para cima não é necessariamente equivalente a um centímetro na transversal. Para remediar isso, temos de escolher nossos biomorfos-âncora cuidadosamente, de modo que as distâncias genéticas entre eles sejam idênticas. É o que acontece na figura 8. Novamente, o triângulo não foi desenhado. As três âncoras são o escorpião da figura 5, o mesmo inseto de sempre (que serviu de pivô para uma nova "rotação"), e no topo o biomorfo que não se parece com nada. Cada um desses três biomorfos encontra-se a trinta mutações do outro. Isso significa que é igualmente fácil evoluir de qualquer um para qualquer dos outros dois; nos três casos, deve-se dar um mínimo de trinta passos genéticos. Os tracinhos ao longo da margem inferior da figura 8 representam unidades de distância medidas em genes, uma espécie de régua genética. A régua não funciona apenas na horizontal, e pode ser inclinada em qualquer direção para medirmos a distância genética (e portanto o mínimo tempo de evolução necessário) entre quaisquer dois pontos no plano (é pena que isso não valha para a página impressa, pois a impressora do computador distorce as proporções; mas esse efeito é demasiado trivial para nos preocupar, mesmo que forneça respostas ligeiramente erradas (se simplesmente contarmos os tracinhos da régua)).

Esses planos bidimensionais através do espaço genético de nove dimensões dão alguma idéia do que é caminhar pela Terra dos Biomorfos.

Para apurar essa idéia, o leitor deve ter em mente que a evolução não se restringe a um plano único. Numa verdadeira caminhada evolutiva, poderíamos "cair" em outro plano a qualquer momento - por exemplo, do plano da figura 6 para o plano da figura 7 (no ponto de intersecção próximo ao inseto).

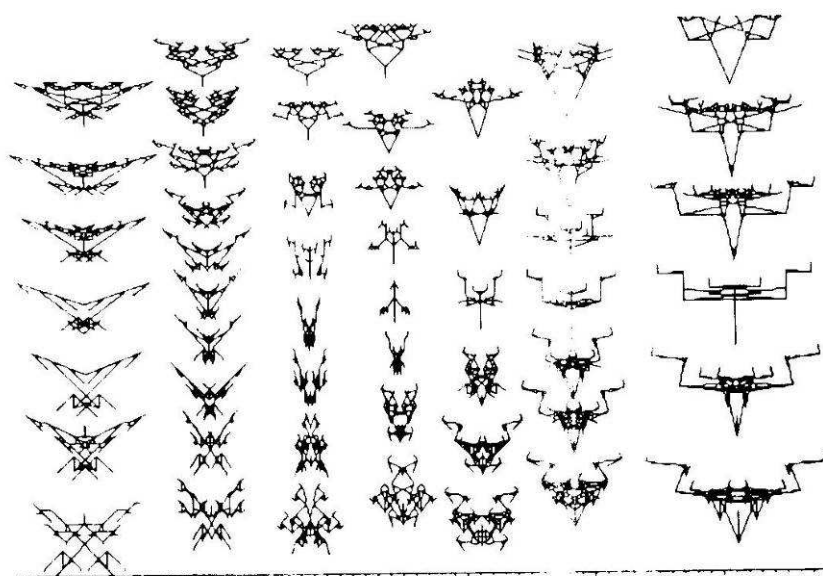


Figura 8

Afirmar que a "régua genética" da figura 8 permite que calculemos o tempo mínimo necessário para se evoluir de um ponto para outro. Isso vale dentro das restrições do modelo original, mas a ênfase deve recair sobre a palavra "mínimo". Uma vez que o inseto e o escorpião encontram-se a uma distância de trinta unidades genéticas, são necessárias apenas trinta gerações para se evoluir de um para o outro contanto que nunca se tome o caminho errado; isto é, caso se saiba exatamente qual a fórmula genética do alvo e qual o caminho a tomar. Na evolução real, não há nada que se assemelhe a seguir deliberadamente um caminho rumo a um alvo genético distante.

Usemos agora os biomorfos para voltar ao argumento ilustrado pelos macacos escrevendo Hamlet, isto é, à importância da mudança evolutiva gradual, passo a passo, em oposição ao puro acaso. Começemos por rebatizar os tracinhos ao pé da figura 8, agora em unidades

diferentes. Em vez de medir a distância como número de genes que devem se alterar ao longo da evolução vamos medir a distância como "chances de conseguir vencer a distância em um único salto aleatório". Para tanto, teremos de relaxar uma das restrições que impus a meu jogo de computador - e logo veremos por que razão eu a impus. A restrição ditava que as crias 50 tinham "permissão" para se distanciar de seus genitores por uma única mutação. Em outras palavras, um único gene podia sofrer mutação a cada vez, e esse gene só podia alterar seu valor em + 1 ou 1. Agora, ao relaxar essa restrição, permitiremos que qualquer número de genes sofra mutação ao mesmo tempo por meio da adição de qualquer valor, negativo ou positivo, a seu valor naquele momento. Na verdade, estamos relaxando demais, uma vez que isso permite que os valores genéticos variem de menos infinito a mais infinito. A idéia ficará suficientemente clara se restringirmos os valores genéticos a um único algarismo, isto é, se permitirmos que variem de 9 a +9.

Assim, dentro desses amplos limites, estamos teoricamente permitindo que, numa única geração, a mutação altere qualquer combinação dos nove genes. Ademais, o valor de cada gene pode variar em qualquer medida, contanto que não chegue a dois dígitos. O que isso significa? Significa que, teoricamente, a evolução pode saltar em uma única geração de qualquer ponto da Terra dos Biomorfos para qualquer Outro ponto - não apenas no plano, mas em todo o hipervolume de nove dimensões. Se, por exemplo, o leitor quisesse saltar vertiginosamente do inseto para a raposa da figura 5, aqui vai a receita: "adicionar os seguintes números aos valores dos genes de 1 a 9, respectivamente: 2,2,2,2,2,0,4, 1,1". Mas estamos falando de saltos aleatórios, e portanto todos os pontos na Terra dos Biomorfos são destinos igualmente prováveis para qualquer um desses saltos. Assim, as chances de um salto aleatório para qualquer destino determinado - a raposa, por exemplo - são fáceis de calcular: equivalem ao número total de biomorfos no espaço. Como se vê, estamos embarcando em mais um daqueles cálculos astronômicos. Temos nove genes, e cada um deles pode assumir qualquer um dentre dezenove valores. Por conseguinte, o número total de biomorfos para os quais poderíamos saltar de uma vez só é dezenove multiplicado por si mesmo nove vezes: dezenove à nona potência. Isso resulta em algo próximo de meio trilhão de biomorfos. Coisa de somenos se comparada ao "número hemoglobina" de Asimov, mas ainda assim um número que eu chamaria de grande. Se partisse do inseto e saltasse meio trilhão de vezes como uma pulga ensandecida, o leitor poderia ter esperança de chegar à raposa uma só vez.

O que tudo isso ensina sobre a evolução real? Mais uma vez, está frisando a importância da mudança gradual, passo a passo. Houve evolucionistas que negaram que um gradualismo dessa natureza seja necessário na evolução. Nossos cálculos com os biomorfos mostram com exatidão uma das razões da importância da mudança gradual, passo a passo. Quando afirmo que podemos esperar que a evolução salte do inseto para um de seus vizinhos imediatos, mas não do inseto diretamente para a raposa ou o escorpião, quero dizer o seguinte: se de fato ocorressem saltos genuinamente aleatórios, então um salto do inseto para o escorpião seria perfeitamente possível. Aliás, seria tão provável quanto um salto para qualquer um de seus vizinhos imediatos. Mas também seria tão provável quanto um salto para qualquer outro biomorfo nesse universo. E aí está o nó da questão: o número de biomorfos nesse universo chega a meio trilhão, e se nenhum deles é um destino mais provável que os outros, as chances de saltar para qualquer biomorfo específico são desprezíveis.

Note-se que de nada serve supor que há uma poderosa "pressão seletiva" não aleatória. De nada adiantaria prometer uma fortuna a quem conseguisse por sorte dar um salto para o escorpião. As chances ainda seriam de uma em meio trilhão. Mas se, em vez de saltar, o leitor pudesse caminhar, dando um passo por vez, e recebesse uma moeda a cada passo na direção correta, o escorpião seria alcançado em pouco tempo. Não necessariamente no tempo mínimo de trinta gerações, mas ainda assim bem rápido. Saltar poderia teoricamente levar ao prêmio em menos tempo - em um Único salto. Contudo, em vista das chances astronômicas de fracasso, a seqüência de pequenos passos, cada qual partindo do êxito acumulado dos passos anteriores, é o único método viável.

O tom dos parágrafos anteriores pode dar margem a mal-entendidos que devo agora tentar desfazer, O leitor pode ter a impressão de que a evolução lida com alvos distantes, almejando coisas como os escorpiões. Como vimos, ela nunca faz isso. Mas se pensarmos em nosso alvo como qualquer coisa que aumente as chances de sobrevivência, então nosso argumento continuará valendo. Para que um animal se torne um genitor, tem de ser capaz de sobreviver ao menos até a idade adulta. É possível então que uma de suas crias mutantes tenha uma capacidade de sobreviver até maior. Mas se uma cria sofre uma grande mutação, movendo-se para longe de seu genitor no espaço genético, quais são as de que ela seja melhor que o genitor? A resposta é que as chances são muito pequenas. A razão é essa que acabamos de examinar no modelo dos biomorfos. Se o salto mutacional em questão for muito grande, o número de destinos possíveis é

astronomicamente alto. Ora, como vimos no capítulo 1, o número de maneiras de morrer é muito maior que o número de maneiras de se manter vivo, e portanto são grandes as chances de que um grande salto no espaço genético acabe em morte. Até mesmo um pequeno salto aleatório no espaço genético tem boas chances de acabar em morte. Mas quanto menor for o salto, tanto mais provável será que ele resulte numa melhora e menos provável que acabe em morte. Voltaremos a este tema em um capítulo posterior.

Não quero seguir extraindo a moral da história da Terra dos Biomorfos. Espero que o leitor não a tenha achado muito abstrata. Há um outro espaço matemático repleto de seres - não biomorfos com nove genes, mas animais de carne e osso, compostos de bilhões de células, cada qual contendo dezenas de milhares de genes. Não estou falando do espaço biomórfico, mas do espaço genético real. Os animais reais que já viveram na Terra são um minúsculo subconjunto dos animais teóricos que poderiam existir. Esses animais reais são o produto de um número muito pequeno de trajetórias evolutivas através do espaço genético. A grande maioria das trajetórias teóricas através do espaço animal dá origem a monstros inviáveis. Os animais reais surgem aqui e ali em meio a monstros hipotéticos, cada qual empoleirado em seu lugar próprio e único no hiperespaço genético. Cada animal real está rodeado por um pequeno grupo de vizinhos, que em sua maioria jamais existiram; mas alguns desses vizinhos são seus ancestrais, descendentes e primos.

Em algum lugar desse imenso espaço matemático estão os humanos e as hienas, as amebas e os tatus, as solitárias e as lulas, os dodôs e os dinossauros. Em teoria, se tivéssemos suficiente habilidade em engenharia genética, poderíamos nos mover de qualquer ponto no espaço animal para qualquer outro ponto. De um ponto de partida escolhido a esmo poderíamos nos mover pelo labirinto de modo a recriar o dodô, o tiranossauro e os trilobites. Isto é, se soubéssemos quais genes alterar, quais pedaços de cromossomo duplicar, inverter ou apagar. Duvido que um dia cheguemos a saber tanto, mas essas célebres criaturas mortas estarão para Sempre à espreita em seus recantos particulares desse imenso hipervolume genético, esperando que as encontremos tão logo saibamos como seguir o curso certo no labirinto. Poderíamos até ser capazes de fazer evoluir uma reconstrução exata de um dodô por meio da reprodução seletiva de pombos - só que teríamos de viver 1 milhão de anos para completar o experimento. Mas se não podemos fazer uma viagem assim na vida real, a imaginação não é um mau substituto. Para aqueles que, como eu, não são matemáticos o

computador pode ser um poderoso auxiliar da imaginação. Assim como a matemática, ele não serve apenas para ampliar a imaginação, mas também para discipliná-la e controlá-la.

4. Desbravando os caminhos do espaço animal

Como vimos no capítulo 2, para muitas pessoas é difícil acreditar que algo como o olho, o exemplo favorito de Paley, tão complexo e com um design tão elaborado, com tantos componentes ativos interligados, poderia ter tido uma origem tão modesta, evoluindo de uma série gradual de mudanças passo a passo. Retomemos o problema à luz das novas intuições que os biomorfos nos proporcionaram. Respondamos às duas questões a seguir:

1. O olho humano poderia ter surgido diretamente de olho nenhum, em um único passo?

2. O olho humano poderia ter surgido diretamente de algo ligeiramente diferente de si mesmo, algo que poderíamos chamar de X?

A resposta à primeira pergunta claramente é um inquestionável "não". As chances contra um sim em perguntas como a Questão 1 acima são vários bilhões de vezes maiores do que o número de átomos no universo. Seria necessário um salto descomunal e incomensuravelmente improvável no hiperespaço genético. A resposta à Questão 2 é, também claramente, um sim, com a única condição de que a diferença entre o olho moderno e seu predecessor imediato seja suficientemente pequena. Em outras palavras, se eles forem suficientemente próximos um do outro no espaço de todas as estruturas possíveis. Se a resposta à Questão 2 para qualquer grau específico de diferença for negativa, basta repetirmos a pergunta, mas considerando um grau menor de diferença, e continuar a fazer isso até encontrarmos um grau de diferença pequeno o bastante para nos dar um "sim" na Questão 2.

X está definido como algo muito semelhante a um olho humano, semelhante o bastante para que o olho humano pudesse plausivelmente ter surgido devido a uma única alteração em X. Se o leitor tiver uma imagem mental de X e julgar implausível que o olho humano possa ter surgido

diretamente dela, isto significa apenas que escolheu o X errado. Torne sua imagem mental de X progressivamente mais semelhante a um olho humano, até encontrar um X que julgue plausível como predecessor imediato do olho humano. Tem de haver um X para o leitor, mesmo que seu critério de plausibilidade seja mais - ou menos - cauteloso do que o meu!

Agora, tendo encontrado um X que permita uma resposta afirmativa à Questão 2, aplicamos a mesma pergunta ao próprio X. Seguindo o mesmo raciocínio, temos de concluir que X poderia plausivelmente ter surgido, diretamente por uma única mudança, de algo também um pouquinho diferente, que chamaremos de X'. É claro que podemos então retrazar a origem de X' a alguma outra coisa ligeiramente diferente dele, X' e assim por diante. Interpondo uma série de Xs suficientemente grande, podemos derivar o olho humano de algo não um pouco diferente, mas muito diferente dele próprio. Podemos "andar" por uma grande distância através do "espaço animal", e nosso deslocamento será plausível contanto que sejam dados passos suficientemente pequenos. Agora temos condições de responder a uma terceira questão.

3. Existe uma série contínua de Xs ligando o olho humano moderno a um estado sem olho nenhum?

Parece-me claro que a resposta tem de ser afirmativa, com a única condição de que se permita uma série suficientemente grande de Xs. O leitor pode achar que 1000 Xs é uma vasta quantidade, mas caso precise de mais passos para fazer mentalmente com que a transição total seja plausível, basta que suponha uma série de 10 mil Xs; se isso ainda não bastar, suponha 100 mil e assim por diante. É claro que o tempo disponível impõe um teto a esse jogo, pois só pode haver um X por geração. Na prática, portanto, a questão resume-se a: houve tempo para um número suficiente de gerações sucessivas? Não podemos calcular com precisão o número de gerações que seriam necessárias. Sabemos, porém, que o tempo geológico é espantosamente longo. Só para dar uma idéia da ordem de magnitude nesta nossa discussão, o número de gerações que nos separam de nossos ancestrais mais remotos é com certeza medido em milhares de milhões. Dados, digamos, 100 milhões de Xs, poderíamos ser capazes de construir uma série plausível de minúsculas gradações que ligam o olho humano a praticamente qualquer coisa!

Até aqui, por um processo de raciocínio mais ou menos abstrato, concluímos que existe uma série de Xs imagináveis, cada qual suficientemente semelhante a seus vizinhos para que possa plausivelmente

transformar-se em um deles, com a série toda ligando o olho humano a um princípio no qual não houve olho nenhum. Mas ainda não demonstramos ser plausível que essa série de Xs tenha de fato existido. Há outras duas questões a responder.

4. Considerando cada membro da série de Xs hipotéticos que ligam o olho humano a olho nenhum, é plausível que cada um deles tenha vindo a existir graças a uma mutação aleatória de seu predecessor?

Essa questão, na verdade, é da alçada da embriologia, e não da genética. E é totalmente distinta daquela que preocupou o bispo de Birmingham e outros. A mutação tem de atuar modificando os processos de desenvolvimento embrionários existentes. Pode-se afirmar que certos tipos de processo embrionário são muito receptivos a variações em certas direções e recalcitrantes a variações em outras. Retomarei este assunto no capítulo 11; aqui me limitarei a salientar novamente a diferença entre a pequena e a grande mudança. Quanto menor a mudança que postulamos, quanto menor a diferença entre X e X', mais plausível é a mutação em questão na esfera embriológica. No capítulo anterior, vimos, com base puramente estatística, que qualquer grande mutação específica é inerentemente menos provável do que qualquer pequena mutação específica. Assim, sejam quais forem os problemas que possam surgir a partir da Questão 4, ao menos podemos ver que, quanto menor a diferença que determinarmos entre X' e X''... Menores serão os problemas. Pressinto que, desde que a diferença entre intermediários vizinhos em nossa série conducente ao olho seja suficientemente pequena, as mutações necessárias estão quase fadadas a aparecer. Afinal, estamos sempre falando de mudanças quantitativas de pouca monta em um processo embrionário existente. Lembremos que, por mais complexo que possa ser o status quo embrionário em cada geração, cada alteração mutacional no status quo pode ser muito pequena e simples.

Temos uma última questão a responder:

5. Considerando cada membro da série de Xs que liga o olho humano a olho nenhum, é plausível que cada um desses membros tenha funcionado bem o suficiente para auxiliar a sobrevivência e reprodução dos animais envolvidos?

Curiosamente, houve quem pensasse que a resposta a essa questão é um evidente "não". Por exemplo, citarei Francis Hitching em seu livro de 1982 intitulado *The Neck of the Giraffe or Where Darwin Went Wrong* [O pescoço da girafa, ou Onde Darwin errou]. Poderia citar basicamente as mesmas palavras tiradas de quase qualquer folheto publicado pelas

Testemunhas de Jeová, mas escolhi esse livro porque ele foi considerado digno de ser publicado por uma editora respeitável (a Pan Books), apesar de um número enorme de erros que teriam sido apontados sem demora se fosse pedido a algum pós-graduando em biologia desempregado, ou até mesmo a um estudante da graduação, que lesse os originais. (Meus favoritos, se o leitor me permite uma piada particular de minha área, foram conferir o título de cavaleiro ao professor John Maynard Smith e descrever o professor Ernst Mayr, o eloqüente e acentuadamente não-matemático arquivista da genética matemática, como o "sumo sacerdote" dessa área.)

Para que o olho funcione é preciso que ocorram os passos perfeitamente coordenados mínimos descritos a seguir (há muitos outros ocorrendo simultaneamente, mas até uma descrição grosseiramente simplificada basta para assinalar os problemas para a teoria darwiniana). O olho tem de estar limpo e úmido, mantido nesse estado pela interação da glândula lacrimal e das pestanas móveis, cujos cílios também servem como um tosco filtro contra o Sol. A luz então atravessa uma pequena seção transparente do revestimento protetor externo (a córnea), e continua pelo cristalino, que a enfoca na parte posterior da retina. Ali, 130 milhões de bastonetes e cones sensíveis à luz causam reações fotoquímicas que transformam a luz em impulsos elétricos. Cerca de 1000 milhões desses impulsos são transmitidos por segundo, por meios que não são adequadamente compreendidos, a um cérebro que então executa a ação apropriada.

Ora, é muito evidente que se a menor coisa der errado no caminho - se a córnea estiver enevoadada, se as pupilas não se dilatarem, se o cristalino se tornar opaco ou o foco for errado - não se forma uma imagem reconhecível. Ou o olho funciona como um todo, ou não funciona absolutamente. Sendo assim, Como foi que ele evoluiu por aperfeiçoamentos darwinianos lentos, contínuos e infimamente pequenos? É mesmo plausível que milhares de milhares de afortunadas mutações aleatórias tenham acontecido coincidentemente de modo que o cristalino e a retina, que não podem funcionar um sem o outro, tenham evoluído em sincronia? Que valor de sobrevivência pode ter um olho que não vê?

Esse argumento notável é apresentado com grande freqüência, presumivelmente porque as pessoas querem acreditar em sua conclusão. Consideremos a afirmação de que "se a menor coisa der errado ... se o foco for errado [...] não se forma uma imagem reconhecível". A probabilidade de você estar lendo estas palavras através de lentes de

óculos não pode estar longe de 50/50. Tire seus óculos e olhe em volta. Você concordaria que "não se forma uma imagem reconhecível"? Se você for homem, a chance de ser daltônico é de uma em doze. Também pode ter astigmatismo. Não é improvável que, sem os óculos, sua visão seja nebulosa e borrada. Um teórico evolucionista atual dos mais ilustres (embora ainda não sagrado cavaleiro) limpa seus óculos com tão pouca frequência que sua visão provavelmente é nebulosa e borrada de qualquer maneira, mas ao que parece ele se vira muito bem e, segundo ele próprio, costumava ser um adversário temível no squash monocular. Se você perdeu seus óculos, talvez irrite seus amigos deixando de reconhecê-los na rua. Mas você se irritaria ainda mais se alguém lhe dissesse: "Já que agora sua visão não está absolutamente perfeita, você pode muito bem andar por aí de olhos fechados até encontrar seus óculos". No entanto, é isso basicamente que o autor do trecho que citei está insinuando.

Ele também afirma, como se fosse óbvio, que o cristalino e a retina não podem funcionar um sem o outro. Com que autoridade? Uma amiga minha foi submetida à operação de catarata em ambos os olhos. Ela não tem nenhum cristalino nos olhos. Sem óculos, não poderia nem começar a jogar tênis ou fazer pontaria em um rifle. Mas ela me garante que é muito melhor ter um olho sem cristalino do que não ter olho nenhum. Ela consegue saber se está prestes a trombar com uma parede ou uma pessoa. Um ser vivo certamente poderia usar seu olho sem cristalino para detectar a aproximação da forma de um predador e a direção de onde ele se aproxima. Em um mundo primitivo onde algumas criaturas não têm olho nenhum e outras têm olhos sem cristalino, estas últimas teriam todo tipo de vantagem. E existe uma série contínua de Xs tal que cada minúscula melhora na nitidez da imagem, do borrão ondulante à visão humana perfeita, plausivelmente aumenta as chances de sobrevivência do organismo.

O livro prossegue citando Stephen Jay Gould, o eminente paleontólogo de Harvard, que teria afirmado:

Evitamos a excelente questão "de que serve cinco por cento de um olho?" argumentando que o possuidor dessa incipiente estrutura não a usava para ver.

Um animal primitivo com cinco por cento de um olho poderia, de fato, usá-lo para alguma outra coisa, mas a meu ver é no mínimo igualmente provável que o usasse para ter cinco por cento de visão. Na verdade, não vejo nada de excelente nessa questão. Vale muito mais a pena ter uma visão que seja cinco por cento tão boa quanto a sua ou a minha do que não ter visão nenhuma. E um por cento de visão é melhor do que a

cegueira total. E seis por cento é melhor do que cinco; sete por cento é melhor do que seis e assim por diante na série gradual e contínua.

Esse tipo de problema tem ocupado algumas pessoas interessadas em animais que se protegem de predadores usando o "mimetismo". O bicho-pau se parece com um graveto, e assim escapa de ser comido por aves. Insetos foliformes assemelham-se a folhas. Muitas espécies comestíveis de borboleta ganham proteção porque se assemelham a espécies nocivas ou venenosas. Essas semelhanças são muito mais impressionantes do que a de nuvens com doninhas. Em muitos casos, são mais impressionantes do que a de "meus" insetos com os insetos reais. Afinal, os insetos de verdade têm seis pernas, e não oito! A seleção natural real teve no mínimo 1 milhão de vezes o número de gerações que eu tive para aperfeiçoar a semelhança.

Usamos o termo "mimetismo" para esses casos não porque pensamos que os animais imitam conscientemente outras coisas, mas porque a seleção natural favoreceu os indivíduos cujo corpo é confundido com uma outra coisa. Em outras palavras: os ancestrais do bicho-pau que não se pareciam com gravetos não deixaram descendentes. O geneticista teuto-americano Richard Goldschmidt é o mais destacado dentre os que afirmaram que a evolução inicial dessas semelhanças não poderia ter sido favorecida pela seleção natural. Como Gould, que é admirador de Goldschmidt, disse a respeito dos insetos que imitam o esterco: "Poderia haver alguma vantagem em se parecer cinco por cento com um monte de excremento?". Graças principalmente à influência de Gould, recentemente virou moda dizer que Goldschmidt foi subestimado em sua época e que na verdade ele tinha muito a nos ensinar. Eis uma amostra de seu raciocínio: Ford fala [...] de qualquer mutação que venha por acaso a conferir uma "remota semelhança" com uma espécie mais protegida, da qual pode advir alguma vantagem, por menor que seja. Devemos indagar quanto essa semelhança pode ser remota para ter um valor seletivo. Poderíamos realmente supor que as aves, os macacos e também os louva-a-deus são observadores tão admiráveis (ou que alguns muito espertos dentre eles o sejam) que possam notar uma "remota semelhança e ser repelidos por ela? Acho que é pedir demais.

Esse sarcasmo não fica bem em alguém apoiado em alicerces tão precários quanto Goldschmidt neste raciocínio. Observadores admiráveis? Muito espertos dentre eles? Como se as aves e os macacos se beneficiassem de ser enganados pela remota semelhança! Goldschmidt bem poderia ter dito: "Poderíamos realmente supor que as aves, macacos etc. são tão maus observadores (ou que alguns muito estúpidos entre eles o sejam)?". Não obstante, existe aqui um verdadeiro dilema. A semelhança inicial do

bicho-pau ancestral com um graveto certamente foi muito remota. Um pássaro precisaria enxergar muito mal para ser enganado por ela. Mas a semelhança de um bicho-pau moderno com o graveto é espantosamente grande, até nos mínimos detalhes dos brotos e marcas de folhas. As aves que deram o toque final na evolução desses insetos com sua predação seletiva decerto possuíam, ao menos coletivamente, uma visão muito boa. Sem dúvida era difícil enganá-las, pois do contrário os insetos não teriam evoluído até se tornarem imitadores perfeitos como hoje são; seu mimetismo teria permanecido relativamente imperfeito. Como podemos desfazer essa aparente contradição?

Um tipo de resposta seria que a visão das aves tem se aperfeiçoado ao longo do mesmo intervalo de tempo evolutivo que a camuflagem dos insetos. Talvez - agora deixando a seriedade um pouco de lado - um inseto ancestral que se parecia apenas cinco por cento com um monte de excremento tenha tapeado uma ave ancestral com apenas cinco por cento de visão. Mas esse não é o tipo de resposta que desejo dar. Desconfio, de fato, que todo o processo da evolução, da remota semelhança ao mimetismo quase perfeito, ocorreu muito rapidamente várias vezes, em diferentes grupos de insetos, durante todo o longo período em que a visão das aves tem sido praticamente tão boa quanto é hoje.

Outro tipo de resposta que tem sido apresentada para o dilema é que talvez cada espécie de ave ou macaco tenha visão ruim e se atenha apenas a um aspecto limitado de um inseto. Pode ser que uma espécie de predador só note a cor, outra, apenas a forma, outra a textura etc. Neste caso, um inseto parecido com um graveto só enganará um tipo de predador em um aspecto limitado, embora seja comido por todos os outros tipos de predador. No decorrer da evolução, adicionam-se cada vez mais características de semelhança ao repertório dos insetos. A perfeição multifacetada final do mimetismo foi armada pela seleção natural efetuada pela soma das muitas espécies diferentes de predadores. Nenhum predador vê toda a perfeição do mimetismo; só nós a vemos.

Isto parece implicar que só nós somos "espertos" o bastante para ver o mimetismo em toda a sua glória. Prefiro outra explicação, e não só devido à presunção humana: por mais que a visão de um predador possa ser boa em algumas condições, ela pode ser extremamente ruim em outras. Com efeito, é fácil avaliarmos, por experiência própria, todo o espectro que vai de uma visão extremamente ruim à visão excelente. Se eu olhar diretamente para um bicho-pau a vinte centímetros de meu nariz e sob a forte luz do dia, não me enganarei. Notarei as longas pernas

apertadas contra a linha do tronco. Talvez detecte a desusada simetria que um graveto real não possuiria. Mas se eu, com estes mesmos olhos e cérebro, estiver andando por uma floresta ao cair da noite, poderei muito bem deixar de distinguir quase qualquer inseto de cores baças dos galhos de plantas que existem em profusão. A imagem do inseto pode passar pelo canto de minha retina em vez de pela região central, cuja percepção é melhor. O inseto pode estar a cinqüenta metros de distância, e assim produzir apenas uma imagem minúscula em minha retina. A luz pode ser tão fraca que eu mal enxergue qualquer outra coisa.

Na verdade, não importa quanto é remota e fraca a semelhança de um inseto com um graveto, deve haver alguma intensidade de penumbra, ou algum grau de distância do olho ou de distração da atenção do predador que faça com que até mesmo um olho muito bom seja logrado pela remota semelhança. Se o leitor não considerar isso plausível para algum exemplo específico que tenha imaginado, basta enfraquecer um pouco a luz imaginária ou mover-se um pouquinho mais para longe do objeto imaginário! A idéia é que muito inseto foi salvo por uma semelhança extremamente pequena com um graveto, uma folha ou um monte de esterco, em ocasiões em que ele estava longe de um predador, ou em que o predador estava olhando para ele na penumbra ou na neblina, ou distraído por uma fêmea receptiva. E muito inseto foi salvo, talvez do mesmo predador, por uma semelhança espantosa com um graveto, em ocasiões em que um predador por acaso estava olhando para ele de uma distância relativamente pequena e sob luz intensa. O importante no que tange à intensidade da luz, distância entre inseto e predador, distância entre imagem e centro da retina e variáveis similares é que são todas variáveis contínuas. Elas variam em graus imperceptíveis que vão da extrema invisibilidade à extrema visibilidade. Essas variáveis contínuas favorecem a evolução contínua e gradual.

Acontece que o problema de Richard Goldschmidt - entre vários outros problemas que o fizeram apelar, em boa parte de sua vida profissional, para a crença extrema de que a evolução dá grandes saltos em vez de pequenos passos - não é problema nenhum. Aliás, também demonstramos a nós mesmos, mais uma vez, que cinco por cento de visão é melhor do que visão nenhuma. A qualidade de minha visão na orla da retina provavelmente é ainda pior do que cinco por cento da qualidade no centro de minha retina, independentemente de como desejemos medir a qualidade. Mesmo assim, ainda posso detectar a presença de um caminhão ou ônibus pelo cantinho do olho. Como vou para o trabalho de bicicleta todo dia, esse fato provavelmente já salvou minha vida. Noto a diferença nas

ocasiões em que está chovendo e uso um chapéu. A qualidade de nossa visão numa noite escura decerto é bem pior do que cinco por cento da nossa visão ao meio-dia. E, no entanto, muitos ancestrais provavelmente foram salvos porque viram alguma coisa realmente relevante, talvez um tigre-de-dente-de-sabre, ou um precipício, na calada da noite.

Todos nós sabemos, por experiência própria, por exemplo em noites escuras, que existe uma série continua imperceptivelmente gradativa que vai da cegueira total à visão perfeita, e que cada passo ao longo dessa série traz benefícios significativos. Olhando o mundo através de binóculos com o foco progressivamente mais nítido e menos nítido, podemos nos convencer bem depressa de que existe uma série gradativa de qualidade de foco, sendo cada passo na série uma melhora em relação ao anterior. Ajustando progressivamente os controles de cor num televisor, podemos nos convencer de que existe uma série gradativa de melhora progressiva, do preto-e-branco à visão plenamente colorida. A íris, um diafragma que abre e fecha a pupila, nos impede de ficar ofuscados sob uma luz intensa e nos permite enxergar sob luz fraca. Todos nós já sentimos como seria não possuir esse diafragma da íris quando momentaneamente somos ofuscados pelos faróis de um carro que se aproxima no sentido oposto. Por mais desagradável e perigoso que possa ser esse ofuscamento, não significa que todo o olho pára de funcionar! A afirmação de que "ou o olho funciona como um todo, ou não funciona absolutamente" revela-se não meramente falsa, mas obviamente falsa para qualquer um que reflita durante dois segundos sobre sua própria experiência.

Voltemos à nossa Questão 5. Considerando cada membro da série de Xs que liga o olho humano a olho nenhum, é plausível que cada um deles funcionasse bem o bastante para ajudar na sobrevivência e reprodução dos animais envolvidos? Acabamos de ver como é tola a suposição antievolucionista de que a resposta é um óbvio não. Mas a resposta é sim? Não tão obviamente, mas acredito que seja. Não só está claro que parte de um olho é melhor do que olho nenhum, mas também podemos encontrar uma série plausível de intermediários entre os animais modernos. Isto, é evidente, não significa que esses intermediários modernos representaram realmente tipos ancestrais. Mas mostra que designs intermediários são capazes de funcionar.

Alguns animais unicelulares possuem um ponto fotossensível, e atrás dele um pequeno filtro de pigmento. O filtro protege o ponto da luz proveniente de uma direção, o que lhe dá alguma "idéia" de onde a luz provém. Entre animais pluricelulares, vários tipos de vermes e alguns

crustáceos possuem uma estrutura semelhante, mas as células fotossensíveis e o pigmento protetor dispõem-se em forma de uma pequena taça. Isso lhes dá uma capacidade ligeiramente maior para detectar direções, pois cada célula é protegida seletivamente dos raios de luz que entram na taça lateralmente. Em uma série contínua que vai de uma lâmina plana de células fotossensíveis, passa por uma taça rasa e chega a uma taça profunda, cada passo na série, por menor (ou maior) que seja, representaria um aperfeiçoamento óptico. Ora, com uma taça muito profunda e as bordas reviradas, teríamos por fim uma camera obscura sem lente. Existe uma série continuamente gradativa que vai da taça rasa à camera obscura (como ilustração, veja as sete primeiras gerações da série evolutiva na figura 4).

Uma câmara obscura forma uma imagem definida; quanto menor o orifício de entrada da luz, mais nítida (porém penumbrosa) é a imagem, e quanto maior o orifício, mais brilhante (porém borrada) é a imagem. O molusco nadador Nautilus, uma criatura estranhíssima parecida com a lula, que vive numa concha como os extintos amonites (ver o "molusco cefalópode" da figura 5), possui duas camera obscura que lhe servem de olhos. Seu olho apresenta basicamente a mesma forma que o nosso, mas não tem "lente", isto é, cristalino, e a pupila é apenas um orifício que admite a água do mar no interior oco do olho. Na verdade, todo o Nautilus é um enigma. Por que, em todas as centenas de milhões de anos desde que se desenvolveu um olho de câmara obscura em seus ancestrais, o animal nunca descobriu o princípio do cristalino? A vantagem do cristalino é permitir que a imagem seja ao mesmo tempo nítida e brilhante. O curioso no Nautilus é que a qualidade de sua retina indica que ele realmente se beneficiaria, em alto grau e de imediato, de um cristalino. É como um sistema de alta-fidelidade com um excelente amplificador ligado a um gramofone com uma agulha gasta. O sistema implora por uma mudança simples específica. No hiperespaço genético, o Nautilus parece ser o vizinho imediato de algum aperfeiçoamento óbvio e imediato, mas não dá o pequeno passo necessário. Por quê? Michael Land, da Universidade de Sussex, nossa maior autoridade em olhos de invertebrados, está preocupado, tanto quanto eu. Será que as mutações necessárias não podem emergir devido ao modo como os embriões do Nautilus se desenvolvem? Não quero crer nisso, mas não tenho explicação melhor. Pelo menos, o Nautilus ilustra dramaticamente o argumento de que um olho sem cristalino é melhor do que olho nenhum.

Quando se tem uma taça servindo de olho, quase qualquer material vagamente convexo, transparente ou até mesmo translúcido sobre a boca da taça constituirá um aperfeiçoamento, devido às suas propriedades ligeiramente semelhantes às de uma lente (ou de um cristalino). Esse material capta luz em sua superfície e a concentra em uma área menor da retina. Uma vez existindo esse tosco protocristalino, há uma série continuamente gradativa de melhoras que o tornam mais espesso e mais transparente e diminuem sua distorção, com a tendência culminando no que todos nós reconheceríamos como um verdadeiro cristalino. Os parentes do Nautilus, as lulas e os polvos, possuem um cristalino de verdade, bem parecido com o nosso, embora certamente em seus ancestrais todo o princípio do olho-câmera tenha evoluído de modo totalmente independente do nosso. A propósito, Michael Land supõe que existem nove princípios básicos para a formação de imagem usados pelo olho, e que a maioria deles evoluiu muitas vezes independentemente. Por exemplo, o princípio do prato-refletor recurvado difere radicalmente de nosso olho-câmera (nós o usamos em radiotelescópios, e também em nossos maiores telescópios ópticos, pois é mais fácil fazer um espelho grande do que uma lente grande), e ele foi "inventado" por vários moluscos e crustáceos independentemente. Outros crustáceos possuem um olho composto como os insetos (na realidade, uma série de numerosos olhos minúsculos), enquanto outros moluscos, como vimos, possuem um olho-câmera dotado de cristalino/lente como o nosso, ou então um olho-camera obscura. Para cada um desses tipos de olho existem estágios correspondentes a intermediários evolutivos entre outros animais modernos.

A propaganda antievolução é pródiga em exemplos de sistemas complexos que pretensamente "não poderiam de jeito nenhum" ter passado por uma série gradativa de intermediários. Com freqüência, são apenas mais casos do patético "Argumento da Incredulidade Pessoal" que vimos no capítulo 2. Em seguida à seção sobre o olho, por exemplo, o Neck of the Giraffe prossegue discutindo o besouro-bombardeiro, que esguicha uma mistura letal de hidroquinona e peróxido de hidrogênio na face do inimigo. Essas duas substâncias explodem quando misturadas. Por isso, para armazená-las no interior do corpo, evoluiu no besouro-bombardeiro um inibidor químico para torná-las inofensivas. No momento em que o besouro esguicha o líquido pela cauda, é adicionado um antiinibidor para tornar a mistura novamente explosiva. A cadeia de eventos que poderia ter conduzido a um processo assim complexo, coordenado e refinado está além da explicação biológica baseada no conceito passo a passo. A menor

alteração do equilíbrio químico resultaria imediatamente em uma raça de besouros explodidos.

Um colega bioquímico fez a gentileza de me fornecer um frasco de peróxido de hidrogênio e uma quantidade de hidroquinona suficiente para cinquenta besouros-bombardeiros. E neste momento estou prestes a misturar as duas substâncias. Pelo que se afirma no trecho acima, a mistura explodirá em meu rosto. Lá vai...

Bem, ainda estou aqui. Derramei o peróxido de hidrogênio sobre a hidroquinona e não aconteceu absolutamente nada. A mistura nem sequer esquentou. É claro que eu sabia que nada aconteceria; não sou tão imprudente! A afirmação de que "essas duas substâncias explodem quando misturadas" é, pura e simplesmente, falsa, embora a repitam com regularidade na literatura criacionista. A propósito, para quem ficou curioso a respeito do besouro-bombardeiro, o que realmente acontece é o seguinte: é verdade que ele esguicha uma mistura escaldante de peróxido de hidrogênio e hidroquinona em seus inimigos. Mas essas duas substâncias não reagem violentamente a menos que seja acrescentado um catalisador. É isso que o besouro-bombardeiro faz. Quanto aos precursores evolutivos do sistema, tanto o peróxido de hidrogênio como vários tipos de hidroquinona são usados para outros fins na química do corpo. Os ancestrais do besouro-bombardeiro simplesmente deram um uso diferente a substâncias que por acaso eles já tinham à disposição. Com freqüência é assim que a evolução funciona.

Na mesma página do livro em que lemos a passagem sobre o besouro-bombardeiro encontramos a questão: "De que serviria [...] meio pulmão? A seleção natural decerto eliminaria criaturas com tais esquisitices, em vez de preservá-las". Em um humano adulto sadio, cada um dos dois pulmões divide-se em cerca de 300 milhões de câmaras minúsculas, nas extremidades de um sistema de tubos ramificados. A arquitetura desses tubos lembra o biomorfo-árvore na base da figura 2 do capítulo anterior. Naquela árvore, o número de ramificações sucessivas, determinadas pelo "Gene 9", é oito, e o número de extremidades de ramos é dois elevado a oito, ou 256. Página abaixo, na figura 2, o número de extremidades de ramos duplica sucessivamente. Para fornecer 300 milhões de extremidades de ramos, seria preciso apenas 29 duplicações sucessivas. Note que existe uma gradação contínua de uma única câmara para 300 milhões de câmaras minúsculas, sendo cada passo nessa gradação proporcionado por outra ramificação bidirecional. Essa transição pode ser efetuada em 29

ramificações, e podemos ingenuamente imaginá-la como uma solene caminhada de 29 passos pelo espaço genético.

Nos pulmões, o resultado de todas essas ramificações é que a área da superfície interna de cada pulmão é no mínimo maior do que sessenta metros quadrados. A área é uma variável importante para um pulmão, pois é ela quem determina a taxa em que o oxigênio pode ser admitido e o dióxido de carbono, expelido. Ora, a área é uma variável contínua. Área não é uma daquelas coisas que ou se tem ou não se tem. É algo de que se pode ter um pouquinho mais, ou um pouquinho menos. Mais do que muitas outras coisas, a área do pulmão permite uma mudança gradual, passo a passo, variando de zero até mais de sessenta metros quadrados.

Numerosas pessoas submetidas a cirurgia andam por aí com apenas um pulmão; em algumas delas, a área pulmonar normal está reduzida a um terço. Elas podem estar andando, mas não por longas distâncias, nem muito rápido. Aí é que está o xis da questão. O efeito de uma redução gradual da área pulmonar não é um efeito absoluto, do tipo tudo ou nada, sobre a sobrevivência. É um efeito gradual, continuamente variável, sobre a velocidade e a distância percorrida ao se andar. De fato, é um efeito gradual e continuamente variável sobre a expectativa de vida. A morte não se abate de repente abaixo de uma determinada área pulmonar-limite! Torna-se gradualmente mais provável à medida que a área pulmonar diminui abaixo de um ótimo (assim como à medida que aumenta acima desse mesmo ótimo, por diferentes razões associadas a excreção econômica).

Os nossos primeiros ancestrais que desenvolveram pulmões com certeza viveram na água. Podemos ter uma idéia de como eles poderiam ter respirado observando um peixe moderno. A maioria dos peixes atuais respira na água pelas guelras, mas muitas espécies que vivem em águas sujas e pantanosas suplementam essa respiração sorvendo ar da superfície. Usam a cavidade interna da boca como um tipo tosco de protopulmão, e essa cavidade às vezes se amplia formando uma bolsa respiratória rica em vasos sanguíneos. Como vimos, não há problema em imaginar uma série contínua de Xs ligando uma simples bolsa a um conjunto ramificado de 300 milhões de bolsas como o existente em um pulmão humano moderno.

Curiosamente, muitos peixes modernos mantiveram uma única bolsa, usando-a com um propósito bem diferente. Embora ela provavelmente tenha começado como um pulmão, ao longo da evolução tornou-se uma bexiga natatória, um engenhoso dispositivo para que o peixe se mantenha como um hidrôstato em permanente equilíbrio. Um animal desprovido de bexiga de ar em seu interior normalmente é mais pesado que a água, e por isso afunda.

Essa é a razão de os tubarões precisarem nadar continuamente para não afundar. Um animal munido de grandes bolsas de ar em seu interior, como nós com nossos grandes pulmões, tende a subir à superfície. Em algum ponto intermediário desse contínuo, um animal com uma bexiga de ar do tamanho exatamente adequado não afunda nem sobe; flutua uniformemente em um equilíbrio sem esforço. Esse é o truque que os peixes modernos, com exceção dos tubarões, aperfeiçoaram. Ao contrário dos tubarões, eles não gastam energia esforçando-se para não afundar. Suas nadadeiras e cauda ficam livres para as tarefas de direcionamento e rápida propulsão. Eles não precisam mais do ar da superfície para encher a bexiga, pois possuem glândulas especiais para fabricar gás. Usando essas glândulas e outros recursos, regulam com precisão o volume de gás no interior da bexiga, mantendo-se assim em um equilíbrio hidrostático preciso.

Várias espécies de peixes modernos são capazes de sair da água. Um exemplo extremo é o ananás, da família dos anabantídeos, um peixe que raramente entra na água. Desenvolveu-se nele, independentemente, um tipo de pulmão muito diferente do de nossos ancestrais - uma câmara de ar em torno das guelras. Outros peixes vivem sobretudo na água, mas fazem breves incursões à superfície. Isso foi provavelmente o que fizeram nossos ancestrais. O interessante nas incursões é que sua duração pode variar continuamente, até chegar ao zero. Um peixe que vive e respira na água a maior parte do tempo, mas ocasionalmente se aventura em terra, talvez para passar de uma poça de lama a outra e assim sobreviver a uma seca, poderia beneficiar-se não só de meio pulmão, mas de um centésimo de pulmão. Não importa quanto nosso pulmão primordial é pequeno, deve haver algum tempo fora da água que o animal possa suportar com esse pulmão, tempo esse que é um pouquinho maior do que aquele que o animal poderia suportar sem o pulmão. O tempo é uma variável contínua. Não existe uma divisão brusca entre animais que respiram na água e animais que respiram no ar. Diferentes animais podem passar 99 por cento de seu tempo na água, ou 98 por cento, 97 por cento e assim por diante até zero por cento. A cada passo desse caminho, algum aumento fracionário na área pulmonar seria uma vantagem. Existe um gradualismo contínuo ao longo de todo o caminho.

De que serve meia asa? Como as asas começaram? Muitos animais pulam de galho em galho, e às vezes caem no chão. Especialmente em um animal de pequeno porte, toda a superfície corporal capta o ar e auxilia o salto, ou amortece a queda, atuando como um tosco aerofólio. Qualquer tendência a aumentar a área da superfície em relação ao peso ajudaria;

por exemplo, abas de pele crescendo a partir dos ângulos das articulações. A partir daí existe uma série contínua de gradações até as asas que planam, e delas até as asas que adejam. É óbvio que há distâncias que não poderiam ser saltadas pelos animais primitivos dotados de proto-asas. Igualmente óbvio é o fato de que, independentemente de quanto as superfícies captadoras de ar fossem pequenas ou toscas, devia haver alguma distância, por menor que fosse, que poderia ser saltada com a aba de pele e não poderia ser saltada sem a aba.

Ou seja, se as abas-asas prototípicas funcionavam para amortecer a queda do animal, não se pode dizer que "abaixo de um certo tamanho, as asas não teriam serventia nenhuma". Mais uma vez, não importa quanto as primeiras abas-asas foram pequenas e pouco parecidas com asas. Deve haver alguma altura, que chamaremos de h , tal que um animal quebraria o pescoço se caísse dela, mas sobreviveria por um triz se caísse de uma altura ligeiramente menor. Nessa zona crítica, qualquer aperfeiçoamento, por menor que fosse, na capacidade da superfície corporal para captar o ar e amortecer a queda poderia ser a diferença entre a vida e a morte. A seleção natural favoreceria, então, as pequeninas abas-asas prototípicas. Quando essas pequenas abas-asas se tornassem a norma, a altura crítica h se tornaria um pouco maior. Agora um ligeiro aumento adicional nas abas-asas seria a diferença entre a vida e a morte. E assim por diante, até que aparecessem as asas propriamente ditas.

Existem animais vivos que ilustram primorosamente cada estágio desse contínuo. Há rãs que planam com grandes membranas interdigitais, serpentes arborícolas cujo corpo achatado capta o ar, lagartos com abas ao longo do corpo e vários tipos diferentes de mamíferos que planam com membranas esticadas entre seus membros, mostrando-nos como os morcegos devem ter começado a voar. Ao contrário do que garante a literatura criacionista, não só animais com "meias asas" são comuns, mas também são comuns animais com um quarto de asa, três quartos de asa e assim por diante. A idéia de um contínuo de possibilidade de vôo torna-se ainda mais persuasiva quando recordamos que animais muito pequenos tendem a flutuar suavemente no ar, seja qual for sua forma. A persuasão está no fato de existir um contínuo de gradação infinitesimal do pequeno ao grande.

A idéia de minúsculas mudanças acumuladas ao longo de muitos passos é imensamente poderosa, capaz de explicar uma série enorme de coisas que do contrário seriam inexplicáveis. Como foi que o veneno das cobras começou? Muitos animais mordem, e qualquer saliva animal contém

proteínas que, se penetrarem em uma ferida, podem causar uma reação alérgica. Mesmo a mordida das chamadas serpentes não venenosas pode causar uma reação dolorosa em algumas pessoas. Existe uma série contínua e gradativa que vai da saliva comum ao veneno letal.

Como os ouvidos começaram? Qualquer pedaço de pele pode detectar vibrações se entrar em contato com objetos vibrantes. É um desenvolvimento natural do sentido do tato. A seleção natural facilmente poderia ter aperfeiçoado essa faculdade de modo gradual, até que ela se tornasse sensível o bastante para captar vibrações de contato muito tênues. Nesse ponto, ela teria sido automaticamente sensível o bastante para captar vibrações trazidas pelo ar suficientemente altas ou próximas da origem. A seleção natural então favoreceria a evolução de órgãos especiais - ouvidos - para captar vibrações trazidas pelo ar originadas a distâncias cada vez maiores. É fácil perceber que teria havido uma trajetória contínua de melhorias passo a passo durante todo o caminho. Como a ecolocalização começou? Qualquer animal dotado de algum grau de audição pode ouvir ecos. Humanos cegos com frequência aprendem a fazer uso desses ecos. Uma versão rudimentar dessa habilidade em mamíferos ancestrais teria fornecido vasta matéria-prima para a seleção natural usar como base, conduzindo gradativamente a suprema perfeição dos morcegos.

Cinco por cento de visão é melhor do que nenhuma visão. Cinco por cento de audição é melhor que audição nenhuma. Cinco por cento de eficiência de vôo é melhor do que ineficiência total. É absolutamente possível acreditar que cada órgão ou aparelho biológico que vemos resultou de uma trajetória regular pelo espaço animal, na qual cada estágio intermediário ajudou na sobrevivência e reprodução. Segundo a teoria da evolução pela seleção natural, sempre que temos um X em um animal vivo real, sendo X algum órgão demasiado complexo para ter surgido por acaso em um único passo, podemos afirmar que uma fração de X é melhor do que nenhum X, e duas frações de X certamente são melhores do que uma, e um X inteiro tem de ser melhor do que nove décimos de X. Aceito sem problema algum que essas afirmações valem para olhos, ouvidos, incluindo os dos morcegos, asas, insetos que usam camuflagem e mimetismo, mandíbulas de cobras, ferrões, hábitos de cuco e todos os demais exemplos alardeados na propaganda antievolução. Sem dúvida existem muitos Xs concebíveis para os quais essas afirmações não seriam verdadeiras, muitas trajetórias evolutivas concebíveis para as quais os intermediários não constituiriam aperfeiçoamentos em relação aos predecessores. Só que esses

não são encontrados no mundo real. Darwin escreveu (em A origem das espécies):

Se fosse possível demonstrar que existiu algum órgão complexo que não poderia absolutamente ter sido formado por numerosas e sucessivas modificações pequenas, minha teoria cairia por terra.

Cento e vinte e cinco anos depois, sabemos muito mais a respeito dos animais e plantas do que Darwin sabia, e ainda assim não conheço um único caso de um órgão complexo que não pudesse ter sido formado senão por numerosas e sucessivas modificações pequenas. Não creio que um caso assim venha algum dia a ser descoberto. Se vier a ser - terá de ser um órgão realmente complexo e, como veremos em capítulos posteriores, é preciso ser exigente quanto ao significado de "pequena" - deixarei de acreditar no darwinismo.

Às vezes a história de estágios intermediários graduais está claramente escrita na forma de animais modernos, até mesmo sob o aspecto de imperfeições flagrantes no design final. Stephen Gould, em seu excelente ensaio sobre O polegar do panda, argumentou que a evolução pode ser mais solidamente corroborada por indícios de imperfeições marcantes do que por indícios de perfeição. Darei apenas dois exemplos.

Para os peixes que vivem no fundo do oceano é vantajoso ter um corpo achatado e compacto. Há dois tipos muito diferentes de peixes achatados que vivem no fundo do mar, e suas formas planas evoluíram de maneiras bem diversas. As arraias, parentes do tubarão, tornaram-se achatadas de um modo que poderíamos chamar de óbvio. Seu corpo cresceu para os lados formando grandes "asas". Parecem tubarões atropelados por um rolo compressor, mas permanecem simétricas e "viradas do lado certo". As várias espécies de linguado tornaram-se achatadas de um modo diferente. São peixes teleósteos (com bexigas natatórias) aparentados com os arenques, trutas etc., e sem parentesco nenhum com os tubarões. Ao contrário destes, os teleósteos em geral têm uma tendência acentuada a ser achatados na vertical. Um arenque, por exemplo, é muito mais "alto" do que "largo" Ele usa todo o seu corpo verticalmente achatado como superfície natatória, que ondula pela água quando ele se desloca. Era natural, portanto, que quando os ancestrais dos linguados fossem para o fundo do oceano, se deitassem de lado e não de barriga para baixo como os ancestrais das arraias. Mas isso ocasionava o problema de que um olho ficava sempre virado para a areia do fundo, sendo na prática inútil. Na

evolução, esse problema foi resolvido com o olho que ficava virado para baixo "migrando" para o lado virado para cima.

Vemos esse processo de deslocamento para o outro lado reencenado no desenvolvimento de todo filhote de linguado. Um filhote de linguado começa a vida nadando próximo à superfície, e seu corpo é simétrico e verticalmente achatado como o de um arenque. Mas logo o crânio começa a crescer de um modo estranho, assimétrico, de modo que um olho, por exemplo, o esquerdo, vai migrando em direção ao topo da cabeça e por fim passa para o outro lado. O jovem peixe assenta no fundo do mar com ambos os olhos virados para cima, uma estranha visão picassiana. A propósito: algumas espécies de linguado assentam do lado direito, outras do esquerdo, e outras ainda de qualquer lado.

O crânio inteiro do linguado contém o testemunho desvirtuado e deturpado de suas origens. Sua própria imperfeição é um poderoso indício de sua história antiqüíssima, uma história de mudança passo a passo e não de um design deliberado. Nenhum designer sensato teria concebido tamanha monstruosidade se tivesse carta branca para criar um linguado em uma prancheta de desenho em branco. Desconfio que muitos designers sensatos pensariam em algo mais na linha das arraiais. Mas a evolução nunca parte de uma prancheta de desenho em branco. Tem de começar do que já está disponível. No caso dos ancestrais das arraiais, foram os tubarões de nado livre. Os tubarões em geral não são achatados lateralmente, como os peixes teleósteos de nado livre. Na verdade, os tubarões já são ligeiramente achatados da barriga à cauda. Isto significa que, quando alguns tubarões primitivos foram para o fundo do mar, ocorreu uma progressão suave e fácil para a forma da arraia, com cada intermediário constituindo um pequeno aperfeiçoamento, considerando as condições do fundo do mar, em relação a seu predecessor menos achatado.

Por outro lado, quando o ancestral de nado livre dos linguados - que eram, como o arenque, achatados verticalmente dos lados - foi para o fundo do mar, encontrou maior comodidade deitando-se de lado em vez de balançar precariamente apoiado na barriga afilada! Embora o curso de sua evolução estivesse fadado a conduzir por fim às complicadas e provavelmente custosas distorções decorrentes de se ter dois olhos de um mesmo lado, embora talvez a configuração achatada lateralmente das arraiais fosse em última análise o melhor design também para os teleósteos, os intermediários que não vingaram ao longo dessa trajetória evolutiva pelo visto não se saíram tão bem no curto prazo quanto seus rivais que se deitavam de lado. Estes últimos, no curto prazo,

encontraram muito mais facilidade para manter-se no fundo do mar. No hiperespaço genético, existe uma trajetória ininterrupta ligando o teleósteo de nado livre ancestral ao linguado de crânio disforme que nada de lado. Não existe uma trajetória ininterrupta ligando esses ancestrais teleósteos a linguados que nadam de barriga para baixo. Essas suposições podem não ser toda a verdade, pois existem alguns teleósteos nos quais a forma achatada evoluiu de maneira simétrica, como nas arraias. Talvez seus ancestrais de nado livre já fossem ligeiramente achatados por alguma outra razão.

Meu segundo exemplo de progressão evolutiva que não ocorreu devido a intermediários desvantajosos, embora em última análise talvez tivesse sido melhor se ela houvesse ocorrido, diz respeito à retina de nossos olhos (e de todos os demais vertebrados). O nervo óptico, como qualquer outro nervo, é um tronco, um feixe de fios "isolados" separados, cerca de 3 milhões deles. Cada um desses 3 milhões de fios conduz de uma célula da retina ao cérebro. Podemos imaginá-los como os fios que ligam um banco de 3 milhões de fotocélulas (na verdade, 3 milhões de estações de retransmissão que reúnem informações provenientes de um número ainda maior de fotocélulas) ao computador encarregado de processar as informações no cérebro. Esses fios que chegam de todas as partes da retina reúnem-se em um único feixe, formando o nervo óptico desse olho.

Qualquer engenheiro naturalmente suporia que as fotocélulas estariam viradas para a luz, com seus fios dirigindo-se para trás, em direção ao cérebro. Ridicularizaria qualquer sugestão de que as fotocélulas talvez não se virassem para a luz, e que seus fios partissem do lado mais próximo da luz. E, no entanto, isso é exatamente o que acontece nas retinas de todos os vertebrados. Na realidade, em cada fotocélula os fios dirigem-se para trás e partem do lado mais próximo da luz. O fio precisa passar pela superfície da retina até um ponto onde mergulha por um orifício na retina (o chamado "ponto cego") e se junta ao nervo óptico. Isto significa que a luz, em vez de ter acesso irrestrito às fotocélulas, precisa atravessar uma floresta de fios conectores, presumivelmente sofrendo pelo menos alguma atenuação ou distorção (na verdade, provavelmente não muita, mas ainda assim é o princípio da coisa que melindraria qualquer engenheiro adepto da organização!).

Desconheço a explicação exata para esse estranho estado de coisas. O período relevante da evolução ocorreu há muito tempo. Mas posso apostar que houve alguma relação com a trajetória, o caminho através do equivalente na vida real da Terra dos Biomorfos, que teria de ser

percorrida para virar a retina para o lado certo, começando do que quer que fosse o órgão ancestral que precedeu o olho. Provavelmente existe uma trajetória assim, mas essa trajetória hipotética, quando se concretizou em corpos reais de animais intermediários, revelou-se desvantajosa - apenas temporariamente desvantajosa, mas é o que basta. Os intermediários enxergavam ainda pior do que seus ancestrais imperfeitos, e não era consolo estarem formando uma visão melhor para seus descendentes remotos! O que interessa é a sobrevivência aqui e agora.

A "Lei de Dollo" afirma que a evolução é irreversível. Essa idéia freqüentemente é confundida com uma profusão de absurdos idealistas sobre a inevitabilidade do progresso, muitas vezes combinada a absurdos ignorantes sobre a "violação da Segunda Lei da Termodinâmica" pela evolução (as pessoas pertencentes à metade da população instruída que, segundo o romancista C. P. Snow, sabem o que é a Segunda Lei perceberão que ela não é violada pela evolução mais do que pelo crescimento de um bebê.) Não há razões por que as tendências gerais da evolução não possam ser revertidas. Se existe uma tendência para chifres grandes durante algum tempo na evolução, facilmente pode ocorrer uma tendência subsequente para chifres menores. A Lei de Dollo, na realidade, é apenas uma afirmação sobre a improbabilidade estatística de se seguir exatamente a mesma trajetória evolutiva (ou, na verdade, qualquer trajetória específica) duas vezes, em qualquer direção. Um único passo mutacional pode ser revertido sem dificuldade. Mas, para numerosos passos mutacionais, mesmo no caso dos biomorfos com seus nove pequeninos genes, o espaço matemático de todas as trajetórias possíveis é tão vasto que a chance de duas trajetórias em algum momento chegarem ao mesmo ponto torna-se infimamente pequena. Isto se aplica ainda mais aos animais reais com seus números de genes imensamente maiores. Não há nada de misterioso ou místico na Lei de Dollo; tampouco ela é algo que possamos "testar" na natureza. Ela é uma simples decorrência das leis elementares da probabilidade.

Pela mesmíssima razão, é imensamente improvável que a mesma trajetória evolutiva venha a ser percorrida duas vezes. E pareceria também improvável, pelas mesmas razões estatísticas, que duas linhas evolutivas viessem a convergir exatamente para o mesmo ponto final a partir de diferentes pontos de partida.

Portanto, um testemunho ainda mais notável do poder da seleção natural é o fato de poderem ser encontrados na vida real numerosos exemplos nos quais linhas evolutivas independentes parecem ter

convergido, saindo de pontos de partida muito diferentes, para o que parece acentuadamente ser o mesmo ponto final. Quando examinamos com atenção, descobrimos que a convergência não é total - seria muito preocupante se não constatássemos isso. As linhas de evolução diferentes traem suas origens independentes em numerosos detalhes. Por exemplo, os olhos do polvo são bem parecidos com os nossos, mas os fios que saem de suas fotocélulas não apontam para a frente, na direção da luz, como os nossos. Neste aspecto, os olhos do polvo têm um design mais "sensato". Eles chegaram a um ponto final semelhante partindo de um ponto inicial muito diferente. E esse fato revela-se em pormenores como esse.

Essas semelhanças superficialmente convergentes com freqüência são espantosas. Dedicarei o resto deste capítulo a algumas delas. São demonstrações impressionantes do poder da seleção natural para montar bons designs. Mas o fato de que os designs superficialmente semelhantes também diferem atesta suas origens e histórias evolutivas independentes, O fundamento racional é que, se um design é bom para evoluir uma vez, o mesmo princípio desse design é bom para evoluir duas vezes, a partir de diferentes pontos de partida, em diferentes partes do reino animal. A melhor ilustração dessa idéia é o caso que usamos como ilustração básica de bom design - a ecolocalização.

O que sabemos sobre ecolocalização deve-se em grande parte aos morcegos (e instrumentos humanos), mas ela também ocorre em alguns outros grupos de animais não aparentados com os morcegos. Pelo menos dois grupos distintos de aves a usam; nos golfinhos e baleias ela alcançou um nível altíssimo de refinamento. Além disso, é quase certo que tenha sido "descoberta" independentemente por no mínimo dois grupos distintos de morcegos. As aves que a usam são os guácharos da América do Sul e as salanganas do Extremo Oriente, cujos ninhos são usados para fazer sopa. Esses dois tipos de aves fazem seus ninhos no fundo de cavernas onde a luz praticamente não penetra, e ambos se orientam no escuro usando ecos produzidos por estalidos vocais. Em ambos os casos, esses sons são audíveis para os humanos, e não ultra-sônicos como os estalidos mais especializados dos morcegos. De fato, nenhuma dessas espécies de aves parece ter desenvolvido a ecolocalização a um grau de refinamento tão elevado quanto o dos morcegos. Seus estalidos não são em FM, e também não parecem apropriados para a medição de velocidade baseada no desvio Doppler. Provavelmente, como o morcego frugívoro *Rousettus*, eles apenas cronometram o intervalo de silêncio entre cada estalido e seu eco.

Neste caso, podemos ter certeza absoluta de que as duas espécies de aves inventaram a ecolocalização independentemente dos morcegos e também uma da outra. A linha de raciocínio é de um tipo usado com frequência pelos evolucionistas. Observamos todos os milhares de espécies de aves e constatamos que a vasta maioria delas não usa a ecolocalização. Só dois gêneros isolados o fazem, e nada têm em comum um com o outro, exceto o fato de ambos viverem em cavernas. Embora acreditemos que todas as aves e morcegos devem ter tido um ancestral comum, se reconstituirmos suas linhagens até um passado suficientemente remoto, esse ancestral comum também foi o de todos Os mamíferos (inclusive nós mesmos) e de todas as aves. A grande maioria dos mamíferos e a grande maioria das aves não usam a ecolocalização, e é muito provável que seu ancestral comum também não a tenha usado (tampouco ele voava - essa é outra tecnologia que evoluiu independentemente várias vezes). Portanto, a tecnologia da ecolocalização foi desenvolvida de modo independente por morcegos e aves, assim como pelos cientistas britânicos, americanos e alemães. O mesmo tipo de raciocínio, em menor escala, leva à conclusão de que o ancestral comum do guácharo e da salangana também não usou a ecolocalização e que esses dois gêneros desenvolveram a mesma tecnologia independentemente um do outro.

Também entre os mamíferos, os morcegos não são o único grupo que desenvolveu a tecnologia da ecolocalização de modo independente. Vários tipos diferentes de mamíferos, por exemplo, os musaranhos, os ratos e as focas, parecem usar o eco em pequena escala, como os humanos cegos, mas os cetáceos são os únicos animais que rivalizam com os morcegos em sofisticação. Os cetáceos dividem-se em dois grupos principais, os que possuem dentes e os que possuem barbatanas. Ambos os grupos, obviamente, são mamíferos descendentes de ancestrais terrestres; podem até ter "inventado" seu modo de vida independentemente um do outro, partindo de diferentes ancestrais terrestres. Entre os dentados estão os cachalotes, as orcas e as várias espécies de golfinhos, todos eles caçadores de presas relativamente grandes, como peixes e lulas, que capturam com as mandíbulas. Vários cetáceos com dentes, dos quais apenas os golfinhos foram estudados minuciosamente, desenvolveram um sofisticado equipamento de ecolocalização na cabeça.

Os golfinhos emitem rápidas sucessões de estalidos altíssimos, alguns audíveis para nós, outros, ultra-sônicos. É provável que o "melão" - a protuberância frontal na cabeça do golfinho, parecida (feliz coincidência!) com o estranhamente protuberante radar de um avião de

observação de "alerta avançado" Nimrod - tenha alguma ligação com a transmissão de sinais de sonar, mas seu funcionamento exato não é compreendido. Como no caso dos morcegos, existe uma "velocidade de cruzeiro" relativamente baixa para os estalidos, que se eleva até um zumbido de alta velocidade (quatrocentos estalidos por segundo) quando o animal se acerca da presa. Mesmo a "lenta" velocidade de cruzeiro é bem alta. Os golfinhos fluviais que vivem em águas turvas provavelmente são os mais exímios ecolocalizadores, mas alguns golfinhos de alto-mar revelaram-se também muito bons nos testes. Um roaz do Atlântico [*Tursiops truncatus*] pode discernir círculos, quadrados e triângulos (todos com uma mesma área padronizada) usando apenas seu sonar. É capaz de distinguir qual de dois alvos está mais próximo quando a diferença é de apenas pouco mais de três centímetros, a uma distância total de aproximadamente 6,5 metros. É capaz de detectar uma esfera de aço com metade do tamanho de uma bola de golfe a uma distância de 64 metros. Esse desempenho não é tão bom quanto a visão humana sob luz apropriada, mas provavelmente melhor que a visão humana à luz da lua.

Já se fez a fascinante suposição de que os golfinhos contam com um meio potencialmente fácil para comunicar "imagens mentais" uns aos outros. Tudo o que precisariam fazer seria usar suas vozes altamente versáteis para imitar o padrão sonoro que seria produzido pelos ecos de um objeto específico. Dessa maneira, eles poderiam transmitir uns aos outros as imagens mentais desses objetos. Não há dados que comprovem essa sugestão interessantíssima. Em teoria, os morcegos poderiam fazer o mesmo, mas os golfinhos parecem ser candidatos mais prováveis porque em geral são mais sociais. É provável que também sejam "mais espertos", mas esta consideração não é necessariamente relevante. Os instrumentos que seriam necessários para comunicar eco-imagens não são mais complexos do que aqueles que os morcegos e golfinhos já possuem para usar a ecolocalização. E parece existir um contínuo gradual e uniforme entre usar a voz para produzir ecos e usá-la para imitar ecos.

Assim, pelo menos dois grupos de morcegos, dois grupos de aves, baleias dentadas e provavelmente, em menor grau, vários outros tipos de mamíferos convergiram independentemente para a tecnologia do sonar em algum momento durante as últimas centenas de milhões de anos. Não temos como saber se outros animais hoje extintos - os pterodáctilos, talvez? - também teriam evoluído independentemente dessa tecnologia.

Até agora não foram descobertos insetos ou peixes que usem sonar, mas dois grupos muito distintos de peixes, um da América do Sul e

outro da África, desenvolveram um sistema de navegação mais ou menos semelhante, que parece apresentar um grau equivalente de complexidade e que pode ser considerado uma solução afim, mas não igual, para o mesmo problema. São os chamados peixes-elétricos fracos. O termo "fracos" serve para distingui-los dos peixes-elétricos fortes, que usam campos elétricos não para navegar, mas para atordoar suas presas. A propósito: a técnica do atordoamento também foi inventada independentemente por vários grupos de peixes não aparentados, por exemplo, as "enguias"-elétricas (que não são enguias verdadeiras mas têm a forma parecida) e as arraias-elétricas.

O peixe-elétrico fraco da América do Sul e o da África não são aparentados, mas ambos vivem no mesmo tipo de água em seus respectivos continentes: águas turvas demais para permitir uma visão eficaz. O princípio físico que eles exploram - campos elétricos na água é ainda mais estranho à nossa percepção do que o usado pelos morcegos e golfinhos. Pelo menos temos uma idéia subjetiva do que é um eco, mas praticamente nenhuma idéia sobre como seria perceber um campo elétrico. Nem ao menos sabíamos da existência da eletricidade até poucos séculos atrás. Como seres humanos subjetivos não podemos ter empatia com os peixes-elétricos; mas, como físicos, podemos entendê-los.

É fácil ver, à mesa do jantar, que os músculos que percorrem as laterais de qualquer peixe dispõem-se como uma fileira de segmentos, uma bateria de unidades musculares. Na maioria dos peixes, esses músculos se contraem sucessivamente para produzir ondulações sinuosas no corpo, impelindo o peixe na água. Nos peixes-elétricos, fortes e fracos, esses músculos tornaram-se uma bateria elétrica. Cada segmento ("célula") da bateria gera uma voltagem. Essas voltagens conectam-se em séries longitudinalmente no corpo do peixe; assim, em um peixe elétrico forte como uma enguia-elétrica, toda a bateria gera até um ampère a 650 volts. Uma enguia-elétrica é capaz de nocautear um homem. Os peixes-elétricos fracos não precisam de altas voltagens ou correntes para seus propósitos, que são os de meramente obter informações.

O princípio da eletrolocalização, como tem sido chamado, é razoavelmente bem compreendido pela física, embora, obviamente, não no aspecto de como é ser um peixe-elétrico. O relato a seguir aplica-se da mesma maneira aos peixes-elétricos fracos africanos e sul-americanos, pois a convergência é total. A corrente parte da metade frontal do peixe, entra na água em linhas que fazem uma curva e retornam até a extremidade posterior do animal. Não são realmente "linhas" separadas, mas um "campo" contínuo, um casulo invisível de eletricidade em torno do corpo do peixe.

Mas, para que possamos visualizá-las, é mais fácil imaginar uma família de linhas curvas que partem do peixe através de uma série de vigias espaçadas ao longo da metade dianteira do corpo, todas descrevendo uma curva na água e reentrando no peixe na extremidade de sua cauda. O peixe possui o equivalente de um minúsculo voltímetro que monitora a voltagem em cada "vigia". Quando o peixe está suspenso na água sem obstáculos por perto, as linhas são curvas regulares. Todos os minúsculos voltímetros em cada vigia registram "voltagem normal" em suas respectivas vigias. Mas se algum obstáculo aparece nas proximidades, por exemplo, uma rocha ou um alimento, as linhas da corrente que atingirem o obstáculo alteram-se. Isso mudará a voltagem em qualquer vigia cuja linha de corrente for afetada, e o voltímetro apropriado registrará o fato. Assim, em teoria, um computador que comparasse o padrão das voltagens registradas pelos voltímetros em todas as vigias poderia calcular o padrão dos obstáculos próximos ao peixe. Ao que parece, é isso que o cérebro do peixe faz. Friso mais uma vez que isto não tem de significar que os peixes são hábeis matemáticos. Eles possuem um mecanismo que resolve as equações necessárias, como nosso cérebro inconscientemente resolve equações toda vez que apanhamos uma bola.

É importantíssimo que o corpo do peixe seja mantido totalmente rígido. O computador na cabeça não conseguiria lidar com as distorções adicionais que seriam introduzidas se o corpo do peixe se curvasse e coleasse como um peixe comum. Os peixes-elétricos descobriram esse engenhoso método de navegação, pelo menos duas vezes independentemente, mas tiveram de pagar um preço: prescindir do método de nadar normal e altamente eficiente dos peixes, movendo todo o corpo em ondas coleantes. Resolveram o problema mantendo o corpo rígido como uma vareta, mas possuem uma única barbatana longa que percorre todo o corpo longitudinalmente. Em vez de o corpo inteiro mover-se em ondas, só a longa barbatana o faz. O deslocamento do peixe na água é muito lento, mas ele não deixa de se mover; ao que parece, o sacrifício da rapidez de movimentação vale a pena: os ganhos na navegação parecem suplantar as perdas de velocidade do nado. É fascinante que o peixe-elétrico sul-americano tenha encontrado quase exatamente a mesma solução que o africano, com uma pequena diferença. Essa diferença é reveladora. Ambos os grupos desenvolveram uma única barbatana longa que percorre todo o corpo no sentido longitudinal, mas no peixe africano ela está situada nas costas enquanto no sul-americano fica na barriga. Como vimos, esse tipo de diferença em um pormenor é bastante característico da evolução

convergente. E também, obviamente, dos designs convergentes criados pelos engenheiros humanos.

Embora a maioria dos peixes-elétricos fracos nos dois grupos, os africanos e os sul-americanos, produzam descargas elétricas em pulsos descontínuos, sendo chamadas espécies de "pulso", uma minoria de espécies em ambos os grupos o faz de forma diferente, recebendo a designação de espécies de "onda". Não prosseguirei na discussão das diferenças. O que interessa, neste capítulo, é que a separação entre pulso e onda evoluiu duas vezes, independentemente, nos grupos não aparentados do Novo Mundo e do Velho Mundo.

Um dos exemplos mais bizarros de evolução convergente que conheço são as chamadas cigarras periódicas. Antes de falar sobre a convergência, preciso fornecer algumas informações básicas. Muitos insetos apresentam uma separação rígida entre um estágio juvenil de alimentação, no qual passam a maior parte da vida, e um estágio adulto de reprodução, relativamente breve. As efeméridas, por exemplo, passam a maior parte da vida em forma de larvas que se alimentam embaixo d'água; saem à superfície por um único dia, no qual espremem toda a sua vida adulta. Podemos imaginar o inseto adulto como análogo à efêmera semente alada de uma planta como o sicômoro, e a larva como análoga à planta principal, com a diferença de que os sicômoros produzem muitas sementes e as desprendem ao longo de muitos anos sucessivos, enquanto uma larva de efemérida origina apenas um inseto adulto bem no fim da vida. Seja como for, as cigarras periódicas levaram ao extremo a tendência das efeméridas. Os insetos adultos vivem por algumas semanas, mas o estágio "juvenil" (tecnicamente, "ninfas" em vez de larvas) dura 3 anos (em algumas variedades) ou 17 (em outras). Os adultos emergem quase exatamente no mesmo momento, depois de terem passado 13 (ou 17) anos enclausurados no subsolo. As pragas de cigarras, que ocorrem em uma determinada área exatamente a cada 13 (ou 17) anos, são erupções tão formidáveis que os americanos popularmente as chamam de "gafanhotos". As variedades são conhecidas, respectivamente, como cigarras de 13 anos e cigarras de 17 anos.

Agora, eis o fato realmente notável. Acontece que não existe apenas uma espécie de cigarra de 13 anos e uma de 17 anos. Existem três espécies, e cada uma das três apresenta uma variedade ou raça de 13 anos e outra de 17 anos. A divisão entre a raça de 13 anos e a de 17 anos foi alcançada independentemente nada menos do que três vezes. Parece que os períodos intermediários de 14, 15 e 16 anos foram evitados de modo

convergente nada menos do que três vezes. Por quê? Não sabemos. A única suposição que já se fez foi que o fato especial com relação ao 13 e ao 17 em comparação com o 14, o 15 e o 16 é que aqueles dois são números primos. O número primo é o que não é exatamente divisível por nenhum outro. A idéia é que uma raça de animais que regularmente irrompe em pragas ganha o benefício de "submergir" alternadamente e matar de fome seus inimigos, predadores ou parasitas. E se essas pragas são cuidadosamente sincronizadas para ocorrer em um intervalo de anos indicado por um número primo, isso dificulta muito mais para os inimigos sincronizar seus próprios ciclos de vida. Se as cigarras emergissem a cada 14 anos, por exemplo, poderiam ser exploradas por uma espécie parasita com um ciclo de vida de 7 anos. Essa é uma idéia estapafúrdia, porém não mais do que o próprio fenômeno. Na realidade, não sabemos o que há de especial em 13 e 17 anos. Para nossos propósitos aqui, o importante é que deve haver algo especial nesses números, já que três espécies diferentes de cigarras convergiram para eles independentemente.

Exemplos de convergência em grande escala ocorrem quando, em dois ou mais continentes isolados um do outro por longo tempo, um conjunto paralelo de "ocupações" é adotado por animais não aparentados em cada continente. "Ocupações", neste caso, é o modo -de se sustentar, como por exemplo cavar à procura de vermes e formigas, caçar grandes herbívoros, comer folhas de árvores. Um bom exemplo é a evolução convergente de todo um conjunto de ocupações de mamíferos nos continentes separados da América do Sul, Austrália e o Velho Mundo.

Esses continentes não foram sempre separados. Como nossa vida é medida em décadas, e até nossas civilizações e dinastias são medidas apenas em séculos, estamos acostumados a pensar que o mapa do globo e os contornos dos continentes são fixos. A teoria da deriva dos continentes foi proposta muito tempo atrás pelo geofísico alemão Alfred Wegener, mas a maioria das pessoas não o levou a sério até bem depois da Segunda Guerra Mundial. Supunha-se que o fato reconhecido de que a América do Sul e a África lembram um pouco duas peças separadas de um quebra-cabeça era apenas uma coincidência curiosa. Em uma das mais rápidas e completas revoluções já vistas na ciência, a antes controvertida teoria da "deriva continental" agora se tornou universalmente aceita sob o nome de tectônica de placas. Os indícios de que os continentes derivaram, de que a América do Sul realmente se separou da África, por exemplo, são hoje inquestionáveis; mas este não é um livro de geologia, e não me alongarei descrevendo-os. Para nós, o importante é que a escala temporal na qual os

continentes derivaram é a mesma lenta escala temporal na qual evoluíram as linhagens animais, e não podemos deixar de lado a deriva continental se quisermos entender os padrões da evolução animal nesses continentes.

Até cerca de 100 milhões de anos atrás, portanto, a América do Sul era ligada à África a leste e à Antártida ao sul. A Antártida ligava-se à Austrália, e a Índia à África via Madagáscar. Existia efetivamente um gigantesco continente meridional, que hoje chamamos Gondwana, composto das atuais América do Sul, África, Madagáscar, Índia, Antártida e Austrália, formando um só bloco. Existia ainda um único bloco imenso ao norte, denominado Laurásia, formado pelo que hoje chamamos de América do Norte, Groenlândia, Europa e Ásia (menos a Índia). A América do Norte não era ligada à América do Sul. Há cerca de 100 milhões de anos ocorreu uma gigantesca separação das massas de terra, e desde então os continentes deslocaram-se lentamente em direção às suas posições atuais (obviamente continuarão a mover-se no futuro),. A África juntou-se à Ásia via Arábia e se tornou parte do imenso Continente que hoje conhecemos como Velho Mundo. A América do Norte afastou-se da Europa, a Antártida deslocou-se para o sul até sua gélida localização atual. A Índia apartou-se da África e atravessou o que hoje denominamos oceano Índico, para finalmente trombar com o sul da Ásia e erguer as montanhas do Himalaia. A Austrália derivou para longe da Antártida, alcançou o mar aberto e se tornou um continente-ilha a muitos quilômetros de outras terras.

Acontece que a separação do grande continente meridional de Gondwana começou durante a era dos dinossauros. Quando a América do Sul e a Austrália se apartaram dando início aos seus longos períodos de isolamento do resto do mundo, cada qual levou sua carga de dinossauros e também de animais menos proeminentes que se tornariam os ancestrais dos mamíferos modernos. Quando, muito mais tarde, por motivos não compreendidos que são alvo de muita especulação proveitosa, os dinossauros (com exceção do grupo de dinossauros que hoje denominamos aves) se extinguíram, a extinção ocorreu no mundo todo. Isso deixou um vácuo nas "ocupações" à disposição dos animais terrestres. O vácuo foi preenchido no decorrer de milhões de anos de evolução, sobretudo por mamíferos. O interessante para nós aqui é ter havido três vácuos independentes que foram preenchidos independentemente por mamíferos na Austrália, América do Sul e no Velho Mundo.

Os mamíferos primitivos que calharam de estar nas três áreas quando os dinossauros mais ou menos simultaneamente deram vaga às grandes ocupações da vida eram, todos, muito pequenos e insignificantes,

provavelmente noturnos e haviam sido ofuscados e eclipsados pelos dinossauros. Poderiam ter evoluído em direções radicalmente diferentes nas três áreas. Em certa medida, foi isso que aconteceu. Nada no Velho Mundo se parece com a preguiça gigante sul-americana, infelizmente hoje extinta. O grande conjunto de mamíferos sul-americanos incluía uma cobaia gigante extinta, do tamanho de um rinoceronte moderno, roedora (tenho de dizer rinoceronte "moderno" porque a fauna do Velho Mundo incluía um rinoceronte gigante do tamanho de uma casa de dois andares). Mas embora os continentes separados produzissem cada qual seus mamíferos exclusivos, o padrão geral da evolução nas três áreas foi o mesmo. Em todas elas, os mamíferos que existiam inicialmente desdobraram-se ao longo da evolução, produzindo um especialista para cada ocupação que, em muitos casos, veio a apresentar uma notável semelhança como especialista correspondente nas duas outras áreas. Cada ocupação, a de cavar, a grande ocupação de caçar, a de pastar etc., foi o contexto para uma evolução convergente independente em dois ou três continentes distintos. Além dessas três áreas principais de evolução independente, ilhas menores como Madagáscar têm suas próprias histórias paralelas interessantes, pelas quais não enveredarei.

Deixando de lado os estranhos mamíferos ovíparos da Austrália - o ornitorrinco de bico igual ao do pato e a espinhosa équidna -, todos os mamíferos modernos pertencem a um de dois grandes grupos: o dos marsupiais (cujas crias nascem muito pequenas e são mantidas numa bolsa) e os placentários (todos nós restantes). Os marsupiais vieram a dominar a história australiana, e os placentários, o Velho Mundo, enquanto os dois grupos desempenharam papéis importantes lado a lado na América do Sul. A história sul-americana é complicada pelo fato de o continente ter sofrido ondas esporádicas de invasão de mamíferos vindos da América do Norte.

Montado o cenário, podemos agora examinar algumas das ocupações e convergências. Uma ocupação importante está ligada à exploração das grandes pastagens, conhecidas diversamente como pradarias, pampas, savanas etc. Entre os praticantes dessa ocupação incluem-se os cavalos (suas principais espécies africanas são chamadas zebras e seus representantes do deserto, jumentos), e os bovídeos, como o bisão norte-americano, atualmente caçado até quase a extinção. Os herbívoros tipicamente possuem tubos digestivos bem longos contendo vários tipos de bactérias fermentativas, pois o capim é um alimento pobre em nutrientes e requer digestão prolongada. Em vez de fazer refeições em intervalos, os

herbívoros em geral comem mais ou menos continuamente. Volumes imensos de matéria vegetal fluem por seus corpos como um rio, o dia todo.

Esses animais com freqüência são bem grandes e andam em rebanhos. Cada um desses grandes herbívoros é uma montanha de valioso alimento para qualquer predador que conseguir explorá-la. Em conseqüência disso, existe, como veremos, toda uma ocupação dedicada à difícil tarefa de capturá-los e devorá-los. É o ramo dos predadores. Na verdade, quando digo "ocupação", quero dizer todo um conjunto de "subocupações": leões, leopardos, guepardos, cachorros selvagens e hienas, todos caçam herbívoros a seu modo especializado. O mesmo tipo de subdivisão é encontrado nos herbívoros, e em todas as outras "ocupações".

Os herbívoros têm sentidos aguçados que os mantêm em contínuo alerta contra predadores; em geral podem correr velozmente para escapar de seus perseguidores. Para essa finalidade, é comum terem pernas longas e esguias, e tipicamente correm nas pontas dos dedos, que no decorrer da evolução se alongaram e fortaleceram em um grau extraordinário. As unhas nas extremidades desses dedos especializados tornaram-se espessas e rijas; nós as denominamos cascos. Os bovídeos possuem dois dedos que se expandiram nas extremidades de cada perna: os célebres cascos "fendidos". Os cavalos têm mais ou menos as mesmas características, com uma exceção, provavelmente devida a algum acidente histórico: correm sobre um único dedo em vez de dois. Esse dedo deriva do que originalmente foi o médio de cinco dedos. Os outros quatro desapareceram quase completamente no decorrer do tempo evolutivo, embora de vez em quando apareçam em "atavismos" aberrantes.

Ora, como vimos, a América do Sul ficou isolada durante o período em que cavalos e bovídeos estavam evoluindo em outras partes do planeta. Mas a América do Sul possui as suas próprias pradarias, nas quais evoluíram dois grupos distintos de grandes herbívoros para explorar seus recursos. Existiram gigantes animais parecidos com os rinocerontes, mas sem nenhum parentesco com eles. Os crânios de alguns herbívoros sul-americanos primitivos fazem supor que eles "inventaram" a tromba independentemente dos verdadeiros elefantes. Alguns pareciam camelos, outros não se assemelhavam a nenhum ser hoje vivo, outros lembravam esquisitas quimeras de animais modernos. O grupo chamado litopternos tinha pernas cuja semelhança com as dos cavalos era quase inacreditável, embora os dois grupos não fossem aparentados. No século XIX, essa semelhança superficial enganou um perito argentino, que pensou, com perdoável orgulho nacional, serem aqueles os ancestrais de todos os

cavalos do resto do mundo. Na verdade, a semelhança com os cavalos era superficial e convergente. A vida nas pastagens é bem parecida em todo o planeta; os cavalos e os litopternos adquiriram, na evolução, as mesmas qualidades para lidar com os problemas da vida nas pradarias. Em especial, os litopternos, como os cavalos, perderam todos os dedos exceto o médio nas quatro pernas; esse dedo restante ampliou-se, adquirindo a forma da última articulação da perna, e desenvolveu um casco. A perna de um litopterno é quase indistinguível da de um cavalo, apesar de os dois animais só terem um parentesco remoto.

São bem diferentes os grandes herbívoros que pastam na Austrália, os cangurus. Eles têm a mesma necessidade de se mover velozmente, mas a resolveram de maneira diversa. Em vez de desenvolver um galope sobre quatro patas até a suprema perfeição alcançada pelos cavalos (e presumivelmente pelos litopternos), os cangurus aperfeiçoaram uma marcha diferente: saltos sobre duas pernas auxiliados por uma grande cauda que lhes dá equilíbrio. Não tem sentido debater sobre qual desses dois modos de deslocamento é "melhor". Eles são altamente eficazes se o corpo evoluir de modo a explorá-los ao máximo. Aconteceu de os cavalos e litopternos explorarem o galope sobre quatro patas, terminando por possuírem pernas quase idênticas. E aconteceu de os cangurus explorarem o salto sobre duas pernas, acabando por desenvolver suas exclusivas (pelo menos depois dos dinossauros) pernas traseiras e cauda avantajadas. Cangurus e cavalos chegaram a diferentes pontos finais no "espaço animal" provavelmente devido a alguma diferença acidental em seus pontos de partida.

Examinando agora os carnívoros dos quais os grandes herbívoros estavam fugindo, constatamos mais algumas convergências fascinantes. No Velho Mundo são bem conhecidos os grandes caçadores como os lobos, cães, hienas e grandes felinos - leões, tigres, leopardos e guepardos. Um grande felino extinto recentemente é o tigre-de-dente-de-sabre (na verdade, "tigre"), assim chamado em razão de seus colossais dentes caninos projetados da maxila, à frente do que deve ter sido uma bocarra apavorante. Até recentemente não existiam verdadeiros cães e gatos na Austrália e no Novo Mundo (os pumas e as onças-pintadas evoluíram há pouco tempo a partir de felinos do Velho Mundo). Mas nesses dois continentes havia marsupiais equivalentes. Na Austrália, o tilacino, ou "lobo" marsupial (com freqüência chamado de lobo-da-tasmânia por ter sobrevivido nesse local por mais algum tempo do que no continente australiano), foi tragicamente levado à extinção em nossos tempos,

abatido em grandes números pelos humanos que o consideravam uma "peste" e também por "esporte" (existe uma tênue esperança de que ele talvez ainda sobreviva em cantos remotos da Tasmânia, áreas que agora estão, elas próprias, ameaçadas de destruição no interesse de fornecer "emprego" para humanos). A propósito, não se deve confundir o tilacino com o dingo, que é um cão verdadeiro, introduzido na Austrália mais recentemente pelo homem (aborígenes). Um filme da década de 1930 mostrando o último tilacino conhecido andando nervosamente de um lado para outro em sua solitária jaula no zoológico revela um animal incrivelmente parecido com o cão, apenas traindo sua condição de marsupial pela postura um pouco diferente da pélvis e pernas traseiras, presumivelmente ligada à necessidade de acomodar sua bolsa. Para quem gosta de cães, a contemplação daquele design alternativo, daquele viajante da evolução que percorreu uma estrada paralela separada por 100 milhões de anos, daquele cachorro do outro mundo, meio familiar e no entanto meio alienígena, é uma experiência tocante. Talvez eles fossem uma peste para os humanos, mas os humanos foram uma peste muito maior para eles; agora não restam mais tilacinos, e existe um considerável excedente de humanos.

Também na América do Sul não existiram verdadeiros cães e gatos durante o longo período de isolamento que estamos considerando, mas, como na Austrália, existiram marsupiais equivalentes, Provavelmente o mais espetacular deles tenha sido o *Thylacosmilus*, parecidíssimo com o recém-extinto tigre-de-dente-de-sabre do Velho Mundo, e mais parecido ainda quando o leitor percebe o que estou querendo dizer. Sua bocarra de dentes como punhais era ainda maior e, imagino, ainda mais apavorante. Seu nome registra uma afinidade superficial com o tigre-de-dente-de-sabre (*Smilodon*) e com o lobo-da-tasmânia (*Thylacinus*), mas sua linhagem é extremamente distante das dos outros dois. Ele é um pouquinho mais próximo do tilacino, já que ambos são marsupiais, mas o design carnívoro de ambos evoluiu independentemente em continentes distintos, independentemente um do outro e também dos carnívoros placentários, os verdadeiros gatos e cães do Velho Mundo.

A Austrália, a América do Sul e o Velho Mundo contém numerosos outros exemplos de múltiplas soluções convergentes. A Austrália possui uma "toupeira" marsupial, superficialmente quase indistinguível das conhecidas toupeiras dos outros continentes, só que dotada de bolsa; ela vive da mesma maneira que as demais toupeiras e possui as mesmas patas dianteiras fortíssimas para cavar. Existe um camundongo com bolsa na Austrália, embora neste caso a semelhança não seja tanta e o animal não

tenha um modo de vida tão parecido. Comer formigas (por conveniência, o termo "formigas" inclui os térmitas - outra convergência, como veremos) é uma "ocupação" adotada por diversos mamíferos convergentes. Eles podem ser divididos em comedores de formigas que cavam, que sobem em árvores e que andam pelo chão. Na Austrália, como seria o esperado, existe um marsupial comedor de formigas. Chamado *Myrmecobius*, ele tem um focinho comprido e fino para sondar os formigueiros e uma língua comprida e viscosa com as quais apanha suas presas. É um comedor de formigas que vive no chão. A Austrália possui também um comedor de formigas que cava buracos, a équidna. Ela não é marsupial; pertence ao grupo dos mamíferos ovíparos, os monotremados, tão distantes de nós que, em comparação, os marsupiais são parentes próximos. A équidna também tem um focinho comprido e afilado, mas devido a seus espinhos ela guarda uma semelhança superficial com o ouriço, e não com outro comedor de formigas típico.

A América do Sul poderia facilmente ter tido um comedor de formigas marsupial, ao lado de seu tigre-de-dente-de-sabre marsupial, mas acontece que a ocupação de comer formigas foi adotada mais cedo por mamíferos placentários. O maior comedor de formigas da atualidade é o tamanduá (gênero *Myrmecophaga*, que significa comedor de formiga em grego), o grande mirmecófago de hábitos terrestres sul-americano, provavelmente o mais exímio especialista em sua ocupação no mundo todo. Como o marsupial australiano *Myrmecobius*, o tamanduá tem um focinho extremamente longo e pontudo, muito mais do que os outros comedores de formigas, e uma língua viscosa muito longa. A América do Sul também tem um pequeno comedor de formiga arborícola, primo próximo do tamanduá, parecendo uma versão em miniatura menos extrema de seu primo, e ainda uma terceira forma, intermediária. Embora sejam mamíferos placentários, esses comedores de formigas estão muito distantes de quaisquer placentários do Velho Mundo. Pertencem a uma família exclusivamente sul-americana, que inclui também os tatus e as preguiças. Essa família placentária antiga coexistiu com os marsupiais desde os primeiros tempos do isolamento do continente.

Os comedores de formiga do Velho Mundo incluem várias espécies de pangolins na África e na Ásia, de formas arborícolas a formas cavadoras, todos um pouco parecidos com uma pinha de focinho pontudo. Também na África temos o estranho porco-da-terra, ou orictéropo, parcialmente especializado em cavar. Uma característica comum a todos os comedores de formiga, sejam eles marsupiais, monotremados ou placentários, é uma taxa metabólica baixíssima. A taxa metabólica é a

taxa à qual suas "fornalhas" químicas queimam, medida mais facilmente como temperatura do sangue. Nos mamíferos em geral existe a tendência de a taxa metabólica depender do tamanho do corpo. Animais de menor porte tendem a apresentar taxas metabólicas mais elevadas, do mesmo modo que os motores dos carros menores tendem a ter rotações mais rápidas que os dos maiores. Mas alguns animais têm taxas metabólicas altas para seu tamanho, e os comedores de formiga, de quaisquer linhagens e afinidades, tendem a apresentar taxas metabólicas muito baixas para seu porte. Isso não tem uma razão óbvia, mas o fato é tão notavelmente convergente entre animais que não têm nada em comum além do hábito de comer formigas que quase com certeza está relacionado a esse hábito.

Como vimos, as "formigas" que esses animais comem com frequência não são realmente formigas, e sim térmites (cupins). As térmites também são conhecidas como "formigas-brancas", mas são aparentadas com as baratas e não com as formigas verdadeiras, que têm parentesco com as abelhas e vespas. As térmites assemelham-se superficialmente às formigas porque adotaram convergentemente os mesmos hábitos. O mesmo conjunto de hábitos, melhor dizendo, pois há muitos ramos diferentes da ocupação das formigas e térmites, e ambos os grupos adotaram independentemente a maioria deles. Como acontece tantas vezes na evolução convergente, as diferenças são tão reveladoras quanto as semelhanças.

Tanto as formigas como as térmites vivem em grandes colônias compostas principalmente de operárias estéreis e sem asas, dedicadas à produção eficiente de castas reprodutoras aladas que voam para fora do ninho e fundam novas colônias. Uma diferença interessante: nas formigas, as operárias são todas fêmeas estéreis, enquanto nas térmites são machos e fêmeas estéreis. Ambas as colônias têm uma (ou às vezes várias) "rainha" de tamanho avantajado, por vezes grotescamente avantajado. Nos dois grupos, entre as que atuam como operárias incluem-se castas especializadas como os soldados. Às vezes os soldados, de tão dedicadas máquinas de combate que são, especialmente com suas mandíbulas superdesenvolvidas (no caso das formigas; as térmites desenvolveram "torres de tiro" para fazer guerra química), não têm capacidade de se alimentar sozinhos, precisando receber a comida dada por operárias não soldados. Espécies específicas de formigas têm paralelos com espécies específicas de térmites. Por exemplo, o hábito de cultivar fungos surgiu independentemente nas formigas (no Novo Mundo) e nas térmites (na África). As formigas (e as térmites) coletam matéria vegetal que elas

próprias não digerem, apenas transformam em um composto no qual cultivam fungos. São os fungos que elas comem. Em ambos os casos, os fungos não crescem em lugar nenhum além dos ninhos de formigas e de térmites respectivamente. O hábito de cultivar fungos também foi descoberto de modo independente e convergente (mais de uma vez) por várias espécies de besouro.

Também há convergências interessantes entre as formigas. Embora a maioria das colônias de formigas se estabeleça em um formigueiro fixo, parece ser muito viável viver perambulando em enormes exércitos de pilhagem. É o chamado hábito de legionário. Obviamente, todas as formigas saem do formigueiro para buscar mantimentos, mas a maioria dos tipos retorna a um formigueiro fixo com o butim enquanto as rainhas e as crias ficam no formigueiro. Por sua vez, as formigas com hábito de legionário têm a característica de os exércitos levarem consigo as crias e a rainha. Os ovos e as larvas são transportados nas mandíbulas das operárias. Na África, o hábito de legionário foi desenvolvido pelas chamadas formigas-correição. Na América Central e do Sul, as formigas-correição têm hábitos e aparência muito semelhantes às suas análogas guerreiras da África, mas não têm com elas nenhum parentesco particularmente próximo. Decerto as características da ocupação "guerreira" evoluíram nelas de maneira independente e convergente.

As formigas-correição africanas e americanas têm colônias excepcionalmente grandes, as americanas com até 1 milhão de integrantes, as africanas com até 20 milhões. Ambas apresentam fases nômades alternando-se com fases "sedentárias", acampamentos ou "bivaques" relativamente estáveis. As formigas-correição africanas e americanas, ou melhor, suas colônias consideradas em conjunto como unidades amebóides, são ambas predadoras terríveis e implacáveis em suas respectivas selvas. Ambas retalham qualquer animal em seu caminho, e ambas adquiriram uma aura de terror em sua própria terra. Conta-se que, em certas regiões da América do Sul, os habitantes tradicionalmente evacuam suas aldeias, levando tudo o que conseguem transportar, quando um grande exército de formigas se aproxima, e só voltam quando as legiões prosseguem sua marcha depois de terem acabado com todas as baratas, aranhas e escorpiões até dos tetos de sapê. Recordo-me de que quando era criança, na África, eu temia mais as formigas-correição do que os leões e os crocodilos. Vale a pena pôr em perspectiva essa formidável reputação citando as palavras de Edward O. Wilson, a maior autoridade mundial em formigas e autor de *Sociobiology*:

Em resposta à única questão que me fazem com maior frequência sobre as formigas, posso responder como a seguir. Não, as formigas-correição não são exatamente o terror da selva. Embora a colônia de guerreiras seja um "animal" pesando mais de vinte quilos com cerca de 20 milhões de bocas e ferrões, e embora seja sem dúvida a mais formidável criação do mundo dos insetos, ela ainda não está à altura das apavorantes histórias a seu respeito. Afinal, o formigueiro só pode cobrir mais ou menos um metro de solo a cada três minutos. Qualquer camundongo apto, para não falar de um homem ou um elefante, pode dar um passo de lado e contemplar tranqüilamente todo o frenesi da massa - um objeto não tanto ameaçador, e sim estranho e fascinante, a culminância de uma história evolutiva tão diferente da dos mamíferos quanto se pode conceber neste mundo.

Quando adulto, no Panamá, dei um passo de lado e contemplei o equivalente no Novo Mundo das formigas-correição que eu temia quando criança na África, fluindo diante de meus olhos como um rio crepitante, e posso testemunhar a estranheza e o fascínio. Hora após hora as legiões passaram por mim marchando, formigas atropelando-se umas às outras, enquanto eu esperava pela rainha. Finalmente ela surgiu - uma presença assombrosa. Era impossível ver seu corpo. Ela aparecia apenas como uma onda móvel de operárias frenéticas, uma fervilhante bola peristáltica de formigas de braços ligados. A rainha estava em algum lugar no meio daquela bola borbulhante de operárias, enquanto em toda a volta as maciças fileiras de soldados voltavam-se para fora de mandíbulas escancaradas e ameaçadoras, prontos para matar e morrer em defesa dela. Perdoem-me a curiosidade devê-la: cutuquei a bola de operárias com um pau comprido, numa vã tentativa de expor a rainha. No mesmo instante, vinte soldados cravaram suas enormes tenazes no graveto, possivelmente para nunca mais soltá-lo, enquanto outras dúzias subiam a toda a velocidade pelo pau, que tratei depressa de largar.

Não consegui vislumbrar a rainha, mas em algum lugar dentro daquela bola alvoroçada ela estava: o banco de dados central, o repositório do DNA matriz de toda a colônia. Aqueles soldados de bocarra aberta estavam prontos para morrer pela rainha não porque amavam sua mãe, não porque haviam sido doutrinados nos ideais do patriotismo, mas simplesmente porque seus cérebros e mandíbulas foram construídos por genes carimbados com a tinta "matriz" carregada pela própria rainha. Comportavam-se como bravos soldados porque tinham herdado os genes de uma longa linhagem de rainhas ancestrais, cujas vidas, e genes, haviam sido

salvos por soldados tão valentes quanto eles. Meus soldados herdaram daquela rainha os mesmos genes que os antigos herdaram das rainhas ancestrais. Meus soldados estavam guardando as cópias matrizes das próprias instruções que os faziam desempenhar seu papel de guardiões. Estavam guardando a sabedoria de seus ancestrais, a Arca da Aliança. Estas afirmações estranhas ficarão claras no próximo capítulo.

Senti, portanto, a estranheza e o fascínio, não isentos do ressurgimento de temores já esquecidos, mas transfigurados e realçados por uma compreensão madura - que me faltou quando criança na África - da finalidade de toda aquela encenação. Realçados, também, pelo conhecimento de que aquela história das legiões atingira o mesmo auge evolutivo não uma, mas duas vezes. Aquelas não eram as formigas-correição de meus pesadelos infantis, por mais semelhantes que pudessem ser, mas primas remotas, do Novo Mundo. Estavam fazendo o mesmo que as formigas-correição, e pelas mesmas razões. Anoiteceu, e me pus a caminho de casa, novamente uma criança assombrada, mas jubilosa no novo mundo de conhecimento que suplantara seus temores obscuros, africanos.

5. O poder e os arquivos

Está chovendo DNA lá fora. Na margem do canal de Oxford que passa nos fundos do meu jardim há um grande salgueiro; ele está espalhando suas sementes felpudas pelo ar. Como não há nenhuma corrente de ar constante, as sementes flutuam livremente para todos os lados. Em ambas as direções no canal, até onde posso ver com meus binóculos, a água está esbranquiçada pelos flocos flutuantes que lembram o algodão, e eles com toda a certeza também estão atapetando o solo em toda a área. Essa lâ algodoada é feita quase inteiramente de celulose, e parece gigantesca em comparação com a minúscula cápsula que contém o DNA, a informação genética. Se o DNA é uma pequena fração do total, então por que eu disse que estava chovendo DNA, e não celulose? A resposta é que apenas o DNA interessa, O floco de celulose, ainda que mais volumoso, é apenas um pára-quedas descartável. O espetáculo todo - lâ algodoada, amentilho, árvore e tudo o mais - serve de auxiliar para um único ato, a dispersão de DNA por toda a região. Não de um DNA qualquer, mas um DNA cujos

caracteres codificados contêm instruções específicas para a constituição de chorões, que por sua vez espalharão uma nova geração de sementes felpudas. Esses pontinhos penugentos estão literalmente dispersando instruções para sua própria produção. Estão ali porque seus ancestrais tiveram êxito fazendo a mesma coisa. Estão fazendo chover instruções lá fora, uma chuva de programas, uma chuva de algoritmos para o crescimento de árvores e a dispersão de flocos. Isto não é uma metáfora, é a pura verdade. Não poderia ser mais verdade se estivessem chovendo disquetes.

É a pura verdade, mas é conhecida há pouco tempo. Alguns anos atrás, se perguntássemos a quase qualquer biólogo o que havia de especial nos seres vivos em contraste com as coisas não-vivas, ele falaria de uma substância especial chamada protoplasma. O protoplasma não era uma substância como as outras: era vital, vibrante, palpitante, pulsante, "irritável" (um modo pedante de dizer "sensível"). Se cortássemos sucessivamente um corpo vivo em pedaços cada vez menores, chegaríamos a partículas de protoplasma puro. A certa altura do século passado, uma contrapartida real do professor Challenger criado por Arthur Conan Doyle pensava que o "limo de globigerina" do fundo do mar era feito de puro protoplasma. Quando eu ia à escola, os autores mais velhos de livros didáticos ainda falavam em protoplasma, por mais que, naquela época, já devessem estar mais bem informados. Hoje em dia, ninguém fala nem escreve essa palavra, tão obsoleta quanto o flogisto e o éter universal. Não há nada de especial nas substâncias de que são feitos os seres vivos. Os seres vivos são coleções de moléculas, como tudo o mais.

O que há de especial são os padrões de organização dessas moléculas, muito mais complexos que os das moléculas das coisas não vivas; essa organização se faz seguindo programas, isto é, conjuntos de instruções para o desenvolvimento que os seres vivos carregam dentro de si. Talvez todos esses seres vibrem, palpitem e pulsem com sua "irritabilidade", brilhando com sua chama "vivida", mas todas essas propriedades emergem incidentalmente. O que está no cerne de todo ser vivo não é um fogo, um sopro cálido ou uma "centelha de vida": são informações, palavras, instruções. Se o leitor quiser uma metáfora, não pense em fogo, centelhas ou sopro. Pense em bilhões de caracteres digitais distintos, esculpidos em tabuletas de cristal. Se quiser entender a vida, não pense em nenhum gel ou limo vibrante e palpitante, pense em tecnologia de informação. É o que sugeri no capítulo anterior, quando me referi à formiga-rainha como o banco de dados central.

O requisito básico de qualquer tecnologia de informação avançada é alguma espécie de meio de armazenamento com grande número de localizações de memória. Cada localização deve ser capaz de estar em um dentre um número discreto de estados. Isso vale ao menos para a tecnologia de informação digital que domina nosso mundo de artifícios. Há uma tecnologia alternativa, baseada em informações analógicas. A informação contida num disco de vinil comum é analógica, está armazenada em sulcos ondulados. A informação nos discos a laser modernos (chamados de CDs, ou "compact discs" o que é uma pena, porque esse nome não informa nada, e em inglês geralmente é mal pronunciado, acentuando a primeira sílaba) é digital, armazenada numa série de minúsculos furos, que ou está lá ou não está - não existe meio-termo. Esse é o traço distintivo de um sistema digital: seus elementos fundamentais estão inequivocamente em um estado ou inequivocamente em outro, sem possibilidades intermediárias ou meios-terminos.

A tecnologia de informação dos genes é digital. Esse fato foi descoberto no século passado por Gregor Mendel, ainda que ele não o exprimisse dessa maneira. Mendel mostrou que nossa hereditariedade não é uma mistura da de nossos pais. Recebemos nossa hereditariedade em partículas discretas. No que respeita a cada partícula, ou nós a herdamos ou não a herdamos. Na verdade, como salientou R. A. Fisher, um dos pioneiros do que hoje chamamos neodarwinismo, esse fato da hereditariedade particulada sempre esteve óbvio, bastaria refletir sobre os sexos. Herdamos características de nossos pais, um homem e uma mulher, mas cada um de nós ou é homem ou é mulher, nunca hermafrodita. Cada bebê que nasce tem uma probabilidade aproximadamente igual de herdar o sexo masculino ou o feminino, mas herda apenas um em vez de combinar os dois. Agora sabemos que o mesmo se aplica a todas as partículas da nossa hereditariedade. Elas não se mesclam; permanecem discretas e separadas enquanto se embaralham no decorrer das gerações. Evidentemente, com freqüência parece mesmo ter havido uma mescla, graças aos efeitos produzidos nos corpos pelas unidades genéticas. Os filhos de uma pessoa alta com uma baixa, ou de uma pessoa negra com uma branca, muitas vezes têm características intermediárias. Mas essa aparência de fusão aplica-se apenas aos efeitos sobre os corpos, sendo devida aos pequenos efeitos somados de grandes números de partículas. As próprias partículas permanecem separadas e discretas quando se trata de serem transmitidas à geração seguinte.

A distinção entre hereditariedade mesclada e hereditariedade particulada tem sido importantíssima na história das idéias evolucionistas. Na época de Darwin, todo mundo (exceto Mendel, que, entocado em seu mosteiro, infelizmente foi ignorado até depois de sua morte) pensava que hereditariedade implicava mescla. Um engenheiro escocês chamado Fleeming Jenkin ressaltou que o fato (pois era assim considerado) da mescla na hereditariedade praticamente excluía a seleção natural como uma teoria da evolução plausível. Ernst Mayr observou rispidamente que o artigo de Jenkin "baseia-se em todos os usuais preconceitos e equívocos dos cientistas físicos". Não obstante, Darwin atormentou-se com o argumento de Jenkin, que o expôs com vívida eloquência em uma alegoria na qual um homem branco naufraga em uma ilha habitada por "negros":

Concedamos-lhe todas as vantagens imagináveis de um branco sobre os nativos; reconheçamos que, na luta pela existência, sua chance de ter uma vida longa será bem superior à dos chefes nativos; mesmo assim, não decorre de todas essas suposições a conclusão de que, após um número limitado ou ilimitado de gerações, os habitantes da ilha serão brancos. Nosso herói náufrago provavelmente se tornaria rei; mataria inúmeros negros na luta pela existência; teria muitas esposas e filhos, enquanto muitos de seus súditos viveriam e morreriam solteiros [...]. As qualidades do nosso homem branco sem dúvida tenderiam acentuadamente a preservá-lo até a velhice, e ainda assim ele não bastaria, em qualquer número de gerações, para tornar brancos os descendentes de seus súditos [...]. Na primeira geração haveria algumas dúzias de mulatos inteligentes, muito superiores aos negros em inteligência média. Poderíamos esperar que, por algumas gerações, o trono viesse a ser ocupado por um rei mais ou menos pardo; mas alguém pode acreditar que toda a ilha gradualmente adquiriria uma população branca, ou mesmo parda, ou que os ilhéus adquiririam a energia, coragem, engenhosidade, paciência, autocontrole e resistência em virtude dos quais nosso herói matou tantos de seus ancestrais e gerou tantos filhos - as qualidades, com efeito, que a luta pela existência selecionaria, caso fosse capaz de alguma seleção?

Que o leitor não se distraia com essas suposições racistas de superioridade branca. Elas eram aceitas tão naturalmente na época de Jenkin e Darwin quanto nossas mais pretensiosas suposições sobre direitos humanos, dignidade humana e caráter sagrado da vida humana são aceitas hoje sem questionamento. Podemos reescrever o argumento de Jenkin usando

uma analogia mais neutra. Se misturarmos tinta branca com tinta preta, obteremos tinta cinza. Misturando tinta cinza com tinta cinza, não poderemos reconstituir o branco nem o preto originais. Misturar tintas não está muito longe da visão de hereditariedade pré-mendeliana, e mesmo hoje em dia é comum a cultura popular expressar a hereditariedade segundo a concepção de mistura de "sangues". O argumento de Jenkin baseia-se na diluição. Com o passar das gerações, sob a suposição da herança mesclada, a variação está fadada a diluir-se até desaparecer. Prevalecerá uma uniformidade cada vez maior. Por fim não restará variação nenhuma para que a seleção natural possa atuar.

Por mais plausível que este argumento possa ter parecido, ele não é apenas um argumento contra a seleção natural. É sobretudo um argumento contra fatos inescapáveis da própria hereditariedade! Manifestamente não é verdade que a variação desaparece com o passar das gerações. As pessoas não são mais parecidas entre si atualmente do que eram na época de seus avós. A variação é mantida. Existe um fundo de variações com as quais a seleção natural trabalha. Isso foi mostrado matematicamente em 1908 por W. Weinberg, e independentemente pelo excêntrico matemático G. H. Hardy, o qual, aliás, segundo os registros de apostas de sua (e minha) faculdade, certa vez apostou com um colega "meio pêni contra sua fortuna, até a morte, que o sol nascerá amanhã". Mas coube a R. A. Fisher e seus colegas, os fundadores da moderna genética populacional, desenvolver a resposta completa a Fleming cada qual estando ou não estando presente em qualquer corpo individual específico, O darwinismo pós-Fisher é chamado neodarwinismo. Seu caráter digital não é um fato acidental que por acaso se aplica à tecnologia da informação genética. O caráter digital provavelmente é uma condição necessária para que o próprio darwinismo funcione.

Em nossa tecnologia eletrônica, as localizações digitais discretas têm apenas dois estados, convencionalmente representados como 0 e 1, embora também seja possível imaginá-las como alto e baixo, ligado e desligado, em cima e embaixo: o que importa é que sejam distintas uma da outra e que o padrão de seus estados consiga ser "lido" a fim de que possa ter alguma influência sobre alguma coisa. A tecnologia eletrônica usa vários meios físicos para armazenar os estados 1 e 0, incluindo discos magnéticos, fitas magnéticas, cartões e fitas perfuradas e circuitos integrados, ou chips, com numerosas unidades semicondutoras minúsculas em seu interior.

O principal meio de armazenamento no interior das sementes de salgueiro, das formigas e de todas as outras células vivas não é eletrônico, mas químico. Ele explora o fato de que certos tipos de molécula são capazes de "polimerização", isto é, de se juntar em longas cadeias de comprimento indefinido. Existem muitos tipos diferentes de polímeros. Por exemplo, o "Politeno" é feito de longas cadeias da pequena molécula denominada etileno - etileno polimerizado. O amido e a celulose são açúcares polimerizados. Alguns polímeros, em vez de serem cadeias uniformes de uma pequena molécula como o etileno, são cadeias de duas ou mais moléculas formadas por diferentes tipos de pequenas moléculas. Assim que essa heterogeneidade entra em uma cadeia polimérica, a tecnologia da informação se torna uma possibilidade teórica. Se há dois tipos de pequenas moléculas na cadeia, os dois podem ser concebidos como 1 e 0 respectivamente, e de imediato qualquer quantidade de informação, de qualquer tipo, pode ser armazenada, contanto que as cadeias sejam suficientemente longas. Os polímeros específicos usados pelas células vivas chamam-se polinucleotídeos. Há duas famílias principais de polinucleotídeos nas células vivas, resumidamente chamadas DNA e RNA. Ambas são cadeias de pequenas moléculas chamadas nucleotídeos. Tanto o DNA como o RNA são cadeias heterogêneas, contendo quatro tipos diferentes de nucleotídeos. Obviamente, é aí que está a oportunidade para o armazenamento de informações. Em vez de apenas os estados 1 e 0, a tecnologia de informação das células vivas usa quatro estados, que podemos convencionalmente representar como A, T, C e G. Em princípio, existe pouca diferença entre uma tecnologia de informação binária de dois estados como a nossa e uma tecnologia de informação de quatro estados como a da célula viva.

Como mencionei no final do capítulo 1, em uma única célula humana existe capacidade de informação suficiente para armazenar três ou quatro vezes todos os trinta volumes da Enciclopédia Britânica. Desconheço os números comparáveis para a semente do salgueiro ou para as formigas, mas hão de ser igualmente espantosos. No DNA de uma única semente de lírio ou de um único espermatozóide de salamandra existe capacidade suficiente para armazenar a Enciclopédia Britânica sessenta vezes. Algumas espécies de amebas, injustamente chamadas de "primitivas", possuem em seu DNA tanta informação quanto 1000 Enciclopédias Britânicas.

Surpreendentemente, apenas cerca de um por cento da informação genética nas células humanas, por exemplo, parece ser de fato usado: mais ou menos o equivalente a um volume da Enciclopédia Britânica. Ninguém

sabe por que os outros 99 por cento estão ali. Em um livro anterior, aventei que essa informação não usada poderia ser parasitária, aproveitando-se dos esforços daquele um por cento - uma teoria que mais recentemente foi adotada pelos biólogos moleculares sob a denominação de "DNA egoísta". Uma bactéria possui capacidade de informação menor do que uma célula humana, cerca de 1000 vezes menor, e provavelmente a usa quase toda: não há muito espaço para parasitas. Seu DNA poderia conter "apenas" uma cópia do Novo Testamento!

A engenharia genética moderna já dispõe da tecnologia para escrever o Novo Testamento ou qualquer outra coisa no DNA de bactérias. O "significado" dos símbolos em qualquer tecnologia de informação é arbitrário, não havendo razão para não designarmos combinações, digamos, tripletos, do alfabeto de quatro letras do DNA para letras do nosso alfabeto de 26 letras (haveria lugar para todas as letras maiúsculas e minúsculas com doze caracteres de pontuação). Infelizmente, seria preciso cinco séculos para um homem escrever o Novo Testamento em uma bactéria, por isso duvido que alguém se encarregue da tarefa. Se isso fosse feito, a taxa de reprodução das bactérias é tão elevada que 10 milhões de cópias do Novo Testamento poderiam ser produzidas em um único dia - o sonho de um missionário caso as pessoas pudessem ler o alfabeto do DNA; mas, infelizmente, os caracteres são tão pequenos que todos os 10 milhões de cópias do Novo Testamento poderiam dançar ao mesmo tempo na superfície de uma cabeça de alfinete.

A memória eletrônica dos computadores é convencionalmente classificada em ROM e RAM. ROM significa "read only memory" - uma memória que pode apenas ser lida; mais estritamente, essa memória é "escrita uma vez, lida muitas vezes" O padrão de 0s e 1s é "marcado a ferro" nela de uma vez por todas por ocasião de sua fabricação: segue sem modificações ao longo de sua vida útil, e a informação contida nela pode ser lida inúmeras vezes. A outra memória eletrônica, chamada RAM, pode ser "escrita" (não é preciso muito tempo para se acostumar ao jargão deselegante dos computadores) e também lida. Assim, a memória RAM pode fazer tudo o que a ROM faz, e algo mais. O significado da sigla é enganoso, de modo que nem sequer o mencionarei. O mais importante quanto à memória RAM é que se pode incluir qualquer padrão de 0s e 1s em qualquer parte dela, em quantas ocasiões desejarmos. A maior parte da memória de um computador é RAM. À medida que digito estas palavras, elas vão diretamente para a RAM, onde também se encontra o programa de processamento de texto - ainda que este pudesse teoricamente ser gravado

de uma vez por todas na ROM. A memória ROM é usada para um repertório fixo de programas básicos, dos quais precisamos repetidas vezes e que não poderíamos modificar nem mesmo se o desejássemos.

DNA é ROM. Pode ser lido milhões de vezes, mas só pode ser escrito uma vez - ao ser montado, por ocasião do nascimento da célula em que reside. O DNA nas células de cada indivíduo é "marcado a ferro" uma vez para não mais se alterar ao longo da vida de cada pessoa, exceto por formas raríssimas de deterioração aleatória. Mas ele pode ser copiado. Duplica-se a cada vez que uma célula se divide, O padrão de nucleotídeos A, T, C e G é copiado fielmente para o DNA dos trilhões de novas células produzidas durante o crescimento de um bebê. Na concepção de cada novo indivíduo, é "marcado a fogo" em seu DNA ROM um padrão de dados novo e único, que acompanhará o indivíduo pelo resto de sua vida e que será copiado em todas as suas células (à exceção de suas células reprodutivas, nas quais se copia aleatoriamente apenas uma metade de seu DNA, como veremos adiante).

Toda a memória de um computador, seja ROM ou RAM, é endereçada. Isso significa que cada localização de memória tem uma espécie de rótulo, geralmente um número - ainda que essa seja uma convenção arbitrária. É importante entender a distinção entre o endereço e o conteúdo de uma localização de memória. Cada localização é conhecida por seu endereço; por exemplo, as duas primeiras letras deste capítulo, "It" [no original], encontram-se neste momento nas localizações 6446 e 6447 da memória RAM do meu computador, que no total possui 65536 localizações RAM. Em outro momento, os conteúdos dessas duas localizações serão diferentes.

O conteúdo de uma localização é sempre aquilo que foi escrito mais recentemente nessa localização. As localizações da memória ROM também têm endereço e conteúdo; a diferença é que cada localização guarda o mesmo conteúdo para sempre.

O DNA dispõe-se ao longo de cromossomos alinhados, como longas fitas magnéticas de computador. Todo o DNA em cada uma de nossas células é endereçado exatamente como a ROM ou a fita magnética de um computador. Os números ou nomes que usamos para rotular um dado endereço são arbitrários, como no caso da memória de computador. O que importa é que uma localização específica do meu DNA corresponda precisamente a uma localização específica do seu DNA, isto é, que tenham o mesmo endereço. O conteúdo da minha localização 321762 pode ser ou não o mesmo que o de sua localização 321762, mas minha localização 321762 ocupa em minhas células a mesma posição que a sua localização 321762 nas suas células. "Posição"

significa aqui a posição ao longo de um certo cromossomo. A posição física exata do cromossomo na célula não faz diferença; aliás, ele flutua no meio fluido, de modo que sua posição física varia, mas cada localização no cromossomo está precisamente endereçada em uma ordem linear ao longo do cromossomo, como acontece com os endereços precisamente alocados numa fita de computador, mesmo que espalhada pelo chão em vez de enrolada em uma bobina. Todos nós, humanos, temos o mesmo conjunto de endereços de DNA, mas não necessariamente os mesmos conteúdos nesses endereços. Essa é a principal razão pela qual somos diferentes uns dos outros.

Outras espécies não têm o mesmo conjunto de endereços. Os chimpanzés, por exemplo, têm 48 cromossomos, e não 46 como nós. Rigorosamente falando, não é possível comparar os conteúdos, endereço por endereço, porque os endereços não têm correspondência de uma espécie para outra. Não obstante, espécies com parentesco muito próximo, como chimpanzés e humanos, têm porções tão grandes de conteúdos adjacentes em comum que é fácil identificá-las como basicamente iguais, mesmo que não possamos usar o mesmo sistema de endereçamento nas duas espécies. O que define uma espécie é o fato de todos os seus membros terem um sistema comum de endereçamento do DNA. Com algumas exceções insignificantes, todos os membros têm o mesmo número de cromossomos, e cada localização ao longo de um cromossomo tem sua contrapartida na mesma posição ao longo do cromossomo correspondente em todos os membros da espécie. O que pode diferir para cada membro de uma espécie é o conteúdo dessas localizações.

As diferenças de conteúdo em indivíduos diferentes surgem como explicarei a seguir (devo deixar bem claro que falo aqui de espécies de reprodução sexuada, como a nossa). Cada um de nossos espermatozóides ou óvulos contém 23 cromossomos. Cada localização endereçada de um de meus espermatozóides corresponde a uma certa localização endereçada em meus outros espermatozóides, e em cada um dos espermatozóides (ou óvulos) de qualquer pessoa. Todas as minhas outras células contêm 46 - um conjunto duplo. Os mesmos endereços são usados duas vezes nessas células. Cada célula contém dois cromossomos 9 e duas versões da localização 7230 nesses cromossomos 9. Os conteúdos dos dois podem ser ou não os mesmos, assim como podem ser ou não os mesmos em outros membros da espécie. Quando um espermatozóide, com seus 23 cromossomos, é produzido a partir de uma célula do corpo com 46 cromossomos, ele só recebe - aleatoriamente - uma das duas cópias de cada localização endereçada. O mesmo vale para os óvulos. O resultado é que cada espermatozóide ou óvulo produzido é

único quanto aos conteúdos de suas localizações, ainda que seu sistema de endereçamento seja idêntico em todos os membros da espécie (com exceções menores de que não precisamos nos ocupar aqui). Quando um espermatozóide fertiliza um óvulo, forma-se um conjunto completo de 46 cromossomos, e todos eles serão devidamente duplicados em todas as células do embrião em desenvolvimento.

Afirmo que a memória ROM só pode ser gravada uma vez, por ocasião de sua fabricação, e isso vale também para o DNA nas células, exceto por ocasionais erros aleatórios de cópia. Mas há um sentido em que o banco de dados coletivo, constituído pelas memórias ROM da espécie inteira, pode ser construtivamente regravado. Com o passar das gerações, a sobrevivência e o sucesso reprodutivo não aleatórios dos indivíduos de uma espécie acabam por "gravar" instruções de sobrevivência aprimoradas na memória genética coletiva dessa espécie. Em boa medida, a mudança evolutiva em uma espécie consiste em mudanças no número de cópias de cada um dos muitos conteúdos possíveis para cada localização de DNA no decorrer das gerações. É claro que, a cada momento, toda cópia tem de estar no interior de um corpo individual. Mas o que interessa na evolução são as mudanças na frequência dos conteúdos alternativos possíveis em cada localização de toda uma população. O sistema de endereçamento continua o mesmo, mas o perfil estatístico dos conteúdos de localizações muda ao longo dos séculos.

O sistema de endereçamento só muda muito raramente. Os chimpanzés têm 24 pares de cromossomos, nós temos 23. Temos um ancestral em comum com os chimpanzés, portanto em um certo momento da história dos seres humanos (ou dos chimpanzés) deve ter ocorrido uma mudança no número de cromossomos. Podemos ter perdido um cromossomo (dois se fundiram), talvez os chimpanzés tenham adquirido um a mais (um se dividiu em dois). Deve ter havido ao menos um indivíduo cujo número de cromossomos diferia do número de seus pais. Há outras mudanças ocasionais no sistema genético como um todo. Como veremos, às vezes seqüências inteiras do código podem ser copiadas para cromossomos completamente diferentes. Sabemos disso porque encontramos longas seqüências de texto de DNA idênticas entre si espalhadas pelos cromossomos.

Quando se lê a informação contida numa certa localização da memória de um computador, duas coisas podem acontecer. Ela pode simplesmente ser escrita em outro lugar ou pode ser envolvida em algum tipo de "ação". Ser escrita em outro lugar significa ser copiada. Já vimos que o DNA é copiado de uma célula para outra, e que porções de DNA

podem ser copiadas de um indivíduo para outro, isto é, de um genitor para seu filho. A idéia de "ação" é mais complicada. Nos computadores, um tipo de ação é a execução de instruções programadas. Na memória ROM do meu computador, as localizações 64489,64490 e 64491 contêm, em conjunto, um certo padrão de conteúdos - 0s e 1s - que, interpretados como instruções, resultam na produção de um som de bip pelo alto-falante. Esse padrão de bits é o seguinte: 10101101 00110000 11000000. Não há nada de inerentemente sonoro ou barulhento nesse padrão. Nada nele prenuncia o efeito produzido no alto-falante. O efeito só se produz porque o resto do computador é montado de uma determinada maneira. Do mesmo modo, os padrões do código de quatro letras do DNA produzem efeitos - por exemplo, a cor dos olhos OU o comportamento -, mas esses efeitos não são inerentes aos padrões de dados do DNA. Os efeitos resultam do modo como se desenvolve o resto do embrião, que, por sua vez, sofre influência dos efeitos de padrões em outras partes do DNA. Essa interação entre genes será um tema central do capítulo 7.

Para que possam envolver-se em qualquer tipo de ação, os símbolos codificados do DNA precisam ser traduzidos para um outro meio. Inicialmente, são transcritos em símbolos exatamente correspondentes no RNA, que também tem um alfabeto de quatro letras. Em seguida, são traduzidos para um tipo diferente de polímero, chamado de polipeptídio ou proteína. Poderíamos chamá-lo também de poliaminoácido, pois suas unidades básicas são aminoácidos. Há vinte tipos de aminoácidos nas células vivas. Todas as proteínas biológicas são cadeias construídas com esses vinte tijolos básicos. Muito embora uma proteína seja uma cadeia de aminoácidos, a maior parte delas não permanece alongada como um fio; cada cadeia enrola-se num emaranhado complexo, cuja forma é determinada pela seqüência de aminoácidos. Sendo assim, a forma desse emaranhado não varia nunca para uma mesma seqüência de aminoácidos. Essa seqüência, por sua vez, é determinada com precisão pelos símbolos codificados num trecho do DNA (tendo o RNA como intermediário). Num certo sentido, portanto, a forma tridimensional enovelada de uma proteína é determinada pela seqüência unidimensional dos símbolos codificados no DNA.

O processo de tradução incorpora o célebre "código genético" de três letras: um dicionário em que cada um dos 64 (4 x 4 x 4) tripletos possíveis de símbolos de DNA (ou RNA) é traduzido como um dos vinte aminoácidos ou como um sinal de "pare a leitura". Há três desses sinais de parada. Muitos dos aminoácidos são codificados por mais de um triplete (como se poderia suspeitar diante da existência de 64 tripletos para

apenas vinte aminoácidos). A tradução de DNA ROM estritamente seqüencial para formas tridimensionais precisamente invariáveis de proteínas é um feito notável de tecnologia de informação digital. Os estágios subseqüentes da influência dos genes sobre os corpos não têm uma analogia tão óbvia com o funcionamento de um computador.

Todas as células vivas, até mesmo uma célula bacteriana isolada, pode ser imaginada como uma gigantesca fábrica química. Padrões de DNA, ou genes, exercem seus efeitos influenciando o curso dos acontecimentos na fábrica química, e o fazem por meio de sua influência sobre a forma tridimensional das moléculas de proteína. O termo "gigantesco" pode parecer estranho quando se trata de uma célula, especialmente quando lembramos que 10 milhões de células bacterianas poderiam se alojar na superfície de uma cabeça de alfinete. Mas vale lembrar que cada uma dessas células é capaz de conter todo o texto do Novo Testamento; de resto, são gigantescas quando medidas pelo número de máquinas sofisticadas que contêm. Cada máquina é uma grande molécula de proteína, montada sob a influência de um trecho específico de DNA. Certas moléculas de proteínas, chamadas enzimas, são máquinas que encetam uma dada reação química. Cada tipo de máquina de proteína gera seu próprio produto químico. Para tanto, utiliza as matérias-primas à deriva na célula - que provavelmente foram produzidas por outras máquinas protéicas. Para se ter uma idéia do tamanho dessas máquinas protéicas: cada uma é constituída por aproximadamente 6 mil átomos, um número enorme para os padrões moleculares. Há cerca de 1 milhão de máquinas assim em cada célula, em mais de 2 mil tipos diferentes, cada qual especializado em uma operação específica na fábrica química, isto é, na célula. São os produtos químicos característicos dessas enzimas que conferem à célula sua forma e comportamento peculiares.

Uma vez que todas as células do corpo contêm os mesmos genes, pode parecer surpreendente que não sejam todas idênticas. Isso ocorre porque para cada tipo de célula é lido um subconjunto diferente de genes, enquanto os demais são deixados de lado. Nas células do fígado, as partes do DNA ROM relativas à constituição das células renais não são lidas, e vice-versa. A forma e o comportamento de uma célula dependem de quais genes em seu interior são lidos e traduzidos para produtos protéicos. Isso, por sua vez, depende das substâncias químicas já presentes na célula, o que depende dos genes que foram lidos previamente naquela célula e nas células vizinhas. Quando uma célula se divide em duas, as duas células resultantes não são necessariamente idênticas. No óvulo

fertilizado original, por exemplo, certos componentes químicos concentram-se em uma extremidade da célula, e outros no outro extremo. Quando uma célula assim polarizada se divide, as duas células resultantes recebem heranças químicas diferentes. Isso significa que genes diferentes serão lidos em cada uma delas, e assim se estabelece uma espécie de divergência auto-alimentadora. A forma final do corpo, o tamanho de seus membros, as conexões de seu cérebro, a emergência de seus padrões de comportamento são conseqüências indiretas de interações entre diferentes tipos de células, cujas diferenças, por sua vez, emergem da leitura de genes diferentes. É mais fácil entender esses processos divergentes como autônomos em âmbito local, à maneira do procedimento "recursivo" do capítulo 3, do que como frutos da coordenação de algum desígnio central grandioso.

O termo "ação", no sentido usado neste capítulo, corresponde ao que o geneticista entende por "efeito fenotípico" de um gene. O DNA tem efeitos sobre o corpo - cor dos olhos, ondulação dos cabelos, força do comportamento agressivo e milhares de outros atributos - que são chamados efeitos fenotípicos. De início, o DNA exerce esses efeitos localizadamente, após ser lido pelo RNA e traduzido em cadeias protéicas, que então afetam a forma e o comportamento da célula. Essa é uma das duas formas de leitura da informação contida em um padrão de DNA. A outra consiste na duplicação, isto é, na formação de um segundo filamento de DNA. Esse é o processo de cópia, que já discutimos.

Há uma distinção fundamental entre essas duas rotas de transmissão da informação do DNA - a transmissão vertical e a horizontal. A informação é transmitida verticalmente de um DNA para outro nas células (que geram outras células) produtoras de espermatozóides ou óvulos. Assim, ela se transmite verticalmente de uma geração para a seguinte e assim, sempre verticalmente, por um número indefinido de gerações futuras. Chamarei a esse DNA de "DNA de arquivo". Ele é potencialmente imortal. A sucessão de células pelas quais o "DNA de arquivo" é transmitido chama-se linhagem germinativa: aquele conjunto de células que, em cada corpo, dá origem a espermatozóides ou óvulos, e portanto às gerações futuras. O DNA também é transmitido lateralmente ou horizontalmente, isto é, para o DNA de células que não pertencem à linhagem germinativa, como as do fígado ou da pele; nessas células, a informação passa para o RNA e deste para as proteínas e para os vários efeitos sobre o desenvolvimento embrionário, e portanto para a forma e o comportamento adultos. O leitor pode entender essas duas formas de

transmissão como correspondentes aos dois subprogramas do capítulo 3, DESENVOLVIMENTO E REPRODUÇÃO.

A seleção natural está ligada ao êxito diferencial de DNAs rivais na transmissão vertical nos arquivos da espécie. "DNAs rivais" são conteúdos alternativos de endereços específicos nos cromossomos da espécie. Alguns genes persistem nos arquivos com mais sucesso que outros. Muito embora "sucesso" não signifique outra coisa senão a transmissão vertical nos arquivos da espécie, o critério de sucesso costuma ser a ação que os genes exercem nos corpos por meio de sua transmissão lateral. Aqui também estamos próximos do modelo dos biomorfos. Suponhamos, por exemplo, que há nos tigres um certo gene que, por meio de sua influência lateral sobre as células da mandíbula, faz com que os dentes sejam um pouco mais afiados que os dentes que se desenvolveriam sob influência de um gene rival. Um tigre com dentes ultra-afiados pode matar suas presas com mais eficiência que um tigre normal; em conseqüência, sua prole será maior; por conseguinte, ele transmitirá verticalmente mais cópias do gene que torna os dentes mais afiados. É claro que também transmite todos os seus outros genes; mas só o "gene afiador" figurará, em média, nos corpos de tigres de dentes afiados; O próprio gene beneficia-se, na transmissão vertical, dos efeitos médios que exerce sobre toda uma série de corpos.

O desempenho do DNA como um meio arquivístico é espetacular. Sua capacidade de preservar uma mensagem supera em muito qualquer placa de pedra. Vacas e ervilhas (e na verdade todo o restante de nós) possuem um gene quase idêntico, o gene da histona H 4. Seu texto de DNA tem 306 caracteres. Não se pode dizer que ocupa um mesmo endereço em todas as espécies porque não tem sentido comparar rótulos de endereços em espécies diferentes, mas podemos dizer que há um trecho de 306 caracteres nas vacas que é virtualmente idêntico a um trecho de 306 caracteres nas ervilhas. Vacas e ervilhas diferem em apenas dois desses 306 caracteres. Não sabemos há quanto tempo viveu o ancestral comum das vacas e das ervilhas, mas o registro fóssil sugere que isso ocorreu há cerca de 1000 ou 2 mil milhões de anos, 1,5 bilhão de anos, digamos. Ao longo desse tempo inimaginavelmente longo (para padrões humanos), cada uma das duas linhagens que se ramificou a partir desse ancestral remoto preservou 305 dos 306 caracteres (em média: pode ser que uma das linhagens tenha preservado todos os 306, enquanto a outra preservou 304). Letras gravadas em lápides funerárias tornam-se ilegíveis após algumas poucas centenas de anos.

De certo modo, a preservação desse documento genético da histona H4 é ainda mais impressionante porque, ao contrário de lápides de pedra, não é uma mesma estrutura física que perdura e preserva o texto. O texto é repetidamente copiado ao longo das gerações, como as escrituras hebraicas que eram ritualmente copiadas por escribas a cada oitenta anos para renovar as que estavam gastas. É difícil estimar exatamente quantas vezes a histona H4 foi recopiada na linhagem que nos reconduz das vacas a seu ancestral em comum com as ervilhas, mas o número deve estar por volta de 20 bilhões. E também difícil encontrar um termo de comparação para a preservação de mais de 99 por cento da informação ao longo de 20 bilhões de cópias sucessivas. Façamos uma tentativa com a brincadeira do "telefone sem fio". Imaginemos 20 bilhões de datilógrafas sentadas em uma fila (que daria quinhentas voltas ao redor da Terra). A primeira digita uma página de documento e a passa para a vizinha, que a copia e a repassa para a seguinte, e assim por diante. Ao fim e ao cabo, a mensagem atingirá o final da fila e nós poderemos relê-la (ou melhor, nosso 12 000ª descendente, supondo que todas as datilógrafas trabalhem na velocidade de uma boa secretária). Que fidelidade à mensagem original podemos esperar?

A resposta requer alguma hipótese sobre a precisão das datilógrafas. Formulemos a questão de outra maneira. Qual teria de ser o desempenho das datilógrafas para que pudessem comparar-se a precisão do DNA? A resposta é quase risível. Cada datilógrafa poderia ter uma taxa de erro de um em 1 trilhão; cada qual teria de ser precisa o bastante para cometer um único erro ao copiar a Bíblia 250 mil vezes. Na vida real, uma boa secretária comete um erro por página, isto é, uma taxa de erro meio bilhão de vezes superior à do gene da histona H4. Uma fileira de secretárias teria degradado 99 por cento do texto original no vigésimo membro da fileira de 20 bilhões. Quando chegássemos ao 10 000º membro, menos de um por cento do texto original teria sobrevivido. Esse ponto de degradação quase total teria sido alcançado antes que 99,9995 por cento das datilógrafas tivessem ao menos visto o texto.

Há um elemento de trapaça nesta comparação, mas ele é interessante e revelador. Eu dei a impressão de que estamos medindo erros de cópia. Mas o documento relativo à histona H4 não foi apenas copiado - foi também submetido à seleção natural. A histona é crucialmente importante para a sobrevivência. Ela faz parte da engenharia estrutural dos cromossomos. É possível que muitos erros de cópia da histona H4 tenham ocorrido, mas os organismos mutantes não sobreviveram, ou ao menos

não se reproduziram. Para que a comparação seja justa, teríamos de imaginar um revólver embutido na cadeira de cada datilógrafa, disparando sumariamente ao primeiro erro e tornando necessária a substituição da datilógrafa (leitores mais impressionáveis talvez prefiram imaginar um ejetor automático catapultando suavemente as datilógrafas ineptas, mas o revólver fornece uma imagem mais realista da seleção natural).

Assim, esse método de mensuração do conservadorismo do DNA a partir do número de mudanças que ocorreram durante o tempo geológico combina a fidelidade do processo de cópia aos efeitos de filtragem da seleção natural. Só vemos os descendentes das mudanças bem-sucedidas do DNA. Aquelas que resultaram em morte obviamente não chegaram até nós. Poderíamos medir a fidelidade real antes da intervenção da seleção natural sobre cada nova geração de genes? Sim, isso é o inverso do que se conhece por taxa de mutação, e pode ser medido. A probabilidade de que qualquer uma das letras sofra um erro de cópia vem a ser pouco superior a uma em 1 bilhão. A diferença entre essa taxa de mutação e a taxa ainda mais baixa de incorporação de mudanças ao gene da histona ao longo da evolução dá a medida da eficiência da seleção natural na preservação desse documento antigo.

O conservadorismo do gene da histona ao longo das eras é excepcional para os padrões genéticos. Outros genes mudam em taxas mais elevadas, supostamente porque a seleção natural mostra-se mais tolerante a variações neles. Um exemplo: os genes que codificam as proteínas conhecidas por fibrinopeptídios mudam ao longo da evolução a uma taxa próxima da taxa básica de mutação. Isso provavelmente significa que os erros nos detalhes dessas proteínas (produzidas durante a coagulação do sangue) não fazem grande diferença para o organismo. Os genes da hemoglobina têm uma taxa de mudança a meio caminho entre histonas e fibrinopeptídios.

Pode-se supor que a tolerância da seleção natural aos seus erros seja intermediária. A hemoglobina desempenha função importante no sangue, e seus detalhes são importantes; mas parece haver diversas variantes alternativas capazes de executar a tarefa a contento.

Temos aqui algo que parece paradoxal, se não refletirmos mais profundamente. As moléculas de evolução mais lenta, como as histonas, são afinal as que mais vezes foram expostas à seleção natural. Fibrinopeptídios evoluem mais rapidamente porque a seleção natural os ignora quase inteiramente. Estão livres para evoluir segundo a taxa de mutação. Isso parece paradoxal devido à ênfase que damos à seleção

natural como motor da evolução. Tendemos a esperar que, na ausência de seleção natural, não haveria evolução nenhuma. E perdoavelmente poderíamos supor que, de modo inverso, uma forte "pressão seletiva" deveria levar a uma evolução rápida. Ao invés disso, observamos que a seleção natural aplica um freio à evolução. O ritmo básico de evolução, na ausência de seleção natural, chega a seus valores máximos - quando se torna idêntica à taxa de mutação.

Não há paradoxo aqui. Se refletirmos com atenção, veremos que não poderia ser de outra maneira. A evolução por meio da seleção natural não poderia ser mais rápida que o ritmo de mutação, pois a mutação é, em última análise, a única porta de entrada pela qual a variação pode se introduzir na espécie. Tudo o que a seleção natural pode fazer é aceitar certas variações novas e rejeitar outras. O ritmo de mutação fatalmente impõe um limite máximo ao ritmo de avanço da evolução. O fato é que a seleção natural serve mais para impedir a mudança evolutiva que para a impelir. Isso não significa, apressado-me a frisar, que a seleção natural seja um processo puramente destrutivo. Ela constrói também, como o capítulo 7 tentará explicar.

E o próprio ritmo de mutação é bastante lento, o que equivale a dizer que, mesmo sem a seleção natural, o desempenho do código de DNA na preservação precisa de seu arquivo contínuo impressionante. Em uma estimativa moderada, o DNA replica-se tão precisamente que, na ausência de seleção natural, seriam necessários 5 milhões de gerações replicantes para que se alterasse um por cento dos caracteres. Nossas datilógrafas hipotéticas ainda perderiam feio para o DNA, mesmo na ausência de seleção natural. Para se igualar a ele nessas condições, cada datilógrafa precisaria ser capaz de datilografar todo o Novo Testamento cometendo um único erro. Ou seja, teria que ser 450 vezes mais precisa do que uma secretária real. É claro que esse número é bem inferior à cifra de meio bilhão - o fator de superioridade do gene da histona H4 sob seleção natural-, mas ainda assim é um número impressionante.

Mas fui injusto com as datilógrafas. De fato, eu as supus incapazes de notar e corrigir seus erros. Supus a ausência completa de revisão, quando elas na verdade revisam seus documentos. Minha fileira de bilhões de datilógrafas não degeneraria a mensagem original de modo tão simples quanto mencionei. O mecanismo de cópia do DNA executa o mesmo tipo de correção automática. Se não o fizesse, não atingiria a estupenda precisão que descrevi. O procedimento de cópia do DNA inclui vários exercícios de "revisão". Isso é especialmente necessário porque as letras

do código de DNA não são estáticas como hieróglifos gravados em pedra. Ao contrário, as moléculas envolvidas são tão pequenas - lembrem-se de todos aqueles Novos Testamentos numa cabeça de alfinete - que estão constantemente à mercê das colisões ordinárias de moléculas devidas ao calor. Há um fluxo constante, um revezamento de letras na mensagem. Cerca de 5 mil letras de DNA degeneram-se por dia em cada célula humana e são imediatamente-substituídas pelos mecanismos de reparo. Se esses mecanismos não estivessem lá, trabalhando incessantemente, a mensagem estaria em processo contínuo de dissolução. A revisão de um texto recém-copiado é apenas uma variedade do trabalho normal de reparação. A revisão é a grande responsável pela notável precisão e fidelidade do DNA no armazenamento de informações.

Vimos que as moléculas de DNA são o centro de uma tecnologia de informação espetacular. São capazes de acondicionar uma quantidade imensa de informação digital precisa em um espaço muito pequeno; e são capazes de preservar essa informação com pouquíssimos erros, mas ainda assim com erros - por muito tempo, medido em milhões de anos. Aonde todos esses fatos nos conduzem? Conduzem-nos a uma verdade central sobre a vida na Terra, a verdade à qual aludi em meu parágrafo inicial sobre as sementes de salgueiro: os organismos vivos existem em prol do DNA, não o contrário. Isso ainda não parece óbvio, mas espero persuadir o leitor. As mensagens que as moléculas de DNA contem são praticamente eternas quando medidas na escala da expectativa de vida de cada indivíduo. O tempo de vida das mensagens de DNA (descontadas algumas mutações) é medido em unidades que vão de milhões a centenas de milhões de anos; em outras palavras, variando de 10 mil a 1 trilhão de períodos de vida individuais. Cada organismo individual deveria ser visto como um veículo temporário, no qual as mensagens de DNA passam uma minúscula fração de seu tempo de vida geológico.

O mundo está cheio de coisas que existem...! Este é um fato incontestável, mas nos permitirá deduzir alguma coisa? As coisas existem porque surgiram recentemente ou porque têm qualidades que evitaram sua destruição no passado. As rochas não se formam a toda hora, mas uma vez formadas são sólidas e duráveis. Caso contrário, não seriam rochas, seriam areia. De fato, algumas delas são areia, e é por isso que temos as praias! Somente as duráveis seguem existindo como rochas. As gotas de orvalho, por outro lado, não existem porque são duráveis, mas porque se formaram há pouco e ainda não tiveram tempo para evaporar. Parece portanto haver dois tipos de "direito à existência": o das gotas de

orvalho, que pode ser resumido como "probabilidade de se formar mas não de durar", e o das rochas, que pode ser resumido como "improbabilidade de se formar, mas probabilidade de durar por muito tempo uma vez formado". As rochas têm durabilidade e as gotas de orvalho têm "gerabilidade" (tentei imaginar um termo mais bonito, mas não consegui).

O DNA une o melhor dos dois mundos. As moléculas de DNA, como entidades físicas, são como as gotas de orvalho. Sob as condições adequadas, elas se formam a um ritmo muito elevado, mas nenhuma delas persiste por muito tempo, e todas estarão destruídas em alguns meses. Não são duráveis como rochas. Mas os padrões que elas encerram em suas seqüências são tão duráveis quanto as rochas mais duras. Estão equipadas para existir por milhões de anos, e é por isso que ainda estão por aqui. Sua diferença essencial em relação às gotas de orvalho é que estas últimas não são geradas por outras gotas de orvalho. Não há dúvida de que uma gota de orvalho se parece com todas as outras, mas não se parece especificamente com qualquer gota "genitora". Ao contrário das moléculas de DNA, elas não formam linhagens, e por isso não podem transmitir mensagens. As gotas de orvalho formam-se por geração espontânea; as mensagens de DNA, por replicação.

Truísmos como "o mundo está cheio de coisas equipadas para estar no mundo", são triviais, quase tolos, até que os apliquemos a um tipo especial de durabilidade: a durabilidade sob a forma de linhagens de múltiplas cópias. As mensagens de DNA têm um tipo de durabilidade diferente da que há nas rochas e um tipo de "gerabilidade" diferente da encontrada nas gotas de orvalho. As moléculas de DNA são "equipadas para estar no mundo" em um sentido nada óbvio ou tautológico, porque isso inclui a capacidade de construir máquinas como nós, seres humanos, as coisas mais complexas do universo conhecido. Vejamos como isso se dá.

A razão fundamental é que as propriedades do DNA que identificamos vêm a ser os ingredientes básicos de qualquer processo de seleção cumulativa. Em nossos modelos computadorizados do capítulo 3, embutimos deliberadamente no computador os ingredientes básicos da seleção cumulativa. Para que de fato ocorra a seleção cumulativa, é preciso que surjam algumas entidades cujas propriedades constituem os ingredientes básicos. Vejamos agora quais são esses ingredientes. Ao fazê-lo, tenhamos em mente que esses mesmos ingredientes, ao menos em alguma forma rudimentar, devem ter surgido espontaneamente na Terra em seus primórdios, caso contrário a seleção cumulativa, e portanto a vida, nunca teria começado. Estamos falando aqui não especificamente do DNA,

mas dos ingredientes básicos necessários para o surgimento da vida em qualquer parte do universo.

No vale dos ossos, o profeta Ezequiel profetizou aos ossos e fez com que eles se juntassem; profetizou então e fez com que carne e tendões se formassem em torno dos ossos. Mas ainda eram inanimados. Faltava-lhes o ingrediente vital, o ingrediente da vida. Um planeta morto possui átomos, moléculas e grandes porções de matéria, colidindo umas contra as outras, aninhando-se umas nas outras aleatoriamente, segundo as leis da física. As vezes as leis da física causam a junção de átomos e moléculas como ocorreu com os ossos secos de Ezequiel; às vezes, causam sua separação. Podem formar-se aglomerações muito grandes de átomos, que também podem tornar a desmembrar-se. Mas ainda assim não há vida neles.

Ezequiel convocou os quatro ventos para insuflar o sopro da vida nos ossos secos. Qual é o ingrediente vital que um planeta sem vida como a Terra em seus primórdios precisa possuir para que lhe seja dada a chance de abrigar a vida, como ocorreu com o nosso planeta? Não é um sopro, nem o vento, nem algum tipo de elixir ou poção. Não é substância nenhuma, e sim uma propriedade, a propriedade da auto-replicação. Esse é o ingrediente básico da seleção cumulativa. De algum modo, em consequência das leis usuais da física, devem surgir entidades que copiam a si mesmas, ou replicadores, como as chamarei. Em nossos tempos esse papel é desempenhado, quase inteiramente, pelas moléculas de DNA; mas qualquer coisa que produzisse cópias serviria. Podemos supor que os primeiros replicadores na Terra primitiva não foram moléculas de DNA. Não é provável que uma molécula de DNA plenamente desenvolvida surgisse sem a ajuda de outras moléculas que normalmente existem apenas em células vivas. Os primeiros replicadores provavelmente foram mais toscos e simples do que o DNA.

Há dois outros ingredientes necessários que em geral surgem automaticamente do primeiro ingrediente, a própria auto-replicação. Deve haver erros ocasionais no processo de autocopiagem; mesmo o sistema do DNA muito ocasionalmente comete erros, e parece provável que os primeiros replicadores na Terra tenham sido muito mais sujeitos a erro. E pelo menos alguns dos replicadores deveriam exercer poder sobre seu próprio futuro. Este último ingrediente parece mais sinistro do que realmente é; significa apenas que algumas propriedades dos replicadores deveriam ter uma influência sobre sua probabilidade de serem replicados. Pelo menos em

uma forma rudimentar, é provável que isso seja uma consequência inevitável dos fatos básicos da própria replicação.

Assim, cada replicador faz cópias de si mesmo. Cada cópia é igual ao original e possui as mesmas propriedades. Entre essas propriedades obviamente está a de produzir mais cópias de si mesmo (às vezes com erros). Portanto, cada replicador é potencialmente o "ancestral" de uma linha indefinidamente longa de replicadores seus descendentes, prolongando-se pelo futuro distante e se ramificando para produzir, potencialmente, um número imenso de replicadores descendentes. Cada nova cópia tem de ser feita de matérias-primas, tijolos menores que estejam vagueando ali por perto. Podemos presumir que os replicadores atuam como algum tipo de molde ou gabarito. Os componentes menores caem juntos no molde de maneira a produzir uma duplicata desse molde. Em seguida a duplicata desprende-se e pode ela própria atuar como molde. Temos então uma população potencialmente crescente de replicadores. Essa população não crescerá indefinidamente, porque em algum momento haverá limitação do suprimento de matérias-primas, os elementos menores que caem nos moldes.

Agora introduzimos nosso segundo ingrediente no argumento. Às vezes a cópia não é feita com perfeição. Ocorrem erros. A possibilidade de haver erro nunca pode ser totalmente eliminada de um processo de copiagem, embora sua probabilidade possa ser reduzida a níveis baixos. É isso que os fabricantes de equipamento de alta-fidelidade procuram fazer; o processo de replicação do DNA, como vimos, é excelente para reduzir erros. Mas a replicação do DNA moderno é um processo de alta tecnologia, com elaboradas técnicas de revisão que foram aperfeiçoadas ao longo de numerosas gerações de seleção cumulativa. Como vimos, é provável que os primeiros replicadores tenham sido mecanismos relativamente toscos e de baixa-fidelidade.

Voltemos à nossa população de replicadores, e vejamos qual será o efeito dos erros de cópia. Obviamente, em vez de haver uma população uniforme de replicadores idênticos, teremos uma população mista. Provavelmente muitos dos produtos dos erros de cópia terão perdido a propriedade de auto-replicação que seu "genitor" tinha. Mas alguns poucos terão conservado a propriedade da auto-replicação, porém diferindo do genitor em algum outro aspecto. Assim, teremos cópias de erros sendo duplicadas na população.

Diante da palavra "erro", devemos banir da mente todas as associações pejorativas. Aqui o termo significa simplesmente um erro do

ponto de vista da alta-fidelidade da cópia. É possível que de um erro resulte uma melhora. Ouso dizer que muitos pratos deliciosos foram criados quando um cozinheiro cometeu um erro ao tentar seguir uma receita. Algumas idéias científicas originais cuja autoria posso reivindicar decorreram de eu não ter entendido ou ter interpretado equivocadamente idéias de outras pessoas. Voltando aos nossos replicadores primitivos, enquanto a maioria dos erros de cópia provavelmente resultaram na diminuição da eficácia do processo de cópia ou na perda total da propriedade de copiar a si mesmo, alguns podem ter se tornado melhores na capacidade de auto-replicação do que o replicador original. O que significa "melhor"? Em última análise, significa eficiente na auto-replicação. Mas, na prática, o que significa? Isto nos leva ao terceiro "ingrediente". Eu o chamei de "poder", e logo verá por quê. Quando discutimos a replicação como um processo de moldagem, vimos que o último passo do processo tem de ser o da cópia desprendendo-se do velho molde. O tempo que isso leva pode ser influenciado por uma propriedade que denominarei "aderência" do velho molde. Suponhamos que em nossa população de replicadores, que varia devido a velhos erros de cópia ocorridos em seus "ancestrais", algumas variedades sejam mais aderentes do que outras. Uma variedade muito aderente "gruda" em cada nova cópia por um tempo médio superior a uma hora antes que a cópia se desprenda e o processo recomece. Uma variedade menos aderente solta cada nova cópia em uma fração de segundo depois de formá-la. Qual dessas duas variedades acabará predominando na população de replicadores? A resposta é óbvia. Se essa for a única propriedade na qual as duas variedades diferem, a mais aderente há de tornar-se bem menos numerosa na população. A não-aderente está produzindo cópias de não-aderentes a um ritmo milhares de vezes maior do que o da produção de cópias aderentes pela outra variedade. Variedades de aderência intermediária apresentarão taxas intermediárias de autopropagação. Haverá uma "tendência evolutiva" à redução da aderência.

Algo parecido com esse tipo elementar de seleção natural foi duplicado em tubo de ensaio. Existe um vírus chamado Q-beta que vive como parasita da bactéria intestinal *Escherichia coli*. O Q-beta não tem DNA, mas contém, ou melhor, boa parte dele consiste de, um único filamento da molécula relacionada, o RNA. O RNA é capaz de ser replicado de maneira semelhante à do DNA.

Na célula normal, as moléculas de proteína são montadas segundo as especificações contidas em plantas do RNA. São cópias de trabalho das

plantas, impressas a partir dos originais de DNA guardadas nos preciosos arquivos da célula. Mas é teoricamente possível construir uma máquina especial - uma molécula de proteína igual ao resto das máquinas celulares que imprima cópias de RNA a partir de outras cópias de RNA. Essa máquina chama-se molécula de RNA replicase. Para a própria célula bacteriana normalmente essas máquinas não têm serventia, e ela não constrói nenhuma. Mas como a replicase é apenas uma molécula de proteína como qualquer outra, as versáteis máquinas construtoras de proteína da célula bacteriana podem facilmente passar a produzi-la, como as máquinas operatrizes de uma fábrica de automóveis podem ser depressa transformadas para fabricar munições em tempo de guerra: basta dar-lhes as instruções certas numa planta. É aqui que entra o vírus.

A parte ativa do vírus é uma planta de RNA. Superficialmente essa planta é indistinguível de qualquer outra planta de trabalho de RNA que esteja flutuando por perto depois de ter sido criada com base no DNA bacteriano original. Mas, examinando com muita atenção as instruções em letras miúdas do RNA viral, encontraremos algo diabólico ali escrito: as letras formam um projeto para a produção de RNA replicase: para produzir máquinas que fazem mais cópias das mesmas plantas de RNA, que fazem mais máquinas que produzem mais cópias das plantas, que fazem mais...

Portanto, a fábrica é seqüestrada por essas plantas interesseiras. Em certo sentido, ela estava pedindo isso. Quem equipa uma fábrica com máquinas tão sofisticadas que podem produzir qualquer coisa que um projeto lhes ordena não deve surpreender-se caso, cedo ou tarde, surja uma planta com instruções para que as máquinas copiem a si mesmas. A fábrica fica abarrotada com mais e mais dessas máquinas malandras, cada uma produzindo plantas malandras com instruções para produzir mais máquinas que farão mais de si mesmas. Finalmente, a infeliz bactéria explode e libera milhões de vírus que infectarão novas bactérias. É o fim do ciclo de vida normal do vírus na natureza.

Chamei o RNA replicase e o RNA respectivamente de máquina e planta. É o que eles são, em certo sentido (a ser debatido em outro contexto num capítulo posterior); mas também são moléculas, e os químicos são capazes de purificá-las, engarrafá-las e guardá-las numa prateleira. Foi o que fizeram Sol Spiegelman e seus colegas nos Estados Unidos na década de 1960. Em seguida, puseram as duas moléculas juntas numa solução, e uma coisa fascinante aconteceu. No tubo de ensaio, as moléculas de RNA atuaram como gabaritos para a síntese das cópias de si mesmas, auxiliadas pela presença do RNA replicase. As máquinas

operatrizes e as plantas com as instruções tinham sido extraídas e guardadas separadamente em câmara frigorífica. Mas assim que tiveram acesso uma à outra, e também às pequeninas moléculas de que precisavam como matérias-primas, na água, ambas retomaram seus velhos truques, mesmo não estando mais em uma célula viva e sim num tubo de ensaio.

Daí para a seleção natural e a evolução no laboratório é apenas um pequeno passo. Essa é simplesmente uma versão química dos biomorfos computadorizados. O método experimental consiste basicamente em dispor uma longa série de tubos de ensaio contendo uma solução de RNA replicase e também de matérias-primas, pequenas moléculas que podem ser usadas para a síntese de RNA. Cada tubo de ensaio contém as máquinas operatrizes e a matéria-prima, mas até então se encontra ocioso, nada fazendo porque não dispõe de uma planta contendo as diretrizes de trabalho. Agora uma quantidade minúscula de RNA é inserida no primeiro tubo de ensaio. O maquinário da replicase imediatamente começa a funcionar e fabrica muitas cópias das moléculas de RNA recém-introduzidas, que se espalham pelo tubo de ensaio. Agora uma gota da solução deste primeiro tubo de ensaio é inserida no segundo tubo. O processo repete-se no segundo tubo, e então se tira dele uma gota para inserir no terceiro tubo e assim por diante.

De vez em quando, devido a erros aleatórios de cópia, surge espontaneamente uma molécula um pouquinho diferente, um RNA mutante. Se, por alguma razão, a nova variedade for competitivamente superior à antiga, superior no sentido de que, talvez em razão de sua baixa "aderência", ela se replica mais depressa ou com mais eficácia em algum outro aspecto, a nova variedade obviamente se disseminará pelo tubo de ensaio no qual surgiu, superando numericamente o tipo do genitor que a originou. Quando, então, uma gota da solução for retirada desse tubo de ensaio e introduzida no tubo seguinte, será a nova variedade mutante que servirá de original. Se examinarmos os RNAs em uma longa sucessão de tubos de ensaio, veremos o que só pode ser chamado de mudança evolutiva. Variedades competitivamente superiores de RNA produzidas no final de várias "gerações" de tubos de ensaio podem ser engarrafadas e rotuladas para uso futuro. Uma variedade, por exemplo, chamada V2, replica-se muito mais depressa do que o RNA Q-beta normal, provavelmente por ser menor. Ao contrário do RNA Q-beta, a V2 não precisa "preocupar-se" em conter as plantas com instruções para produzir a replicase, pois esta é fornecida gratuitamente pelos experimentadores. O RNA V2 foi usado como ponto de partida para um experimento interessante realizado por Leslie Orgel e seus colegas na Califórnia, no qual foi imposto um ambiente "difícil".

Os pesquisadores adicionaram nos tubos de ensaio um veneno chamado brometo de etídio, que inibe a síntese do RNA: ele emperra as engrenagens das máquinas operatrizes. Orgel e seus colegas começaram com uma solução fraca do veneno. De início, o ritmo da síntese diminuiu devido ao veneno, mas depois de evoluir passando por cerca de nove "gerações" transferidas de tubos de ensaio, uma nova variedade de RNA resistente ao veneno havia sido selecionada. O ritmo de síntese de RNA agora estava comparável ao do RNA V2 normal na ausência do veneno. Nessa etapa, Orgel e seus colegas dobraram a concentração do veneno. Mais uma vez o ritmo da replicação do RNA diminuiu, mas depois de umas dez transferências de tubo de ensaio evoluíra uma variedade de RNA imune até mesmo à concentração mais elevada do veneno. Então dobrou-se outra vez a concentração do veneno. Desse modo, por sucessivas duplicações, os pesquisadores conseguiram fazer evoluir uma variedade de RNA capaz de se auto-replicar em altíssimas concentrações de brometo de etídio, uma concentração dez vezes maior do que aquela que inibira o RNA V2 ancestral. Essa nova variedade resistente recebeu o nome de RNA V40. A evolução do V40 a partir do V2 ocorreu em cem "gerações" de transferência de tubos de ensaio (obviamente entre cada transferência de tubos de ensaio ocorrem muitas gerações de replicação de RNA).

Orgel também realizou experimentos nos quais não eram fornecidas enzimas. Constatou que as moléculas de RNA podem replicar-se espontaneamente nessas condições, mas muito lentamente. Parecem precisar de alguma outra substância catalisadora, como o zinco. Isto é importante porque, nos primórdios da vida, quando apareceram os replicadores, provavelmente não existiam enzimas por perto para ajudá-los a se replicar. Mas provavelmente havia zinco.

O experimento complementar foi realizado nos anos 1970, no laboratório da influente escola alemã que pesquisa a origem da vida sob a orientação de Manfred Eigen. Esses pesquisadores puseram replicase e pequenas moléculas que serviriam de matéria-prima para formação de RNA no tubo de ensaio, mas não semearam a solução com RNA. Não obstante, uma grande molécula de RNA evoluiu espontaneamente no tubo de ensaio, e a mesma molécula tornou a evoluir inúmeras vezes em subseqüentes experimentos independentes! Uma verificação cuidadosa mostrou que não havia possibilidade de uma infecção imprevista por moléculas de RNA. Esse é um resultado notável, considerando a improbabilidade estatística de que a mesma grande molécula surgisse espontaneamente duas vezes. E muito mais

improvável do que a digitação espontânea de Methinks it is like a weasel. Como a frase em nosso modelo de computador, a molécula de RNA específica favorecida foi construída por evolução gradual cumulativo.

A variedade de RNA produzida repetidamente nesses experimentos era do mesmo tamanho e estrutura que as moléculas que Spiegelman produzira. Mas enquanto as de Spiegelman evoluíram por "degeneração" do RNA Q-beta viral, uma molécula maior e que ocorre naturalmente, as do grupo de Eigen se haviam construído a partir de quase nada. Essa fórmula específica é bem adaptada a um meio composto de tubos de ensaio abastecidos com replicase confeccionada. Portanto, converge-se para ela por seleção cumulativa, partindo de dois pontos muito diferentes. As moléculas de RNA Q- beta, de tamanho maior, não são tão bem adaptadas a um meio de tubo de ensaio, mas adaptam-se melhor ao meio existente nas células de E. coli.

Experimentos como esses nos ajudam a apreciar a natureza inteiramente automática e não deliberada da seleção natural. As "máquinas" de replicase não "sabem" por que produzem moléculas de RNA: são apenas um subproduto de sua forma. E as próprias moléculas de RNA não elaboram uma estratégia para que venham a ser duplicadas. Mesmo que pudessem pensar, não existe uma razão óbvia para que uma entidade fosse motivada a fazer cópias de si mesma. Se eu soubesse fazer cópias de mim mesmo, não creio que daria prioridade a tal projeto em detrimento de todas as outras coisas que desejo fazer - que motivos eu teria? Mas, para as moléculas, a motivação é irrelevante. Acontece simplesmente que a estrutura do RNA viral é tal que faz o maquinário celular produzir cópias suas. E se, em qualquer parte do universo, qualquer entidade por acaso tiver a propriedade de ser eficiente na produção de cópias de si mesma, então é evidente que mais e mais cópias dessa entidade serão produzidas automaticamente. E isso não é tudo: como elas formam linhagens automaticamente e vez por outra ocorre erro de cópia, as versões posteriores tendem a ser "melhores" na produção de cópias de si mesmas do que as versões iniciais, devido aos poderosos processos de seleção cumulativa. Tudo é absolutamente simples e automático. É tão previsível que chega a ser quase inevitável.

Uma molécula de RNA "bem-sucedida" em um tubo de ensaio deve seu êxito a alguma propriedade direta e intrínseca que possui, algo análogo à "aderência" de meu exemplo hipotético. Mas propriedades como "aderência" são muito maçantes. São propriedades elementares do próprio replicador, propriedades que têm um efeito direto sobre sua probabilidade

de ser replicado. E se o replicador tiver algum efeito sobre alguma outra coisa, que afeta uma outra, que afeta outra ainda, que... por fim, indiretamente, afeta a chance do replicador de ser replicado? Pode-se ver que, se existirem longas cadeias de causas como essas, o truísmo fundamental continuará valendo. Os replicadores que por acaso tiverem o que é preciso para serem replicados virão a predominar no mundo, independentemente de quanto seja longa e indireta a cadeia de ligações causais pelas quais eles influenciam sua probabilidade de ser replicados. E, analogamente, o mundo será preenchido com os elos dessa cadeia causal. Examinaremos esses elos e ficaremos maravilhados com eles.

Em organismos modernos eles são bem evidentes: são os olhos, pele, ossos, dedos, cérebros, instintos. Essas coisas são as ferramentas da replicação do DNA. São causadas pelo DNA no sentido de que as diferenças nos olhos, peles, ossos, instintos etc. resultam de diferenças no DNA. Exercem uma influência sobre a replicação do DNA que as causou porque afetam a sobrevivência e a reprodução de seus corpos - que contêm o mesmo DNA e cujo destino, portanto, é compartilhado pelo DNA. Assim, o próprio DNA exerce influência sobre sua replicação por meio dos atributos dos corpos. Podemos dizer que o DNA exerce poder sobre seu próprio futuro, e que os corpos, com seus órgãos e padrões de comportamento, são os instrumentos desse poder.

Quando falamos em poder, estamos nos referindo às conseqüências que afetam o futuro dos replicadores, por mais indiretas que essas conseqüências possam ser. Não importa quantos elos há na cadeia da causa até o efeito. Se a causa é uma entidade auto-replicadora, o efeito, ainda que muito distante e indireto, pode estar sujeito à seleção natural. Resumirei a idéia geral contando uma história específica sobre castores. Nos detalhes ela é hipotética, mas com certeza não pode estar longe da verdade. Embora ninguém tenha pesquisado o desenvolvimento das conexões cerebrais do castor, já o fizeram para outros animais, como os vermes. Tomarei de empréstimo as conclusões e as aplicarei aos castores, pois para muita gente eles são mais interessantes e simpáticos do que os vermes.

Um gene mutante em um castor é apenas uma mudança em uma letra do texto de 1 bilhão de letras, uma mudança em um gene específico, que chamaremos de G. Conforme o castor cresce, essa mudança é copiada, juntamente com todas as outras letras do texto, para todas as células do castor. Na maioria das células, o gene G não é lido; são lidos outros genes, importantes para o funcionamento dos outros tipos de células. Mas

G é lido em algumas células do cérebro em desenvolvimento. É lido e transcrito para cópias de RNA. As cópias de trabalho do RNA perambulam pelo interior das células e algumas delas acabam por trombar com máquinas produtoras de proteínas chamadas ribossomos. As máquinas produtoras de proteínas lêem as plantas de trabalho do RNA e produzem novas moléculas de proteína segundo as especificações dessas plantas. Essas moléculas de proteína enovelam-se segundo uma forma específica determinada por sua própria seqüência de aminoácidos, que por sua vez é governada pela seqüência codificadora do DNA do gene G. Quando G sofre mutação, a mudança faz uma diferença crucial para a seqüência de aminoácidos normalmente especificada pelo gene G, e portanto para a forma enovelada da molécula de proteína.

Essas moléculas de proteína ligeiramente alteradas são produzidas em massa pelas máquinas fabricantes de proteína no interior das células cerebrais em desenvolvimento. Por sua vez, agem como enzimas, máquinas que fabricam outros compostos nas células, os produtos dos genes. Os produtos do gene G conseguem penetrar na membrana que reveste a célula e são envolvidos nos processos pelos quais a célula faz conexões com outras células. Devido à pequena alteração nas instruções contidas nas plantas do DNA original, a taxa de produção de certos compostos dessa membrana sofre alteração. Isto, por sua vez, muda o modo como certas células cerebrais em desenvolvimento se conectam umas às outras. Ocorreu uma leve alteração no diagrama de conexões de uma parte específica do cérebro do castor: a conseqüência indireta, de fato bem distante, de uma mudança no texto do DNA.

Acontece que essa parte específica do cérebro do castor, devido à sua posição no diagrama de conexões totais, está relacionada ao modo como o animal se comporta ao construir seus diques. Obviamente, grandes partes do cérebro são usadas sempre que o castor constrói um dique; mas, quando a mutação de G afeta essa parte específica do diagrama de conexões cerebrais, a mudança produz um efeito específico sobre o comportamento: faz com que o castor mantenha a cabeça mais elevada na água enquanto nada levando um galho de árvore na boca (isto é, mais elevada do que a de um castor sem a mutação). Isto diminui um pouco a probabilidade de que a lama grudada no galho seja levada pela água no caminho. Com isso, aumenta a aderência do galho, o que por sua vez significa que, quando o castor jogar o galho no dique, ele terá maior probabilidade de permanecer ali. Isto tenderá a aplicar-se a todos os galhos colocados por qualquer castor que contenha essa mutação específica. A maior aderência dos galhos é uma

conseqüência - novamente, uma conseqüência muito indireta - de uma alteração no texto do DNA. A maior aderência dos galhos produz um dique com estrutura mais sólida, menos sujeita a rompimentos. Isto, por sua vez, aumenta o tamanho do lago criado pelo dique, tornando a habitação no centro do dique mais segura contra predadores. Isto tende a aumentar o número de filhotes criados com êxito pelo castor. Observando toda a população de castores, vemos que aqueles cujo gene sofreu mutação tenderão, em média, a criar com sucesso mais filhotes do que os que não possuem o gene com mutação. Essa prole tenderá a herdar dos genitores as cópias de arquivo do mesmo gene alterado. Portanto, na população, essa forma de gene se tornará mais numerosa com o passar das gerações. Por fim, se tornará a norma, não mais merecendo o título de "mutante". Os diques de castores em geral terão ganho mais um grau de aprimoramento. O fato de esta história específica ser hipotética e de os detalhes poderem estar errados é irrelevante. O dique dos castores evoluiu por seleção natural; portanto, o que aconteceu não pode ser muito diferente da história que contei, exceto em pormenores práticos. As implicações gerais dessa visão da vida são explicadas e elaboradas em meu livro *The Extended Phenotype*, por isso não repetirei os argumentos aqui. Note-se que nesta história hipotética não havia menos de onze elos na cadeia causal ligando o gene alterado à melhora na chance de sobrevivência. Na vida real, pode haver até mais. Cada um desses elos, seja ele um efeito sobre a química celular, um efeito posterior sobre o modo como as células cerebrais se conectam, um efeito ainda mais distante sobre o comportamento ou um efeito final sobre o tamanho do lago, é corretamente considerado como tendo sido causado por uma mudança no DNA. Não importaria se houvesse 111 elos. Qualquer efeito que uma mudança em um gene produz sobre a probabilidade de replicação desse gene é um alvo da seleção natural. É tudo muito simples, fascinantemente automático e impremeditado. É praticamente inevitável ocorrer algo assim uma vez que os ingredientes fundamentais da seleção cumulativa - replicação, erro e poder - tenham passado a existir. Mas como isso aconteceu? Como esses ingredientes fundamentais surgiram na Terra antes de existir a vida? Veremos no próximo capítulo como se poderia responder a essa difícil questão.

6. Origens e milagres

Acaso, sorte, coincidência, milagre. Um dos principais tópicos desse capítulo são os milagres e o que queremos dizer com esse termo. Minha tese será que os eventos que comumente denominamos milagres não são sobrenaturais, e sim parte de um espectro de eventos naturais mais ou menos improváveis. Em outras palavras: um milagre, se chegar a ocorrer, será um colossal golpe de sorte. Os eventos não se classificam claramente como eventos naturais versus milagres.

Existem alguns eventos possíveis que são demasiado improváveis para serem levados em consideração, mas não temos como saber disso antes de fazer um cálculo. E, para fazer esse cálculo, temos de saber quanto tempo esteve disponível e, de um modo mais geral, quantas oportunidades estiveram disponíveis para que ocorresse o evento. Dado um tempo infinito, ou oportunidades infinitas, qualquer coisa é possível. Os números imensos proverbialmente fornecidos pela astronomia e os intervalos de tempo imensos característicos da geologia combinam-se para nos desnortear em nossas estimativas corriqueiras sobre o que é esperado e o que é milagroso. Elaborarei esse argumento usando um exemplo específico, que é o outro tema principal deste capítulo: o exemplo do problema de como a vida se originou na Terra. Para tornar bem clara a explicação, eu me concentrarei arbitrariamente em uma teoria específica da origem da vida, embora qualquer uma das teorias atuais servisse ao propósito.

Podemos aceitar um certo grau de sorte em nossas explicações, porém não muito. A questão é: quanto? A imensidão do tempo geológico nos dá o direito de postular mais coincidências improváveis do que um tribunal de justiça admitiria; mesmo assim, há limites. A seleção cumulativa é a chave para todas as nossas explicações atuais sobre a vida. Ela encadeia uma série de eventos fortuitos aceitáveis (mutações aleatórias) em uma seqüência não aleatória de modo que, no fim da seqüência, o produto acabado dá uma ilusão de encerrar sorte demais, de ser demasiado improvável para ter surgido meramente por acaso, mesmo considerando um intervalo de tempo milhões de vezes mais longo do que a idade do universo até hoje. A seleção cumulativa é a chave, mas foi necessário que ela começasse, e não podemos fugir à necessidade de postular um evento casual de um único passo na origem da própria seleção cumulativa.

E esse vital primeiro passo foi algo difícil, pois, em seu cerne, existe um aparente paradoxo. Os processos de replicação que conhecemos parecem requerer um maquinário complicado para funcionar. Na presença de uma "maquina operatriz" de replicase, fragmentos de RNA evoluirão, de maneira repetida e convergente, em direção a um mesmo ponto final, cuja "probabilidade" parece infimamente pequena até que refletimos sobre o poder da seleção cumulativa. Mas precisamos ajudar essa seleção cumulativa a começar. Isso não ocorre a menos que forneçamos um catalisador, como a "máquina operatriz" de replicase mencionada no capítulo anterior. E, ao que parece, não é provável que esse catalisador surja espontaneamente, exceto sob a direção de outras moléculas de RNA. As moléculas de DNA replicam-se no complexo maquinário da célula, e palavras escritas replicam-se em máquinas Xerox, mas nenhuma delas parece capaz de replicação espontânea na ausência da máquina básica. Uma máquina Xerox é capaz de copiar seu próprio projeto de montagem, mas não consegue surgir no mundo espontaneamente. Os biomorfos replicam-se prontamente no meio proporcionado por um programa de computador apropriado, mas não podem escrever seu próprio programa nem construir um computador para rodá-lo. A teoria do relojoeiro cego é extremamente poderosa desde que sejamos autorizados a supor a ocorrência da replicação e, portanto, da seleção cumulativa. Mas se a replicação requer um maquinário complexo, já que o único modo que conhecemos para que um maquinário complexo venha a surgir é a seleção cumulativa, temos um problema.

Certamente o maquinário celular moderno, a aparelhagem da replicação de DNA e síntese de proteínas, tem todas as características de uma máquina altamente evoluída e especialmente projetada. Vimos como ela é impressionante como um dispositivo preciso de armazenamento de dados. No seu próprio nível de ultraminiaturização, possui o mesmo grau de elaboração e complexidade de design que em uma escala maior encontramos no olho humano. Quem já refletiu sobre o assunto concorda que um mecanismo tão complexo quanto o olho humano não poderia surgir por meio da seleção de um só passo. Infelizmente, o mesmo parece valer pelo menos para partes da aparelhagem do maquinário celular pelo qual o DNA se replica, e isto se aplica não só às células de criaturas avançadas como os humanos e as amebas, mas também a criaturas relativamente mais primitivas como as bactérias e as algas azuis.

Portanto, a seleção cumulativa pode fabricar complexidade, e a seleção de um só passo, não. Mas a seleção cumulativa não pode funcionar a menos que haja alguma máquina de replicação e um poder replicador

mínimos, e a única máquina de replicação que conhecemos parece ser complexa demais para ter surgido por meio de algo menor do que muitas gerações de seleção cumulativa! Há quem veja isto como uma falha fundamental e, toda a teoria do relojoeiro cego. Julgam que essa é a prova definitiva de que tem de ter havido originalmente um designer, não um relojoeiro cego, mas um relojoeiro sobrenatural presciente. Talvez, argumenta-se, o Criador não controle a sucessão cotidiana dos eventos evolutivos; talvez ele não tenha moldado os tigres e os carneiros, talvez não tenha feito uma árvore, mas ele realmente instalou o maquinário original da replicação e o poder de replicação, o maquinário original de DNA e proteínas que possibilitou a seleção cumulativa e, portanto, toda a evolução.

Este é um argumento claramente fraco; de fato, ele próprio se refuta. A complexidade organizada é o que está sendo difícil explicar. Assim que somos autorizados simplesmente a postular a complexidade organizada, mesmo que apenas a complexidade organizada da máquina replicadora de DNA/proteína, é relativamente fácil invocá-la como geradora de mais complexidade organizada. Esse, de fato, é o tema deste livro. Mas é claro que qualquer Deus capaz de elaborar inteligentemente algo tão complexo quanto a máquina replicadora de DNA/proteína deve ter sido no mínimo tão complexo e organizado quanto a própria máquina. Muito mais ainda se o supusermos adicionalmente capaz de funções tão avançadas quanto ouvir preces e perdoar pecados. Explicar a origem da máquina de DNA/proteína invocando um Designer sobrenatural é não explicar absolutamente nada, visto que a origem do Designer fica inexplicada. É preciso dizer algo como "Deus sempre existiu" e, se nos permitirmos esse tipo de saída preguiçosa, também podemos muito bem afirmar que "o DNA sempre existiu" ou "a vida sempre existiu", e acabou-se o problema.

Quanto mais pudermos deixar de invocar milagres, grandes improbabilidades, coincidências fantásticas, grandes eventos fortuitos, e quanto mais minuciosamente pudermos desmembrar grandes eventos fortuitos em uma série cumulativa de pequenos eventos fortuitos, mais satisfatórias nossas explicações hão de ser para as mentes racionais. Mas neste capítulo estamos indagando quanto nos é permitido postular de improbabilidade e milagre para um único evento. Qual é o maior evento único de pura coincidência, de pura e autêntica sorte milagrosa, que nos é permitido supor em nossas teorias e ainda assim afirmar que temos uma explicação satisfatória para a vida? Para que um macaco escreva "Methinks it is like a weasel" por acaso, a quantidade de sorte necessária é bem

grande, mas ainda mensurável. Calculamos que a probabilidade é de uma em 10 milhares de milhões de milhões de milhões de milhões de milhões de milhões (10 40^{*}). Ninguém pode realmente compreender nem imaginar um número assim tão grande, e simplesmente pensamos nesse grau de improbabilidade como sendo sinônimo de impossível. Mas embora não possamos compreender esses níveis de improbabilidade em nossa mente, não devemos nos apavorar com eles. O número 10 40³ pode ser enorme, mas ainda assim somos capazes de escrevê-lo e de usá-lo em cálculos. Afinal de contas, existem números ainda maiores: 10 46⁴, por exemplo, não é só maior; é preciso somar 10 40^{*} vários milhões de vezes para se obter 10 46^{**}. E se pudéssemos de algum modo reunir um grupo de 10 46^{**} macacos, cada qual com uma máquina de escrever? Surpresa: um deles tranqüilamente datilografaria "Methinks it is like a weasel" - outro quase com certeza escreveria "Penso, logo existo". O problema, obviamente, é que não poderíamos reunir tantos macacos. Se toda a matéria do universo se transformasse em carne de macaco, ainda assim não obteríamos um número suficiente deles. O milagre de um macaco datilografar "Methinks it is like a weasel" é quantitativamente grande demais, mensuravelmente grande demais, para que o admitamos em nossas teorias sobre o que de fato acontece. Mas não poderíamos saber disso antes de parar e efetuar o cálculo.

Existem, portanto, alguns níveis de pura sorte, grandes demais não só para a insignificante imaginação humana, mas também para serem admitidos em nossos cálculos frios e práticos sobre a origem da vida. Mas, repetindo a questão, que nível de sorte, que grau de milagre nos é permitido postular? Não fuçamos à questão só porque estamos na esfera dos números imensos. Essa é uma questão perfeitamente válida, e podemos pelo menos tomar nota do que precisaríamos saber para calcular a resposta.

Agora, eis uma idéia fascinante: a resposta para nossa pergunta - quanta sorte nos é permitido postular - depende de o nosso planeta ser o único com vida ou de a vida ser abundante por todo o universo. A única coisa que sabemos com certeza é que a vida surgiu uma vez, aqui neste planeta. Mas não temos a mínima idéia quanto à existência de vida em outras partes do universo. É totalmente possível que não haja. Já houve quem calculasse que tem de haver vida em outras partes, argumentando como a seguir (só indicarei a falácia mais adiante). Existem

³10 40 = 10 na 40^a potência

⁴10 46 = 10 na 46^a potência

provavelmente no mínimo 10^{20^5} planetas (ou seja, 100 bilhões de bilhões) mais ou menos apropriados no universo. Sabemos que a vida surgiu na Terra, portanto ela não pode ser assim tão improvável. Assim, é quase inescapável que pelo menos entre alguns desses bilhões de bilhões de outros planetas exista vida.

A falha nesse argumento está em inferir que, como a vida surgiu aqui, ela não pode ser tão terrivelmente improvável. Nota-se que essa inferência contém a suposição implícita de que qualquer coisa que aconteceu na Terra provavelmente ocorreu em outras partes do universo, só que essa suposição não pode ser feita. Em outras palavras, esse tipo de argumento estatístico, de que tem de haver vida em outras partes do universo porque existe vida aqui, está usando como pressuposto justamente aquilo que precisa ser provado. Isto não significa que a conclusão de que existe vida por todo o universo é necessariamente errada (meu palpite é que ela provavelmente está certa); significa, apenas, que esse argumento específico que levou a essa conclusão não é argumento, apenas suposição.

Para conduzir nossa discussão, adotemos por ora a suposição alternativa de que a vida surgiu apenas uma única vez, aqui na Terra. É tentador objetar a esta suposição por motivos emocionais: essa idéia não soa terrivelmente medieval? Não lembra a época em que a Igreja ensinava que nossa Terra era o centro do universo e que as estrelas eram apenas pontinhos de luz colocados no céu para nosso deleite (ou, numa presunção ainda mais absurda, que as estrelas se dão o trabalho de exercer influências astrológicas sobre nossas humildes vidas)? Que grandessíssima pretensão supor que, de todos os bilhões de bilhões de planetas no universo, este nosso mundinho nos confins de nosso Sistema Solar no fim de mundo que é a nossa galáxia foi exclusivamente escolhido para abrigar a vida! Por que cargas-d'água deveria ter sido o nosso planeta?

Infelizmente - pois acho esplêndido termos escapado da tacanhice da Igreja medieval e desprezo os astrólogos modernos - a retórica do parágrafo anterior sobre a Terra ser apenas um rincão sem importância no universo é apenas retórica vazia. É totalmente possível que este nosso remoto planeta seja mesmo o único a abrigar a vida. Acontece que, se houvesse apenas um planeta que alguma vez abrigasse a vida, teria de ser o nosso, pela boa razão de que nós estamos aqui discutindo a questão! Se a origem da vida for um evento tão improvável que ocorreu em apenas um único planeta no universo, então a Terra tem de

⁵ $10^{20} = 10$ na 20^{a} potência

ser esse planeta. Portanto, não podemos usar o fato de a Terra abrigar vida para concluir que é provável a vida ter surgido em outro planeta. Seria um argumento circular. Precisamos de argumentos independentes sobre quanto é fácil ou difícil a vida originar-se em um planeta antes mesmo de começarmos a responder à questão de quantos outros planetas do universo têm vida.

Mas esta não é nossa questão inicial. Nossa pergunta era: quanta sorte podemos supor em uma teoria da origem da vida na Terra? Afirmei que a resposta depende de a vida ter surgido uma única vez ou muitas vezes. Começemos dando um nome à probabilidade, por menor que seja, de a vida originar-se em um planeta aleatoriamente designado de algum tipo específico. Chamemos esse número de probabilidade de geração espontânea, ou PGE. É a PGE que obteremos se consultarmos nossos manuais de química ou se lançarmos centelhas através de misturas plausíveis de gases atmosféricos em nosso laboratório e calcularmos as probabilidades de moléculas replicadoras surgirem espontaneamente em uma atmosfera planetária típica. Suponhamos que nosso melhor palpite para a PGE é algum número muito, mas muito pequeno - digamos, uma em 1 bilhão. Obviamente, é uma probabilidade tão pequena que não temos a mínima esperança de duplicar um evento tão fantásticamente fortuito e milagroso como a origem da vida em nossos experimentos de laboratório. Mas se supusermos, como é nosso direito para fins de argumentação, que a vida se originou apenas uma vez no universo, então nos é permitido postular uma grande sorte em uma teoria porque existem numerosos planetas no universo onde a vida também poderia ter se originado. Se, como afirma uma estimativa, existem 100 bilhões de bilhões de planetas, isto é 100 bilhões de vezes maior do que até a baixíssima PGE que postulamos. Para concluir este argumento, a máxima quantidade de sorte que nos é permitido supor antes de rejeitar uma teoria específica da origem da vida tem a probabilidade de uma em N, sendo N o número de planetas apropriados no universo. No termo "apropriado" há muita coisa escondida, mas estabeleçamos um limite máximo de uma em 100 bilhões de bilhões para a máxima quantidade de sorte que este argumento nos permite supor.

Pensemos no que isso significa. Procuremos um químico e peçamos a ele: pegue seus livros e sua máquina de calcular, aponte o lápis e afie o raciocínio, encha sua cabeça com fórmulas e seus frascos com metano, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono e todos os outros gases que se pode esperar que existam em um planeta sem vida primitivo; cozinhe tudo junto, passe raios por suas atmosferas simuladas e centelhas de

inspiração pelo seu cérebro, faça valer todos os engenhosos métodos da química e nos forneça sua melhor estimativa como químico para a probabilidade de que um planeta típico venha a gerar espontaneamente uma molécula auto-replicadora. Ou, em outras palavras: quanto teremos de esperar antes que eventos químicos aleatórios no planeta, a colisão térmica aleatória de átomos e moléculas, venha a resultar em uma molécula auto-replicadora?

Os químicos não sabem responder a essa pergunta. A maioria dos químicos modernos provavelmente diria que teríamos de esperar muito tempo pelos padrões da duração da vida humana, mas talvez não tanto pelos padrões do tempo cosmológico. A história fóssil da Terra indica que temos cerca de 1 bilhão de anos - "um éon", na conveniente definição moderna - para usar em nossas suposições, pois esse é aproximadamente o tempo que decorreu entre a origem da Terra há cerca de 4,5 bilhões de anos e a era dos primeiros organismos fósseis. Mas o importante em nosso argumento do "número de planetas" é que, mesmo se o químico dissesse que teríamos de esperar por um "milagre", esperar por 1 bilhão de bilhões de anos - muito mais tempo do que a existência do universo-, ainda assim poderíamos aceitar esse veredicto com serenidade. Provavelmente existem mais de 1 bilhão de bilhões de planetas disponíveis no universo. Se cada um deles durar tanto quanto a Terra, isso nos dá mais ou menos 1 bilhão de bilhões de bilhões de anos-planeta para usar na nossa suposição. É perfeitamente suficiente! Um milagre traduzido em políticas práticas por uma operação de multiplicação.

Existe nesse argumento uma suposição oculta. Bem, na verdade, existem várias, mas quero discorrer sobre uma delas especificamente. É a suposição de que, uma vez tendo-se originado a vida (isto é, replicadores e seleção cumulativa), ela sempre avança até o ponto em que criaturas desenvolvem pela evolução uma inteligência suficiente para especular sobre suas origens. Se isto não ocorre, nossa estimativa sobre a quantidade de sorte que nos é permitido postular tem de ser reduzida correspondentemente. Para ser mais preciso, a máxima probabilidade contra o surgimento de vida em qualquer planeta que nos é permitido postular em nossas teorias é o número de planetas disponíveis no universo dividido pela probabilidade de que a vida, uma vez iniciada, venha a desenvolver pela evolução uma inteligência suficiente para especular sobre suas próprias origens.

Pode parecer estranho que "inteligência suficiente para especular sobre suas próprias origens" seja uma variável relevante. Para entender por quê, consideremos uma suposição alternativa. Suponhamos que a origem da vida seja um evento muito provável, mas que a subsequente evolução da inteligência seja extremamente improvável, requerendo um colossal golpe de sorte. Suponhamos que a origem da inteligência seja tão improvável que aconteceu em apenas um planeta no universo, muito embora a vida tenha começado em muitos planetas. Sendo assim, como sabemos que somos inteligentes o bastante para discutir esta questão, sabemos que a Terra tem de ser esse planeta. Suponhamos agora que a origem da vida e a origem da inteligência, dado que a vida existe aqui, são, ambas, eventos altamente improváveis. Neste caso, a probabilidade de algum planeta, como a Terra, ser agraciado com esses dois golpes de sorte é o produto de duas probabilidades pequenas: uma probabilidade muito menor ainda.

Tudo indica, em nossa teoria de como viemos a existir, que nos é permitido postular uma certa razão de sorte. Essa razão tem, por limite máximo, o número de planetas qualificados no universo. Dada nossa razão de sorte, podemos então "gastá-la" como um bem de consumo limitado no decorrer de nossa explicação sobre nossa existência. Se logo de saída gastarmos quase toda a nossa razão de sorte em nossa teoria de como a vida começa em um planeta, ficamos com pouquíssima sorte sobrando para postular em partes subsequentes de nossa teoria digamos, na evolução cumulativa dos cérebros e da inteligência. Se não gastarmos toda a nossa razão de sorte em nossa teoria da origem da vida, sobrarão um pouco para gastarmos em nossas teorias sobre a evolução subsequente, depois que a seleção cumulativa estiver atuando. Se quisermos gastar a maior parte da nossa razão de sorte em nossa teoria sobre a origem da inteligência, não nos restará muita coisa para gastar em nossa teoria da origem da vida: temos de encontrar uma teoria que torne a origem da vida quase inevitável. Alternativamente, se não precisarmos de toda a nossa razão de sorte para esses dois estágios de nossa teoria, podemos, de fato, usar o excedente para postular a existência de vida em outras partes do universo.

Meu palpite é que precisamos postular apenas uma pequena quantidade de sorte na evolução subsequente da vida e da inteligência depois de a seleção cumulativa ter começado adequadamente. A seleção cumulativa me parece suficientemente poderosa para, uma vez iniciada, ter tornado provável, se não inevitável, a evolução da inteligência. Isto significa que, se quisermos, podemos gastar praticamente toda a nossa

ração de sorte postulável em uma única jogada, a nossa teoria sobre a origem da vida em um planeta. Assim, temos à nossa disposição, se quisermos usá-las, probabilidades de uma em 100 bilhões de bilhões como limite máximo (ou seja, uma em tantos quantos forem os planetas que consideremos disponíveis) para gastar em nossa teoria da origem da vida. Essa é a máxima quantidade de sorte que nos é permitido postular em nossa teoria. Suponhamos que desejamos sugerir, por exemplo, que a vida começou quando tanto o DNA como seu maquinário replicador baseado em proteína surgiram de maneira espontânea e fortuita. Podemos nos permitir o luxo dessa teoria extravagante, contanto que a probabilidade de ocorrência dessa coincidência em um planeta não seja maior que uma em 100 bilhões de bilhões.

Essa margem pode parecer grande. Ela provavelmente é ampla para conter o surgimento espontâneo de DNA ou RNA. Mas nem de longe nos permite prescindir inteiramente da seleção cumulativa. As probabilidades contra a formação de um corpo bem estruturado que voe tão bem quanto uma andorinha, ou nade tão bem quanto um golfinho, ou veja tão bem quanto um falcão em um único golpe de sorte - seleção de um só passo - são estupendamente maiores até do que o número de átomos no universo, quanto mais do que o número de planetas! Não: sem dúvida precisaremos de uma generosa medida de seleção cumulativa em nossas explicações sobre a vida.

Mas, embora nos seja permitido, em nossa teoria da origem da vida, gastar uma ração máxima de sorte equivalente, talvez, a uma probabilidade de uma em 100 bilhões de bilhões, desconfio que não precisaremos de mais do que uma pequenina fração dessa ração. A origem da vida num planeta pode ser um evento muitíssimo improvável para nossos padrões usuais, ou até para os padrões dos laboratórios de química, mas ainda assim ser suficientemente provável para ter ocorrido não só uma, mas muitas vezes, em todo o universo. Podemos considerar o argumento estatístico sobre o número de planetas como um argumento de último recurso. No final deste capítulo apresentarei o argumento paradoxal de que a teoria que procuramos pode, na verdade, parecer improvável, até mesmo milagrosa, para nosso juízo subjetivo (devido ao modo como ele se formou). Não obstante, ainda é sensato começarmos buscando aquela teoria da origem da vida que tem o menor grau de improbabilidade. Se a teoria de que o DNA e sua máquina copiadora surgiram espontaneamente é tão improvável que nos obriga a supor que a vida é raríssima no universo e pode ser exclusiva da Terra, nosso primeiro recurso é tentar encontrar

uma teoria mais provável. Podemos, então, apresentar especulações sobre modos relativamente prováveis para o início da seleção cumulativa?

A palavra "especular" tem conotações pejorativas, mas elas são indesejadas aqui. Não podemos esperar coisa alguma além de especulação quando os eventos de que tratamos aconteceram 4 bilhões de anos atrás e, ainda por cima, em um mundo que decerto foi radicalmente diferente deste que conhecemos hoje. Por exemplo, é quase certo que não havia oxigênio livre na atmosfera. Embora a química do mundo possa ter mudado, isso não aconteceu com as leis da química (por isso são chamadas de leis), e os químicos modernos conhecem o suficiente dessas leis para fazer algumas especulações bem fundamentadas, especulações que têm de passar em testes rigorosos de plausibilidade impostos pelas leis. Não se pode simplesmente especular a esmo, de maneira irresponsável, permitindo que a imaginação corra solta como naquelas insatisfatórias panacéias da ficção espacial que apelam para "hiperimpulsos", "dobras de tempo" e "impulsos de improbabilidade infinita". De todas as especulações possíveis sobre a origem da vida, a maioria viola grosseiramente as leis da química e pode ser descartada, mesmo se usarmos sem ressalvas o nosso argumento estatístico de último recurso sobre o número de planetas. A especulação seletiva cuidadosa é, portanto, um exercício construtivo. Mas é preciso ser químico para fazê-la.

Sou biólogo, e não químico; preciso confiar no acerto dos cálculos feitos por químicos. Cada um deles tem sua teoria preferida, e elas não são poucas. Eu poderia tentar expor todas elas aqui imparcialmente. Seria o certo em um livro didático. Mas este não é um livro didático. A idéia básica de O relojoeiro cego é que não precisamos postular um designer para compreender a vida ou qualquer outra coisa no universo. Estamos preocupados aqui com o tipo de solução que tem de ser encontrado, devido ao tipo de problema que defrontamos. Acredito que a melhor explicação não será encontrada com um exame de teorias específicas, e sim analisando uma que sirva de exemplo de como o problema básico - como começou a seleção cumulativa - poderia ser resolvido.

Então, que teoria devo escolher como minha amostra representativa? A maioria dos manuais dá grande importância à família de teorias baseadas em uma "sopa primordial" orgânica. Parece provável que a atmosfera terrestre antes do advento da vida fosse como a de outros planetas que continuam sem vida. Não existia oxigênio, e havia fartura de hidrogênio e água, dióxido de carbono, muito provavelmente alguma amônia, metano e outros gases orgânicos simples. Os químicos sabem que climas sem

oxigênio como esses tendem a promover a síntese espontânea de compostos orgânicos. Montaram em frascos reconstruções em miniatura das condições da Terra primeva. Lançaram nos frascos faíscas elétricas simulando raios, e luz ultravioleta, que teria sido muito mais intensa antes que a Terra tivesse uma camada de ozônio para resguardá-la dos raios solares. Os resultados desses experimentos foram empolgantes. Moléculas orgânicas, algumas delas dos mesmos tipos gerais que normalmente são encontrados apenas em seres vivos, juntaram-se espontaneamente nesses frascos. Não apareceu DNA nem RNA, mas surgiram as matérias-primas para a construção dessas grandes moléculas, chamadas purinas e pirimidinas. Também apareceram as matérias-primas das proteínas, os aminoácidos. O elo perdido dessa classe de teorias ainda é a origem da replicação. Os tijolos não se juntaram formando uma cadeia auto-replicadora como o RNA. Talvez um dia ainda o façam.

Mas, de qualquer modo, a teoria da sopa primordial orgânica não é a que escolhi para minha ilustração do tipo de solução que devemos procurar. Eu a escolhi em meu primeiro livro, *O gene egoísta*, por isso pensei aqui em sondar as possibilidades de uma teoria menos em voga (embora recentemente ela tenha começado a ganhar terreno), que me parece ter ao menos uma chance aceitável de ser correta. Sua audácia é atraente, e ela ilustra bem as propriedades que qualquer teoria satisfatória da origem da vida deve ter. Trata-se da teoria "mineral inorgânica" do químico Graham Cairns-Smith, de Glasgow, proposta pela primeira vez nos anos 1960 e desde então desenvolvida e elaborada em três livros, o último dos quais, *Seven Clues to the Origin of Life* [Sete pistas para a origem da vida], trata a origem da vida como um mistério que requer uma solução no estilo de Sherlock Holmes.

A idéia de Cairns-Smith sobre o maquinário do DNA/proteína é que ele provavelmente surgiu em um período relativamente recente, talvez há apenas 3 bilhões de anos. Antes disso, houve muitas gerações de seleção cumulativa, baseada em algumas entidades replicadoras muito diferentes. Assim que o DNA surgiu, revelou-se tão mais eficiente como replicador e tão mais poderoso nos efeitos sobre sua própria replicação que o sistema de replicação original que o gerou foi descartado e esquecido. O maquinário moderno do DNA, segundo esta idéia, é um recém-chegado, um usurpador recente do papel de replicador fundamental, tendo tomado esse papel de um replicador anterior mais tosco. Pode até mesmo ter havido toda uma série de usurpações assim, mas o processo de

replicação original tem de ter sido suficientemente simples para ter surgido por meio do que denominei "seleção de um só passo".

Os químicos dividem sua disciplina em dois ramos principais, a química orgânica e a inorgânica. A química orgânica estuda um elemento específico, o carbono. A inorgânica ocupa-se de todo o resto. O carbono é importante e merece ter seu próprio ramo da química, em parte porque a química, da vida é inteiramente vinculada ao carbono, e em parte porque as mesmas propriedades que tornam a química do carbono apropriada à vida também a tornam apropriada a processos industriais como os das indústrias de plásticos. A propriedade essencial dos átomos de carbono que os tornam tão favoráveis à vida e à sintetização industrial é sua capacidade de unir-se e formar um repertório ilimitado de diferentes tipos de moléculas muito grandes. Outro elemento que apresenta algumas dessas mesmas propriedades é o silício. Embora a química da vida moderna radicada na Terra seja totalmente ligada ao carbono, pode não se aplicar a todas as partes do universo, e talvez não tenha sempre aplicado à Terra. Cairns-Smith supõe que a vida original em nosso planeta baseou-se em cristais inorgânicos auto-replicadores como os silicatos. Se isso for verdade, os replicadores orgânicos, culminando com o DNA, devem ter posteriormente assumido ou usurpado esse papel.

Cairns-Smith procura mostrar a plausibilidade geral dessa idéia de "usurpação". Um arco de pedra, por exemplo, é uma estrutura estável capaz de sustentar sua formação por muitos anos mesmo sem ter sido cimentado. Construir uma estrutura complexa pela evolução é como tentar construir um arco sem cimento podendo tocar em apenas uma pedra por vez. Se pensarmos nessa tarefa com ingenuidade, ela não poderá ser cumprida. O arco se sustentará assim que a última pedra estiver colocada, mas os estágios intermediários são instáveis. Mas é fácil construir o arco quando nos é permitido subtrair pedras além de adicioná-las. Começa-se construindo uma pilha sólida de pedras, depois se constrói o arco assentado no topo desse alicerce sólido. Quando o arco estiver totalmente em posição, incluindo a pedra vital em seu topo, é só remover com cuidado as pedras do alicerce e, com um pouco de sorte, o arco continuará em pé. Stonehenge é incompreensível até percebermos que seus construtores usaram algum tipo de andaime, ou talvez rampas de terra, que não estão mais lá. Só vemos o produto final, sendo preciso imaginar o andaime. Analogamente, DNA e proteína são dois pilares de um arco elegante e estável, que persiste desde que todas as suas partes existam simultaneamente. É difícil conceber que ele tenha surgido por algum processo passo a passo,

a menos que algum andaime anterior tenha desaparecido completamente. Esse próprio andaime deve ter sido construído por uma forma anterior de seleção cumulativa, cuja natureza só podemos imaginar. Mas ele deve ter sido baseado em entidades replicadoras com poder sobre seu próprio futuro.

Cairns-Smith supõe que os replicadores originais foram cristais de materiais inorgânicos, como os encontrados nas argilas e barros. Um cristal é apenas um grande conjunto ordenado de átomos ou moléculas em estado sólido. Devido a propriedades que podemos conceber como suas "formas" os átomos e as moléculas pequenas tendem naturalmente a se aglomerar de maneira fixa e ordenada. Quase como se eles "quisessem" se encaixar de um modo específico, mas essa ilusão é apenas uma consequência inadvertida de suas propriedades. Seu modo "preferido" de se encaixar configura todo o cristal. Também implica que, mesmo em um grande cristal como o diamante, qualquer de suas partes é exatamente igual a qualquer outra parte, exceto quando existem falhas. Se pudéssemos encolher até a escala atômica, veríamos fileiras quase intermináveis de átomos estendendo-se para o horizonte em linhas retas - galerias de repetição geométrica.

Como é na replicação que estamos interessados, a primeira coisa que temos de saber é: os cristais podem replicar sua estrutura? Os cristais são feitos de uma infinidade de camadas de átomos (ou equivalente), e cada camada se forma sobre a camada inferior. Os átomos (ou íons; não precisamos nos preocupar com a diferença) flutuam livremente em solução, mas se por acaso encontrarem um cristal, sua tendência natural é encaixar-se numa posição específica na superfície do cristal. Uma solução de sal comum contém íons de sódio e de cloreto colidindo uns contra os outros de modo mais ou menos caótico. Um cristal de sal comum é um conjunto compacto e ordenado de íons de sódio alternados com íons de cloreto, posicionados de modo a formar ângulos retos. Quando acontece de íons flutuando na água colidirem com a superfície dura do cristal, eles tendem a aderir. E aderem justamente nos lugares certos para produzir o acréscimo de uma nova camada ao cristal, idêntica à camada inferior. Portanto, assim que um cristal começa, ele cresce, sendo cada uma de suas camadas igual à inferior.

Às vezes, cristais começam a formar-se espontaneamente na solução. Outras vezes eles têm de ser "semeados" por partículas de poeira ou por pequenos cristais caídos de algum outro lugar. Cairns-Smith sugere que façamos o experimento descrito a seguir. Dissolve-se em água muito

quente uma grande quantidade de hipossulfito de sódio, o fixador usado em fotografia, deixa-se a solução esfriar, com cuidado para que não caia nela nenhuma partícula de pó. A solução está então "supersaturada", pronta para produzir cristais, mas sem "sementes" de cristais para desencadear o processo. Em *Seven Chies to the Origin of Life*, Cairns-Smith orienta:

Remova cuidadosamente a tampa do béquer, coloque um pedaço minúsculo de cristal de hipossulfito de sódio na superfície da solução e observe admirado o que acontece. Seu cristal cresce visivelmente; fragmenta-se de quando em quando, e os pedaços também crescem [...]. Logo o béquer estará abarrotado de cristais, alguns medindo vários centímetros. E então, depois de alguns minutos, tudo pára. A solução mágica perdeu seu poder - mas se você quiser outra apresentação, é só tornar a aquecer e resfriar o béquer [...] estar supersaturado significa que há mais ingredientes dissolvidos do que deveria haver [...] a solução supersaturada fria praticamente não sabia o que fazer. Foi preciso "ensiná-la" adicionando um pedaço de cristal que tinha de antemão suas unidades acondicionadas (bilhões e bilhões delas) do modo característico dos cristais de hipossulfito de sódio. A solução teve de ser semeada.

Algumas substâncias químicas têm o potencial de se cristalizar de dois modos alternativos. O grafite e o diamante, por exemplo, são ambos cristais de carbono puro. Seus átomos são idênticos. As duas substâncias diferem entre si apenas no padrão geométrico de acondicionamento dos átomos de carbono. Nos diamantes, os átomos de carbono aglomeram-se num padrão tetraédrico que é extremamente estável. Por isso os diamantes são tão duros. No grafite, os átomos de carbono ordenam-se em hexágonos planos formando camadas sobrepostas. A união dessas camadas é fraca, por isso elas deslizam umas sobre as outras, tornando o grafite tão escorregadio que é usado como lubrificante. Infelizmente não podemos cristalizar diamantes "semeando-os" em uma solução, como fazemos com o hipossulfito de sódio. Se pudéssemos, ficaríamos ricos - não, pensando bem, não ficaríamos, pois qualquer idiota poderia fazer o mesmo.

Suponhamos agora que temos uma solução supersaturada de alguma substância, semelhante ao hipossulfito de sódio na avidez por cristalizar-se em solução, e semelhante ao carbono na capacidade de cristalizar-se de duas maneiras. Uma dessas maneiras poderia ser mais ou

menos parecida com a do grafite, com os átomos dispostos em camadas, produzindo pequenos cristais planos, enquanto a outra maneira gera cristais em blocos grandes, com formato como o dos diamantes. Agora colocamos simultaneamente em nossa solução supersaturada um minúsculo cristal plano e um minúsculo cristal em bloco. Podemos descrever o que aconteceria elaborando a descrição do experimento de Cairns-Smith com o hipossulfito de sódio. Observamos admirados o que acontece. Nossos dois cristais crescem visivelmente: eles se partem de quando em quando, e os pedaços também crescem. Cristais planos originam uma população de cristais planos. Cristais em blocos originam uma população de cristais em blocos. Se um tipo de cristal mostrar alguma tendência a crescer e partir-se mais rapidamente do que o outro, teremos um tipo simples de seleção natural. Mas o processo ainda carece de um ingrediente crucial para gerar a mudança evolutiva. Esse ingrediente é a variação hereditária, ou algo equivalente. Em vez de apenas dois tipos de cristal, tem de haver toda uma série de variantes secundárias que formam linhagens de formas semelhantes e que às vezes "sofram" mutação produzindo novas formas. Os cristais reais têm alguma coisa que corresponda à mutação hereditária?

Argilas, barros e rochas são feitos de minúsculos cristais. Eles são abundantes na Terra, e provavelmente sempre foram. Observando a superfície de alguns tipos de argilas e outros minerais com um microscópio eletrônico de varredura, a visão é espantosa e bela. Os cristais crescem como fileiras de flores ou cactos, jardins de pétalas de rosa inorgânicas, minúsculas espirais como cortes transversais de plantas suculentas, eriçados tubos de órgãos, complexas formas angulares dobradas como uma miniatura cristalina de origami, formas sinuosas como excremento de minhoca ou pasta de dente espremida do tubo. Os padrões ordenados tornam-se ainda mais fascinantes em graus de ampliação maiores. Em graus que revelam a verdadeira posição dos átomos, vemos que a superfície do cristal apresenta a mesma regularidade de uma peça de tweed em padrão espinha de peixe. Mas - e este é o aspecto crucial - existem falhas. Bem no meio de um trecho de espinha de peixe ordenada pode haver um pedaço idêntico ao resto, exceto pelo fato de virar-se em um ângulo diferente, fazendo com que a "trama" siga outra direção. Ou a trama pode estar disposta na mesma direção, mas cada fileira "escorregou" um pouco para o lado. Quase todos os cristais que ocorrem naturalmente têm falhas. E quando uma falha aparece, tende a ser copiada à medida que camadas subseqüentes de cristal incrustam-se sobre ela.

As falhas podem ocorrer em qualquer parte da superfície do cristal. Quem (como eu) gosta de raciocinar do ponto de vista da capacidade de armazenamento de informação, pode imaginar o número enorme de diferentes padrões de falhas que poderiam ser criadas na superfície de um cristal. Todos aqueles cálculos sobre inserir o Novo Testamento no DNA de uma única bactéria poderiam ser feitos com efeitos igualmente impressionantes para quase qualquer cristal. O que o DNA tem a mais do que os cristais normais é um meio pelo qual suas informações podem ser lidas. Deixando de lado o problema da leitura de dados, poderíamos facilmente conceber um código arbitrário pelo qual as falhas na estrutura atômica do cristal indicassem números binários. Poderíamos então inserir vários Novos Testamentos em um cristal mineral do tamanho de uma cabeça de alfinete. Em escala maior, isso é essencialmente o modo como as informações musicais são armazenadas na superfície de um disco a laser. As notas musicais são convertidas, por computador, em números binários. Usa-se um laser para gravar um padrão de minúsculas falhas na superfície lisa como vidro do disco. Cada um desses pequeninos orifícios gravados corresponde a um 1 binário (ou a um 0, os rótulos são arbitrários). Quando pomos o disco para tocar, outro feixe de laser "lê" os padrões de falhas, e um computador especializado contido no aparelho de cd traduz os números binários novamente para vibrações sonoras, que são amplificadas para que possamos ouvi-las.

Embora os aparelhos de CD sejam usados hoje [i.e. 1986] principalmente para música, poderíamos acondicionar toda a Enciclopédia Britânica em um deles, e ler a obra usando a mesma técnica de laser. As falhas atômicas no cristal são muito menores do que os orifícios gravados na superfície de um disco a laser, portanto os cristais potencialmente podem acondicionar mais informações em uma determinada área. De fato, as moléculas de DNA, cuja capacidade de armazenar informações já nos impressionou, assemelham-se um pouco aos próprios cristais. Embora teoricamente os cristais de argila pudessem armazenar as mesmas quantidades prodigiosas de informação que o DNA e os discos a laser, ninguém está sugerindo que alguma vez esses cristais tenham feito isso. O papel da argila e outros cristais minerais na teoria é atuar como os replicadores originais de "baixa tecnologia", aqueles que foram por fim substituídos pelo DNA de alta tecnologia. Eles se formam espontaneamente nas águas de nosso planeta sem o "maquinário" elaborado requerido pelo DNA. E desenvolvem falhas espontaneamente, das quais algumas podem ser

replicadas em camadas subseqüentes do cristal. Se fragmentos de cristal com as falhas apropriadas se desmembrassem, poderíamos imaginá-los atuando como "sementes" para novos cristais, cada qual "herdando" o padrão de falhas de seu "genitor".

Temos, assim, um quadro especulativo dos cristais minerais da Terra primitiva mostrando algumas das propriedades de replicação, multiplicação, hereditariedade e mutação que teriam sido necessárias para dar início a alguma forma de seleção cumulativa. Está faltando ainda um ingrediente de "poder": a natureza dos replicadores tem de ter influenciado de algum modo sua própria probabilidade de serem replicados. Quando falávamos de replicadores no plano abstrato, vimos que o "poder" poderia simplesmente consistir em propriedades diretas do próprio replicador, propriedades intrínsecas como a "aderência". Nesse nível elementar, o termo "poder" não parece justificado. Eu o uso apenas em razão do que ele pode tornar-se em estágios posteriores da evolução: o poder das presas de uma serpente, por exemplo, de propagar o código do DNA correspondente às presas (por suas conseqüências indiretas sobre a sobrevivência da serpente). Independentemente de os replicadores originais de baixa tecnologia terem sido cristais minerais ou precursores orgânicos diretos do próprio DNA, podemos supor que o "poder" que exerceram foi direto e elementar, como a aderência. As alavancas avançadas do poder, como as presas de uma serpente ou a flor de uma orquídea, vieram muito depois.

O que "poder" significaria para a argila? Que propriedades acidentais da argila poderiam influenciar a probabilidade de que ela, a mesma variedade de argila, se propagasse pelo seu entorno? As argilas compõem-se de matérias-primas químicas como o ácido silícico e íons de metais que existem em solução nos rios e riachos, tendo sido dissolvidos "desintegrados" de rochas existentes rio acima. Nas condições certas, eles mais adiante tornam a cristalizar-se em solução, formando argilas. (Na verdade, neste caso o "rio" mais provavelmente é a água que emana em gotas do solo e não um rio caudaloso. Mas, para simplificar, continuarei a usar o termo geral "rio".) A possibilidade de um tipo específico de cristal formar-se depende, entre outras coisas, do ritmo e do padrão da correnteza do rio. Mas os depósitos de argila também podem influenciar a correnteza do rio. Fazem isso inadvertidamente alterando o nível, a forma e a textura do solo através do qual a água flui. Consideremos uma variante de argila que por acaso tem a propriedade de remodelar a estrutura do solo de modo a acelerar a correnteza. A conseqüência é que a

argila em questão é lavada vezes sem conta. Esse tipo de argila, por definição, não é muito "bem-sucedido". Outra argila malsucedida seria aquela que mudasse a correnteza de modo que uma variante rival fosse favorecida.

Obviamente não estamos querendo dizer que as argilas "querem" continuar existindo. Estamos sempre falando apenas de conseqüências fortuitas, eventos decorrentes de propriedades que o replicador por acaso possui. Consideremos uma outra variante de argila: ela por acaso desacelera a correnteza de modo que a futura deposição do seu próprio tipo de argila é intensificada. Está claro que esta segunda variante tenderá a se tornar comum, pois ela por acaso manipula a correnteza em "benefício" próprio. Ela será uma variante "bem-sucedida" de argila. Mas até agora estamos lidando apenas com a seleção de um só passo. Alguma forma de seleção cumulativa poderia ocorrer?

Aprofundando nossa especulação, suponhamos que uma variante de argila melhora suas chances de ser depositada represando os rios. Essa é uma conseqüência inadvertida da estrutura de defeitos específica dessa argila. Em qualquer rio onde exista esse tipo de argila formam-se grandes lagos rasos de água parada acima das barragens, e o fluxo principal de água é desviado para um novo curso. Nesses lagos parados, deposita-se mais desse mesmo tipo de argila. Uma sucessão desses lagos rasos prolifera ao longo de qualquer rio que por acaso esteja "infectado" por cristais semeados por esse tipo de argila. Como o fluxo principal do rio é desviado, durante a estação seca os lagos rasos tendem a secar. A argila, crestada ao sol, fragmenta-se, e as camadas superiores são sopradas pelo vento em forma de poeira. Cada partícula desse pó herda a estrutura de defeitos característica da argila genitora que fez o represamento, a estrutura que lhe deu suas propriedades represadoras. Por analogia com a informação genética que chove de meu salgueiro e desce pelo canal, poderíamos dizer que a poeira transporta "instruções" para o represamento de rios e, em última análise, para a produção de mais poeira. A poeira dispersa-se vastamente com o vento, e existe uma boa chance de que algumas de suas partículas venham a pousar em outro rio, até então não "infectado" com as sementes desse tipo de argila represadora. Uma vez infectado pelo tipo específico de poeira, um novo rio passa a cultivar cristais da argila represadora, recomeçando todo o ciclo de depósito, represamento, secagem e erosão.

Chamar isso de ciclo "vital" seria fazer uma pressuposição infundada; mas é um tipo de ciclo, e tem em comum com os verdadeiros ciclos vitais a capacidade de iniciar a seleção cumulativa. Já que os rios estão infectados por "sementes" da poeira trazida de outros rios, podemos classificar os rios segundo uma ordem de "ascendência" e "descendência". A argila que está barrando as águas no rio B chegou ali na forma de cristais de poeira trazidos pelo vento do rio A. Finalmente, os lagos do rio B secarão e produzirão poeira, que infectará os rios F e P. Com respeito à fonte de sua argila produtora de barragens, podemos organizar os rios em "árvores genealógicas". Cada rio infectado tem um rio pai e pode ter mais de um rio "filho". Cada rio é análogo a um corpo, cujo "desenvolvimento" é influenciado por "genes" de semente de poeira, um corpo que por fim gera novas sementes de poeira. Cada "geração" no ciclo começa quando cristais semeadores desmembram-se do rio pai em forma de poeira. A estrutura cristalina de cada partícula de pó é copiada da argila presente no rio pai. Ela transmite essa estrutura cristalina ao rio filho, onde cresce, multiplica-se e finalmente torna a enviar "sementes".

A estrutura de cristal ancestral preserva-se ao longo das gerações, a menos que ocorra algum erro ocasional no crescimento do cristal, uma alteração ocasional no padrão da disposição dos átomos. Camadas subseqüentes do mesmo cristal copiarão a mesma falha, e se o cristal se partir em dois será gerada uma subpopulação de cristais alterados. E então, se essa alteração aumentar ou diminuir a eficiência do cristal no ciclo de represamento/secagem/erosão, isso afetará o número de cópias que ele terá nas "gerações" subseqüentes. Os cristais alterados poderiam, por exemplo, ter maior tendência a fragmentar-se ("reproduzir-se"). A argila formada de cristais alterados poderia ter maior poder de represamento em qualquer uma dentre várias maneiras bem diversificadas. Poderia rachar mais depressa dado um certo grau de exposição ao sol. Poderia pulverizar-se mais rapidamente. As partículas de pó poderiam ser mais facilmente levadas pelo vento, como as sementes felpudas do salgueiro. Alguns tipos de cristal poderiam induzir um abreviamento do "ciclo vital", e com isso acelerar sua "evolução". Existem muitas oportunidades para que "gerações" sucessivas se tornem progressivamente "melhores" no processo de transmissão às gerações subseqüentes. Em outras palavras, há muitas oportunidades para que ocorra uma seleção cumulativa rudimentar.

Esses pequenos vôos da imaginação, elaborações dos de Cairns-Smith, referem-se apenas a um de vários tipos de "ciclo vital" mineral que poderia ter dado partida à seleção cumulativa em sua trajetória decisiva. Há outros. Diferentes variedades de cristais poderiam conquistar sua passagem para outros rios não se pulverizando em "sementes" de poeira, mas dissecando seus rios de modo a formar vários riachos que se dispersam pela região e acabam por juntar-se a novos sistemas fluviais, infectando-os. Algumas variedades poderiam engendrar quedas-d'água que erodissem as rochas mais rapidamente, acelerando assim a solução de matérias-primas necessárias para a produção de novas argilas rio abaixo. Algumas variedades de cristais poderiam beneficiar-se dificultando as condições para variedades "rivais" que competem por matérias-primas. Algumas variedades poderiam tornar-se "predatórias", fragmentando variedades rivais e usando seus elementos como matérias-primas. É preciso ter sempre em mente que não existe nenhuma sugestão de planejamento deliberado, seja nestes exemplos da argila, seja quando falamos da vida baseada em DNA que impera hoje. Acontece apenas que o mundo tende a encher-se automaticamente daquelas variedades de argila (ou DNA) que calharam de apresentar propriedades que lhes permitem persistir e disseminar-se.

Passemos agora ao próximo estágio da argumentação. Poderia ocorrer que algumas linhagens de cristais catalisassem a síntese de novas substâncias que auxiliassem em sua transmissão pelas "gerações". Essas substâncias secundárias não teriam tido (não de início, em todo caso) suas próprias linhagens de ascendentes e descendentes; teriam sido fabricadas a cada geração de replicadores primários. Elas poderiam ser vistas como ferramentas das linhagens de cristais replicadores, o princípio de "fenótipos" primitivos. Para Cairns-Smith, moléculas orgânicas predominaram entre as "ferramentas" não replicadoras dos replicadores cristalinos inorgânicos que ele supôs. Moléculas orgânicas são freqüentemente usadas na indústria química inorgânica comercial por seus efeitos sobre o fluxo dos fluidos e sobre a desintegração ou crescimento de partículas inorgânicas: enfim, exatamente o tipo de efeito que poderia ter influenciado o "êxito" de linhagens de cristais replicadores. Por exemplo, um mineral argiloso com o adorável nome de montmorillonita tende a desintegrar-se na presença de pequenas quantidades de uma molécula orgânica com o menos adorável nome de carboximetilcelulose. Por outro lado, quantidades menores de carboximetilcelulose produzem exatamente o efeito oposto, ou seja, ajudam

a aglutinar partículas de montmorillonita. O tanino, outro tipo de molécula orgânica, é usado na indústria petrolífera para facilitar a perfuração da lama. Se as sondas petrolíferas podem explorar moléculas orgânicas para modificar o fluxo da lama e facilitar sua perfuração, não há por que a seleção cumulativa não pudesse ter conduzido ao mesmo tipo de exploração por minerais auto-replicadores.

Neste ponto, a teoria de Cairns-Smith ganha uma espécie de bônus de plausibilidade adicional. Acontece que outros químicos, apoiando teorias mais convencionais sobre a "sopa primordial" orgânica, há muito tempo aceitaram que os minerais argilosos teriam sido uma ajuda. Segundo um deles (D. M. Anderson) "É amplamente aceito que algumas, talvez inúmeras, reações e processos químicos abióticos que conduziram à origem, na Terra, de microorganismos replicadores ocorreram nos primórdios da história do planeta, em estreita proximidade de minerais argilosos e outros substratos inorgânicos". Esse autor prossegue mencionando cinco "funções" dos minerais argilosos no favorecimento da origem da vida orgânica, por exemplo, a "concentração de reagentes químicos por adsorção". Não precisamos discriminar as cinco funções aqui, e nem mesmo entendê-las. Do nosso ponto de vista, o que importa é que cada uma dessas cinco "funções" dos minerais argilosos pode ser encarada do ângulo oposto, mostrando a estreita associação que pode existir entre a síntese química orgânica e as superfícies argilosas. Portanto, é um bônus para a teoria o fato de replicadores de argila sintetizarem moléculas orgânicas e as usarem para seus propósitos.

Cairns-Smith discorre, com mais detalhes do que eu poderia inserir aqui, usos anteriores que esses replicadores de cristal de argila poderiam ter tido para proteínas, açúcares e, o mais importante, para ácidos nucleicos como o RNA. Ele aventava a hipótese de que o RNA foi usado pela primeira vez para fins puramente estruturais, como as sondas petrolíferas usam o tanino ou como nós usamos sabão e detergentes. Moléculas semelhantes ao RNA, devido às suas cadeias de carga negativa, tenderiam a revestir o exterior de partículas de argila. Isto está nos conduzindo a áreas da química além dos nossos propósitos. O que importa, para nossos objetivos, é que o RNA, ou algo parecido com ele, existiu durante muito tempo antes, de se tornar auto-replicador. Quando por fim ele se tornou auto-replicador, isso ocorreu porque evoluiu nos "genes" de cristais minerais um dispositivo para aumentar a eficiência da fabricação do RNA (ou molécula semelhante). Mas, assim que uma nova molécula auto-replicadora passou a existir, um novo tipo de seleção cumulativa pôde

ocorrer. Os novos replicadores, que antes eram uma atração secundária no show, revelaram-se muito mais eficientes do que os cristais originais, cujo papel então assumiram. Evoluíram mais, e por fim aperfeiçoaram o código de DNA que hoje conhecemos. Os replicadores minerais originais foram descartados como um andaime velho, e toda a vida moderna evoluiu a partir de um ancestral comum relativamente recente, com um único sistema genético uniforme e uma bioquímica em grande medida também uniforme.

Em O gene egoísta especulei que podemos estar agora no limiar de um novo tipo de usurpação genética. Os replicadores de DNA construíram para si mesmos "máquinas de sobrevivência" - os corpos dos organismos vivos, inclusive o nosso. Como parte de seu equipamento, evoluiu nos corpos um computador de bordo: o cérebro. O cérebro desenvolveu pela evolução a capacidade de comunicar-se com outros cérebros por meio de linguagem e tradições culturais. Mas o novo meio de tradição cultural abre novas possibilidades para entidades auto-replicadoras. Os novos replicadores não são DNA nem cristais de argila: são padrões de informação que podem desenvolver-se apenas em cérebros ou em produtos que os cérebros confeccionam artificialmente - livros, computadores etc. Mas, dado que cérebros, livros e computadores existem, esses novos replicadores, que batizei de "memes" para distingui-los dos genes, podem propagar-se de um cérebro a outro, de um cérebro para um livro, de um livro para o cérebro, do cérebro para o computador, de um computador para outro. À medida que se propagam, eles podem se alterar - sofrem mutação. E talvez memes "mutantes" possam exercer os tipos de influência que aqui denomino "poder do replicador". Lembremos que isto significa qualquer tipo de influência que afeta sua própria probabilidade de propagar-se. A evolução sob a influência dos novos replicadores - evolução mêmica - está na primeira infância. Manifesta-se nos fenômenos que chamamos de evolução cultural. A evolução cultural é muitíssimo mais rápida que a evolução baseada no DNA, o que nos leva a pensar ainda mais na idéia de "usurpação". E se um novo tipo de replicador está começando a tomar o lugar de outro, é concebível que ele venha a progredir tanto que acabe deixando muito para trás seu pai DNA (e sua avó argila, se Cairns-Smith estiver certo). Caso isso seja verdade, podemos ter certeza de que os computadores estarão na vanguarda.

Poderia ocorrer de, algum dia muito distante, computadores inteligentes especularem sobre suas origens perdidas? Algum deles toparia com a herética verdade de que eles se originaram de uma forma de vida anterior muito remota, baseada na química orgânica do carbono - em vez de

nos princípios eletrônicos baseados no silício de seus corpos? Um Cairns-Smith robótico escreverá um livro intitulado A usurpação dos eletrônicos? Ele redescobrirá algum equivalente eletrônico da metáfora do arco e perceberá que os computadores não poderiam ter surgido de modo espontâneo, tendo se originado obrigatoriamente de algum processo anterior de seleção cumulativa? Ele se aprofundará no assunto e reconstituirá o DNA como um replicador anterior plausível, vítima da usurpação eletrônica? E terá sagacidade suficiente para supor que até mesmo o próprio DNA pode ter sido um usurpador de replicadores ainda mais remotos e primitivos, os cristais ou silicatos inorgânicos? Se tiver uma veia poética, ele verá algum tipo de justiça no retorno final da vida baseada em silício, com o DNA tendo sido não mais do que um interlúdio, mesmo durando mais de três éons?

Isto é ficção científica, e provavelmente parece improvável demais. Não importa. O mais relevante aqui é que, para o leitor, a teoria de Cairns-Smith e, de fato, todas as outras teorias da origem da vida podem parecer improváveis demais e pouco verossímeis. O leitor acha extremamente improváveis a teoria da argila de Cairns-Smith e a mais ortodoxa teoria da sopa primordial orgânica? Parece-lhe que seria necessário um milagre para fazer com que átomos colidindo aleatoriamente se juntassem formando uma molécula auto-replicadora? Pois bem: às vezes, também tenho essa impressão. Mas examinemos mais a fundo essa questão de milagres e improbabilidade. Ao fazê-lo, demonstrarei um aspecto que é paradoxal mas, por isso mesmo, ainda mais interessante. É o fato de que nós, como cientistas, até nos deveríamos preocupar um pouco caso a origem da vida não parecesse milagrosa para nossa consciência humana. Uma teoria que pareça milagrosa (para a consciência humana comum) é exatamente o tipo de teoria que deveríamos estar procurando nesta questão específica da origem da vida. Este argumento, que equivale a uma discussão sobre o que definimos como milagre, ocupará o resto deste capítulo. De certa forma, é uma extensão do argumento já apresentado sobre os bilhões de planetas.

Então o que entendemos por milagre? Um milagre é algo que acontece, mas é extremamente surpreendente. Se uma estátua de mármore da Virgem Maria subitamente acenasse para nós, consideraríamos o fato um milagre, pois toda a nossa experiência e conhecimento nos diz que estátuas de mármore não se comportam desse modo. Acabei de pronunciar as palavras "Que um raio me atinja neste minuto". Se realmente um raio me atingisse no mesmo minuto, isso seria considerado milagre. Mas, na

verdade, nenhuma dessas ocorrências seria considerada totalmente impossível pela ciência. Seriam simplesmente julgadas muito improváveis - a estátua acenando bem mais improvável do que o raio. Raios atingem pessoas. Qualquer um de nós poderia ser atingido por um, mas a probabilidade é baixíssima em um dado minuto (embora o Guinness Book of Records mostre uma interessante fotografia de um homem da Virgínia, apelidado de pára-raios humano, na qual, atordoado e apreensivo, ele se recupera no hospital do sétimo raio que o atingiu). A única coisa milagrosa em minha história hipotética é a coincidência de eu ter sido atingido pelo raio justamente ao ter invocado o desastre.

Coincidência significa improbabilidade multiplicada. A probabilidade de eu ser atingido por um raio em qualquer dado minuto de minha vida é talvez de uma em 10 milhões, numa estimativa moderada. A probabilidade de eu desejar que um raio me atinja em qualquer dado minuto também é baixíssima. Acabei de fazê-lo, pela única vez nos 23400000 minutos de minha vida até agora, e duvido que venha a fazer isso de novo; portanto, digamos que essa probabilidade é de uma em 25 milhões. Para calcular a probabilidade conjunta de a coincidência ocorrer em qualquer dado minuto, multiplicamos as duas probabilidades distintas. Pelos meus cálculos aproximados, ela é de uma em 250 trilhões. Se uma coincidência dessa magnitude acontecesse comigo, eu a consideraria um milagre e passaria a tomar mais cuidado com o que falo. Mas, embora a probabilidade dessa coincidência seja ínfima, ainda assim podemos calculá-la. Ela não é zero.

No caso da estátua de mármore, as moléculas do mármore sólido estão continuamente colidindo umas contra as outras, em direções aleatórias. As colisões das moléculas anulam umas às outras, e por isso é que toda a mão da estátua se mantém parada. Mas se, por pura coincidência, acontecer de todas as moléculas se moverem simultaneamente na mesma direção, a mão se mexerá. E se então elas inverterem a direção no mesmo momento, a mão se movimentará na direção oposta. Desse modo, é possível que uma estátua de mármore acene para nós. Poderia acontecer. A improbabilidade de uma coincidência assim acontecer é inconcebivelmente grande, mas não impossível de calcular. Um colega físico fez a gentileza de calculá-la para mim. O número é tão grande que toda a idade do universo é pouco tempo para escrever todos os zeros! Teoricamente, é possível uma vaca pular até a lua com mais ou menos a mesma improbabilidade. A conclusão desta parte do argumento é que podemos fazer

cálculos em regiões de improbabilidade milagrosa muito maiores do que podemos imaginar serem plausíveis.

Examinemos esta questão do que pensamos ser plausível, O que podemos imaginar como plausível situa-se numa faixa estreita no meio de um espectro muito mais amplo do que realmente é possível. Às vezes ela é mais estreita do que aquilo que existe de fato. Podemos fazer uma boa analogia com a luz. Nossos olhos são formados para lidar com uma faixa estreita de frequências eletromagnéticas (as que chamamos de luz), em algum trecho intermediário do espectro que vai das ondas longas de rádio em um extremo aos curtos raios X no outro. Não podemos ver os raios fora da estreita faixa de luz, mas podemos fazer cálculos sobre eles, e construir instrumentos para detectá-los. Do mesmo modo, sabemos que as escalas de tamanho e tempo estendem-se em ambas as direções muito além do alcance da nossa visualização. Nossa mente não é capaz de lidar com as grandes distâncias abordadas pela astronomia nem com as pequenas distâncias da esfera da física atômica, mas podemos representar essas distâncias com símbolos matemáticos. Nossa mente não consegue imaginar um intervalo de tempo tão breve quanto um picossegundo, mas podemos fazer cálculos com picossegundos e construir computadores capazes de calcular em picossegundos. Nossa mente não pode imaginar um intervalo de tempo tão longo quanto 1 milhão de anos, muito menos os milhares de milhões de anos que os geólogos computam rotineiramente.

Assim como nossos olhos só enxergam aquela faixa estreita de frequências eletromagnéticas com que a seleção natural equipou nossos ancestrais para enxergar, também o nosso cérebro é construído para lidar com faixas estreitas de tamanhos e tempos. Presumivelmente, nossos ancestrais não tinham necessidade de lidar com tamanhos e tempos fora da faixa estreita que abrange os assuntos práticos cotidianos, por isso nunca evoluiu em nosso cérebro a capacidade de imaginá-los. Provavelmente é significativo que o tamanho do nosso corpo - algumas dezenas de centímetros - esteja aproximadamente no meio das faixas de tamanho que somos capazes de imaginar. E nossa duração de vida - algumas décadas - está mais ou menos no meio da faixa de tempo que conseguimos imaginar.

Podemos raciocinar nessa mesma linha com respeito às improbabilidades e milagres. Imaginemos uma escala graduada de improbabilidades, análoga à escala de tamanho que abrange dos átomos às galáxias ou à escala de tempo de picossegundos a éons. Nessa escala, marquemos vários pontos de referência. No extremo esquerdo da escala estão os eventos que são praticamente certos, como a probabilidade de o

sol nascer amanhã - a aposta de meio pêni feita por G. H. Hardy. Próximas desse extremo esquerdo da escala estão coisas que são apenas ligeiramente improváveis, como conseguir dois 6 jogando uma só vez um par de dados. A probabilidade de isso acontecer é de uma em 36. Creio que todos nós já obtivemos esse resultado várias vezes. Deslocando-nos para a direita do espectro, temos como outro ponto de referência a probabilidade de uma jogada perfeita de bridge na qual cada um dos quatro jogadores recebe as cartas completas de um único naipe. As probabilidades contra essa ocorrência são de 2235197406895366368301559999 para uma. Chamemos esse valor de 1 zilhão, a unidade de improbabilidade. Se algo com a improbabilidade de 1 zilhão fosse predito e acontecesse, haveríamos de diagnosticar um milagre, a menos - o que é mais provável - que suspeitássemos de fraude. Mas isso poderia acontecer em uma jogada honesta, e é muitíssimo mais provável do que a estátua acenar para nós. No entanto, até este último evento tem, como vimos, o lugar que lhe compete no espectro dos eventos possíveis de acontecer. Ele é mensurável, embora em unidades muito maiores do que gigazilhões. Entre a jogada de dados com dois 6 e a jogada perfeita no bridge, temos uma faixa de eventos mais ou menos improváveis que às vezes acontecem mesmo, incluindo um indivíduo ser atingido por um raio, ganhar na loteria, atingir o buraco de uma só tacada no golfe etc. Também em algum trecho dessa faixa estão aquelas coincidências que nos causam um frio na espinha, como sonhar com certa pessoa pela primeira vez em décadas e de manhã ficar sabendo que ela morreu naquela noite. Essas coincidências sinistras são muito impressionantes quando acontecem conosco ou com nossos amigos, mas sua improbabilidade é medida apenas em picozilhões.

Tendo construído nossa escala matemática de improbabilidades e marcado seus pontos de referência, voltemos o holofote para a subfaixa da escala que podemos abordar em nosso raciocínio e conversa cotidianos. A largura do fecho de luz do holofote é análoga à estreita faixa de frequências eletromagnéticas que nossos olhos podem ver ou à estreita faixa de tamanhos e tempos, próximos de nosso tamanho e longevidade, que conseguimos imaginar. No espectro das improbabilidades, o holofote ilumina apenas a faixa estreita da esquerda (a da certeza) até os milagres menores, como um buraco numa tacada ou um sonho que se realiza. Existe um vasto conjunto de improbabilidades matematicamente calculáveis muito fora do alcance do holofote.

A seleção natural moldou nosso cérebro para avaliar probabilidades e riscos, assim como moldou nossos olhos para aferir os

comprimentos de ondas eletromagnéticas. Somos equipados para efetuar mentalmente cálculos sobre riscos e probabilidades naquela faixa de improbabilidades que seria útil na vida humana. Isto significa riscos do tipo, digamos, ser morto por um búfalo depois de cravar-lhe uma flecha, ser atingido por um raio ficando sob uma árvore solitária durante uma tempestade ou afogar-se tentando atravessar um rio a nado. Esses riscos aceitáveis são comensuráveis com nossa duração de vida de algumas décadas. Se fôssemos biologicamente capazes de viver 1 milhão de anos e quiséssemos fazê-lo, avaliariamos os riscos de maneira bem diversa. Adquiriríamos o hábito de não atravessar ruas, por exemplo, pois quem atravessasse uma rua todo dia durante 1 milhão de anos sem dúvida acabaria sendo atropelado.

A evolução equipou nosso cérebro com uma consciência subjetiva dos riscos e improbabilidades apropriados a criaturas com uma duração de vida inferior a um século. Nossos ancestrais sempre tiveram de tomar decisões envolvendo riscos e probabilidades; por isso, a seleção natural equipou nosso cérebro para avaliar probabilidades no contexto de um tempo de vida breve que, seja como for, podemos esperar. Se em algum planeta houver seres com duração de vida de 1 milhão de séculos, seu fecho de luz abrangendo os riscos compreensíveis se estenderá muito mais na direção do extremo direito do contínuo. Eles esperarão receber uma mão perfeita de bridge de quando em quando, e nem sairão por aí contando para todo mundo quando isso acontecer. Mas até eles cairão sentados se uma estátua de mármore lhes acenar, pois seria preciso viver zilhões de anos a mais do que eles para ver um milagre dessa magnitude.

O que tudo isso tem a ver com as teorias sobre a origem da vida? Ora, começamos este argumento concordando que a teoria de Cairns-Smith e a teoria da sopa primordial nos parecem um pouco fantásticas e improváveis. Por essa razão, nos sentimos naturalmente inclinados a rejeitá-las. Mas lembremos que "nós" somos seres cujos cérebros estão equipados com um holofote de riscos compreensíveis fino como uma ponta de lápis iluminando o extremo esquerdo do contínuo matemático de riscos calculáveis. Nosso juízo subjetivo do que parece ser uma boa aposta é irrelevante para o que realmente constitui uma boa aposta. O juízo subjetivo de um extraterrestre com duração de vida de 1 milhão de séculos seria muito diferente. Ele julgaria absolutamente plausível um evento - como a origem da primeira molécula replicadora conforme postulada na teoria de algum químico - que nós, moldados pela evolução para sobreviver em um mundo com duração de algumas décadas, julgaríamos ser um milagre

assombroso. Como decidir qual ponto de vista é o certo, o nosso ou o do ET longo?

Há uma resposta simples para essa questão. O ponto de vista do extraterrestre longo é o certo para avaliar a plausibilidade de uma teoria como a de Cairns-Smith ou a da sopa primordial. Isso porque essas duas teorias postulam um evento específico - o surgimento espontâneo de uma entidade auto-replicadora - que ocorreria apenas uma vez em cerca de 1 bilhão de anos, uma vez por éon. O tempo decorrido entre a origem da Terra e os primeiros fósseis semelhantes a bactérias é de 1,5 éon. Para nosso cérebro aferidor de décadas, um evento que ocorre uma só vez por éon é tão raro que parece um tremendo milagre. Para o extraterrestre longo, parecerá menos milagroso do que nos parece o acerto do buraco em uma única tacada no golfe - e muita gente provavelmente conhece alguém que conhece alguém que já realizou essa façanha. Ao avaliar teorias da origem da vida, a escala temporal subjetiva do extraterrestre longo é a relevante, por ser aproximadamente a mesma da que se aplica à origem da vida. Nosso juízo subjetivo sobre a plausibilidade de uma teoria da origem da vida só tem uma chance em 100 milhões de estar correto. De fato, nosso juízo subjetivo provavelmente tem uma probabilidade de erro ainda maior. Não só nossos cérebros estão equipados pela natureza para avaliar riscos de curto prazo, mas também para avaliar riscos de coisas que nos acontecem pessoalmente, ou que acontecem com um círculo reduzido de pessoas que conhecemos. Isto ocorre porque nosso cérebro não evoluiu sob condições dominadas pelos meios de comunicação de massa. O noticiário de massa permite que, se uma coisa improvável ocorrer a qualquer pessoa em qualquer parte do mundo, fiquemos sabendo pelos jornais ou pelo Guinness Book of Records. Se em qualquer lugar do mundo um orador publicamente pedisse que um raio lhe caísse em cima caso ele estivesse mentindo e isso prontamente acontecesse, leríamos essa notícia e ficaríamos devidamente impressionados. Mas existem vários bilhões de pessoas no mundo com quem essa coincidência poderia acontecer, por isso a aparente coincidência na verdade não é tão grande quanto parece. Nosso cérebro provavelmente está equipado pela natureza para avaliar os riscos de coisas que podem acontecer conosco ou com algumas centenas de pessoas do pequeno círculo das aldeias ao alcance do som dos tambores que davam as notícias aos nossos ancestrais tribais. Quando lemos no jornal sobre uma espantosa coincidência que aconteceu com alguém em Valparaíso ou Virgínia, ficamos mais impressionados do que deveríamos. Talvez 100 milhões de vezes mais impressionados do que deveríamos, se essa for a

razão entre a população mundial pesquisada por nosso jornal e a população tribal sobre quem nossos cérebros evoluídos "esperam" ter notícias.

Esse "cálculo populacional" também é importante para nosso julgamento da plausibilidade das teorias da origem da vida. Não devido à população humana na Terra, mas à população de planetas no universo, a população de planetas onde a vida poderia ter se originado. Este é justamente o argumento que vimos no início deste capítulo, portanto não precisamos nos alongar no assunto. Retomemos nossa imagem mental de uma escala graduada de eventos improváveis com seus pontos de referência dados por coincidências como rodadas de bridge e jogadas de dados. Nessa escala graduada de zilhões e microzilhões, marquemos os três pontos a seguir: probabilidade de surgir vida em um planeta (digamos, em 1 bilhão de anos), supondo que a vida surge à taxa de aproximadamente uma vez por sistema solar; probabilidade de surgir vida em um planeta se a vida surge à taxa de aproximadamente uma vez por galáxia; probabilidade de surgir vida em um planeta aleatoriamente selecionado se a vida surgiu apenas uma vez no universo. Denominemos esses três pontos respectivamente Número de Sistemas Solares, Número de Galáxias e Número do Universo. Lembremos que existem cerca de 10 mil milhões de galáxias. Não sabemos quantos sistemas solares há em cada galáxia porque só conseguimos ver estrelas, e não planetas, mas já usamos uma estimativa de que podem existir 100 bilhões de bilhões de planetas no universo.

Quando avaliamos a improbabilidade de um evento postulado, por exemplo, pela teoria de Cairns-Smith, deveríamos avaliá-la não com base no que pensamos subjetivamente ser provável ou improvável, mas nos números da ordem daqueles três números, o de Sistemas Solares, o de Galáxias e o do Universo. Qual dos três é o mais apropriado depende de qual das três afirmações a seguir julgamos ser mais próxima da verdade:

1. A vida surgiu apenas em um planeta em todo o universo (portanto esse planeta, como já vimos, tem de ser a Terra).

2. A vida surgiu em aproximadamente um planeta por galáxia (em nossa galáxia, a Terra é o planeta felizardo).

3. A origem da vida é um evento suficientemente provável para tender a surgir aproximadamente uma vez em cada sistema solar (em nosso sistema solar a Terra é o planeta felizardo).

Essas três afirmações representam três concepções-padrão sobre a singularidade da vida. A verdadeira singularidade da vida provavelmente está situada em algum ponto entre os extremos representados pelas afirmações 1 e 3. Por que digo isso? Por que, em particular, deveríamos excluir uma quarta possibilidade, a de que a origem da vida é um evento muito mais provável do que sugerido pela Afirmação 3? O argumento a seguir não é muito convincente mas, só para constar, vejamos o que ele diz: se a origem da vida fosse um evento muito mais provável do que o sugerido pelo Número de Sistemas Solares, deveríamos esperar que, a esta altura, já tivéssemos encontrado vida extraterrestre, se não em carne e osso (ou o que quer que faça as vezes desses componentes), pelo menos por rádio.

Alardeia-se com frequência que os químicos fracassaram na tentativa de duplicar em laboratório a origem espontânea da vida. Esse fato é usado como se fosse uma refutação das teorias que esses químicos estão procurando testar. Mas, na verdade, pode-se argumentar que deveríamos estar preocupados se fosse muito fácil os químicos obterem vida espontaneamente no tubo de ensaio. Isto porque os experimentos dos químicos têm uma duração de anos e não de milhares de milhões de anos, e porque apenas um punhado de químicos, e não milhares de milhões deles estão empenhados nesses experimentos. Se a origem espontânea da vida se revelasse um evento suficientemente provável para ter ocorrido durante algumas décadas-homem nas quais os químicos vêm realizando seus experimentos, então a vida deveria ter surgido muitas vezes na Terra e muitas vezes em planetas ao alcance dos rádios terrestres. Obviamente, nada disso deixa claro se os químicos teriam ou não conseguido duplicar as condições de vida na Terra primitiva, mas, mesmo assim, dado que não conseguimos responder a essa questão, vale a pena prosseguir na discussão.

Se a origem da vida fosse um evento provável pelos padrões humanos, um número substancial de planetas ao alcance das ondas de rádio deveria ter desenvolvido uma tecnologia de rádio há um tempo suficiente (considerando que as ondas de rádio têm a velocidade de 300 mil quilômetros por segundo) para que tivéssemos captado pelo menos uma transmissão durante as décadas que temos estado equipados para tal. Existem provavelmente umas cinqüenta estrelas ao alcance dos receptores de rádio se supusermos que elas têm a tecnologia do rádio somente pelo mesmo tempo que nós a temos. Mas cinqüenta anos é apenas um instante

fugaz, e seria uma coincidência monumental se outra civilização estivesse em um nível de avanço próximo do nosso. Se abrangêssemos em nossos cálculos as civilizações que tivessem a tecnologia do rádio 1000 anos atrás, haveria cerca de 1 milhão de estrelas ao alcance do rádio (juntamente com quantos fossem os planetas que as orbitassem). Se incluíssemos as com tecnologia de rádio desde 100 mil anos atrás, toda a galáxia com 1 trilhão de estrelas estaria ao alcance do rádio. Evidentemente, os sinais das transmissões se tornariam muito tênues ao percorrer essas distâncias imensas.

Portanto, chegamos ao seguinte paradoxo: se uma teoria da origem da vida for suficientemente "plausível" para satisfazer nosso juízo subjetivo de plausibilidade, ela é plausível "demais" para explicar a pobreza de vida no universo que observamos. Segundo esse argumento, a teoria que estamos procurando tem de ser o tipo de teoria que parece implausível para nossa imaginação limitada, radicada na Terra e circunscrita a poucas décadas. Vistas deste prisma, tanto a teoria de Cairns-Smith como a da sopa primordial parecem, no mínimo, correr o risco de errar por serem plausíveis demais! Tendo dito tudo isso, devo confessar que, por haver muita incerteza nos cálculos, se um químico realmente conseguisse fazer surgir vida espontaneamente eu não ficaria embaraçado!

Ainda não sabemos exatamente como a seleção natural começou na Terra. Este capítulo teve o modesto objetivo de explicar apenas o tipo de começo que ela deve ter tido. A presente ausência de uma explicação conclusivamente aceita para a origem da vida sem dúvida não deve ser considerada uma barreira para toda a visão de mundo darwiniana, como às vezes é (provavelmente por quem deseja iludir-se). Os capítulos anteriores derrubaram outras pretensas barreiras, e o capítulo seguinte lidará com mais uma, a idéia de que a seleção natural só pode ser destrutiva, jamais construtiva.

7. Evolução construtiva

Há quem pense que a seleção natural é uma força puramente negativa, capaz de erradicar as anomalias e deficiências, mas não de edificar a complexidade, a beleza e o design eficiente. Afinal ela não se limita a subtrair daquilo que já existe, enquanto um processo criativo

deveria também acrescentar algo? Podemos responder a isso parcialmente mostrando uma estátua. Nada é acrescentado ao bloco de mármore. O escultor apenas subtrai, e ainda assim emerge uma bela obra. Mas essa metáfora pode levar a equívocos, já que algumas pessoas pulam direto para a parte errada da metáfora - o fato de o escultor ser um designer consciente - e perdem a parte importante, o fato de o escultor trabalhar por subtração e não por adição. Mesmo esta parte da metáfora não deve ser levada longe demais. A seleção natural só pode subtrair, mas a mutação pode adicionar. Há modos pelos quais a mutação e a seleção natural, juntas, podem levar, no longo intervalo de tempo geológico, a um acúmulo de complexidade que tem mais em comum com a adição do que com a subtração. Há duas maneiras pelas quais esse acúmulo pode ocorrer. A primeira recebe o nome de "genótipos coadaptados"; a segunda, de "corrida armamentista". As duas superficialmente diferem bastante entre si, mas estão unidas sob os títulos de "coevolução" e "genes como o meio uns dos outros".

Vejamos primeiro a idéia de "genótipos coadaptados". Um gene tem o efeito específico que tem apenas porque existe uma estrutura que lhe permite atuar. Um gene não pode efetuar as conexões cerebrais a menos que haja um cérebro sendo conectado. Não haverá um cérebro sendo conectado a menos que haja um embrião completo em desenvolvimento. E não haverá um embrião completo em desenvolvimento a menos que haja todo um programa de eventos químicos e celulares, sob a influência de muitos outros genes e muitas outras influências causais não genéticas. Os efeitos específicos que os genes têm não são propriedades intrínsecas desses genes. São propriedades de processos embriológicos, processos existentes cujos detalhes podem ser mudados por genes, atuando em locais e momentos específicos durante o desenvolvimento embrionário. Vimos a demonstração dessa mensagem, de forma elementar, no desenvolvimento dos biomorfos computadorizados.

Em certo sentido, todo o processo de desenvolvimento embrionário pode ser visto como um empreendimento cooperativo, realizado conjuntamente por milhares de genes. Os embriões são montados por todos os genes atuantes no organismo em desenvolvimento, em colaboração uns com os outros. Agora, eis a chave para compreender como ocorrem essas colaborações. Na seleção natural, os genes sempre são selecionados por sua capacidade de prosperar no meio onde se encontram. Frequentemente concebemos esse meio como o mundo exterior, o mundo dos predadores e do clima. Mas, do ponto de vista de cada gene, talvez a parte mais importante de seu meio sejam todos os outros genes que ele encontra. E

onde é que um gene "encontra" outros genes? Sobretudo nas células dos sucessivos corpos individuais nos quais ele está, Cada gene é selecionado por sua capacidade de cooperar eficazmente com a população de outros genes, que ele tende a encontrar nos corpos.

A verdadeira população de genes, que constitui o ambiente de trabalho de cada gene específico, não é apenas a coleção temporária que por acaso se reuniu nas células de algum corpo individual específico. Ao menos nas espécies de reprodução sexuada, ela é o conjunto de todos os genes na população de indivíduos: o "pool" ["fundo comum"] genético. Em qualquer dado momento, qualquer cópia específica de um gene, considerada como uma coleção específica de átomos, tem de estar localizada na célula de um indivíduo. Mas o conjunto de átomos que constitui qualquer dada cópia de um gene não é de interesse permanente. Sua expectativa de vida é medida apenas em meses. Como vimos, o gene longo como unidade evolutiva não é nenhuma estrutura física específica, mas as informações do arquivo de texto que são copiadas ao longo das gerações. Esse replicador textual tem uma existência distribuída. Ela se distribui amplamente no espaço, entre diferentes indivíduos, e no tempo, no decorrer de muitas gerações. Considerando desse prisma distributivo, podemos dizer que qualquer gene específico "encontra" outro gene quando os dois estão no mesmo corpo. O gene pode "esperar" encontrar uma variedade de outros genes em diferentes corpos em momentos diversos de sua existência distribuída e em sua marcha através do tempo geológico. Um gene bem-sucedido será o que se sair bem nos meios proporcionados por esses outros genes que ele tende a encontrar em numerosos corpos diferentes. "Sair-se bem" nesses meios equivale a "colaborar" com esses outros genes. Isso é visto mais diretamente no caso das vias bioquímicas.

Vias bioquímicas são seqüências de substâncias químicas que constituem estágios sucessivos em certos processos úteis, como a liberação de energia ou a síntese de uma substância importante. Cada passo na via requer uma enzima - uma das grandes moléculas que são moldadas para atuar como uma máquina em uma fábrica química. Diferentes enzimas são necessárias para diferentes passos na via química. Às vezes existem duas, ou mais, vias químicas alternativas para o mesmo fim útil. Embora ambas as vias culminem em um resultado útil idêntico, elas têm diferentes estágios intermediários que conduzem a esse fim, e normalmente apresentam pontos de partida diferentes. Qualquer uma das duas vias alternativas fará o serviço, e não importa qual delas é usada. O

importante para qualquer animal específico é evitar tentar seguir ambas ao mesmo tempo, pois isso resulta em confusão química e ineficiência.

Suponhamos agora que a Via 1 requer a sucessão de enzimas A1, B1 e C1 para sintetizar uma substância química desejada D, enquanto a Via 2 necessita das enzimas A2, B2 e C2 para chegar ao mesmo produto final desejável. Cada enzima é produzida por um gene específico. Assim, para que evolua a linha de montagem da Via 1, uma espécie precisa da coevolução da codificação genética para A1, B1 e C1. Para que evolua a linha de montagem alternativa para a Via 2, uma espécie precisa da coevolução da codificação genética para A2, B2 e C2. A escolha entre essas duas coevoluções não ocorre graças a um planejamento prévio. Ela acontece simplesmente porque cada gene é selecionado em virtude de sua compatibilidade com outros genes que por acaso já dominam a população. Se acontecer de a população já ser rica em genes para B1 e C1, isto armará um clima favorável ao gene para A1 e não para A2. Inversamente, se a população já for rica em genes para B2 e C2, isto preparará o clima no qual o gene para A2 é favorecido pela seleção em detrimento do gene para A1.

Não será tão simples assim, mas o leitor já terá entendido a idéia básica: um dos aspectos mais importantes do "clima" no qual um gene é favorecido ou desfavorecido é dado pelos outros genes que já são numerosos na população; portanto, os outros genes com os quais ele tende a compartilhar corpos. Como o mesmo obviamente se aplicará também àqueles "outros" genes. Temos um quadro de equipes de genes evoluindo todos na direção de soluções cooperativas para os problemas. Os próprios genes não evoluem, meramente sobrevivem ou deixam de sobreviver no pool genético. Quem evolui é a "equipe". Outras equipes poderiam ter feito o serviço tão bem quanto ela, ou até melhor. Mas, uma vez que uma equipe começa a dominar o pool genético de uma espécie, ela ganha automaticamente uma vantagem. É difícil para uma equipe minoritária conseguir a supremacia, mesmo uma equipe minoritária que poderia, no final, fazer o serviço de maneira mais eficiente. A equipe majoritária apresenta uma resistência automática a ser desalojada, pela simples razão de ser majoritária. Isto não significa que uma equipe majoritária jamais poderia ser desalojada. Se não pudesse, a evolução emperraria. Mas significa que existe uma espécie de inércia embutida.

É óbvio que este tipo de argumento não se limita à bioquímica. Poderíamos raciocinar nessa mesma linha no caso dos agrupamentos de genes compatíveis que constroem as diferentes partes dos olhos, do nariz, dos

membros e de todas as partes cooperativas do corpo de um animal. Genes que produzem dentes apropriados à mastigação de carne tendem a ser favorecidos em um "clima" dominado por genes que produzem um aparelho digestivo apropriado à digestão de carne. Inversamente, genes produtores de dentes próprios para triturar vegetais tendem a ser favorecidos em um clima dominado por genes que produzem um aparelho digestivo apropriado à digestão de plantas. E vice-versa em ambos os casos. Equipes de "genes carnívoros" tendem a evoluir juntas, e equipes de "genes herbívoros" tendem a evoluir juntas. De fato, em certo sentido, pode-se dizer que a maioria dos genes atuantes em um corpo coopera entre si como uma equipe, pois no decorrer do tempo evolutivo elas (isto é, suas cópias ancestrais) foram, cada qual, parte do meio no qual a seleção natural atuou sobre as demais. Se perguntarmos por que os ancestrais do leão passaram a comer carne enquanto os do antílope passaram a comer capim, a resposta poderia ser: originalmente, isso foi acidental. Acidental no sentido de que poderiam ter sido os ancestrais do leão que começassem a comer capim e os ancestrais dos antílopes que começassem a comer carne. Mas assim que uma linhagem houvesse começado a constituir uma equipe de genes para lidar com carne em vez de capim, o processo se teria tornado auto-aumentador. E assim que a outra linhagem houvesse começado a constituir uma equipe de genes para lidar com o capim em vez de com carne, este processo teria passado a ser auto-alimentador na outra direção.

Uma das principais coisas que de certo ocorreram no início da evolução dos organismos vivos foi um aumento no número de genes participantes dessas cooperativas. As bactérias têm muito menos genes do que os animais e as plantas. Esse aumento pode ter ocorrido graças a vários tipos de duplicação de genes. Lembremos que um gene é apenas uma extensão de símbolos codificados, como um arquivo num disco de computador; e os genes podem ser copiados para diferentes partes dos cromossomos, exatamente como os arquivos podem ser copiados para diferentes partes do disco. No disco de meu computador que contém este capítulo, existem oficialmente apenas três arquivos. Por "oficialmente" quero dizer que o sistema operacional do computador me diz que existem apenas três arquivos. Posso pedir-lhe que leia um desses três arquivos, e ele me apresenta um array ["arranjo" "ordenação"] unidimensional de caracteres alfabéticos, incluindo estes caracteres que estão sendo lidos agora. Tudo muito bem organizado e ordenado, ao que parece. Mas, de fato, no próprio disco, a disposição do texto nada tem de organizada e ordenada. Podemos perceber isso saindo da disciplina do sistema

operacional oficial do computador e escrevendo nosso próprio programa particular para decifrar o que realmente está escrito em cada setor do disco. Descobrimos que fragmentos de cada um de meus três arquivos estão dispersos, entremeados uns aos outros e a fragmentos de arquivos antigos, excluídos, que deletei muito tempo atrás e havia esquecido. Qualquer dado fragmento pode aparecer, palavra por palavra, idêntico ou com diferenças insignificantes, em meia dúzia de lugares diferentes espalhados pelo disco.

A razão disso é interessante, e merece uma digressão, pois fornece uma boa analogia genética. Quando mandamos um computador deletar um arquivo, ele aparentemente nos obedece. Mas, na realidade, ele não elimina o texto daquele arquivo. Elimina simplesmente todos os indicadores daquele arquivo. É como se um bibliotecário, recebendo a ordem de destruir *O amante de Lady Chatterley*, simplesmente rasgasse o cartão no índice do acervo, deixando o livro na estante. Para o computador, esse é um modo perfeitamente econômico de fazer as coisas, pois o espaço antes ocupado pelo arquivo "deletado" fica automaticamente disponível para novos arquivos, assim que os indicadores para o arquivo antigo são removidos. Seria um desperdício de tempo dar-se o trabalho de preencher o espaço em si com vazios, O arquivo antigo não seria finalmente perdido senão depois que todos os seus espaços viessem a ser usados para armazenar novos arquivos. Mas essa reutilização do espaço ocorre pouco a pouco. Os novos arquivos não têm o tamanho exato dos antigos. Quando o computador está tentando gravar um novo arquivo em um disco, procura o primeiro fragmento de espaço disponível, escreve ali o máximo que couber do novo arquivo e então procura outro fragmento de espaço disponível, escreve mais um pouco e assim por diante até que todo o arquivo esteja escrito em alguma parte do disco. O ser humano tem a ilusão de que o arquivo é um array único e ordenado apenas porque o computador tem o cuidado de manter registros "indicando" os endereços de todos os fragmentos esparsos. São "indicadores" como aqueles usados pelo *New York Times* "continua na página 94". A razão de muitas cópias de qualquer fragmento serem encontradas em um disco é que se, como em todos os meus capítulos, o texto foi mudado dúzias e dúzias de vezes, cada modificação resultará em uma nova gravação no disco (quase) do mesmo texto. A gravação pode ser, na aparência, uma gravação do mesmo arquivo. Mas, como vimos, o texto na verdade será repetidamente espalhado pelas "lacunas" disponíveis no disco. Assim, numerosas cópias de um dado

fragmento do texto podem ser encontradas por toda a superfície do disco, mais ainda se ele for velho e muito usado.

Ora, o sistema operacional do DNA de uma espécie é antiqüíssimo, e há indícios de que, considerado no longo prazo, ele faz algo mais ou menos parecido com o que o computador faz com os arquivos em disco. Parte desses indícios provém do fascinante fenômeno dos íntrons e éxons. Nos anos 1980, descobriu-se que qualquer gene "individual", isto é, uma passagem individual lida continuamente do texto do DNA, não se encontra isolado inteiro num só lugar. Se de fato lermos as letras codificadoras conforme elas ocorrem ao longo do cromossomo (isto é, se fizermos o equivalente de sair da disciplina do "sistema operacional"), encontraremos fragmentos de "sentido" denominados éxons, separados por porções "sem sentido" denominadas íntrons. Qualquer gene no sentido funcional é, na verdade, dividido em uma seqüência de fragmentos (éxons) separada por íntrons sem sentido. É como se cada éxon terminasse com um indicador que diz "continua na página 94". Um gene completo, assim, compõe-se de toda uma série de éxons, que são efetivamente encadeados uns aos outros apenas quando são finalmente lidos pelo sistema operacional "oficial" que os traduz em proteínas.

Outro indício provém do fato de que os cromossomos estão entulhados de texto genético antigo que já não é usado, mas que ainda tem um sentido reconhecível. Para um programador de computadores, o padrão de distribuição desses fragmentos de "fósseis genéticos" lembra espantosamente o padrão de texto na superfície de um velho disco que foi muito usado para edição de texto. Em alguns animais, uma grande proporção do número total de genes na verdade nunca é lida. Esses genes ou são totalmente sem sentido ou são "genes fósseis" ultrapassados. Apenas de quando em quando, fósseis de textos tornam-se novamente atuantes, como foi o caso neste livro. Um erro do computador (ou, para ser justo, pode ter sido um erro humano) fez com que eu acidentalmente "apagasse" o disco contendo o capítulo 3. É claro que o próprio texto não fora exatamente apagado por inteiro.

O que havia sido apagado de uma vez por todas eram os indicadores de onde cada éxon começava e terminava. O sistema operacional "oficial" não podia ler coisa alguma, mas "extra-oficialmente" eu pude brincar de engenheiro genético e examinar todo o texto do disco. O que vi foi um desnorteante quebra-cabeça de fragmentos de texto, alguns recentes, outros "fósseis" antiqüíssimos. Encaixando os pedaços do quebra-cabeça, consegui recriar o capítulo. Mas em boa parte eu não sabia

quais fragmentos eram recentes e quais eram fósseis. Não importava, pois com exceção de pormenores secundários que precisaram de uma nova revisão, os fragmentos eram iguais. Pelo menos alguns dos "fósseis" ou "íntrons" ultrapassados, haviam voltado à ativa. Eles me salvaram do apuro e me pouparam o trabalho de reescrever todo o capítulo.

Há indícios de que, também em espécies vivas, "genes fósseis" ocasionalmente voltam à ativa e são reaproveitados depois de terem jazido adormecidos por cerca de 1 milhão de anos. Entrar em detalhes nos afastaria demais da linha mestra deste capítulo, pois o leitor há de lembrar-se de que já estamos em uma digressão. O assunto principal é: a capacidade genética total de uma espécie pode aumentar devido à duplicação dos genes. Reutilizar velhas cópias "fósseis" de genes existentes é um modo como isso pode acontecer. Há outros modos, mais imediatos, como os genes podem ser copiados para partes amplamente distribuídas dos cromossomos, como arquivos que são duplicados em diferentes partes de um disco, ou em discos diferentes.

Os seres humanos têm oito genes distintos, chamados genes de globina (usados para produzir a hemoglobina, entre outras coisas), em vários cromossomos diferentes. Parece certo que todos os oito foram copiados, em última análise, de um único gene de globina ancestral. Cerca de 1100 milhões de anos atrás, o gene de globina ancestral duplicou-se, formando dois genes. Podemos identificar a data desse evento devido a indicadores independentes da velocidade com que as globinas habitualmente evoluem (ver capítulos 5 e 11). Dos dois genes produzidos por essa duplicação original, um se tornou o ancestral de todos os genes que produzem hemoglobina em vertebrados. O outro se tornou o ancestral de todos os genes que produzem as mioglobinas, uma família aparentada de proteínas que atuam nos músculos. Várias duplicações subseqüentes originaram as chamadas globinas alfa, beta, gama, delta, épsilon e zeta. O fato admirável é que podemos construir uma árvore genealógica completa de todos os genes de globina, e até datar todos os pontos de divergência (por exemplo, as globinas delta e beta separaram-se há cerca de 40 milhões de anos; as épsilon e gama, há 100 milhões de anos). E no entanto, as oito globinas, descendentes de todas essas ramificações remotas em ancestrais distantes, ainda estão presentes dentro de cada um de nós. Elas divergiram para partes diferentes dos cromossomos de um ancestral, e cada um de nós as herdou em nossos diferentes cromossomos. Moléculas estão compartilhando o mesmo corpo com suas primas moleculares distantes. Sabemos com certeza que boa parte dessa duplicação ocorreu por

todas as partes dos cromossomos e ao longo de todo o tempo geológico. Este é um aspecto importante no qual a vida real é mais complexa do que os biomorfos do capítulo 3. Todos eles tinham apenas nove genes. Evoluíram por mudanças nesses nove genes, nunca por um aumento do número de genes para dez. Mesmo nos animais reais, essas duplicações são suficientemente raras para não invalidar minha afirmação geral de que todos os membros de uma espécie apresentam o mesmo sistema de endereçamento" de DNA.

A duplicação no âmbito da espécie não é o único modo como o número de genes cooperativos aumentou na evolução. Uma ocorrência ainda mais rara, mas ainda possivelmente muito importante, é a ocasional incorporação de um gene de outra espécie, mesmo uma espécie extremamente remota. Existem, por exemplo, hemoglobinas nas raízes das plantas da família das ervilhas. Elas não ocorrem em nenhuma outra família de plantas, e parece quase certo que, de algum modo, ingressaram na família das ervilhas por meio de uma infecção cruzada de animais, talvez com vírus atuando como intermediários.

Um evento especialmente importante nessa linha, segundo a cada vez mais aceita teoria da bióloga americana Lynn Margulis, ocorreu na origem da chamada célula eucariótica. As células eucarióticas incluem todas as células, exceto as bacterianas. O mundo vivo divide-se, fundamentalmente, em bactérias e o resto. Fazemos parte do resto, e somos coletivamente chamados eucariotos. Diferimos das bactérias principalmente no fato de nossas células possuírem minicélulas distintas em seu interior. Elas incluem o núcleo, que abriga os cromossomos, os minúsculos objetos em forma de bomba chamados mitocôndrias (que vimos brevemente na figura 1) contendo membranas delicadamente dobradas e, nas células (eucarióticas) dos vegetais, os cloroplastos. As mitocôndrias e os cloroplastos têm seu próprio DNA, que se replica e se propaga de maneira totalmente independente do DNA principal nos cromossomos do núcleo. Todas as mitocôndrias em nosso corpo descendem da pequena população de mitocôndrias que viajaram no óvulo de nossa mãe. Os espermatozóides são demasiado pequenos para conter mitocôndrias, por isso as mitocôndrias viajam exclusivamente na linha feminina, e os corpos masculinos são becos sem saída em matéria de reprodução mitocondrial. A propósito, isso significa que podemos usar as mitocôndrias para descobrir nossa linhagem, estritamente na linha feminina.

A teoria de Margulis é que as mitocôndrias e os cloroplastos, bem como algumas outras estruturas do interior das células, descendem todos de bactérias. A célula eucariótica formou-se, talvez há 2 bilhões de anos, quando vários tipos de bactérias juntaram forças devido aos benefícios que cada uma obteria das outras. Ao longo dos éons, elas se tornaram tão inteiramente integradas na unidade cooperativa que veio a ser a célula eucariótica que passou a ser quase impossível detectar o fato, se realmente isso for um fato, de que elas algum dia já foram bactérias separadas.

Parece que, uma vez inventada a célula eucariótica, todo um novo conjunto de designs tornou-se possível. Do nosso ponto de vista, o mais interessante é que as células puderam fabricar corpos grandes contendo muitos bilhões de células. Todas as células se reproduzem dividindo-se em duas, cada metade recebendo um conjunto completo de genes. Como vimos no caso das bactérias numa cabeça de alfinete, divisões sucessivas em duas metades podem gerar um número imenso de células em tempo muito curto. Começa-se com uma que se divide em duas. Depois, cada uma das duas se divide, totalizando quatro. Cada uma das quatro divide-se, formando oito. Os números aumentam por duplicações sucessivas, de 8 para 16, 32, 64, 128, 256, 512, 1024, 2048, 4096, 8192. Após apenas vinte duplicações, que não demoram muito, já estamos na casa dos milhões. Após apenas quarenta duplicações, o número de células supera 1 trilhão. No caso das bactérias, o número imenso de células produzidas por sucessivas duplicações segue caminhos separados. O mesmo vale para muitas células eucarióticas, por exemplo, protozoários e amebas. Um grande passo na evolução foi dado quando as células que haviam sido produzidas por sucessivas divisões ficaram juntas em vez de seguir caminhos independentes. Foi possível então a emergência da estrutura superior, como ocorreu, em uma escala incomparavelmente menor, nas ramificações bifurcadas dos biomorfos computadorizados.

A partir de então um corpo de tamanho grande se tornou uma possibilidade. Um corpo humano é uma população verdadeiramente colossal de células, todas descendentes de um ancestral, o óvulo fertilizado, sendo todas, portanto, primas, filhas, netas, tias etc. de outras células do corpo. Os 10 trilhões de células que compõem cada um de nós são o produto de algumas dezenas de gerações de duplicações de células. Essas células classificam-se em cerca de 210 (conforme a preferência) tipos diferentes, todas construídas a partir do mesmo conjunto de genes, mas com diferentes membros do conjunto de genes atuando em diferentes tipos

de células. Como vimos, por isso é que as células do fígado diferem das células cerebrais e as células ósseas diferem das musculares.

Genes atuando por meio de órgãos e padrões de comportamento de corpos pluricelulares podem obter métodos de assegurar sua propagação que não estão ao alcance de células únicas atuando sozinhas. Corpos pluricelulares possibilitam aos genes manipular o mundo, usando ferramentas construídas em uma escala muito maior que a das células isoladas. Eles realizam essas manipulações indiretas em grande escala por meio de seus efeitos mais diretos sobre a escala minúscula das células. Por exemplo, alteram a forma da membrana celular. As células então interagem em gigantescas populações a fim de produzir, em grupo, efeitos em grande escala, como por exemplo um braço ou uma perna, ou (mais indiretamente) um dique de castor. A maioria das propriedades de um organismo que estamos equipados para ver a olho nu são chamadas "propriedades emergentes". Mesmo os biomorfos computadorizados, com seus nove genes, possuíam propriedades emergentes. Nos animais reais, elas são produzidas no âmbito do corpo inteiro por interações de células. Um organismo funciona como uma unidade completa, e pode-se dizer que seus genes têm efeitos sobre todo o organismo, muito embora cada cópia de um gene exerça seus efeitos imediatos apenas dentro da célula onde se encontra.

Vimos que uma parte importantíssima do meio de um gene é constituída pelos outros genes que ele tende a encontrar em sucessivos corpos no decorrer das gerações. São esses os genes permutados e combinados em cada espécie. De fato, uma espécie com reprodução sexuada pode ser vista como um dispositivo que permuta um conjunto discreto de genes familiarizados uns com os outros em diferentes combinações. Segundo esta concepção, as espécies estão continuamente embaralhando coleções de genes que encontram uns aos outros no âmbito de cada espécie, mas nunca encontram genes de espécies diferentes. Mas existe um sentido em que os genes de espécies diferentes, mesmo se não se encontrarem proximamente no interior de células, ainda assim constituem, cada qual, uma parte importante do meio da outra espécie. Esse relacionamento com frequência é hostil em vez de cooperativo, mas isto pode ser visto apenas como uma troca de sinal. E aqui chegamos ao segundo tema principal deste capítulo, as "corridas armamentistas". Acontecem corridas armamentistas entre predadores e presas, parasitas e hospedeiros, e até - embora esta afirmação seja mais sutil e eu prefira não entrar em detalhes - entre machos e fêmeas de uma mesma espécie.

As corridas armamentistas são disputadas no tempo evolutivo, e não na escala temporal da duração de vida de cada indivíduo. Elas consistem na melhora do equipamento de sobrevivência de uma linhagem (por exemplo, dos animais que são vítimas de predadores) como consequência direta de uma melhora no equipamento evolutivo de outra linhagem (digamos, dos predadores). Há corridas armamentistas sempre que os indivíduos têm inimigos com capacidade própria de melhora evolutiva. A meu ver, as corridas armamentistas têm uma importância suprema, pois foram elas, em grande medida, que introduziram a "progressividade" que de fato existe na evolução. Pois, ao contrário de antigas opiniões preconcebidas, não há nada de inerentemente progressivo na evolução. Podemos perceber isto pensando no que teria acontecido se os únicos problemas que os animais houvessem precisado enfrentar fossem os causados pelo clima e outros aspectos do meio não vivo.

Após muitas gerações de seleção cumulativa em determinado lugar, os animais e plantas dessa região tornam-se bem adaptados para viver nas condições locais, por exemplo, naquelas condições climáticas específicas. Se for frio, os animais acabam adquirindo espessos revestimentos de pêlos ou penas. Se for seco, desenvolvem peles impermeáveis como couro ou cera para conservar a pouca água disponível. As adaptações às condições locais afetam cada parte do corpo, sua forma e cor, seus órgãos internos, seu comportamento e a química de suas células.

Se as condições em que vive uma linhagem de animais permanecem constantes - digamos, se o clima for quente e seco ininterruptamente por cem gerações -, a evolução nessa linhagem tende a estancar, ao menos no que diz respeito às adaptações à temperatura e umidade. Os animais atingirão a máxima adaptação possível às condições locais. Isto não significa que seu design não poderia ser completamente feito, para algo ainda melhor. Significa que eles não podem aperfeiçoar-se por meio de nenhum passo evolutivo pequeno (e portanto provável): nenhum de seus vizinhos imediatos no equivalente local do "espaço biomórfico" seria mais bem-sucedido.

A evolução cessará até que haja alguma mudança nas condições: o início de uma era glacial, uma alteração nos níveis pluviométricos médios da região, uma mudança no vento prevalecente. Modificações desse tipo realmente acontecem quando se trata de uma escala de tempo tão longa quanto a evolutiva. Em consequência, a evolução normalmente não pára, mas

"segue" constantemente as mudanças do meio. Se existir uma tendência leve e constante de queda na temperatura média da região, uma queda lenta que persiste por séculos, gerações sucessivas de animais serão impelidas por uma constante "pressão" seletiva na direção, digamos, de desenvolver pêlos mais longos no corpo. Se, após alguns milhares de anos de baixas temperaturas a tendência se inverter e a temperatura média voltar a subir lentamente, os animais ficarão sob a influência de uma nova pressão seletiva, e serão impelidos a desenvolver novamente pêlos mais curtos.

Mas até aqui consideramos apenas uma parte limitada do meio, o clima. Ele é importantíssimo para os animais e plantas. Seus padrões mudam no decorrer dos séculos, portanto isso mantém a evolução constantemente em movimento à medida que ela segue as mudanças. Mas os padrões climáticos modificam-se de maneira inconsistente e fortuita. Existem outras partes do meio de um animal que mudam em direções mais consistentemente perversas, e isso também tem de ser "seguido". Essas partes do meio são os próprios seres vivos. Para um predador como a hiena, uma parte de seu meio que é no mínimo tão importante quanto o clima são suas presas, as populações de gnus, zebras e antílopes em processo de mudança. Para os antílopes e outros animais que pastam e vagueiam pelas planícies em busca de alimento, o clima pode ser importante, mas os leões, hienas e outros carnívoros também o são. A seleção cumulativa providenciará para que os animais se tornem bem equipados para correr mais do que seus predadores ou superar em esperteza suas presas, tanto quanto providencia para que eles se adaptem bem às condições climáticas prevalecentes. E, assim como as flutuações de longo prazo no clima são "seguidas" pela evolução, também as mudanças de longo prazo nos hábitos ou armas dos predadores serão seguidas por mudanças evolutivas nas presas. E vice-versa, evidentemente.

Podemos usar o termo geral "inimigos" de uma espécie para denotar outros seres vivos que dificultam a vida dessa espécie. Leões são inimigos de zebras. Pode parecer uma certa falta de sensibilidade inverter a afirmação e dizer que "as zebras são inimigas dos leões". A zebra, nessa relação, parece tão inocente e prejudicada que não merece o termo pejorativo inimiga. Mas cada zebra faz todo o possível para não ser comida pelos leões, e do ponto de vista deles ela está dificultando sua vida. Se as zebras e outros animais de pasto fossem todos bem-sucedidos em seu objetivo, os leões morreriam de fome. Portanto, pela nossa definição, as zebras são inimigas dos leões. Os parasitas como a tênia são inimigos de seus hospedeiros, e estes são inimigos dos

parasitas, pois tendem a evoluir neles maneiras de resistir-lhes. Os herbívoros são inimigos das plantas, e estas são inimigas dos herbívoros, pois fabricam espinhos e substâncias químicas venenosas ou de gosto ruim.

As linhagens de animais e plantas "seguirão", como passar do tempo evolutivo, as mudanças em seus inimigos com a mesma assiduidade com que seguem as mudanças nas condições climáticas médias. As melhoras evolutivas nas armas e táticas dos guepardos são, do ponto de vista das gazelas, como uma constante piora do clima, e são seguidas do mesmo modo. Mas há uma diferença tremendamente importante entre os dois. O clima muda ao longo dos séculos, mas não de um modo especificamente perverso. O clima não está "caçando" gazelas. O guepardo médio mudará no decorrer dos séculos, assim como muda a média pluviométrica anual. Mas enquanto esta se altera com aumentos e diminuições lentos, sem nenhuma razão específica, o guepardo médio, com o passar dos séculos, tenderá a tornar-se mais bem equipado para caçar gazelas do que seus ancestrais. Isto acontece porque a sucessão de guepardos, ao contrário da sucessão de condições climáticas anuais, está sujeita, ela própria, à seleção cumulativa. Os guepardos tenderão a se tornar mais velozes, a ter visão mais apurada e dentes mais afiados. Por mais "hostis" que possam parecer o clima e outras condições inanimadas, eles não têm uma tendência necessária de se tornar cada vez mais hostis. Os inimigos vivos, considerados na escala temporal evolutiva, têm justamente essa tendência.

A tendência de os carnívoros se tornarem progressivamente "melhores" logo perderia a força, como ocorre com as corridas armamentistas humanas (por motivos de custo econômico que examinaremos adiante), caso inexistisse uma tendência paralela em suas presas. E vice-versa. As gazelas, tanto quanto os guepardos, estão sujeitas à seleção cumulativa, e também elas tenderão, no decorrer das gerações, a melhorar sua capacidade de correr velozmente, reagir com rapidez, se tornar invisíveis fundindo-se ao capim alto. Também elas são capazes de evoluir na direção de se tornar inimigas mais eficazes - neste caso, inimigas dos guepardos. Do ponto de vista do guepardo, a temperatura média anual não piora nem melhora sistematicamente com o passar dos anos, exceto na medida em que qualquer mudança para um animal bem adaptado é uma mudança para pior. Mas a gazela média anual tende a tornar-se sistematicamente pior - mais difícil de ser apanhada por ser mais bem adaptada para fugir de guepardos. Novamente, a tendência à melhora progressiva nas gazelas cessaria não fosse pela tendência paralela de melhora em seus predadores. Um lado melhora um pouquinho porque o outro lado melhorou. E vice-versa.

O processo entra em uma espiral viciosa, numa escala temporal de centenas de milhares de anos.

Na esfera dos países, com sua escala temporal mais curta, quando dois inimigos progressivamente aperfeiçoam seus respectivos arsenais em resposta aos aperfeiçoamentos do lado oposto, falamos em "corrida armamentista". A analogia evolutiva é suficientemente próxima para que tomemos de empréstimo esse termo, portanto não peço desculpas a meus colegas pomposos que desejam expurgar nossa linguagem dessas imagens tão esclarecedoras. Introduzia idéia aqui com um simples exemplo, o das gazelas e guepardos. O objetivo foi ilustrar a importante diferença entre um inimigo vivo, que está ele próprio sujeito a mudanças evolutivas, e uma condição inanimada não perversa como o clima, que está sujeita a mudanças, mas não à mudança sistemática, evolutiva. Mas chegou a hora de admitir que, em meu esforço para explicar este ponto de vista válido, conduzi mal o leitor em outros aspectos. Fica óbvio, depois de refletirmos um pouco, que meu quadro de uma corrida armamentista sempre progressiva era demasiado simples em pelo menos um aspecto. Tomemos como exemplo a velocidade da corrida. Pelo que foi exposto até aqui, a corrida armamentista parece dar a idéia de que guepardos e gazelas devem tornar-se cada vez mais rápidos, geração após geração, até superarem a velocidade do som. Isso não aconteceu, e nunca acontecerá. Antes de retomar a discussão sobre as corridas armamentistas, é meu dever prevenir mal-entendidos.

A primeira ressalva é a seguinte: dei a impressão de uma ascensão constante na capacidade de caça dos guepardos e na capacidade de fuga das gazelas. O leitor pode ter ficado com uma idéia vitoriana de inexorabilidade do progresso, com cada geração sendo melhor, mais aprimorada e mais corajosa do que a anterior. A realidade, na natureza, não é assim. A escala temporal ao longo da qual as melhoras significativas podem ser detectadas, em qualquer caso, tende a ser muito mais longa do que se poderia detectar comparando uma geração típica com sua antecessora. Além disso, o "aperfeiçoamento" está longe de ser contínuo. Ele é intermitente, dado a estagnar-se ou até, às vezes, a "regredir" em vez de mover-se rapidamente "à frente", na direção sugerida pela idéia da corrida armamentista. Mudanças nas condições, mudanças nas forças inanimadas que amontoei sob o título geral de "clima" tendem a assoberbar as lentas e caprichosas tendências da corrida armamentista, até onde qualquer observador em campo poderia perceber. Pode muito bem haver longos intervalos de tempo sem ocorrer nenhum "progresso" na

corrida armamentista e talvez sem nenhuma mudança evolutiva. As corridas armamentistas às vezes terminam em extinção, e então uma nova corrida armamentista pode começar do zero. Não obstante, tudo considerado, a idéia da corrida armamentista permanece, com grande vantagem, a explicação mais satisfatória para a existência do maquinário avançado e complexo existente nos animais e plantas. O "aperfeiçoamento" progressivo do tipo sugerido pela imagem da corrida armamentista realmente avança, mesmo que de modo espasmódico e intermitente; mesmo que sua taxa líquida de progresso seja demasiado lenta para ser detectada no intervalo da vida de um homem, ou até no intervalo da história documentada.

A segunda ressalva é que a relação que estou denominando "inimigo" é mais complexa do que a simples relação bilateral sugerida pelas histórias de guepardos e gazelas. Uma complicação é o fato de uma determinada espécie poder ter dois (ou mais) inimigos que são inimigos ainda mais ferrenhos um do outro. Este é o princípio por trás da meia verdade comumente dita de que a grama se beneficia ao ser pastada (ou aparada). O gado come a grama, podendo, portanto, ser considerado inimigo dela. Mas a grama também tem outros inimigos no mundo vegetal, ervas competitivas que, se crescerem sem restrições, podem revelar-se inimigos ainda piores da grama do que o gado. A grama sofre um pouco por ser comida pelo gado, mas as ervas competitivas sofrem ainda mais. Assim, o efeito líquido do gado em um prado é um benefício para a grama. Neste sentido, o gado mostra ser amigo e não inimigo da grama.

Mesmo assim, o gado é inimigo da grama porque ainda é verdade que, para um pé de grama individual, seria melhor não ser comido por uma vaca, e qualquer planta mutante que possuísse, digamos, uma arma química que a protegesse de vacas espalharia mais sementes (contendo instruções genéticas para a produção dessa arma química) do que membros rivais de sua própria espécie que fossem mais palatáveis para as vacas. Mesmo havendo um sentido especial no qual as vacas são "amigas" da grama, a seleção natural não favorece pés de grama individuais que se esforçam para ser comidos pelas vacas! A conclusão geral deste parágrafo é: pode ser conveniente pensar em uma corrida armamentista entre duas linhagens como a do gado e a da grama, ou a das gazelas e a dos guepardos, mas nunca devemos perder de vista o fato de que ambos os participantes têm outros inimigos contra os quais estão simultaneamente envolvidos em outras corridas armamentistas. Não me alongarei neste argumento aqui, mas é possível desenvolvê-lo para dar uma explicação do motivo de as corridas armamentistas se estabilizarem em vez de continuarem para sempre - de não

levarem à situação em que os predadores perseguem suas presas em Mach 2 e assim por diante.

A terceira "ressalva" à corrida armamentista simples não é tanto uma ressalva, e sim um aspecto interessante em si mesmo. Em minha discussão hipotética sobre guepardos e gazelas, afirmei que os guepardos, ao contrário do clima, têm a tendência de se tornar "melhores caçadores" com o passar das gerações, de se tornar inimigos mais perigosos, mais bem equipados para matar gazelas. Mas isto não implica que eles se tornam mais bem-sucedidos na caça de gazelas. O cerne da idéia da corrida armamentista é que ambos os lados nessa corrida estão melhorando de sua própria perspectiva, enquanto simultaneamente dificultam mais a vida do outro lado. Não existe uma razão particular (ou pelo menos nenhuma em tudo o que já discutimos até aqui) para esperar que qualquer um dos lados na corrida armamentista se torne constantemente mais bem-sucedido ou menos bem-sucedido do que o outro. De fato, a idéia da corrida armamentista, em sua forma mais pura, sugere que o progresso na taxa de sucesso entre os dois lados da corrida armamentista deve ser zero enquanto ocorrer um progresso indiscutível no equipamento para ser bem-sucedido em ambos os lados. Os predadores tornam-se mais bem equipados para matar, mas ao mesmo tempo as presas tornam-se mais bem equipadas para evitar ser mortas, portanto o resultado líquido é a ausência de mudança na razão de caçadas bem-sucedidas.

A implicação disso é que se, por meio de uma máquina do tempo, predadores de uma era pudessem encontrar presas de outra era, os mais recentes - predadores ou presas-, por serem animais mais "modernos" suplantariam de longe os mais antigos. Este experimento jamais poderá ser feito, embora algumas pessoas suponham que certas faunas de áreas remotas e isoladas, como as da Austrália e Madagáscar, podem ser consideradas antiqüíssimas, como se uma viagem à Austrália equivalesse a uma viagem ao passado numa máquina do tempo. Essas pessoas julgam que as espécies australianas nativas em geral são levadas à extinção por competidores ou inimigos superiores introduzidos do mundo exterior, porque as espécies nativas são modelos "mais antigos" "ultrapassados"; na mesma posição em relação às espécies invasoras que um encouraçado da Finlândia em batalha contra um submarino nuclear. Mas a suposição de que a Austrália possui uma fauna que é um "fóssil vivo" é difícil de justificar. Talvez fosse possível elaborar algum argumento em defesa dessa hipótese, mas raramente alguém o faz. Acho que se trata nada mais nada menos que um equivalente zoológico do esnobismo chauvinista, análogo à atitude dos que vêem um

australiano como um sujeito bronco e rude com pouca coisa por baixo do chapéu com penduricalhos nas abas. O princípio da mudança zero na taxa de êxito, independentemente do progresso evolutivo no equipamento, recebeu do biólogo americano Leigh van Valen o memorável nome de "efeito ia Vermelha". Em Alice do outro lado do espelho, de Lewis Cara Rainha Vermelha agarrou Alice pela mão e a arrastou, cada vez mais rápido, em uma corrida frenética pelos campos; mas, por mais que elas corressem, permaneciam sempre no mesmo lugar. Alice, compreensivelmente, ficou intrigada e comentou: "Ora, em nosso país geralmente chegamos a algum outro lugar - se corremos muito depressa por um longo tempo, como estávamos fazendo". E a Rainha retrucou: "Que país lento! Pois aqui, como vê, você precisa correr o mais depressa que pode para se manter no mesmo lugar. Se quiser ir a algum outro lugar, tem de correr no mínimo duas vezes mais depressa do que isso!".

A explicação da Rainha Vermelha é engraçada, mas pode ser enganosa se for entendido (como às vezes é) que ela significa algo matematicamente preciso, um progresso relativo absolutamente nulo. Outra característica enganosa é que, na história de Alice, a afirmação da Rainha Vermelha é genuinamente paradoxal, incompatível com o senso comum no mundo físico real. Mas o efeito Rainha Vermelha descrito por Van Valen para a evolução nada tem de paradoxal. Está de pleno acordo com o senso comum, contanto que este seja inteligentemente aplicado. Mas, embora não sejam paradoxais, as corridas armamentistas podem originar situações que, para o ser humano de mentalidade econômica, parecem ser um desperdício.

Por que, por exemplo, existem árvores tão altas nas florestas? A resposta breve é que, como todas as outras árvores são altas, nenhuma árvore pode dar-se ao luxo de não o ser, pois não receberia a luz do sol. Esta é essencialmente a verdade, mas contraria a mentalidade econômica humana. Parece tão sem sentido, um desperdício enorme. Quando todas as árvores têm a altura da cobertura vegetal, todas têm uma exposição ao sol aproximadamente igual, e nenhuma pode dar-se ao luxo de ser mais baixa. Mas se todas fossem mais baixas, se pudesse haver algum tipo de acordo de classe para reduzir a altura oficial da cobertura vegetal na floresta, todas as árvores se beneficiariam. Estariam competindo entre si na cobertura vegetal pela mesmíssima luz do sol, mas todas teriam pago muito menos em custo de crescimento para entrar nessa cobertura. A economia total da floresta se beneficiaria, junto com cada árvore individualmente. Uma pena que a seleção natural não se importe com economias totais e não dê margem a cartéis e acordos. Tem havido corridas armamentistas nas

quais as árvores das florestas aumentam de tamanho com o passar das gerações. A cada estágio da corrida armamentista, não houve benefícios intrínsecos no fato em si de uma árvore ser alta. Em cada estágio da corrida armamentista, a única vantagem de ser alta foi ser relativamente mais alta do que as árvores vizinhas.

No transcurso da corrida armamentista, aumentou a altura média das árvores na cobertura vegetal da floresta. Mas o benefício que as árvores obtinham por serem altas não cresceu. Na verdade, ele diminuiu, devido ao maior custo de crescimento. Gerações sucessivas de árvores tornaram-se cada vez mais altas, mas em última análise poderiam estar melhor, em certo sentido, se houvessem ficado onde estavam no início. Aqui, portanto, está a ligação com Alice e a Rainha Vermelha, mas podemos ver que no caso das árvores ela não é paradoxal. Em geral é uma característica das corridas armamentistas, inclusive as humanas, que embora todos se beneficiassem caso nenhuma delas crescesse, se uma delas crescer ninguém pode se dar ao luxo de não fazer o mesmo. A propósito, mais uma vez, devo ressaltar que contei a história de um jeito simples demais. Não pretendo sugerir que, literalmente, a cada geração as árvores sejam mais altas que as da geração anterior, nem que a corrida armamentista ainda esteja necessariamente prosseguindo. Outro elemento ilustrado pelo caso das árvores é o fato de as corridas armamentistas não terem de ser, necessariamente, disputadas entre membros de espécies diferentes. As árvores individuais podem ser encobertas tanto por membros de sua própria espécie como por membros de outra. Na verdade, provavelmente mais pelos de sua espécie, pois todos os organismos são mais gravemente ameaçados pelos competidores de sua própria espécie do que de outras. Os membros da própria espécie competem pelos mesmos recursos em um grau muito mais detalhado do que membros de outras espécies. Também existem corridas armamentistas no âmbito de uma espécie entre os papéis masculinos e femininos e entre os papéis de genitor e prole. Discorri sobre eles em *O gene Egoísta*, por isso não me alongarei no tema aqui.

A história das árvores permite-me introduzir uma distinção geral importante entre dois tipos de corrida armamentista: as simétricas e as assimétricas. Uma corrida armamentista simétrica é a que ocorre entre competidores tentando fazer mais ou menos a mesma coisa que o rival. A corrida armamentista entre árvores numa floresta que lutam para alcançar a luz é um exemplo. As diferentes espécies de árvores não estão todas procurando sobreviver exatamente da mesma maneira, mas no que diz

respeito à corrida armamentista específica de que estamos falando - a corrida pela luz do sol acima da cobertura vegetal- elas são competidoras pelo mesmo recurso. Tomam parte em uma corrida armamentista na qual o sucesso de um lado é sentido pelo outro como um fracasso. E é uma corrida armamentista simétrica porque a natureza do sucesso e fracasso nos dois lados é a mesma: obtenção da luz solar e ficar na sombra, respectivamente.

A corrida armamentista entre guepardos e gazelas, por sua vez, é assimétrica. É uma verdadeira corrida armamentista, pois o sucesso de um lado é sentido como fracasso pelo outro, mas a natureza do sucesso e fracasso dos dois lados é bem diferente. Os dois lados estão "tentando" fazer coisas bem diversas. Os guepardos estão tentando comer gazelas. As gazelas não estão tentando comer guepardos, e sim tentando evitar ser comidas por eles. Do ponto de vista evolutivo, as corridas armamentistas assimétricas são mais interessantes, pois têm maior probabilidade de gerar sistemas de armamentos altamente complexos. Podemos perceber isso com exemplos da tecnologia de armamentos humana.

Eu poderia usar os Estados Unidos e a União Soviética como exemplos, mas não há realmente necessidade de mencionar países específicos. Armas fabricadas por empresas em qualquer país industrial avançado podem acabar sendo compradas por qualquer um entre uma enorme variedade de países. A existência de uma arma ofensiva bem-sucedida, como o míssil antinavio do tipo Exocet, tende a "convidar" à invenção de uma arma neutralizadora eficaz, como por exemplo um dispositivo de interferência de rádio para "confundir" o sistema de controle do míssil. A arma neutralizadora bem provavelmente será fabricada por um país inimigo, mas também poderia ser fabricada pelo mesmo país, ou até pela mesma empresa! Afinal, nenhuma outra empresa está mais bem equipada para projetar um dispositivo de interferência para um míssil específico do que aquela que o criou. Não há nada de inerentemente improvável na idéia de a mesma companhia produzir e vender esses dispositivos a lados opostos na guerra. Meu ceticismo leva-me a desconfiar que isso provavelmente acontece, e é uma vívida ilustração do argumento de que o equipamento melhora enquanto sua eficácia líquida não aumenta (e seus custos sobem).

Deste meu ponto de vista, é irrelevante se os fabricantes em lados opostos numa corrida armamentista humana são inimigos um do outro ou se estamos falando de um mesmo fabricante. E isso é interessante, pois o que importa é que, independentemente de seus fabricantes, os próprios dispositivos são inimigos um do outro no sentido especial que defini

neste capítulo. O míssil e seu dispositivo de interferência específico são inimigos porque o sucesso de um é sinônimo de fracasso do outro. Não interessa se foram ou não projetados por lados inimigos, embora provavelmente facilitasse supor que foram.

Até aqui, falei sobre o exemplo do míssil e seu antídoto específico sem ressaltar o aspecto evolutivo progressivo que, afinal, é a principal razão de citar o exemplo neste capítulo. O importante aqui é que não só o design presente de um míssil pede, ou provoca, um antídoto adequado, como um dispositivo de interferência de rádio. O dispositivo antimíssil, por sua vez, pede uma melhoria no design do míssil que combata especificamente o antídoto - um dispositivo anti- antimíssil. É quase como se cada aperfeiçoamento no míssil estimulasse o próximo aperfeiçoamento em si mesmo, por meio de seu efeito sobre o antídoto. A melhoria no equipamento impele a si mesma. Eis uma receita para uma evolução explosiva, descontrolada.

Ao final de alguns anos desse encarniçado processo de invenção e contra-invenção, as versões correntes do míssil e seu antídoto terão chegado a um altíssimo grau de refinamento. Contudo, ao mesmo tempo - eis novamente o efeito Rainha Vermelha - não há uma razão geral para esperar que qualquer um dos dois lados na corrida armamentista esteja sendo mais bem-sucedido em cumprir sua tarefa do que era no início da corrida armamentista. De fato, se tanto o míssil como seu antídoto vêm melhorando à mesma taxa, podemos esperar que as versões mais recentes, mais avançadas e refinadas, e as mais antigas, mais primitivas e mais simples, tenham exatamente o mesmo grau de sucesso combatendo seus contradispositivos contemporâneos. Houve progresso no design, mas não na realização, especificamente porque ocorreu um progresso equivalente no design de ambos os lados da corrida armamentista. De fato, é precisamente porque ocorreu um progresso aproximadamente igual de ambos os lados que houve tanto avanço no nível de refinamento do design. Se um lado - digamos, o do dispositivo de interferência antimíssil - avançasse demais na corrida do design, o outro lado, o míssil, simplesmente deixaria de ser usado e fabricado: seria "extinto". Longe de ser paradoxal como o exemplo original de Alice, o efeito Rainha Vermelha em seu contexto da corrida armamentista revela-se fundamental para a própria idéia de avanço progressivo.

Afirmo que as corridas armamentistas assimétricas têm maior propensão do que as simétricas para conduzir a melhoras progressivas interessantes, e agora podemos ver porquê, usando as armas humanas para

ilustrar o argumento. Se um país possui uma bomba de dois megatons, o país inimigo desenvolverá uma de cinco megatons. Isto leva o primeiro país a desenvolver uma de dez megatons, o que por sua vez induz o segundo a produzir uma de vinte, e assim por diante. Esta é uma verdadeira corrida armamentista progressiva: cada avanço de um lado provoca o contra-avanço do outro, e o resultado é um aumento constante em algum atributo no decorrer do tempo - neste caso, no poder explosivo das bombas. Mas não existe uma detalhada correspondência biunívoca entre os designs nessa corrida armamentista assimétrica, nenhum "encadeamento" ou "entrelaçamento" de detalhes de design como aquele que vemos em uma corrida armamentista assimétrica entre míssil e dispositivo antimíssil. O dispositivo antimíssil de interferência de rádio é projetado especificamente para sobrepujar características detalhadas específicas do míssil; o projetista do antídoto leva em consideração os mínimos pormenores do design do míssil. Depois, ao projetar um dispositivo para combater o antídoto, o projetista da geração seguinte de mísseis aproveita seus conhecimentos sobre o design detalhado do antídoto da geração anterior. Isto não se aplica às bombas de megatons crescentes.

É verdade que os projetistas de um lado podem copiar boas idéias, imitar características de design do outro lado. Mas, se isso ocorrer, é acidental. Não é uma parte necessária do design de uma bomba russa que ela tenha detalhadas correspondências biunívocas com pormenores específicos de uma bomba americana. No caso de uma corrida armamentista assimétrica, entre uma linhagem de armas e os antídotos específicos contra essas armas, são as correspondências biunívocas que, ao longo das sucessivas "gerações", conduzem ao refinamento e complexidade sempre crescentes.

Também no mundo vivo devemos esperar encontrar design complexo e refinado sempre que se tratar de produtos finais de uma corrida armamentista longa e assimétrica na qual aos avanços de um lado sempre têm correspondido, numa base biunívoca, antídotos (por oposição a competidores) igualmente bem-sucedidos. Isto se aplica notavelmente às corridas armamentistas entre predadores e presas e, talvez ainda mais, às corridas armamentistas entre parasitas e hospedeiros. Os sistemas de armas eletrônicas e acústicas dos morcegos, que vimos no capítulo 2, possuem toda a sofisticação finamente sintonizada que se espera de produtos finais de uma longa corrida armamentista. Não surpreende que possamos identificar essa mesma corrida armamentista do outro lado. Os insetos que são caçados pelos morcegos possuem uma bateria comparável de

refinados dispositivos eletrônicos e acústicos. Algumas mariposas emitem sons semelhantes aos ultra-sons dos morcegos que aparentemente os despistam. Quase todos os animais vivem em uma de duas situações: perigo de ser comido por outros animais ou de não conseguir comer outros animais, e um número imenso de fatos detalhados relativos aos animais só tem sentido se lembrarmos que eles são os produtos finais de corridas armamentistas longas e encarniçadas. H. B. Cott, autor do clássico *Animal Coloration*, expôs muito bem esse argumento em 1940, naquela que parece ter sido a primeira vez que se empregou num texto impresso a analogia da corrida armamentista em biologia:

Antes de afirmar que a aparência enganosa de um gafanhoto ou borboleta é desnecessariamente detalhada, precisamos verificar quais são os poderes de percepção e discriminação dos inimigos naturais desses insetos. Não fazer isso é como afirmar que o arsenal de um cruzador pesado é exagerado ou que o alcance de seus canhões é demasiado grande, sem investigar a natureza e eficácia do armamento do inimigo. O fato é que na luta primitiva na selva, assim como nos refinamentos da guerra civilizada, vemos em progresso uma grande corrida armamentista evolutiva - cujos resultados, para a defesa, manifestam-se em recursos como velocidade, vigilância, couraça, agudeza dos espinhos, hábitos de entocar-se, hábitos noturnos, secreções venenosas, gosto nauseante e [camuflagem e outros tipos de coloração protetora]; e, para o ataque, em contra- atributos como velocidade, capacidade de surpreender, de emboscar, de atrair, acuidade visual, garras, dentes, ferrões, presas venenosas e [chamarizes] . Assim como a maior velocidade do perseguidor desenvolveu-se em relação a um aumento da velocidade do perseguidor, ou a couraça defensiva em relação a armas agressivas, também a perfeição de ocultar mecanismos evoluiu em resposta a poderes de percepção que aumentaram.

As corridas armamentistas na tecnologia humana são mais fáceis de estudar do que seus equivalentes biológicos porque elas são muito mais rápidas. Podemos efetivamente vê-las acontecendo, ano a ano. No caso da corrida armamentista biológica, por outro lado, em geral só podemos ver os produtos finais. Muito raramente um animal ou planta morta fossiliza-se, quando às vezes se torna possível ver mais diretamente estágios progressivos em uma corrida armamentista animal. Um dos exemplos mais interessantes deste fato está na corrida armamentista eletrônica, conforme evidenciada no tamanho dos cérebros de animais fossilizados.

Os cérebros não se fossilizam, mas os crânios, sim, e a cavidade onde o cérebro se abrigava, a caixa craniana, se interpretada com atenção, fornece uma boa indicação sobre o tamanho do cérebro. Eu disse "se interpretada com atenção" e essa é uma condição muito importante. Vejamos a seguir alguns dos muitos problemas. Animais de grande porte tendem a ter cérebros grandes em parte justamente por serem grandes, mas isto não significa necessariamente que eles são, em algum sentido importante, "mais inteligentes". Os elefantes têm cérebro maior que o dos humanos, mas, provavelmente com alguma justiça, gostamos de pensar que somos mais inteligentes do que eles e que nossos cérebros são "realmente" maiores quando consideramos que somos animais muito menores. Por certo nosso cérebro ocupa uma proporção muito maior do nosso corpo do que o cérebro dos elefantes, o que se evidencia na forma protuberante do nosso crânio. Isto não é apenas vaidade da espécie. Presume-se que uma fração substancial de qualquer cérebro seja necessária para executar as operações rotineiras de manutenção por todo o corpo, e para isso um corpo grande automaticamente requer um cérebro grande. Temos de encontrar algum modo de "descontar" de nossos cálculos essa fração do cérebro que pode ser atribuída simplesmente ao tamanho do corpo, para que possamos comparar o que restou como a verdadeira "cerebralidade" dos animais. Este é um outro modo de dizer que precisamos de algum modo conveniente definir exatamente o que queremos dizer com verdadeira cerebralidade. Diferentes pessoas têm liberdade para descobrir diferentes métodos de fazer os cálculos, mas provavelmente o índice mais respeitado é o "quociente de encefalização", ou QE, usado por Harry Jerison, eminente autoridade americana em história do cérebro.

O QE é calculado por um método um tanto complicado, usando logaritmos do peso cerebral e peso corporal e fazendo comparações com os valores médios de um grupo principal, como a classe dos mamíferos. Assim como o "quociente de inteligência", ou QI, usado (ou talvez mal usado) pelos psicólogos humanos para fazer comparações com a média de toda uma população, o QE é usado em comparações, digamos, com toda a classe dos mamíferos. Assim como um QI 100 significa, por definição, um QI idêntico à média de toda a população, um QE 1 significa, por definição, um QE idêntico à média, digamos, dos mamíferos do tamanho estudado. Os detalhes da técnica matemática não vêm ao caso. Descrevendo em palavras, o QE de uma dada espécie, como rinocerontes ou gatos, é uma medida de quanto o cérebro do animal é maior (ou menor) do que deveríamos esperar que ele fosse, considerando o tamanho do corpo do animal. O modo como se calcula

essa expectativa certamente está sujeito a críticas. O fato de que os humanos têm um QE de 7 e os hipopótamos de 0,3 pode não significar literalmente que os humanos são 23 vezes mais inteligentes que os hipopótamos! Mas o QE, do modo como é medido, provavelmente nos diz alguma coisa sobre quanto "poder de computação" o animal possui na cabeça, acima do mínimo irreduzível do poder de computação necessário para a manutenção rotineira de seu corpo grande ou pequeno.

Os QES medidos entre os mamíferos modernos são muito variados. Os ratos têm um QE de aproximadamente 0,8, um pouco menos do que a média de todos os mamíferos. Para os esquilos, esse quociente é um tanto maior: cerca de 1,5. Talvez o mundo tridimensional das árvores requeira poder de computação extra para controlar saltos precisos, e ainda mais para decidir sobre caminhos eficientes por entre o emaranhado de ramos que podem ou não terminar num beco sem saída. Os macacos estão bem acima da média, e os antropóides (e especialmente os humanos) ainda mais acima. Entre os macacos de menor porte, alguns tipos têm QES mais altos do que outros; é interessante o fato de haver alguma relação com o tipo de alimentação: macacos insetívoros e frugívoros têm cérebros maiores, para seu tamanho, do que os que comem folhas. Há uma certa lógica em dizer que um animal precisa de menos poder de computação para obter folhas, que são abundantes por toda parte, do que para obter frutas, que talvez tenham de ser procuradas, ou para apanhar insetos, que procuram ativamente escapar. Infelizmente, agora está parecendo que a verdadeira história é mais complicada, e que outras variáveis, como a taxa metabólica, podem ser mais importantes. Nos mamíferos como um todo, os carnívoros tipicamente têm um QE um pouco mais elevado do que os herbívoros que são suas presas. O leitor provavelmente terá algumas idéias para explicar isso, mas são hipóteses difíceis de testar. Enfim, seja qual for a razão, parece ser um fato.

Já basta dos animais modernos. O que Jerison fez foi reconstruir o provável QE de animais extintos que hoje só existem como fósseis. Ele precisou fazer uma estimativa do tamanho do cérebro criando moldes de gesso do interior das caixas cranianas. Essa tarefa requer muitas suposições e estimativas, mas as margens de erro não são grandes a ponto de invalidar a iniciativa. Os métodos de fazer moldes de gesso podem, afinal de contas, ter sua precisão aferida recorrendo-se aos animais modernos. Fingimos que o crânio seco é tudo o que temos de um animal moderno, usamos um molde de gesso para estimar o tamanho de seu cérebro apenas com base no crânio e então confrontamos com o cérebro real para

averiguar a precisão da nossa estimativa. Essas aferições tendo como referência os crânios modernos deram a Jerison a confiança para efetuar suas estimativas para cérebros mortos há muito tempo. Ele concluiu, primeiro, que existe uma tendência de aumento do tamanho dos cérebros com o passar de milhões de anos. Em qualquer dado momento, os herbívoros existentes tenderam a possuir cérebros menores do que os carnívoros contemporâneos de quem eram presas. Mas os herbívoros posteriores tenderam a possuir cérebros maiores do que os de épocas anteriores, e o mesmo se pode dizer dos carnívoros. Parece que estamos vendo, nos fósseis, uma corrida armamentista, ou melhor, uma série de corridas armamentistas reiniciadas entre carnívoros e herbívoros. Eis um paralelo particularmente atrativo com as corridas armamentistas humanas, já que o cérebro é o computador de bordo usado tanto por carnívoros como por herbívoros, e a eletrônica é provavelmente o elemento da tecnologia de armamentos humana que avança com mais rapidez em nossos dias.

Como terminam as corridas armamentistas? Às vezes podem terminar com a extinção de um dos lados, quando presumivelmente o lado adversário pára de evoluir naquela direção progressiva específica e, na verdade, provavelmente acaba "regredindo" por motivos de economia que discutiremos em breve. Em outros casos, pressões econômicas podem impor uma pausa estável a uma corrida armamentista, estável ainda que um lado na corrida esteja, em certo sentido, permanentemente à frente. Tomemos a velocidade da corrida, por exemplo. Deve haver um limite final para a velocidade com que um guepardo ou uma gazela pode correr, um limite imposto pelas leis da física. Mas nem guepardos nem gazelas atingiram esse limite. Ambos avançaram na direção de um limite inferior que, a meu ver, tem um caráter econômico. A tecnologia da alta velocidade não é barata. Requer ossos longos nas pernas, músculos possantes, pulmões potentes. Esses atributos podem ser obtidos por qualquer animal que precise correr velozmente, mas têm de ser comprados. E são comprados a um preço que aumenta vertiginosamente. O preço é medido pelo que os economistas denominam "custo de oportunidade": a soma de todas as outras coisas de que se tem de abrir mão para se obter algo. O custo de mandar um filho para uma escola particular é dado por todas as outras coisas que, em conseqüência, deixamos de poder comprar: o carro novo, aquela viagem de férias (para quem é tão rico que pode pagar por essas coisas sem dificuldade, o custo de mandar o filho para a escola particular pode ser quase zero). Para um guepardo, o preço por desenvolver músculos maiores nas pernas é dado por todas as outras coisas que o guepardo

poderia ter feito com os materiais e a energia usados para constituir os músculos das pernas, como por exemplo, produzir mais leite para os filhotes.

Evidentemente, não estou sugerindo que os guepardos fazem cálculos de contabilidade de custos! Tudo é feito automaticamente, pela seleção natural usual. Um guepardo rival que não possui músculos tão grandes nas pernas pode não correr tão depressa, mas tem recursos sobrando para produzir uma quantidade adicional de leite e assim, talvez, criar mais um filhote. Mais filhotes serão criados por guepardos cujos genes os equipam com o meio- termo ótimo entre velocidade da corrida, produção de leite e todos os outros itens do orçamento. Não está claro qual seria o trade-off ótimo entre, digamos, produção de leite e velocidade da corrida. Certamente será diferente para espécies diferentes, e pode flutuar no âmbito de cada espécie. O certo apenas é que os trade-offs deste tipo serão inevitáveis. Quando tanto guepardos como gazelas atingirem a velocidade de corrida máxima que podem pagar dadas suas economias internas, a corrida armamentista entre eles chegará ao fim.

Seus respectivos pontos de chegada econômicos podem não representar um equilíbrio de forças. As presas podem acabar gastando relativamente mais de seu orçamento em armamentos defensivos do que os predadores em armamentos ofensivos. Uma razão disto é sintetizada nesta moral esópica: o coelho corre mais que a raposa porque ele está correndo pela vida, e ela, apenas pelo jantar. Do ponto de vista econômico, isto significa que as raposas individuais que desviam recursos para outros projetos podem sair-se melhor do que raposas individuais que gastam praticamente todos os seus recursos na tecnologia da caça. Na população dos coelhos, por outro lado, a balança da vantagem econômica pende para os coelhos individuais que gastam mais com equipamento para correr mais depressa. O resultado final desses orçamentos economicamente equilibrados no âmbito das espécies é que as corridas armamentistas entre espécies tendem a chegar a um fim mutuamente estável, com um dos lados à frente.

Não é provável vermos corridas armamentistas em progresso dinâmico, pois é improvável que elas estejam sendo disputadas em qualquer "momento" específico do tempo geológico, como o nosso, por exemplo. Mas os animais que vemos em nossa época podem ser interpretados como os produtos finais de uma corrida armamentista disputada no passado.

Resumindo a mensagem deste capítulo: os genes são selecionados não por suas qualidades intrínsecas, mas por suas interações com o meio. Um componente especialmente importante do meio de um gene são os outros genes. A razão geral de esse componente ser tão importante é que os outros genes também mudam com o passar das gerações na evolução. Isto produz dois tipos principais de conseqüências.

Primeiro, significa que são favorecidos os genes que têm a propriedade de "cooperar" com os outros genes que eles tendem a encontrar em circunstâncias que favorecem a cooperação. Isto se aplica em especial, mas não exclusivamente, a genes de uma mesma espécie, pois eles com freqüência compartilham células. Isto levou à evolução de grandes equipes de genes cooperativos e, em última análise, à evolução dos próprios corpos como produtos da atividade cooperativa dos genes. Um corpo individual é um grande veículo ou "máquina de sobrevivência" construído por uma cooperativa de genes para a preservação de cópias de cada membro dessa cooperativa. Os genes cooperam porque todos têm a ganhar com o mesmo resultado - a sobrevivência e reprodução do corpo comunitário e porque eles constituem uma parte importante do meio no qual a seleção natural atua sobre cada um.

Segundo, nem sempre as circunstâncias favorecem a cooperação. Em sua marcha pelo tempo geológico, os genes também encontram uns aos outros em circunstâncias que favorecem o antagonismo. Isto se aplica sobretudo, mas não exclusivamente, a genes de espécies diferentes. O que se deve frisar com relação às espécies diferentes é que seus genes não se misturam - porque não é viável o cruzamento de membros de espécies diferentes. Quando genes selecionados em uma espécie fornecem o meio no qual genes de outra espécie são selecionados, o resultado com freqüência é uma corrida armamentista evolutiva. Cada novo aperfeiçoamento genético selecionado de um lado da corrida armamentista - por exemplo, predadores - muda o meio para a seleção de genes do outro lado da corrida - as presas. São as corridas armamentistas deste tipo as principais responsáveis pela aparente qualidade progressiva da evolução, pela evolução da velocidade de corrida cada vez maior, da maior habilidade de voar, da maior acuidade visual e auditiva etc. Essas corridas armamentistas não continuam indefinidamente; estabilizam-se quando, por exemplo, melhoras adicionais representam um custo econômico excessivo para os animais individuais envolvidos.

Este foi um capítulo difícil, mas tinha de constar no livro. Sem ele, teríamos ficado com a impressão de que a seleção natural é apenas um processo destrutivo, ou, na melhor das hipóteses, um processo de erradicação do que é pior. Vimos dois modos como a seleção natural pode ser uma força construtiva. Um modo é dado pelas relações cooperativas entre genes de uma mesma espécie. Nossa suposição fundamental tem de ser que os genes são entidades "egoístas", trabalhando em benefício de sua própria propagação no pool genético da espécie. Mas como o meio de um gene consiste, em alto grau, de outros genes que também estão sendo selecionados no mesmo pool genético, os genes serão favorecidos se cooperarem bem com outros genes no mesmo pool. É por isso que evoluíram grandes grupos de células que trabalham coerentemente para os mesmos fins cooperativos. É por isso que existem corpos em vez de replicadores separados ainda em batalha na sopa primordial.

O funcionamento integrado e coerente evolui nos corpos porque os genes são selecionados no meio fornecido por outros genes na mesma espécie. Mas como os genes também são selecionados no meio fornecido por outros genes em espécies diferentes, desenvolvem-se corridas armamentistas. E as corridas armamentistas constituem a outra grande força propulsora da evolução em direções que reconhecemos como "design" complexo, "progressivo". As corridas armamentistas dão a sensação de ser um processo inerentemente instável e descontrolado. Os genes seguem sua carreira em direção ao futuro de um modo que, em certo sentido, é despropositado e fútil, e em outro sentido é progressivo e sempre fascinante para nós, observadores. O capítulo seguinte trata de um caso particular, muito especial, de evolução explosiva e descontrolada: o caso que Darwin denominou seleção sexual.

8. Explosões e espirais

A mente humana é uma analogista inveterada. Somos compulsivamente impelidos a ver significado em ligeiras semelhanças entre processos muito diferentes. Passei boa parte de um dia no Panamá observando uma luta entre duas fervilhantes colônias de saúvas, e minha mente irresistivelmente comparou o campo de batalha juncado de membros arrancados aos quadros que eu vira sobre a Batalha de Passchendaele. Eu quase podia ouvir os canhões e sentir o cheiro de fumaça. Pouco depois da

publicação de meu primeiro livro, O gene egoísta, fui procurado independentemente por dois clérigos que haviam, ambos, chegado à mesma analogia entre as idéias do livro e a doutrina do pecado original. Darwin aplicou a idéia da evolução de modo discriminativo a organismos vivos cujo corpo mudou de forma ao longo de incontáveis gerações. Seus sucessores foram tentados a enxergar evolução em tudo: na forma mutável do universo, nos "estágios" de desenvolvimento de nações humanas, nas tendências dos comprimentos das saias. Às vezes, analogias assim podem ser imensamente proveitosas, mas é fácil ir longe demais e empolgar-se com analogias tão tênues que chegam a ser inócuas ou mesmo francamente danosas. Acostumei-me a receber minha cota de correspondência hostil, e aprendi que uma das marcas registradas desse tipo de mensagem consiste em fazer analogias exaltadas.

Por outro lado, alguns dos maiores avanços da ciência aconteceram porque alguma pessoa inteligente detectou uma analogia entre um assunto que já era compreendido e outro ainda misterioso. O truque está em encontrar um equilíbrio entre o excesso de analogias indiscriminadas e a cegueira estéril para analogias proveitosas. O cientista bem-sucedido e o fanático delirante distinguem-se pela qualidade de suas inspirações. Mas desconfio que isto equivale, na prática, a uma diferença não tanto na capacidade de notar analogias, e sim de rejeitar analogias tolas e aprofundar-se no exame das proveitosas. Passando ao largo do fato de que temos aqui mais uma analogia, que pode ser tola ou proveitosa (e que certamente não é original), entre o progresso científico e a seleção evolutiva darwiniana, tratarei agora do aspecto que é importante para este capítulo: pretendo discorrer sobre duas analogias interligadas que julgo inspiradoras mas que podem ser levadas longe demais se não formos suficientemente cuidadosos. A primeira é uma analogia entre vários processos, unidos por sua semelhança com as explosões. A segunda é uma analogia entre a verdadeira evolução darwiniana e o que se denominou evolução cultural. Acho que essas analogias podem ser proveitosas - é claro, pois do contrário eu não lhes teria dedicado um capítulo. Mas que o leitor fique avisado.

A propriedade das explosões relevante para nós é conhecida pelos engenheiros como "feedback positivo". O melhor modo de entendê-la é por uma comparação com o seu oposto, o feedback negativo. O feedback negativo é a principal base do controle e regulação automáticos, e um de seus exemplos mais claros e conhecidos é o regulador de vapor de Watt. Um motor útil deve fornecer força de rotação a um ritmo constante, o ritmo

apropriado ao trabalho em questão, seja ele moer, tecer, bombear ou qualquer outra coisa. Antes de Watt, o problema era que o ritmo das rotações dependia da pressão do vapor. Abastecendo-se a caldeira, acelerava-se o motor, o que não era conveniente para um moinho ou um tear que requerem um movimento uniforme em suas máquinas. O regulador de Watt era uma válvula automática que regulava o fluxo de vapor no pistão.

O truque engenhoso foi ligar a válvula ao movimento rotatório produzido pelo motor de modo que, quanto mais rápido o motor trabalhasse, mais a válvula fecharia a passagem do vapor. Inversamente, quando o motor estivesse funcionando devagar, a válvula se abriria. Assim, um motor funcionando muito lentamente logo se aceleraria, e aquele trabalhando depressa demais logo diminuiria seu ritmo. O meio preciso de medição da velocidade pelo regulador era simples, mas eficaz, e o princípio é usado ainda hoje. Duas bolas ligadas a braços articulados por dobradiça giram, impelidas pelo motor. Quando estão girando depressa, elas sobem nas dobradiças devido à força centrífuga. Quando giram devagar, elas descem. Os braços articulados são diretamente ligados à válvula de vapor. Com um ajuste adequado, o regulador de Watt pode manter as rotações de um motor em um ritmo quase constante a despeito de consideráveis flutuações na fornalha.

O princípio básico do regulador de Watt é o feedback negativo, O motor é realimentado com seu produto (neste caso, o movimento rotativo), por meio da válvula de vapor. O feedback é negativo porque um produto elevado (rotação rápida das bolas) tem um efeito negativo sobre o insumo (o vapor fornecido). Inversamente, um produto baixo (rotação lenta das bolas) faz aumentar o insumo (de vapor), novamente invertendo o sinal. Mas introduzi a idéia do feedback negativo apenas para contrastá-la com o feedback positivo. Façamos uma alteração crucial em uma máquina a vapor provida de um regulador de Watt: invertamos o sinal da relação entre o mecanismo das bolas centrífugas e a válvula de vapor. Agora, quando as bolas giram depressa, a válvula, ao invés de fechar-se como projetou Watt, abre-se. Inversamente, quando as bolas giram devagar, a válvula, ao invés de aumentar o fluxo de vapor, faz com que ele se reduza. Em um motor normal com regulador de Watt, um motor que começasse a desacelerar logo corrigiria essa tendência e tornaria a girar mais rápido até a velocidade desejada. Mas nosso motor adulterado faz justamente o contrário. Se começar a desacelerar, o mecanismo faz com que se desacelere ainda mais. Logo ele próprio diminui seu vapor até parar. Se, por outro lado, esse motor adulterado por acaso se acelerar um pouco,

em vez de a tendência ser corrigida como aconteceria em um motor de Watt normal, ela se intensifica. A ligeira aceleração é reforçada pelo regulador invertido, e o motor se acelera. A aceleração produz uma realimentação positiva, e o motor se acelera ainda mais. Isso prossegue até que o motor quebre devido ao esforço e o volante vá voando de encontro à parede da fábrica, ou até que não haja mais pressão de vapor disponível e seja imposta uma velocidade máxima.

Enquanto o regulador de Watt original emprega o feedback negativo, nosso regulador adulterado hipotético exemplifica o processo oposto, o feedback positivo. Os processos de feedback positivo caracterizam-se pela instabilidade e descontrole. Pequenas perturbações iniciais são intensificadas e prosseguem em uma espiral sempre crescente, que culmina em desastre ou num esgotamento final em algum nível superior devido a algum outro processo. Os engenheiros acharam conveniente unir uma ampla variedade de processos sob a denominação única de feedback negativo, e outra ampla variedade sob a denominação de feedback positivo. As analogias são proveitosas não só em algum sentido qualitativo vago, mas porque todos os processos compartilham a mesma matemática básica. Os biólogos que estudam fenômenos como o controle da temperatura do corpo e os mecanismos de saciedade que impedem a superalimentação julgaram conveniente tomar de empréstimo aos engenheiros a matemática do feedback negativo. Os sistemas de feedback positivo são usados menos que os de feedback negativo, tanto pelos engenheiros como pelos organismos vivos; apesar disso, são os feedbacks positivos o assunto deste capítulo.

A razão de os engenheiros e os organismos vivos utilizarem mais os sistemas de feedback negativo que os de feedback positivo é, obviamente, a utilidade de uma regulação controlada em um nível próximo do ótimo. Os processos descontrolados instáveis, longe de serem úteis, podem ser francamente perigosos. Em química, o típico processo de feedback positivo é a explosão, sendo comum usarmos o termo explosivo para descrever um processo descontrolado. Por exemplo, podemos dizer que certa pessoa tem um temperamento explosivo. Um de meus professores na escola era um homem culto, polido e normalmente calmo, mas tinha ocasionais explosões de cólera, e estava consciente disso. Diante de uma provocação extrema durante a aula, ele a princípio nada dizia, mas víamos em seu rosto que algo incomum estava acontecendo com ele lá por dentro. E então, começando em um tom de voz sereno e controlado, ele dizia: "Ah, não vou conseguir agüentar. Vou perder o controle. Agachem-se embaixo das carteiras. Estou avisando. Vai começar". Enquanto dizia isto, seu tom de

voz ia aumentando e, nesse crescendo, ele pegava tudo o que estava ao alcance das mãos - livros, apagadores de lousa, pesos de papel, vidros de tinta - e atirava em rápida sucessão com toda a força e ferocidade, mas sem fazer pontaria, mais ou menos na direção do menino que o provocara. O ataque arrefecia gradualmente, e no dia seguinte ele pedia educadas desculpas ao aluno. Ele tinha consciência de que perdera o controle, observara a si mesmo tornando-se vítima de um circuito de realimentação positiva.

Mas os feedbacks positivos não causam apenas aumentos descontrolados; podem gerar diminuições descontroladas. Recentemente compareci a um debate na Congregação, o "parlamento" da Universidade de Oxford, para decidir sobre o oferecimento de um título honorário a certa pessoa. A decisão foi controvertida - coisa rara na instituição. Após a votação, durante os quinze minutos da contagem dos votos, houve um burburinho geral de conversa entre os que aguardavam os resultados. Em certo momento, as conversas estranhamente foram sumindo até desaparecer num silêncio total. A razão foi um tipo específico de feedback positivo. Ele funcionou assim: em qualquer rumor geral de conversas, tendem a ocorrer flutuações aleatórias no nível de ruído, para mais ou para menos, que normalmente não notamos. Uma dessas flutuações casuais, na direção do silêncio, por acaso foi mais acentuada que o usual, e por isso algumas pessoas a notaram. Como todo mundo estava ansioso pelo anúncio do resultado da votação, os que ouviram a diminuição fortuita do nível de ruído ergueram os olhos e pararam de conversar. Isto fez com que o nível geral de ruído diminuísse mais um pouco, e em conseqüência mais pessoas notaram o fato e pararam de conversar. Tivera início um feedback positivo, que prosseguiu rapidamente até pairar o silêncio total no saguão. Percebemos então que era alarme falso, houve risos, e o ruído foi aumentando gradativamente até chegar ao nível anterior.

Os feedbacks positivos mais notáveis e espetaculares são os que resultam não de uma diminuição, mas de um aumento descontrolado em alguma coisa: uma explosão nuclear, um professor tendo um ataque de cólera, uma briga de bar, uma invectiva progressivamente exaltada na ONU (o leitor deve lembrar-se do aviso no início do capítulo). A importância dos feedbacks positivos nos assuntos internacionais é implicitamente reconhecida em um termo empregado no jargão da área, "escalada", ou quando dizemos que o Oriente Médio é um "barril de pólvora", ou quando identificamos "zonas de fricção". Uma das mais conhecidas expressões ligadas à idéia de feedback positivo está no evangelho de São Mateus:

"Pois ao que tem se lhe dará, e terá em abundância; mas, ao que não tem, até o que tem lhe será tirado". Este capítulo trata dos feedbacks positivos na evolução. Existem algumas características nos organismos vivos que os fazem parecer produtos finais de algo semelhante a um processo evolutivo explosivo, descontrolado, movido por feedback positivo. De certa maneira, as corridas armamentistas do capítulo anterior são exemplos disso, mas os exemplos realmente espetaculares são encontrados nos órgãos, de anúncio sexual.

Tente persuadir-se, como tentaram me persuadir quando cursava a graduação, que a cauda do pavão é um órgão prático e funcional, como um dente ou um rim, moldado pela seleção natural para a mera função utilitária de identificar a ave inequivocamente como um membro de sua espécie e não de outra. Nunca me convenceram, e duvido que o leitor também se deixe convencer. Para mim, a cauda do pavão tem a marca inconfundível do feedback positivo. É claramente o produto de algum tipo de explosão descontrolada e instável que ocorreu no tempo evolutivo. Darwin também raciocinou assim em sua teoria da seleção sexual, tanto quanto, explicitamente e com a mesma efusão, o maior de seus sucessores, R. A. Fisher. Após uma breve argumentação, ele concluiu (em seu livro *The Genetical Theory of Natural Selection - Teoria genética da seleção natural*):

O desenvolvimento da plumagem no macho, e da preferência sexual por esse desenvolvimento na fêmea, devem, portanto, avançar juntos e, enquanto o processo não for refreado por uma severa seleção contrária, avançará com velocidade sempre crescente. Na ausência total desses freios, é fácil ver que a velocidade do desenvolvimento será proporcional ao desenvolvimento já alcançado, que, portanto, com o tempo aumentará exponencialmente, ou em progressão geométrica.

Como sempre acontece em se tratando de Fisher, o que para ele era "fácil ver" não foi plenamente compreendido pelos demais antes de decorrido meio século. Fisher não se deu o trabalho de explicar minuciosamente sua afirmação de que a evolução da plumagem sexualmente atrativa poderia avançar em velocidade cada vez maior, exponencialmente, explosivamente. O resto do mundo dos biólogos demorou cerca de cinquenta anos para acompanhar seu raciocínio e finalmente reconstruir por completo o tipo de argumento matemático que Fisher deve ter usado, no papel ou na cabeça, para provar o argumento a si mesmo. Tentarei explicar, em pura prosa não matemática, as idéias matemáticas que, em sua forma moderna, foram em grande medida expostas pelo jovem biólogo matemático americano

Russell Lande. Embora eu não queira ser tão pessimista quanto o próprio Fisher que, no prefácio ao seu livro de 1930, declarou: "Nenhum esforço de minha parte ajudaria a tornar este livro uma leitura fácil", mesmo assim, nas palavras de um generoso resenhista de meu primeiro livro: "O leitor fique avisado de que deve calçar seus tênis de corrida mental". Eu mesmo precisei empenhar-me arduamente para compreender estas idéias difíceis. E aqui, apesar de seus protestos, tenho de reconhecer o mérito de meu colega e ex-aluno Alan Grafen, que, embora notoriamente atinja alturas exclusivas em suas sandálias aladas mentais, possui a habilidade ainda mais rara de tirá-las e descobrir o modo certo de explicar as coisas aos outros. Sem o que ele me ensinou, eu jamais poderia ter escrito a parte intermediária deste capítulo, o que explica minha recusa a relegar meus agradecimentos ao prefácio.

Antes de entrarmos nessa questão difícil, preciso retroceder e dar algumas explicações sobre a origem da idéia da seleção sexual.

Ela começou, como tantas outras coisas neste campo de estudos, com Charles Darwin. Embora sua ênfase principal fosse a sobrevivência e a luta pela existência, Darwin reconheceu que a existência e a sobrevivência eram apenas meios para se atingir um fim. Esse fim era a reprodução. Um faisão pode viver até uma idade bem avançada, mas se não se reproduzir, não transmitirá seus atributos. A seleção favorecerá qualidades que façam um animal ser bem-sucedido na reprodução, e a sobrevivência é apenas uma parte da batalha para reproduzir-se. Em outras partes da batalha, o sucesso vai para quem for mais atraente para o sexo oposto. Darwin viu que, se um faisão, um pavão ou uma ave-do-paraíso macho comprassem atratividade sexual, mesmo ao custo da própria vida, poderiam ainda assim transmitir suas qualidades sexualmente atrativas antes de morrer, por meio da procriação bem-sucedida. Darwin percebeu que a cauda de um pavão deveria ser uma desvantagem para seu possuidor no quesito sobrevivência, e supôs que isto era mais do que compensado pela atratividade sexual que ela conferia ao macho. Com sua queda por analogias com a domesticação, Darwin comparou a pavoá com o criador humano dirigindo o curso da evolução de animais domésticos segundo seus caprichos estéticos. Podemos comparar a pavoá com a pessoa que seleciona biomorfos no computador segundo o atrativo estético.

Darwin simplesmente aceitava os caprichos da fêmea como um dado. A existência desses caprichos era um axioma de sua teoria da seleção sexual, uma pressuposição e não algo que precisava ser explicado. Em parte por essa razão, sua teoria da seleção sexual caiu em descrédito,

até ser resgatada por Fisher em 1930. Infelizmente, muitos biólogos não fizeram caso de Fisher ou o compreenderam mal. A objeção levantada por Julian Huxley e outros foi que os caprichos das fêmeas não eram alicerces legítimos para uma teoria verdadeiramente científica. Mas Fisher resgatou a teoria da seleção sexual tratando a preferência das fêmeas como um objeto legítimo da seleção natural por mérito próprio, tanto quanto as caudas dos machos. A preferência das fêmeas é uma manifestação de seu sistema nervoso. O sistema nervoso da fêmea desenvolve-se sob a influência de seus genes, portanto é provável que os atributos desse sistema nervoso tenham sido influenciados pela seleção no decorrer das gerações passadas. Enquanto outros pensaram que os ornamentos do macho evoluíram sob a influência da preferência estética da fêmea, Fisher raciocinou que a preferência da fêmea evoluiu dinamicamente passo a passo com a ornamentação do macho. Talvez o leitor já comece a perceber como isto vai ligar-se à idéia do feedback positivo explosivo.

Quando estamos discutindo idéias teóricas difíceis, muitas vezes é útil ter em mente um exemplo específico do mundo real. Usarei como exemplo a cauda da viuvinha africana *Lg. Vidual*. Qualquer ornamento sexualmente selecionado teria servido, mas me deu vontade de variar e evitar o pavão, onipresente nas discussões sobre seleção sexual. O macho da viuvinha africana é uma ave negra e esguia com centelhas laranja nos ombros, mais ou menos do tamanho de um pardal, cujas penas principais da cauda podem chegar a 46 centímetros na temporada de acasalamento. É freqüente vê-lo em seu espetacular vôo de exibição sobre as pradarias africanas, rodopiando e descrevendo arcos, como um avião de publicidade adejando uma longa flâmula. Não surpreende que essa ave possa ficar presa ao solo quando o clima é úmido. Mesmo uma cauda seca deve ser um fardo e tanto para se carregar. Estamos interessados em explicar a evolução dessa longa cauda, que imaginamos ter sido um processo evolutivo explosivo. Nosso ponto de partida, portanto, é uma ave ancestral sem cauda longa. Imagine que a cauda desse ancestral tivesse cerca de sete centímetros de comprimento, quase um sexto do comprimento da cauda do macho moderno na época de acasalamento. A mudança evolutiva que estamos tentando explicar é um aumento de seis vezes no comprimento da cauda.

É um fato óbvio que, quando se trata de medir praticamente qualquer coisa em um animal, embora a maioria dos membros da espécie esteja bem próxima da média, alguns indivíduos estão um pouco acima dela, enquanto outros ficam abaixo. Podemos ter certeza de que houve uma faixa de variação nos comprimentos das caudas da viuvinha africana ancestral,

com algumas mais longas e outras mais curtas do que os sete centímetros médios. É seguro supor que o comprimento da cauda teria sido governado por um grande número de genes, cada um com um efeito pequeno, e que seus efeitos somaram-se, juntamente com os efeitos da dieta e de outras variáveis do meio, produzindo o comprimento real da cauda de um indivíduo. Chamam-se polígenes os grandes números de genes cujos efeitos são somados. A maioria das medidas do ser humano, por exemplo altura e peso, são afetadas por grandes números de polígenes. O modelo matemático de seleção sexual que estou seguindo mais de perto nesta explicação é o modelo de polígenes de Russell Lande.

Agora temos de voltar nossa atenção para as fêmeas e para o modo como elas escolhem seus parceiros. Pode parecer discriminação sexual supor que são as fêmeas que escolhem os parceiros e não o contrário. Na verdade, há boas razões teóricas para esperar que isso aconteça (ver O gene egoísta), e normalmente na prática é o que ocorre. Certamente os machos da viuvinha africana moderna atraem haréns de mais ou menos meia dúzia de fêmeas. Isto significa que existe na população um excedente de machos que não se reproduzem. E isto, por sua vez, significa que as fêmeas não têm dificuldade para encontrar parceiros e estão em condições de ser exigentes. Um macho tem muito a ganhar sendo atraente para as fêmeas. Uma fêmea tem pouco a ganhar sendo atraente para os machos, já que haverá demanda por ela de qualquer modo.

Portanto, tendo aceito a suposição de que são as fêmeas que escolhem, daremos a seguir o passo crucial que deu Fisher para confundir os críticos de Darwin. Em vez de simplesmente concordar que as fêmeas têm caprichos, vemos a preferência das fêmeas como uma variável influenciada geneticamente, como qualquer outra. A preferência das fêmeas é uma variável quantitativa, e podemos supor que é controlada por polígenes tanto quanto o comprimento da cauda do macho. Esses polígenes podem atuar sobre qualquer uma dentre uma grande variedade de partes do cérebro da fêmea, ou mesmo sobre seus olhos - de fato, sobre qualquer coisa que tenha o efeito de alterar a preferência da fêmea. Sem dúvida, a preferência da fêmea leva em consideração muitas partes de um macho, a cor da mancha em seu ombro, a forma de seu bico etc.; mas estamos interessados, aqui, na evolução do comprimento da cauda do macho, portanto estamos interessados nas preferências das fêmeas por caudas de diferentes comprimentos nos machos. Assim, podemos medir a preferência das fêmeas exatamente com as mesmas unidades que medimos o comprimento da cauda dos machos - centímetros. Os polígenes farão com que existam

algumas fêmeas com uma preferência por caudas de macho mais longas do que a média, outras com preferência por caudas mais curtas e outras ainda com preferência pelas de comprimento médio.

Agora, eis uma das principais percepções de toda esta teoria: embora os genes da preferência das fêmeas apenas se expressem no comportamento delas, eles estão presentes também no corpo dos machos. E, analogamente, os genes para o comprimento da cauda dos machos estão presentes no corpo das fêmeas, mesmo não se expressando nelas. Esta idéia de um gene "não se expressar" não é difícil. Se um homem possui genes para um pênis longo, as probabilidades de transmitir esses genes à sua filha e ao seu filho são iguais. Seu filho pode expressar esses genes, mas sua filha, obviamente, não, pois não tem pênis. Mas se esse homem um dia tiver netos, os filhos de sua filha terão a mesma probabilidade de herdar seu pênis longo do que os filhos de seu filho. Os genes podem existir em um corpo sem se expressar. Da mesma maneira, Fisher supõe que os genes da preferência das fêmeas são carregados pelo corpo dos machos, embora somente se expressem no corpo de fêmeas. E genes para caudas de machos são carregados pelo corpo das fêmeas, mesmo não se expressando nelas.

Suponhamos que temos um microscópio especial que nos permite ver o interior das células das aves e inspecionar seus genes.

Tomemos um macho que possui uma cauda mais longa do que a média e examinemos seus genes no interior de suas células. Observando primeiro os genes para o comprimento da cauda, não nos surpreende descobrir que esse espécime possui genes produtores cauda longa - isto é óbvio, pois ele tem cauda longa. Mas agora vejamos seus genes determinantes da preferência por caudas. Agora não temos nenhuma indicação exterior, pois tais genes só se expressam nas fêmeas. Temos de olhar no microscópio. O que veríamos? Veríamos genes para fazer as fêmeas preferir caudas longas. Inversamente, se examinássemos um macho de cauda curta, deveríamos ver genes para fazer as fêmeas preferir caudas curtas. Este é um elemento crucial na argumentação. Descrevo a seguir sua base racional.

Se eu sou um macho de cauda longa, meu pai mais provável também tem cauda longa. Isto é simplesmente a hereditariedade usual. Mas também, já que meu pai foi escolhido como parceiro pela minha mãe, é mais provável que ela tenha preferido machos de cauda longa. Portanto, se herdei os genes para cauda longa de meu pai, é provável que eu também tenha herdado genes para a preferência por cauda longa de minha mãe. Pelo mesmo raciocínio, se você herdou os genes para a cauda curta, são maiores

as chances de que também tenha herdado os genes para fazer as fêmeas preferir cauda curta.

Podemos seguir o mesmo tipo de raciocínio para as fêmeas. Se eu sou uma fêmea que prefere machos de cauda longa, são grandes as chances de que minha mãe também preferiu machos de cauda longa. Portanto, são grandes as chances de que meu pai tivesse cauda longa, já que ele foi escolhido por minha mãe. Portanto, se herdei genes da preferência por caudas longas, são maiores as chances de que eu também tenha herdado genes para ter uma cauda longa, independentemente de esses genes se expressarem ou não em meu corpo. E se herdei genes que levam à preferência por caudas curtas, são grandes as chances de que eu também tenha herdado genes para ter cauda curta. A conclusão geral é: qualquer indivíduo, não importa o sexo, tende a possuir tanto os genes que fazem o macho ter determinada qualidade como os genes que fazem as fêmeas preferirem a mesma qualidade, seja ela qual for.

Assim, os genes que determinam qualidades dos machos e os genes que levam as fêmeas a preferir essas qualidades não serão espalhados aleatoriamente na população; tenderão a ser espalhados juntos. Esse "companheirismo", conhecido pelo intimidante termo técnico "desequilíbrio de ligação" prega peças curiosas nas equações dos geneticistas matemáticos. Ele tem conseqüências estranhas e fascinantes, das quais uma das mais notáveis, se Fisher e Lande estiverem corretos, é a evolução explosiva das caudas dos pavões e viúvinhas e de uma profusão de outros órgãos usados para atração. Essas conseqüências só podem ser provadas matematicamente, mas é possível explicar em palavras o que elas são, e podemos tentar ter alguma idéia do argumento matemático em linguagem não matemática. Ainda precisamos de nossos tênis de corrida mental, embora, na verdade, uma analogia melhor fosse com botas de alpinista. Cada passo no argumento é suficientemente simples, mas há uma longa série de passos até o topo da montanha do entendimento, e quem perder um deles infelizmente não conseguirá dar os seguintes.

Até aqui, reconhecemos a possibilidade de toda uma gama de preferências das fêmeas, das que favorecem os machos de cauda longa até as que, ao contrário, privilegiam os de cauda curta. Mas se de fato fizéssemos um levantamento das fêmeas em uma população específica, provavelmente constataríamos que a maioria das fêmeas compartilha as mesmas preferências gerais pelas qualidades dos machos. Podemos expressar a gama de preferências das fêmeas na população na mesma unidade - centímetros em que expressamos a gama de comprimentos de cauda dos

machos. E podemos expressar a preferência média das fêmeas também em centímetros. Poderia acontecer de a preferência média das fêmeas ser exatamente igual ao comprimento médio da cauda dos machos, sete centímetros em ambos os casos. Isso acontecendo, a escolha das fêmeas não seria uma força evolutiva impelindo a mudança na cauda dos machos. Ou poderia ocorrer de a preferência média das fêmeas ser por uma cauda bem mais longa do que a cauda média já existente - digamos, dez centímetros em vez de sete. Deixando em aberto, por ora, a razão de poder existir uma discrepância como essa, simplesmente aceitemos que existe uma discrepância, e façamos a óbvia pergunta seguinte: por que, se a maioria das fêmeas prefere machos com caudas de dez centímetros, a maioria dos machos possui caudas de sete centímetros? Por que o comprimento médio da cauda na população não muda para dez centímetros a influência da seleção sexual das fêmeas? Como pode haver uma discrepância de três centímetros entre o comprimento de cauda médio preferido e o comprimento médio de cauda real?

A resposta é que a preferência das fêmeas não é o único tipo de seleção a influir no comprimento da cauda dos machos. As caudas têm um papel importante no voo, e se forem longas ou curtas demais a eficiência do voo será prejudicada. Além disso, uma cauda longa requer mais energia para ser carregada, e também mais para formar-se. Os machos com cauda de dez centímetros poderiam muito bem atrair as fêmeas, mas o preço que eles pagariam seria o voo menos eficiente, maiores custos de energia e maior vulnerabilidade a predadores. Podemos expressar esta idéia dizendo que existe um ótimo utilitário para o comprimento da cauda que difere do Ótimo sexualmente selecionado: um comprimento de cauda ideal do ponto de vista dos critérios de utilidade usuais, um comprimento de cauda que seja o ideal de todos os outros pontos de vista com exceção da atratividade para as fêmeas.

Deveríamos esperar que o comprimento de cauda médio real dos machos, sete centímetros em nosso exemplo hipotético, seja igual ao ótimo utilitário? Não - deveríamos esperar que o ótimo utilitário seja menor, digamos, cinco centímetros. A razão disso é que o comprimento de cauda médio real de sete centímetros resulta de um meio-termo entre a seleção utilitária que tende a encurtar as caudas e a seleção sexual que tende a alongá-las. Podemos supor que, se não houvesse a necessidade de atrair as fêmeas, o comprimento médio das caudas diminuiria na direção dos cinco centímetros. Se não houvesse a necessidade de atender às exigências da eficiência de voo e dos custos de energia, o comprimento médio das caudas

aumentaria na direção de dez centímetros. A média real de três centímetros é um meio-termo.

Ainda não consideramos uma questão: por que as fêmeas poderiam concordar em preferir uma cauda que se afasta do ótimo utilitário? À primeira vista, a própria idéia parece tola. Fêmeas preocupadas com a moda, com uma queda pelas caudas que são mais longas do que deveriam ser segundo os critérios do bom design, terão filhos cujo corpo possui um design ruim, ineficiente e desajeitado para o vôo. Qualquer fêmea mutante que por acaso tivesse um interesse fora de moda por machos de cauda mais curta, em especial uma fêmea mutante cujo gosto por caudas por acaso coincidissem com o ótimo utilitário, produziria filhos eficientes, com um design favorável ao vôo, que certamente venceriam na competição com os filhos de suas rivais mais preocupadas com a moda. Ah, mas aí está o x da questão. Ele está implícito em minha metáfora da "moda". Os filhos da fêmea mutante podem ser eficientes no vôo, mas não são considerados atraentes pela maioria das fêmeas na população. Atrairão apenas uma minoria de fêmeas, as que não ligam para a moda; e as fêmeas minoritárias, por definição, são mais difíceis de encontrar do que as majoritárias, pela simples razão de serem menos numerosas. Em uma sociedade na qual apenas um em cada seis machos consegue acasalar-se e os machos felizardos possuem grandes haréns, atender ao gosto majoritário das fêmeas trará benefícios imensos, benefícios que são perfeitamente capazes de suplantar em importância os custos utilitários de energia e eficiência de vôo.

Mas, ainda assim, o leitor pode protestar, todo o argumento está fundamentado em uma suposição arbitrária. Dado que a maioria das fêmeas prefere caudas longas não utilitárias, o leitor admite, tudo o mais é decorrente. Mas por que surgiu essa preferência majoritária nas fêmeas? Por que a maioria das fêmeas não preferiu caudas que fossem menores do que o ótimo utilitário ou exatamente do mesmo comprimento que o ótimo utilitário? Por que a moda não deveria coincidir com a utilidade? A resposta é que qualquer uma dessas coisas poderia ter acontecido. E em muitas espécies provavelmente aconteceu. Meu exemplo hipotético de fêmeas que preferem caudas longas foi, de fato, arbitrário. Mas fosse qual fosse o gosto majoritário das fêmeas que por acaso surgisse, e não importa quanto ele fosse arbitrário, teria havido a tendência de essa maioria ser mantida pela seleção ou mesmo, em algumas condições, de aumentar exageradamente. É nesta etapa do argumento que se faz notar a ausência de justificativa matemática em minha explicação. Eu poderia instar o leitor

a simplesmente aceitar que o raciocínio matemático de Lande comprova a idéia, e ficar por isso mesmo. Talvez fosse esse o caminho mais sábio a seguir, mas mesmo assim farei uma tentativa de explicar parte da idéia em palavras.

A chave do argumento está no elemento que definimos anteriormente, o "desequilíbrio de ligação", o "companheirismo" de genes determinantes de caudas de um dado comprimento - qualquer comprimento - e de genes correspondentes que determinam a preferência por caudas desse mesmo comprimento. Podemos imaginar o "fator de companheirismo" como um número mensurável. Se o fator de companheirismo for muito elevado, isto significa que conhecer os genes do comprimento de cauda de um indivíduo nos permite predizer, com grande precisão, seus genes da preferência e vice-versa. Inversamente, se o fator de companheirismo for baixo, isto significa que conhecer os genes de um indivíduo em um dos dois departamentos - preferência ou comprimento de cauda - só nos fornece uma ínfima indicação sobre seus genes no outro departamento.

O tipo de coisa que afeta a magnitude do fator de companheirismo é a intensidade da preferência das fêmeas quanto elas são tolerantes com o que lhes parece ser um macho imperfeito, quanto da variação no comprimento da cauda dos machos é governado pelos genes e não por fatores ambientais etc. Se, como resultado de todos esses efeitos, o fator de companheirismo - a força de ligação dos genes para o comprimento de cauda e dos genes para a preferência por comprimento de cauda - for muito forte, podemos deduzir a conseqüência seguinte: cada vez que um macho é escolhido em razão de sua cauda longa, não estão sendo escolhidos apenas os genes para a cauda longa. Ao mesmo tempo, devido ao "companheirismo", também estão sendo escolhidos os genes da preferência por caudas longas. Isto significa que os genes que fazem as fêmeas escolher caudas de um determinado comprimento nos machos estão, efetivamente, escolhendo cópias de si mesmos. Este é o ingrediente essencial de um processo auto-aumentador: ele tem seu próprio ímpeto auto-sustentado. Assim que a evolução começa em uma direção específica, isto, por si só, tende a fazê-la persistir na mesma direção.

Um outro modo de perceber Isso é da perspectiva do que ficou conhecido como "efeito barba verde". Ele é uma espécie de piada biológica entre os acadêmicos. É puramente hipotético, mas nem por isso deixa de ser muito instrutivo. Foi originalmente proposto como um modo de explicar o princípio fundamental da importante teoria da seleção por parentesco, que expliquei detalhadamente em O gene egoísta. Hamilton, agora meu

colega em Oxford, mostrou que a seleção natural favoreceria genes que determinassem um comportamento altruísta em relação aos parentes próximos, pela simples razão de ser altamente provável a existência de cópias desses mesmos genes nos corpos dos parentes. A hipótese da "barba verde" expõe o mesmo argumento de uma maneira mais geral, embora não tão prática. O parentesco, diz o argumento, é apenas um modo possível como os genes podem, efetivamente, localizar cópias de si mesmos em outros corpos. Em teoria, um gene poderia localizar cópias de si mesmo por meios mais diretos. Suponhamos que aconteça de surgir um gene que tivesse os dois efeitos seguintes (genes com dois ou mais efeitos são comuns): faz os possuidores terem algum "distintivo" muito evidente, como uma barba verde, e também afeta os cérebros de seus possuidores de modo a fazê-los comportar-se com altruísmo em relação a indivíduos dotados de barba verde. Uma coincidência altamente improvável, admita-se, mas se por acaso ela de fato acontecesse, a consequência evolutiva é clara, O gene do altruísmo dos barbas-verdes tenderia a ser favorecido pela seleção natural, exatamente pelos mesmos tipos de razões dos genes determinantes do altruísmo em relação à prole ou aos irmãos. Toda vez que um indivíduo de barba verde ajudasse outro, o gene que confere esse altruísmo discriminativo estaria favorecendo uma cópia de si mesmo. A disseminação do gene da barba verde seria automática e inevitável.

Ninguém acredita, nem mesmo eu, que o efeito barba verde jamais venha a ser encontrado na natureza nesta forma ultra-simples. Na natureza, os genes discriminam em favor de cópias de si mesmos por meio de rótulos menos específicos porém mais plausíveis do que barbas verdes. O parentesco é exatamente esse rótulo. "Irmão" ou, na prática, algo como "aquele que acaba de sair do ovo no ninho onde eu acabo de ganhar minhas penas" é um rótulo estatístico. Qualquer gene que fizer os indivíduos comportar-se com altruísmo em relação aos portadores desse tipo de rótulo tem uma boa chance estatística de ajudar cópias de si mesmo, porque os irmãos têm uma boa chance estatística de ter genes iguais. Podemos considerar que a teoria da seleção por parentesco de Hamilton é um modo de dar plausibilidade ao tipo de efeito barba verde. Cabe lembrar que não existe aqui a sugestão de que os genes "querem" ajudar cópias de si mesmos. Acontece simplesmente que qualquer gene que por acaso tenha o efeito de ajudar cópias de si mesmo tenderá, querendo ou não, a tornar-se mais numeroso na população.

Portanto, o parentesco pode ser visto como um modo de dar plausibilidade a algo como o efeito barba verde. A teoria da seleção sexual de Fisher pode ser explicada como mais um modo pelo qual o efeito barba verde pode se tornar plausível. Quando as fêmeas de uma população têm fortes preferências por características dos machos, disso decorre, pelo raciocínio que foi exposto, que cada corpo de macho tenderá a conter cópias de genes que fazem as fêmeas preferir as características desse macho. Se um macho herdou uma cauda longa de seu pai, são grandes as chances de que também tenha herdado de sua mãe os genes que a fizeram escolher a cauda longa de seu pai. Se o macho tem cauda curta, há grandes chances de que ele possua genes que façam as fêmeas preferir caudas curtas. Portanto, quando uma fêmea exerce sua escolha de parceiro, seja qual for sua preferência, são boas as chances de que os genes que influenciam sua escolha estejam escolhendo cópias de si mesmos nos machos. Eles estão escolhendo cópias de si mesmos usando o comprimento da cauda do macho. Como um rótulo, em uma versão mais complexa do modo como o gene da barba verde usa esse tipo de barba como um rótulo.

Se metade das fêmeas da população preferisse machos de caudas longas e a outra metade, machos de caudas curtas, os genes determinantes da escolha das fêmeas ainda assim estariam escolhendo cópias de si mesmos, mas não haveria uma tendência de que um ou outro tipo de cauda fosse favorecido no geral. Poderia haver uma tendência de a população dividir-se em duas - uma facção de cauda longa que prefere caudas longas, e uma facção de cauda curta que prefere caudas curtas. Mas qualquer divisão bidirecional na "opinião" das fêmeas é uma situação instável. No momento em que uma maioria, por mais insignificante que fosse, começasse a aparecer entre as fêmeas privilegiando um tipo de preferência em detrimento do outro, essa maioria seria reforçada nas gerações subsequentes. Isto porque os machos preferidos pelas fêmeas da escola de pensamento minoritária teriam mais dificuldade para encontrar parceiras, e as fêmeas da escola de pensamento minoritária teriam filhos com relativamente mais dificuldade para encontrar parceiras, portanto as fêmeas minoritárias teriam menos netos. Sempre que pequenas minorias tendem a se tornar minorias ainda menores e que pequenas majorias tendem a se tornar majorias mais numerosas, temos uma receita para um feedback positivo:

"Pois ao que tem se lhe dará, e terá em abundância; mas, ao que não tem, até o que tem lhe será tirado". Sempre que temos um equilíbrio instável, inícios aleatórios e arbitrários são auto-alimentadores. É o

que acontece quando cortamos o tronco de uma árvore: podemos não saber com certeza se ela cairá na direção norte ou sul, mas, após permanecer ereta por algum tempo, assim que ela começa a cair em uma direção e não na outra, nada pode trazê-la de volta.

Amarrando ainda mais fortemente os cordões de nossas botas de alpinismo, preparamo-nos para fincar mais um pitão de escalada. Lembremos que a seleção pelas fêmeas está impelindo as caudas dos machos em uma direção, enquanto a seleção "utilitária" as está impelindo na outra ("impelindo" no sentido evolutivo, obviamente), sendo o comprimento médio real das caudas um meio- termo entre os dois empurrões. Examinemos agora uma quantidade denominada "discrepância de escolha". Ela consiste na diferença entre o comprimento médio real da cauda dos machos na população e o comprimento de cauda "ideal" que a fêmea média na população realmente preferiria. As unidades em que se mede a discrepância de escolha são arbitrárias, tanto quanto são arbitrárias as escalas de temperatura Fahrenheit e Celsius. Assim como a escala Celsius julga conveniente fixar seu ponto zero no ponto de congelamento da água, julgaremos conveniente fixar nosso zero no ponto onde o empurrão da seleção sexual se equilibra exatamente com o empurrão oposto da seleção utilitária. Em outras palavras, uma discrepância de escolha zero significa que a mudança evolutiva sofre uma pausa porque os dois tipos opostos de seleção anulam exatamente um ao outro.

Obviamente, quanto maior a discrepância de escolha, mais forte o "empurrão" evolutivo exercido pelas fêmeas sobre o empurrão contrário da seleção natural utilitária. Não é no valor absoluto da discrepância de escolha em qualquer momento específico que estamos interessados, e sim em como a discrepância de escolha muda em gerações sucessivas. Em decorrência de determinada discrepância de escolha, as caudas tornam-se mais longas, e ao mesmo tempo (lembramos que os genes para a escolha de caudas longas estão sendo selecionados conjuntamente com os genes para ter caudas longas) a cauda ideal preferida pelas fêmeas também se alonga. Após uma geração dessa seleção dual, tanto o comprimento médio das caudas como o comprimento médio preferido das caudas tornaram-se maiores mas qual aumentou mais? Este é um outro modo de perguntar o que acontecerá com a discrepância de escolha.

A discrepância de escolha poderia ter se mantido igual (se o comprimento médio das caudas e o comprimento médio preferido das caudas aumentassem ambos na mesma magnitude). Poderia ter se tornado menor (se o

comprimento médio das caudas aumentasse mais do que o comprimento preferido). Ou, por fim, poderia ter se tornado maior (se o comprimento médio das caudas aumentasse um pouco mas o comprimento médio preferido aumentasse ainda mais). Podemos começar a notar que, se a discrepância de escolha diminuir à medida que as caudas se alongarem, o comprimento das caudas evoluirá em direção a um comprimento em equilíbrio estável. Mas se a discrepância de escolha se tornar maior à medida que as caudas se alongarem, as gerações futuras deveriam, teoricamente, ver as caudas crescer a velocidades cada vez maiores. Isto, sem dúvida alguma, é o que Fisher deve ter calculado antes de 1930, embora suas breves palavras publicadas não tenham sido claramente compreendidas pelos seus contemporâneos.

Tratemos primeiro do caso no qual a discrepância de escolha se torna cada vez menor com o passar das gerações. Ela por fim se tornará tão pequena que o empurrão da preferência das fêmeas em uma direção é compensado exatamente pelo empurrão da seleção utilitária na outra. A mudança evolutiva sofrerá então uma pausa; dizemos que esse sistema está em estado de equilíbrio. O aspecto interessante que Lande provou é que, ao menos em certas condições, não existe apenas um ponto de equilíbrio, mas muitos (teoricamente, um número infinito disposto em linha reta num gráfico, mas isso é matemática para o leitor!). Não existe um único ponto de equilíbrio, mas muitos: para cada força da seleção utilitária empurrando numa direção, a força da preferência das fêmeas evolui de modo a atingir um ponto que a compensa exatamente.

Portanto, se as condições são tais que a discrepância de escolha tende a diminuir com o passar das gerações, a população fará uma pausa no ponto de equilíbrio mais "próximo". Nele, a seleção utilitária empurrando numa direção será exatamente compensada pela seleção das fêmeas empurrando na outra, e as caudas dos machos se manterão no mesmo comprimento, seja ele qual for. O leitor pode reconhecer que temos aqui um sistema de feedback negativo, mas um tipo de sistema de feedback negativo meio esquisito. Sempre podemos identificar um sistema de feedback negativo pelo que ocorre se o "perturbamos" de modo a afastá-lo de seu "ponto fixo" ideal. Se perturbamos a temperatura de uma sala abrindo a janela, por exemplo, o termostato responde ligando o aquecedor para compensar.

Como o sistema de seleção sexual poderia ser perturbado? Cabe lembrar que estamos falando aqui na escala de tempo evolutiva, portanto é difícil fazer experimentos - o equivalente a abrir a janela - e viver

para ver os resultados. Mas, sem dúvida, na natureza, o sistema é perturbado freqüentemente - por exemplo, por flutuações espontâneas e aleatórias no número de machos devido a eventos fortuitos, favoráveis ou desfavoráveis. Sempre que isto ocorre, dadas as condições que vimos discutindo, uma combinação de seleção utilitária e seleção sexual direcionará a população para o ponto mais próximo do conjunto dos pontos de equilíbrio. Provavelmente não será o mesmo ponto de equilíbrio anterior, mas outro ponto situado um pouquinho acima, ou abaixo, na linha dos pontos de equilíbrio. Assim, com o passar do tempo, a população pode mover-se ao longo da linha dos pontos de equilíbrio. Mover-se para cima na linha significa que as caudas se alongam - teoricamente não há limites para quanto elas se alongam. Mover-se para baixo na linha significa que as caudas se encurtam - teoricamente, podendo chegar a zero.

A analogia com o termostato é usada com freqüência para explicar a idéia de um ponto de equilíbrio. Podemos desenvolver essa analogia para explicar a idéia mais difícil de uma linha de equilíbrios. Suponhamos que uma sala possui um dispositivo de aquecimento e um dispositivo de resfriamento, cada qual com seu termostato. Ambos os termostatos estão regulados para manter a sala na mesma temperatura fixa, 21 graus. Se a temperatura cair abaixo de 21, o aquecedor é ligado e o refrigerador desliga-se. Se a temperatura superar os 21 graus, o refrigerador liga-se e o aquecedor é desligado. A analogia no caso do comprimento da cauda da viuvinha não é com a temperatura (que se mantém aproximadamente constante a 21 graus), mas com a taxa de consumo total de eletricidade. O importante é que existem numerosos modos diferentes pelos quais a temperatura desejada pode ser obtida. Pode-se obtê-la fazendo com que os dois dispositivos trabalhem muito intensamente, com o aquecedor a pleno vapor esquentando o ar enquanto o refrigerador faz de tudo para neutralizar o calor. Ou pode-se obtê-la com o aquecedor esquentando um pouco menos o ar enquanto o refrigerador trabalha correspondentemente menos para neutralizar o calor. Ou ainda com ambos os dispositivos trabalhando pouquíssimo. Obviamente, esta última é a solução mais desejável do ponto de vista da conta de energia elétrica, mas, no que respeita ao objetivo de manter a temperatura fixa em 21 graus, cada uma de uma longa série de taxas de trabalho é igualmente satisfatória. Temos uma linha de pontos de equilíbrio, e não um ponto único. Dependendo dos detalhes do modo como o sistema foi ajustado, dos atrasos no sistema e de outras coisas do tipo das que preocupam os engenheiros, é teoricamente possível a taxa de consumo de eletricidade da sala mover-se para cima e

para baixo na linha de pontos de equilíbrio, enquanto a temperatura se mantém igual. Se a temperatura da sala for perturbada um pouco abaixo de 21 graus, ela voltará, mas não necessariamente à mesma combinação de taxas de trabalho do aquecedor e do refrigerador. Pode retornar a um ponto diferente ao longo da linha de equilíbrio.

No aspecto prático da engenharia, seria muito difícil projetar uma sala para que existisse uma verdadeira linha de equilíbrios. Essa linha, na prática, tende a "reduzir-se a um ponto". Também o argumento de Russell Laride sobre uma linha de equilíbrios na seleção sexual baseia-se em suposições que podem muito bem não ser válidas na natureza. Ele supõe, por exemplo, que haverá uma oferta constante de novas mutações. Supõe que o ato de escolher da fêmea é inteiramente isento de custos. Se esta suposição for violada, como é bem possível que seja, a "linha" de equilíbrio reduz-se a um único ponto de equilíbrio. Mas, de qualquer modo, até agora só discutimos o caso no qual a discrepância de escolha diminui no decorrer das sucessivas gerações de seleção. Sob outras condições, a discrepância de escolha pode aumentar.

Como já passou algum tempo desde que discutimos essa questão, convém relembrar o que isso significa. Temos uma população cujos machos estão apresentando a evolução de algumas características, como o comprimento da cauda nas viúvinhas africanas, sob a influência da preferência das fêmeas, que tende a alongar as caudas, e da seleção utilitária, que tende a encurtá-las. A razão de haver um impulso na evolução na direção de caudas mais longas é que, toda vez que uma fêmea escolhe um macho do tipo que ela "gosta" ela está, devido à associação não aleatória de genes, escolhendo cópias dos próprios genes que a fizeram escolher dessa maneira. Assim, na geração seguinte, não só os machos tenderão a ter caudas mais longas, mas também as fêmeas tenderão a apresentar uma preferência mais acentuada por caudas longas. Não está claro qual desses dois processos incrementais terá a taxa maior, geração a geração. Até agora, consideramos o caso no qual o comprimento da cauda aumenta, por geração, mais depressa do que a preferência. Consideraremos agora o outro caso possível, no qual a preferência aumenta a uma taxa ainda maior, por geração, do que o próprio comprimento da cauda. Em outras palavras, discutiremos agora o caso no qual a discrepância de escolha aumenta com o passar das gerações, em vez de diminuir, como nos parágrafos anteriores.

Agora, as conseqüências teóricas são ainda mais bizarras. Em vez de feedback negativo, temos feedback positivo. No decorrer das gerações, as caudas se tornam mais longas, mas o desejo das fêmeas por caudas longas aumenta a uma taxa maior. Isto significa que, teoricamente, as caudas se tornarão ainda mais longas, e a uma taxa sempre crescente de geração a geração. Em teoria, as caudas continuarão a expandir-se mesmo depois de ter dez quilômetros de Comprimento. Na prática, obviamente, as regras do jogo terão sido mudadas muito antes de esses comprimentos absurdos serem alcançados, do mesmo modo como nossa máquina a vapor com seu regulador de Watt invertido não teria realmente continuado a acelerar-se até 1 milhão de rotações por segundo. Mas, embora tenhamos de atenuar as conclusões do modelo matemático quando chegamos a extremos, as conclusões do modelo podem muito bem ser válidas nos limites de um conjunto de condições plausíveis na prática.

Hoje, cinquenta anos mais tarde, podemos entender o que Fisher queria dizer quando afirmou laconicamente que "é fácil ver que a velocidade do desenvolvimento será proporcional ao desenvolvimento já alcançado, que, portanto, aumentará com o tempo exponencialmente, ou em progressão geométrica". Seu fundamento lógico era claramente igual ao de Lande quando ele afirmou: "As duas características afetadas por esse processo, o desenvolvimento da plumagem no macho e da preferência sexual por esse desenvolvimento na fêmea, devem, portanto, avançar juntos e, enquanto o processo não for refreado por uma severa seleção contrária, avançará com velocidade sempre crescente".

O fato de Fisher e Lande terem ambos chegado à mesma conclusão intrigante pelo raciocínio matemático não significa que sua teoria seja um reflexo correto do que acontece na natureza. Como afirmou uma das principais autoridades sobre a teoria da seleção sexual, Peter O'Donald, geneticista da Universidade de Cambridge, pode ser que a propriedade do descontrole no modelo de Lande esteja "embutida" em suas suposições iniciais, de tal modo que não poderia deixar de emergir, sem grandes novidades, na outra ponta do raciocínio matemático. Alguns teóricos, incluindo Alan Grafen e W. D. Hamilton, preferem tipos alternativos de teoria, nos quais a escolha feita por uma fêmea realmente tem um efeito benéfico sobre sua prole, em um sentido utilitário, eugênico. A teoria que eles estão elaborando em conjunto é a de que as fêmeas das aves atuam como médicos fazendo um diagnóstico: escolhem os machos menos suscetíveis a parasitas. Uma plumagem brilhante, segundo esta teoria

caracteristicamente engenhosa de Hamilton, é para o macho um modo de alardear sua saúde.

Seria muito demorado expor na íntegra a importância teórica dos parasitas. Em poucas palavras, o problema de todas as teorias "eugênicas" da escolha das fêmeas sempre é que, se as fêmeas realmente pudessem escolher com êxito os machos portadores dos melhores genes, esse mesmo êxito reduziria a variedade de escolhas disponíveis no futuro; se por fim só houvesse bons genes à disposição, não teria sentido escolher. Os parasitas eliminam essa objeção teórica. A razão, segundo Hamilton, é que parasitas e hospedeiros travam uma incessante corrida armamentista cíclica entre si. Isto, por sua vez, significa que os "melhores" genes em uma geração qualquer de aves não são iguais aos melhores genes em gerações futuras. O que hoje vence a geração presente de parasitas não adianta contra a geração seguinte, pois os parasitas evoluem.

Portanto, sempre haverá alguns machos que por acaso são geneticamente mais bem equipados do que outros para vencer a safra corrente de parasitas. Assim, as fêmeas sempre podem beneficiar sua prole escolhendo os mais sadios entre os da geração de machos em curso. O único critério geral que as sucessivas gerações de fêmeas podem usar são os indicadores que qualquer veterinário usaria: olhos brilhantes, plumagem reluzente etc. Apenas os machos genuinamente sadios podem exibir esses sintomas de saúde, portanto a seleção favorece os que os ostentam ao máximo, e até os exageram nas longas caudas em leque.

Mas a teoria dos parasitas, embora possa muito bem estar correta, não vem ao caso para meu capítulo sobre as "explosões". Voltando à teoria do descontrole de Fisher/Lande, o necessário agora é encontrar indícios comprovadores em animais reais. Como proceder na busca desses indícios? Que métodos poderiam ser usados? Uma abordagem promissora foi empregada por Malte Andersson, da Suécia. Por coincidência, ele trabalhou com a mesma ave que estou usando como exemplo aqui para discutir as idéias teóricas, a viuvinha africana, que ele estudou em seu hábitat natural, no Quênia. Os experimentos de Andersson foram possibilitados por um avanço recente na tecnologia: a supercola. Seu raciocínio foi: se é verdade que o comprimento real da cauda dos machos é um meio-termo entre, de um lado, um ótimo utilitário e, de outro, o que as fêmeas querem, deveria ser possível tornar um macho superatraente dando-lhe uma cauda extralonga. É aqui que entra a supercola. Descreverei brevemente o experimento de Andersson, como um exemplo primoroso de design experimental.

Andersson apanhou 36 machos de viuvinhas e os dividiu em nove grupos de quatro. Cada grupo de quatro recebeu o mesmo tratamento. Um membro de cada um desses grupos (escrupulosamente escolhido ao acaso, para evitar algum viés inconsciente) teve sua cauda aparada para ficar com catorze centímetros de comprimento. A porção removida foi colada, com a supercola de secagem rápida, na ponta da cauda do segundo membro do grupo de quatro. Assim, o primeiro ficou com uma cauda artificialmente encurtada, e o segundo, com a cauda artificialmente alongada. A terceira ave ficou com a cauda intacta, para comparação. A quarta também foi deixada com a cauda no mesmo comprimento, mas não intacta: as extremidades das penas foram cortadas e então novamente coladas no mesmo lugar. Pode parecer um procedimento inútil, mas é um bom exemplo de quanto se deve ser cuidadoso ao elaborar um experimento. Poderia acontecer de a ave ser afetada não pelo comprimento real de sua cauda em si, mas pelo fato de ter tido as penas da cauda manipuladas ou de ter sido capturada e manuseada por um ser humano. O Grupo 4 foi um "controle" para tais efeitos.

A idéia era comparar o sucesso de cada ave no acasalamento com suas colegas tratadas diferentemente em seu grupo de quatro. Depois de receber um dos quatro tipos de tratamento, cada macho foi libertado para voltar à sua morada anterior em seu próprio território. Ali ele retomou sua atividade normal de tentar atrair fêmeas ao seu território para ali se acasalarem, fazerem ninho e porem ovos. A questão era: qual membro de cada grupo de quatro teria mais sucesso na atração de fêmeas? Andersson fez essa mensuração não pela observação das fêmeas, mas pela contagem do número de ninhos contendo ovos no território de cada macho. Ele descobriu que os machos com caudas alongadas artificialmente atraíram quase quatro vezes mais fêmeas do que os que tiveram a cauda artificialmente encurtada. Os de cauda natural normal obtiveram um êxito intermediário.

Os resultados foram analisados estatisticamente - para o caso de serem apenas resultantes do acaso. A conclusão foi que, se atrair as fêmeas fosse o único critério, os machos seriam mais bem-sucedidos com caudas mais longas do que as que realmente possuem. Em outras palavras, a seleção sexual está constantemente impelindo as caudas (no sentido evolutivo) na direção de alongá-las. O fato de as caudas reais serem mais curtas do que as fêmeas prefeririam sugere que deve haver alguma outra pressão seletiva que as mantém mais curtas - uma seleção "utilitária". Presume-se que os machos com caudas especialmente longas têm maior

probabilidade de morrer mais cedo do que os machos com caudas médias. Infelizmente, Andersson não teve tempo para acompanhar o destino subsequente daqueles machos de cauda manipulada. Se tivesse tido, segundo a previsão, os machos com penas extras grudadas na cauda deveriam, em média, morrer mais cedo do que os machos normais, provavelmente devido à maior vulnerabilidade a predadores. Por sua vez, deveríamos esperar que os machos com cauda encurtada pela manipulação provavelmente vivessem mais tempo do que os machos normais. Isto porque supostamente o comprimento normal é um meio-termo entre o ótimo da seleção sexual e o ótimo utilitário. Presume-se que as aves com caudas artificialmente encurtadas estejam mais próximas do ótimo utilitário, portanto devem viver mais tempo. Mas em tudo isto há um alto grau de suposição. Se a principal desvantagem utilitária de uma cauda longa acabasse sendo o custo econômico de seu crescimento na ave e não um maior perigo de morte depois de ela ter crescido, não se esperaria que os machos que receberam uma cauda extra-longa dada por Andersson de presente viessem, por isso, a morrer particularmente cedo.

Do modo como me expressei, pode parecer que a preferência das fêmeas tenderia a impulsionar as caudas e outros ornamentos na direção do aumento de tamanho. Em teoria, como já vimos, não há razão por que a preferência das fêmeas não viesse a exercer um impulso exatamente na direção oposta - por exemplo, na direção de caudas cada vez mais curtas ao invés de mais compridas. A corruira tem uma cauda tão curta e empinada que ficamos tentados a pensar se ela não seria, talvez, mais curta do que "deveria" ser para propósitos estritamente utilitários. A competição entre os machos da corruira é acirrada, como podemos deduzir pela altura desproporcional de seu canto. Essa cantoria sem dúvida há de ser custosa, e sabe-se que um macho de corruira chegou literalmente a se matar de tanto cantar. Os machos bem-sucedidos têm mais de uma fêmea em seu território, como as viuvinhas. Nesse clima competitivo, poderíamos esperar a ocorrência de feedbacks positivos. A cauda curta da corruira poderia representar o produto final de um processo descontrolado de encolhimento evolutivo?

Deixando as corruiras de lado, os leques do pavão e as caudas da viuvinha e da ave-do-paraíso, com sua espalhafatosa exuberância, são vistos, muito plausivelmente, como produtos finais de uma evolução explosiva em espiral por feedback positivo. Fisher e seus sucessores modernos nos mostraram como isso poderia ter ocorrido. Essa idéia está ligada essencialmente à seleção sexual, ou será que podemos encontrar

analogias convincentes em outros tipos de evolução? Vale a pena fazer esta pergunta, no mínimo porque existem aspectos de nossa própria evolução com fortes indícios desse caráter explosivo, notavelmente o crescimento extremamente rápido de nossos cérebros durante estes últimos milhões de anos. Já se aventou que isso é devido à própria seleção sexual, sendo a inteligência uma característica sexualmente desejável (ou alguma manifestação da inteligência, como a capacidade de lembrar os passos de uma longa e complexa dança ritual). Mas também poderia ser verdade que o tamanho do cérebro cresceu explosivamente sob a influência de um tipo diferente de seleção, análoga mas não idêntica à seleção sexual. Creio ser útil distinguir dois níveis de analogia possível com a seleção sexual: uma analogia fraca, outra forte.

A analogia fraca é simples: qualquer processo evolutivo no qual o produto final de um passo na evolução prepara o cenário para o passo seguinte é potencialmente progressivo, às vezes explosivamente progressivo. Já encontramos esta idéia no capítulo anterior, na forma das "corridas armamentistas". Cada melhora evolutiva no design do predador muda as pressões sobre a presa, fazendo com que ela se aperfeiçoe na arte de evitar o predador. Isto, por sua vez, pressiona os predadores a se aperfeiçoar; portanto, temos uma espiral sempre ascendente. Como vimos, é provável que nem predadores nem presas necessariamente desfrutem de uma taxa de êxito maior em decorrência dessa espiral, pois seus inimigos estão se aperfeiçoando ao mesmo tempo. Mas, mesmo assim, tanto presas como predadores estão se tornando progressivamente mais bem equipados. Esta é, portanto, a analogia fraca com a seleção sexual. A analogia forte salienta que a essência da teoria de Fisher/Lande é o fenômeno equivalente ao da "barba verde" segundo o qual os genes determinantes da escolha das fêmeas tendem automaticamente a escolher cópias de si mesmos, um processo com uma tendência automática a tornar-se explosivo. Não está claro se existem exemplos desse tipo de fenômeno além do caso da seleção sexual.

Desconfio que um bom lugar para procurarmos analogias com a evolução explosiva como a causada pela seleção sexual seja na evolução cultural humana. Isto porque aqui, mais uma vez, a escolha por capricho é importante, e essa escolha pode estar sujeita à "moda" ou ao efeito "a maioria sempre vence". Novamente, o alerta com que iniciei este capítulo tem de ser lembrado. A evolução "cultural" não é realmente uma evolução se formos rigorosos e puristas no emprego das palavras; mas pode haver características comuns entre elas que justifiquem alguma comparação de

princípio. Ao fazer isso, não devemos menosprezar as diferenças. Tiremos essas questões a limpo antes de retomar a questão específica das espirais explosivas.

Já se ressaltou muitas vezes - de fato, qualquer tolo pode perceber - que muitos aspectos da história humana têm características bem semelhantes às da evolução. Se tirarmos uma amostra de um aspecto específico da vida humana em intervalos regulares, digamos, uma amostra do estado do conhecimento científico, do tipo de música que está sendo tocada, das modas no vestuário ou dos meios de transporte, em intervalos de um século ou talvez uma década, encontraremos tendências. Se tivermos três amostragens, em períodos sucessivos - A, B e C -, dizer que existe uma tendência é dizer que a mensuração feita no período B será intermediária entre as mensurações feitas em A e C. Embora haja exceções, todos concordarão que tendências desse tipo caracterizam muitos aspectos da vida civilizada. Reconhecidamente, as direções de algumas tendências às vezes se invertem (por exemplo, os comprimentos das saias), mas isto se aplica também à evolução genética.

Muitas tendências, particularmente as da tecnologia útil em oposição às da moda fútil, podem ser identificadas como melhoras, sem muita discussão sobre juízos de valor. Por exemplo, não resta dúvida de que os veículos para nossa locomoção no mundo têm apresentado melhora constante e irreversível no decorrer dos últimos duzentos anos, passando dos veículos de tração animal aos movidos a vapor e culminando hoje nos aviões supersônicos. Estou usando o termo melhora em uma acepção neutra. Não estou afirmando que todos concordariam que a qualidade de vida melhorou em decorrência dessas mudanças; pessoalmente, muitas vezes tenho minhas dúvidas. Também não estou negando a noção popular de que os padrões de habilidade no trabalho decaíram à medida que a produção em massa foi substituindo os artesãos qualificados. Mas, vendo os meios de transporte puramente da perspectiva do transporte, o que significa ir de uma parte do mundo a outra, não se pode questionar a tendência histórica a algum tipo de melhora, mesmo que seja apenas na velocidade. Analogamente, ao longo de uma escala temporal de décadas, ou mesmo anos, existe uma melhora progressiva na qualidade do equipamento de amplificação sonora de alta-fidelidade que é inegável, mesmo se o leitor concordar comigo que, às vezes, o mundo seria um lugar mais agradável se o amplificador nunca tivesse sido inventado. Não foram os gostos que mudaram; é um fato objetivo e mensurável que a fidelidade da reprodução hoje é melhor do que em 1950, e que em 1950 ela era melhor do que em

1920. A qualidade da reprodução de imagens é inegavelmente melhor nos televisores modernos do que nos mais antigos, embora, da mesma forma, o mesmo possa não valer para a qualidade dos programas transmitidos. A qualidade das máquinas de matar na guerra mostra uma tendência colossal à melhora - elas são capazes de matar mais pessoas mais depressa com o passar dos anos. O sentido em que isto não representa uma melhora é óbvio demais para merecer comentários.

Não existe dúvida de que, no sentido técnico estrito, as coisas de fato melhoram com o passar do tempo. Mas isto só é obviamente verdade para as coisas tecnicamente úteis, como aviões e computadores. Há muitos outros aspectos da vida humana que evidenciam verdadeiras tendências sem que elas sejam, em um sentido óbvio, melhoras. As línguas claramente evoluem porque apresentam tendências, divergem e, com o passar dos séculos, após divergirem elas se tornam cada vez mais mutuamente ininteligíveis. As numerosas ilhas do Pacífico fornecem um belo campo de estudo da evolução das línguas. As línguas de diferentes ilhas claramente têm semelhanças, e suas diferenças podem ser medidas precisamente pelo número de palavras que diferem entre elas, uma medida que guarda estreita analogia com as medidas taxonômicas moleculares que discutiremos no capítulo 10. As diferenças entre as línguas, medidas em números de palavras divergentes, podem ser marcadas num gráfico em relação à distância entre as ilhas, medida em quilômetros, revelando que os pontos no gráfico incidem sobre uma curva cuja forma matemática precisa nos diz alguma coisa sobre as taxas de difusão de ilha a ilha. As palavras viajaram de canoa, pulando de ilha em ilha em intervalos proporcionais ao grau de dificuldade de acesso das ilhas em questão. No âmbito de qualquer ilha individual, as palavras mudam a uma taxa constante, de um modo muito parecido com o da mutação ocasional dos genes. Qualquer ilha, se totalmente isolada, apresentaria a mesma mudança evolutiva em sua língua no decorrer do tempo e, portanto, alguma divergência em relação às línguas das outras ilhas. A proximidade entre ilhas obviamente gera um fluxo de palavras entre elas, via canoa, cuja taxa é maior do que a existente entre ilhas que são distantes entre si. Suas línguas também têm um ancestral comum mais recente do que as línguas de ilhas distantes entre si. Esses fenômenos, que explicam o padrão observado de semelhança entre ilhas próximas e distantes, são acentadamente análogos aos fatos registrados para os tentilhões em diferentes ilhas do arquipélago Galápagos que originalmente inspiraram Darwin. Os genes pulam de ilha em

ilha nos corpos das aves, exatamente como as palavras pulam de ilha em ilha em canoas.

Portanto, as línguas evoluem. Mas embora o inglês moderno tenha evoluído do inglês chauceriano, não creio que muita gente esteja disposta a declarar que o inglês moderno é uma melhora em relação ao inglês chauceriano. Normalmente, em se tratando de línguas, não passam pela nossa cabeça idéias de melhora ou qualidade. Na verdade, se chegarem a passar, em geral as vemos como uma deterioração ou degeneração. Tendemos a considerar corretos os usos mais antigos, vendo as mudanças recentes como corrupções. Mas ainda assim podemos detectar tendências afins da evolução que são progressivas em um sentido puramente abstrato, destituído de juízos de valor. Podemos até mesmo encontrar indícios de feedback positivo, na forma de escaladas (ou, vindo da outra direção, de degenerações) de significados. Por exemplo, a palavra star era usada para indicar um ator de cinema de celebridade excepcional. Degenerou, então, passando a significar qualquer ator que representasse um dos principais papéis do filme. Assim, para reaver o significado original de "celebridade excepcional", foi preciso uma escalada para o termo superstar. Posteriormente, a publicidade dos estúdios começou a usar superstar para atores de quem nunca se ouvira falar, com isso provocando mais uma escalada, desta vez para megastar. Hoje em dia temos um bom magote de alardeados megastars de quem eu, pelo menos, nunca tinha ouvido falar, o que indica que talvez seja hora de mais uma escalada. Será que em breve estaremos vendo anúncios sobre hyperstars? Um feedback positivo semelhante depreciou a cotação da palavra chef. Ela provém, evidentemente, do francês chef de cuisine, ou chefe de cozinha. Portanto, por definição, cada cozinha só pode ter um chef. Mas, talvez para satisfazer seu senso de dignidade, cozinheiros comuns, até os que ficam virando hambúrgueres na chapa em lanchonetes, começaram a se apresentar como chefs. O resultado é que hoje em dia com freqüência se ouve a tautológica expressão head chef("chefe principal")!

Mas se esta é uma analogia para a seleção sexual, ela se aplica, na melhor das hipóteses, apenas no sentido que denominei "fraco". Passarei agora direto ao que vejo como o que mais se aproxima da analogia "forte": o mundo da música pop. Quem ouve uma conversa entre fãs de música pop ou escuta o palavreado dos disc-jóqueis no rádio descobre algo muito curioso: enquanto os outros gêneros de crítica de arte traem alguma preocupação com o estilo ou a habilidade da execução, com o estado de espírito, o impacto emocional, com as qualidades e propriedades da forma

de expressão artística, a subcultura da música pop preocupa-se quase exclusivamente com a popularidade em si. É evidente que, em um disco, o importante não é a música que ele contém, mas quantas pessoas o estão comprando. Toda essa subcultura é obcecada pela classificação dos discos nos chamados Top 20 ou Top 40, baseada unicamente nas vendas. O que realmente importa em um disco é se ele está ou não entre os vinte mais vendidos. Pensando bem, esse é um fato muito singular, além de muito interessante, se pensarmos na teoria de R. A. Fisher sobre a evolução descontrolada. Provavelmente também é significativo que um disc-jôquei raramente mencione a posição presente de um disco nas paradas sem mencionar também sua posição na semana anterior. Isto permite ao ouvinte avaliar não só a popularidade atual de um disco mas também a taxa e a direção da mudança da popularidade.

Parece ser verdade que muitas pessoas comprem um disco, ou tendem a comprá-lo, simplesmente porque um grande número de pessoas o está comprando, ou almejam fazê-lo. A prova cabal disso é sabermos que as gravadoras mandam representantes a lojas importantes para comprar uma vasta quantidade de seus próprios discos, a fim de empurrar as vendas para uma região onde o disco possa "decolar". (Não é tão difícil quanto parece conseguir esse efeito, pois a classificação dos Top 20 toma por base as receitas de vendas de uma pequena amostra de lojas de discos. Quando se sabe quais são essas lojas cruciais, não é preciso comprar delas tantos discos assim para produzir um impacto significativo sobre as estimativas de vendas para todo o país. Também correm histórias, de fontes fidedignas, sobre suborno de balconistas dessas lojas-chave.)

Em menor grau, esse mesmo fenômeno da popularidade gerada pela popularidade é bem conhecido nos mundos das editoras, moda feminina e publicidade em geral. Uma das melhores coisas que um anunciante pode dizer a respeito de determinado produto é que ele é o que mais vende. As listas de best-sellers são publicadas semanalmente, e sem dúvida é verdade que assim que um livro vende um número de exemplares suficiente para aparecer numa dessas listas, suas vendas aumentam ainda mais, simplesmente em virtude de terem aparecido ali. Os editores dizem que um livro "decolou", e os que têm algum conhecimento de ciência até falam em "massa crítica para decolagem". A analogia, neste caso, é com a bomba atômica. O urânio 235 é estável enquanto não existe em grande quantidade num mesmo lugar. Forma-se a massa crítica quando existe uma quantidade tal que, se excedida, ocorre uma reação em cadeia, ou seja, um processo descontrolado, com resultados devastadores. Uma bomba atômica contém duas

porções de urânio 235, ambas menores do que a massa crítica. Quando a bomba é detonada, as duas porções são reunidas, a massa crítica é excedida, e é o fim de uma cidade de porte médio. Quando as vendas de um livro se tornam "críticas", os números chegam a um ponto no qual a propaganda boca a boca etc. causa uma decolagem súbita e descontrolada das vendas. O ritmo das vendas de repente aumenta muito em relação ao que era antes de ser atingida a massa crítica, podendo haver um período de crescimento exponencial antes do inevitável nivelamento e subsequente declínio.

Não é difícil entender os fenômenos subjacentes. Basicamente, temos aqui mais exemplos de feedback positivo. As qualidades reais de um livro, ou mesmo de um disco de música pop, não são desprezíveis na determinação das vendas, mas, ainda assim, sempre que há feedbacks positivos à espreita, é fatal existir um forte elemento arbitrário determinando qual livro ou disco fará sucesso e qual será um fiasco. Se a massa crítica e a decolagem são elementos importantes em qualquer história de sucesso, a sorte com certeza tem um papel importantíssimo, e além disso existe uma ampla margem para manipulação e exploração por parte de quem entende o sistema. Por exemplo, vale a pena desembolsar uma quantia considerável na promoção de um livro ou de um disco até que ele atinja o ponto "crítico", porque a partir de então não será preciso gastar tanto com ele: os feedbacks positivos assumem o comando e fazem o trabalho de publicidade.

Os feedbacks positivos, neste caso, têm algo em comum com os da seleção sexual segundo a teoria de Fisher/Lande, mas também há diferenças. As pavoas que preferem pavões de caudas longas são favorecidas somente porque outras fêmeas têm a mesma preferência. As qualidades do macho em questão são arbitrárias e irrelevantes. Neste aspecto, o fã que quer determinado disco só porque ele está entre os Top 20 está se comportando exatamente como uma pavoas. Mas os mecanismos precisos de funcionamento dos feedbacks positivos nos dois casos são diferentes. E isto, suponho, nos leva de volta aonde começamos neste capítulo: o alerta de que não se deve levar longe demais as analogias.

9. Pontuacionismo puncionado

Os filhos de Israel, segundo a história do Êxodo, levaram quarenta anos atravessando o deserto do Sinai para chegar à terra prometida. São aproximadamente 320 quilômetros de distância. Portanto, sua velocidade média foi cerca de 22 metros por dia, ou menos de um metro por hora - digamos, três metros por hora, levando em conta as pausas noturnas. Não importa o modo como façamos os cálculos, estamos lidando com uma velocidade média absurdamente baixa, muito mais baixa do que o proverbialmente lento passo de lesma (a incrível velocidade de 50,2 metros por hora é a marca da lesma recordista mundial segundo o Guinness Book of Records). Mas evidentemente ninguém acredita que a velocidade média foi contínua e uniforme. É óbvio que os israelitas viajaram intermitentemente, talvez acampando por longos períodos em um local antes de prosseguir. É provável que muitos deles não tivessem uma idéia muito clara de que estavam viajando em alguma direção específica; vaguearam a esmo de oásis em oásis, como os pastores nômades do deserto costumam fazer. Ninguém, repito, realmente acredita que foi mantida uma velocidade contínua e uniforme.

Mas suponhamos agora que dois jovens e eloqüentes historiadores irrompam em cena. A história bíblica até hoje, declaram, foi dominada pela escola de pensamento "gradualista". Os historiadores "gradualistas" acreditam que os israelitas viajaram literalmente 22 metros por dia; desmontavam suas tendas toda manhã, arrastavam-se 22 metros em direção leste-nordeste e tornavam a montar acampamento. A única alternativa ao "gradualismo" dizem os dois jovens historiadores, é a nova e dinâmica escola de história "pontuacionista". Segundo os jovens pontuacionistas radicais, os israelitas passavam a maior parte do tempo em "estase" sem se deslocar, acampados anos a fio num só lugar. E então, rapidamente, se mudavam para um novo acampamento, onde permaneciam também por vários anos. Seu progresso em direção à terra prometida, em vez de gradual e contínuo, foi espasmódico: longos períodos de estase pontuados por breves períodos de movimentação rápida. Além disso, seus surtos de deslocamento nem sempre foram na direção da terra prometida, e sim em direções quase aleatórias. Só quando examinamos em retrospectiva o padrão macromigratório em grande escala podemos perceber uma tendência na direção da terra prometida.

Tamanha é a eloquência dos historiadores bíblicos pontuacionistas que eles se tornam astros da mídia. Suas fotos aparecem na capa de revistas populares conceituadas. Nenhum documentário de televisão sobre a história bíblica está completo sem uma entrevista com pelo menos um pontuacionista eminente. Quem não tem nenhuma erudição bíblica lembra-se apenas de um fato: na idade das trevas antes de os pontuacionistas entrarem em cena, todo mundo estava equivocado. Note-se que o valor publicitário dos pontuacionistas nada tem a ver com o fato de eles poderem estar certos. Tem tudo a ver com a afirmação de que as autoridades anteriores eram "gradualistas" e estavam erradas. É pelo fato de se alardearem como revolucionários que os pontuacionistas são ouvidos, e não porque podem estar certos.

Evidentemente, minha história sobre os pontuacionistas bíblicos não é verdadeira. Ela é uma parábola sobre uma pretensa controvérsia análoga entre os estudiosos da evolução biológica. Em alguns aspectos, é uma parábola injusta, porém não totalmente; tem um fundo de verdade suficiente para justificar que seja contada no início deste capítulo. Existe uma escola de pensamento altamente divulgada entre os biólogos evolucionistas cujos proponentes se denominam pontuacionistas, e eles de fato inventaram o termo "gradualistas" para designar seus predecessores mais influentes. Desfrutaram de uma enorme publicidade entre um público que não sabe quase mais nada a respeito de evolução, e isso em grande medida porque sua posição foi retratada, por informantes secundários mais do que por eles próprios, como radicalmente diferente das posições dos evolucionistas anteriores, especialmente Charles Darwin. Até aqui, minha analogia bíblica é justa.

A analogia é injusta em outro aspecto: no caso dos historiadores bíblicos, os "gradualistas" obviamente eram oponentes imaginários, fabricados pelos pontuacionistas; no caso dos "gradualistas" evolucionistas, não é tão óbvio que eles sejam oponentes imaginários. Isso tem de ser demonstrado. É possível interpretar as palavras de Darwin e de muitos outros evolucionistas como possuidoras de conotações gradualistas, mas então torna-se importante perceber que o termo gradualista pode ser interpretado de maneiras diferentes para designar coisas diferentes. De fato, apresentarei uma interpretação da palavra "gradualista" segundo a qual praticamente todo mundo é gradualista. No caso evolucionista, ao contrário da parábola dos israelitas, existe a possibilidade de uma controvérsia genuína, mas que se refere a pequenos detalhes que nem de longe justificam todo o alarde da mídia.

Entre os evolucionistas, os "pontuacionistas" originalmente foram recrutados nas fileiras da paleontologia. A paleontologia é o estudo dos fósseis. É um ramo importantíssimo da biologia, pois os ancestrais evolutivos morreram todos há muito tempo, e os fósseis nos fornecem os únicos testemunhos diretos sobre os animais e plantas do passado distante. Se quisermos saber como eram ancestrais evolutivos, os fósseis são nossa maior esperança. Assim que as pessoas perceberam o que realmente eram os fósseis - escalas de pensamento anteriores afirmavam que eles eram criações do demônio, ou ossos de pobres pecadores afogados no dilúvio - ficou claro que qualquer teoria da evolução precisava ter certas expectativas em relação ao registro fóssil. Mas tem havido alguma discussão acerca de quais são essas expectativas, e é essa, em parte, a base do argumento pontuacionista.

É uma sorte termos fósseis. Isso graças ao extraordinariamente afortunado fato geológico de que ossos, conchas e outras partes duras dos animais, antes de se decompor, podem ocasionalmente deixar uma marca que depois atua como um molde, dando à rocha que vai endurecendo a forma que preservará a memória de um animal. Desconhecemos que proporção dos animais se fossiliza após a morte - eu, pessoalmente, consideraria uma honra ser fossilizado -, mas com certeza é uma proporção ínfima. Mesmo assim, por menor que ela seja, qualquer evolucionista deve esperar que seja verdadeiras certas indicações do registro fóssil. Ficaríamos imensamente surpresos, por exemplo, se encontrássemos fósseis humanos aparecendo no registro antes do período em que os mamíferos supostamente evoluíram! Se um único crânio de mamífero, muito bem examinado, por acaso aparecesse em rochas de 500 milhões de anos, toda a nossa teoria moderna da evolução cairia por terra. A propósito, esta é uma resposta suficiente à balela, veiculada pelos criacionistas e seus companheiros de viagem jornalistas, de que toda a teoria da evolução é uma tautologia "que não se presta à refutação". Ironicamente, também é a razão por que os criacionistas adoram as falsas pegadas humanas que foram esculpidas durante a depressão para lograr turistas nos sítios paleontológicos de dinossauros do Texas.

De qualquer maneira, se classificarmos nossos fósseis legítimos em ordem, do mais antigo ao mais recente, a teoria da evolução espera ver algum tipo de seqüência ordenada em vez de uma tremenda confusão. E, o que é mais importante para este capítulo, diferentes versões da teoria da evolução, por exemplo, o "gradualismo" e o

"pontuacionismo" poderiam esperar ver diferentes tipos de padrões. Tais expectativas somente podem ser postas à prova se contarmos com algum meio de datar os fósseis, ou pelo menos de saber a ordem em que se depositaram. Os problemas da datação de fósseis e suas soluções requerem uma breve digressão, a primeira de várias para a qual peço a paciência do leitor. Elas são necessárias para a explicação do tema principal deste capítulo.

Há muito tempo já sabemos como classificar os fósseis na ordem em que se depositaram. O método é inerente ao próprio termo "depositar-se". Fósseis mais recentes obviamente se depositaram por cima de fósseis mais antigos ao invés de por baixo deles; portanto, jazem acima dos mais antigos em sedimentos de rochas. Ocasionalmente, sublevantamentos vulcânicos podem virar de cabeça para baixo uma porção de rocha e então, é claro, a ordem em que encontramos os fósseis à medida que cavamos para baixo será exatamente inversa; mas isso é suficientemente raro para ser óbvio quando ocorre. Embora raramente encontremos um registro histórico completo quando cavamos para baixo através das rochas em uma determinada área, podemos montar um bom registro a partir de porções sobrepostas em diferentes áreas (na verdade, embora eu use a imagem de "cavar para baixo", os paleontólogos quase nunca cavam nessa direção através dos estratos de rocha; têm maior probabilidade de encontrar fósseis expostos pela erosão em várias profundidades). Muito antes de saberem como datar fósseis em milhões de anos reais, os paleontólogos haviam elaborado um esquema confiável de eras geológicas, e sabiam muito detalhadamente a ordem das eras. Certos tipos de conchas são indicadores tão confiáveis da idade das rochas que estão entre os principais indicadores usados na prospecção de petróleo. Isoladamente, porém só nos podem informar sobre as idades relativas dos estratos de rocha, nunca sobre suas idades absolutas.

Mais recentemente, avanços na física nos deram métodos de determinar as datas absolutas, em milhões de anos, para rochas e os fósseis que elas contêm. Esses métodos dependem do fato de que elementos radioativos específicos se desintegram a taxas conhecidas com exatidão. É como se cronômetros de precisão em miniatura houvessem sido convenientemente enterrados nas rochas. Cada cronômetro começou a funcionar no momento em que foi depositado. Tudo o que o paleontólogo teve de fazer foi escavar, retirá-lo e ver a hora marcada no mostrador. Diferentes tipos de cronômetros geológicos baseados no decaimento de elementos radioativos funcionam a taxas diferentes. O cronômetro de

radio- carbono anda a um ritmo bem rápido, tão rápido que, após alguns milhares de anos, sua mola já está quase toda desenrolada e o relógio deixa de ser confiável. Ele é útil para datar material orgânico na escala temporal arqueológica/histórica que lida com centenas ou alguns milhares de anos, mas não serve para a escala temporal evolutiva, que lida com milhões de anos.

Para a escala de tempo evolutiva são apropriados outros tipos de relógio, como o de potássio-argônio. O relógio de potássio- argônio é tão lento que seria inadequado para a escala temporal arqueológica/histórica. Seria como tentar usar o ponteiro das horas de um relógio normal para cronometrar uma corrida de cem metros rasos. Para cronometrar a megamaratona que é a evolução, algo como o relógio de potássio-argônio é exatamente o que precisamos. Outros "cronômetros" radioativos, cada qual com sua taxa de desaceleração característica, são o de rubídio-estrôncio e o de urânio-tório-chumbo. Assim, esta digressão mostrou que, se um paleontólogo se vê diante de um fóssil, em geral pode saber quando o animal viveu, em uma escala temporal absoluta de milhões de anos. Enveredamos por esta discussão sobre datação e cronometragem, o leitor há de lembrar-se, porque estávamos interessados nas expectativas quanto ao registro fóssil que vários tipos de teoria evolucionista - "pontuacionista", "gradualista" etc. - deveriam ter. É hora de examinar quais são essas várias expectativas.

Suponhamos, primeiro, que a natureza foi extremamente bondosa para os paleontólogos (ou talvez perversa, pensando no trabalho extra envolvido), dando-lhes um fóssil de cada animal que já viveu. Se pudéssemos realmente examinar um registro fóssil assim completo, cuidadosamente classificado em ordem cronológica, o que nós, evolucionistas, esperaríamos ver? Bem, se fôssemos "gradualistas" no sentido caricaturado na parábola dos israelitas, deveríamos esperar ver algo como o seguinte: seqüências cronológicas de fósseis sempre apresentarão tendências evolutivas uniformes com taxas fixas de mudança. Em outras palavras, se tivermos três fósseis, A, B e C, sendo A ancestral de B, que por sua vez é ancestral de C, deveríamos esperar que B tivesse uma forma proporcionalmente intermediária entre A e C. Por exemplo, se o comprimento das pernas de A é de vinte centímetros e o das de C é de quarenta centímetros, as pernas de B deveriam ser intermediárias, e seu comprimento exato seria proporcional ao tempo decorrido entre a existência de A e B.

Se levarmos a caricatura do gradualismo à sua conclusão lógica, exatamente como calculamos a velocidade média dos israelitas em 22 metros por dia, também podemos calcular a taxa média de alongamento das pernas na linha evolutiva da linhagem de A a C. Se, digamos, A viveu 20 milhões de anos antes de C (para ajustar o exemplo vagamente à realidade, o membro mais antigo conhecido da família dos cavalos, o Hyracotherium, viveu há cerca de 50 milhões de anos e tinha o tamanho de um cachorro pequeno), temos uma taxa de crescimento evolutivo de cinquenta centímetros de perna a cada 20 milhões de anos, ou 2,5 milionésimos de centímetro por ano. Ora, a caricatura do gradualista supostamente acredita que as pernas cresceram uniformemente, ao longo das gerações, exatamente a essa taxa lentíssima: digamos dez milionésimos de centímetro por geração, supondo uma geração que, como a do cavalo, seja de aproximadamente quatro anos. O gradualista supostamente acredita que, ao longo de todos esses milhões de gerações, os indivíduos com pernas dez milionésimos de centímetro mais compridas do que a média tinham uma vantagem sobre os possuidores de pernas de comprimento médio. Acreditar nisso equivale a acreditar que os israelitas viajaram 22 metros por dia pelo deserto.

O mesmo vale até para uma das mudanças evolutivas mais rápidas conhecidas, o aumento de tamanho do crânio humano, de um ancestral semelhante ao Australopithecus, com um volume cerebral aproximado de quinhentos centímetros cúbicos (cc), ao volume cerebral médio do Homo sapiens moderno, por volta de 1400 cc. Esse aumento de cerca de 900 cc, quase uma triplicação de volume cerebral, foi atingido em não mais de 3 milhões de anos. Pelos padrões evolutivos, essa é uma taxa de mudança rápida: o cérebro parece ter inchado como um balão; de fato, visto de alguns ângulos, o crânio humano moderno realmente lembra um balão bulboso, esférico, em comparação com o crânio mais achatado, de testa inclinadas, do Australopithecus. Mas se pudéssemos contar o número de gerações em 3 milhões de anos (digamos, aproximadamente quatro por século), a taxa média de evolução é menor do que um centésimo de centímetro cúbico por geração. A caricatura de gradualista supostamente acredita que houve uma mudança lenta e inexorável, de geração a geração, de modo que em todas as gerações os filhos eram um tantinho mais bem dotados de cérebro do que seus pais: 0,01 cc mais bem dotados. Presumivelmente, o centésimo extra de centímetro cúbico proporcionaria a cada geração sucessiva uma vantagem significativa na sobrevivência em comparação com a geração anterior.

Mas um centésimo de centímetro cúbico é uma quantidade irrisória se comparada à variação de tamanho dos cérebros encontrada entre os humanos modernos. Cita-se com muita freqüência o fato de Anatole France nada tolo, e laureado com o prêmio Nobel - ter um cérebro menor do que 1000 cc, enquanto do outro lado da escala já foram vistos cérebros de 2000 cc: Oliver Cromwell é muitas vezes citado como exemplo, embora eu não tenha certeza quanto à veracidade dessa afirmação. Assim, o incremento médio de 1 cc por geração, que a caricatura do gradualista supõe conferir uma significativa vantagem na sobrevivência, é apenas um centésimo de milésimo da diferença entre os cérebros de Anatole France e Oliver Cromwell! Ainda bem que a caricatura de gradualista não existe na realidade.

Mas então, se esse tipo de gradualista é uma caricatura inexistente - um moinho de vento para as lanças dos pontuacionistas -, haverá algum outro tipo de gradualista que realmente exista e tenha convicções defensáveis? Mostrarei que a resposta é afirmativa, e que as fileiras dos gradualistas, neste segundo sentido, incluem todos os evolucionistas sensatos - inclusive, quando examinamos atentamente suas convicções, aqueles que se intitulam pontuacionistas. Mas precisamos entender por que os pontuacionistas pensaram que suas idéias eram revolucionárias e sensacionais. O ponto de partida para discutir esse assunto é a evidente existência de "lacunas" no registro fóssil, e é dessas lacunas que trataremos a seguir.

A partir de Darwin, os evolucionistas perceberam que, se classificarmos todos os fósseis de que dispomos em ordem cronológica, eles não formam uma seqüência uniforme de mudanças quase - imperceptíveis. Podemos, é certo, discernir tendências a mudanças no longo prazo - pernas alongam-se progressivamente, crânios tornam-se progressivamente mais bulbosos etc. -, mas as tendências conforme são vistas no registro fóssil em geral são abruptas, não suaves. Darwin, e a maioria dos que o seguiram, supôs que isso ocorre porque o registro fóssil é imperfeito. A idéia de Darwin era que um registro fóssil completo, se o tivéssemos, iria mostrar mudanças suaves e não abruptas. Mas, dado que a fossilização é muito aleatória e encontrar os fósseis que existem é quase igualmente aleatório, é como se tivéssemos um rolo de filme de cinema no qual falta a maioria dos quadros. É verdade que podemos ver um certo tipo de movimento quando projetamos nosso filme de fósseis, mas ele é mais cheio de trancos que os de Charlie Chaplin, pois

mesmo o mais velho e riscado dos filmes de Chaplin não perdeu totalmente nove décimos de seus quadros.

Os paleontólogos americanos Niles Eldredge e Stephen Jay Gould, quando propuseram pela primeira vez sua teoria do equilíbrio pontuado, em 1972, fizeram o que desde então vem sendo apontado como uma suposição muito original. Eles aventaram que, na realidade, o registro fóssil pode não ser tão imperfeito quanto julgamos. Talvez as "lacunas" sejam um reflexo real do que de fato ocorreu em vez de serem as irritantes mas inevitáveis conseqüências de um registro fóssil imperfeito. Talvez, sugeriram os dois paleontólogos, em certo sentido a evolução realmente tenha ocorrido em súbitos rompantes, pontuando longos períodos de "estase" nos quais não ocorre nenhuma mudança evolutiva em uma dada linhagem.

Antes de passarmos aos súbitos rompantes que eles tinham em mente, existem alguns significados concebíveis de "súbitos rompantes" que eles com toda a certeza não tinham em mente. Têm de ser tirados do caminho, pois já foram causa de graves equívocos. Eldredge e Gould certamente concordariam que algumas lacunas importantíssimas realmente se devem a imperfeições no registro fóssil. E lacunas bem grandes, ainda por cima. Por exemplo, os estratos de rochas do cambriano, datados de aproximadamente 600 milhões de anos, são os mais antigos em que encontramos a maioria dos principais grupos de invertebrados. E encontramos muitos deles já em estado avançado de evolução, logo da primeira vez em que aparecem. É como se tivessem sido simplesmente colocados ali, sem nenhuma história evolutiva. Nem é preciso dizer que os criacionistas vibraram com essa aparência de colocação súbita. Mas os evolucionistas de todas as vertentes acreditam que isso realmente representa uma lacuna enorme no registro fóssil, uma lacuna que se deve simplesmente ao fato de, por alguma razão, terem sido pouquíssimos os fósseis de períodos anteriores a 600 milhões de anos atrás que perduraram. Uma boa razão poderia ser que muitos desses animais só tinham partes moles no corpo, sem nenhuma concha ou osso para fossilizar. Os criacionistas podem achar que isso é sofisma. O que desejo mostrar aqui é que, quando estamos falando em lacunas dessa magnitude, não há nenhuma diferença nas interpretações de "pontuacionistas" e "gradualistas". Ambas as escolas de pensamento desprezam igualmente os chamados criacionistas científicos, e ambas concordam que os grandes hiatos são reais, que eles são verdadeiras imperfeições no registro fóssil. Ambas as escolas de pensamento concordam que a única explicação alternativa para o

aparecimento repentino de tantos tipos de animais complexos na era cambriana é a criação divina, alternativa que ambas rejeitariam.

Existe um outro sentido concebível em que se poderia afirmar que a evolução ocorre em arrancos súbitos, porém não é o mesmo sentido proposto por Eldredge e Gould, ao menos na maioria de seus textos. É concebível que algumas das aparentes "lacunas" no registro fóssil realmente reflitam mudanças súbitas em uma única geração. É concebível que intermediários nunca tenham existido realmente; é concebível que grandes mudanças evolutivas tenham ocorrido em uma única geração. Um filho pode nascer tão diferente do pai a ponto de se enquadrar apropriadamente em uma espécie diferente da de seu genitor. Seria um indivíduo mutante, e a mutação seria tão grande que nos referiríamos a ela como macromutação. As teorias da evolução dependentes de macromutações são chamadas teorias de saltação. Como a teoria do equilíbrio pontuado é freqüentemente confundida com a verdadeira saltação, é importante discutir aqui a saltação e mostrar por que ela não pode ser um fator significativo na evolução.

As macromutações - mutações de grande efeito - ocorrem sem dúvida nenhuma. O que está em questão não é se elas ocorrem ou não, mas se têm algum papel na evolução; em outras palavras, se elas são incorporadas ao pool genético de uma espécie ou se, ao contrário, sempre são eliminadas pela seleção natural. Um célebre exemplo de macromutação é a "antenaspédia" das drosófilas. Em um inseto normal, as antenas têm algo em comum com as pernas, e se desenvolvem no embrião de maneira semelhante. Mas as diferenças também são marcantes, e esses dois tipos de membros são usados para fins muito diferentes: as pernas para andar, as antenas para o tato, o olfato e os sentidos em geral. As moscas antenaspédicas são aberrações nas quais as antenas se desenvolvem exatamente como pernas. Ou, em outras palavras, são moscas que não têm antenas e sim um par extra de pernas, que crescem nos lugares onde deveria haver antenas. Essa é uma verdadeira mutação, pois resulta de um erro de cópia do DNA. E essa mosca mutante se reproduz sem variação de tipo se receber cuidados no laboratório para que possa sobreviver até ser capaz de se reproduzir. Soltas na natureza, elas nunca sobreviveriam por muito tempo, pois seus movimentos são desajeitados e seus sentidos vitais são prejudicados.

Portanto, realmente ocorrem macromutações. Mas elas têm algum papel na evolução? Os chamados saltacionistas acreditam que as macromutações são um meio de possibilitar grandes saltos na evolução em

uma única geração. Richard Goldschmidt, que já encontramos no capítulo 4, foi um verdadeiro saltacionista. Se o saltacionismo estivesse correto, as aparentes "lacunas" no registro fóssil poderiam não ser lacunas. Por exemplo, um saltacionista poderia acreditar que a transição do Australopithecus de testa oblíqua para o Homo sapiens de testa abaulada ocorreu em um único passo macromutacional, numa única geração. A diferença de forma entre as duas espécies provavelmente é menor do que a existente entre uma drosófila normal e uma antenapédia, sendo teoricamente concebível que o primeiro Homo sapiens tenha sido uma criança anormal - provavelmente segregada e perseguida-filha de um casal de Australopithecus normais.

Há muito boas razões para rejeitar todas essas teorias saltacionistas da evolução. Uma delas, bastante trivial, é que, se uma nova espécie realmente surgisse num único passo mutacional, os membros dessa nova espécie teriam muita dificuldade para encontrar parceiros de acasalamento. Mas, a meu ver, essa razão é menos reveladora e interessante do que duas outras que já foram vislumbradas em nossa discussão sobre por que grandes saltos pela Terra dos Biomorfos devem ser descartados. A primeira delas foi exposta pelo grande estatístico e biólogo R. A. Fisher, que já encontramos em capítulos anteriores tratando de outros temas. Fisher foi um ferrenho oponente de todas as formas de saltacionismo, numa época em que o saltacionismo estava muito mais em voga do que hoje, e ele usou a seguinte analogia: pensemos num microscópio cujo foco é quase perfeito, mas não totalmente, e que está, em outros aspectos, bem ajustado para uma visão nítida. Quais são as probabilidades de que, se fizermos alguma mudança aleatória no estado do microscópio (correspondente a uma mutação), melhorem o foco e a qualidade geral da imagem? Fisher explicou:

É suficientemente óbvio que qualquer grande desarranjo terá uma probabilidade muito pequena de melhorar o ajuste, enquanto no caso de alterações muito menores do que a menor dentre as efetuadas intencionalmente pelo criador ou operador, a chance de melhora deve ser quase exatamente um meio.

Já comentei que o que Fisher julgava "fácil ver" poderia impor exigências formidáveis às capacidades mentais de cientistas comuns; o mesmo vale para o que ele julgava "suficientemente óbvio". Mesmo assim,

uma reflexão mais aprofundada quase sempre mostra que Fisher estava certo e, neste caso, para nossa satisfação, conseguimos provar isso sem demasiadas dificuldades. Lembremos que estamos supondo que o microscópio já está quase no foco correto antes de começarmos. Suponhamos que a lente esteja ligeiramente mais baixa do que deveria estar para um foco perfeito - digamos, um décimo de polegada perto demais da lâmina. Agora, se a movermos um tantinho, digamos, um centésimo de polegada, numa direção aleatória, quais são as probabilidades de que o foco melhore? Ora, se por acaso a movermos para baixo em um centésimo de polegada, o foco piorará. Se a movermos para cima em um centésimo de polegada, o foco melhorará. Como a estamos movendo em uma direção aleatória, a probabilidade de cada uma dessas duas eventualidades ocorrer é de um meio. Quanto menor o movimento do ajuste, em relação ao erro inicial, mais a chance de melhora se aproximará de um meio. Isto completa a justificação da segunda parte da afirmação de Fisher.

Mas agora suponhamos que movemos o tubo do microscópio por uma grande distância - equivalente a uma macro mutação - também em direção aleatória; suponhamos que o movemos uma polegada inteira. Neste caso, não importa em que direção ocorre o movimento, para cima ou para baixo; de qualquer modo pioraremos o foco em relação à posição anterior. Se por acaso o movermos para baixo, ele passará a estar uma polegada e um décimo distante de sua posição ideal (e provavelmente esmagará a lâmina). Se por acaso o movermos para cima, estará nove décimos de polegada longe da posição ideal. Antes da movimentação, ele estava a apenas um décimo de polegada da posição ideal, e por isso, em qualquer direção, nossa grande movimentação "macromutacional" foi ruim. Fizemos o cálculo para um grande movimento ("macromutação") para um movimento muito pequeno ("micromutação"). Obviamente, podemos fazer o mesmo cálculo para uma série de tamanhos intermediários de movimento, mas é um exercício inútil. Creio que agora realmente ficou suficientemente óbvio que, quanto menor o movimento que fizermos, mais nos aproximaremos do caso extremo em que a probabilidade de uma melhora é de metade, e quanto maior o movimento que fizermos, mais nos aproximaremos do caso extremo em que a probabilidade de melhora é zero.

O leitor terá notado que este argumento depende da suposição inicial de que o microscópio já estava bem próximo do foco ideal antes de começarmos a fazer ajustes aleatórios. Se o microscópio comesse a duas polegadas do foco, uma mudança aleatória de uma polegada teria cinquenta por cento de chance de ser uma melhora, exatamente como uma mudança

aleatória de um centésimo de polegada tinha essa mesma chance. Neste caso, a "macromutação" parece ter a vantagem de mover o microscópio e acertar o foco mais rapidamente. O argumento de Fisher evidentemente se aplica, aqui, a "megamutações" correspondentes, digamos, a movimentos de seis polegadas numa direção aleatória.

Sendo assim, por que Fisher pôde fazer sua suposição inicial de que o microscópio já estava quase no foco no começo do processo? Essa suposição decorre do papel do microscópio na analogia. O microscópio, após seu ajuste aleatório, corresponde a um animal mutante. Antes do ajuste aleatório, corresponde ao genitor normal, sem mutação, do suposto animal mutante. Como ele é um genitor, tem deter sobrevivido tempo suficiente para se reproduzir e, portanto, não pode estar tão longe do ajuste perfeito. Analogamente, o microscópio, antes do ajuste aleatório, não pode estar tão distante do foco ideal, ou o animal que ele representa na analogia não poderia ter sobrevivido. Esta é apenas uma analogia, e não tem sentido ficar debatendo se "tão longe" significa uma polegada, um décimo de polegada ou um milésimo de polegada. O importante é que, se considerarmos mutações de magnitude sempre crescente, chegará um ponto no qual, quanto maior for a mutação, menos provável é que ela seja benéfica, enquanto se considerarmos mutações de magnitudes sempre decrescentes, chegará um ponto no qual a chance de uma mutação ser benéfica é de cinquenta por cento.

O argumento sobre a possibilidade de macromutações como a da antenapédia chegarem a ser benéficas (ou pelo menos não chegarem a ser danosas) e, portanto, de poderem ocasionar mudança evolutiva, leva à questão de quanto é macro a mutação que estamos considerando. Quanto mais "macro" ela for, mais provável é que seja perniciosa e menos provável que venha a ser incorporada à evolução de uma espécie. De fato, praticamente todas as mutações estudadas em laboratórios de genética - que são acentuadamente macro, pois, de outro modo, os geneticistas não as notariam - são danosas aos animais que as apresentam (ironicamente, já conheci pessoas para quem isso é um argumento contra o darwinismo!). O argumento do microscópio de Fisher fornece, portanto, uma razão para o ceticismo quanto às teorias da evolução por "saltação", ao menos em sua forma mais extrema.

A outra razão geral para não acreditarmos na verdadeira saltação também é estatística, e sua força também depende quantitativamente de quanto é macro a macromutação que postulamos. Neste caso, está em foco a complexidade das mudanças evolutivas. Muitas das

mudanças evolutivas nas quais estamos interessados, ainda que não todas elas, são avanços na complexidade do design. O exemplo extremo do olho, discutido em capítulos anteriores, esclarece o argumento. Animais com olhos como os nossos evoluíram de ancestrais sem olho nenhum. Um saltacionista extremo poderia postular que essa evolução ocorreu em um único passo mutacional. Um genitor não tinha olho nenhum, apenas pele onde poderia haver um olho. Teve um filho anormal, com olho plenamente desenvolvido, todo completo, com cristalino de foco variável, íris como um diafragma para "controlar a abertura'", retina com milhões de fotocélulas tricolores, tudo com nervos corretamente conectados ao cérebro para dar ao animal uma visão em cores estereoscópica binocular correta.

No modelo dos biomorfos, supusemos que esse tipo de melhora multidimensional não podia ocorrer. Recapitulando a razão de essa ser uma suposição razoável: para fazer um olho a partir do nada seria preciso não apenas uma melhora, mas um grande número de melhoras. Qualquer uma delas é, por si só, altamente improvável, mas não a ponto de ser impossível. Quanto maior o número de melhoras simultâneas que tenhamos em mente, mais improvável é sua ocorrência simultânea. A coincidência de ocorrerem simultaneamente equivale a saltar uma grande distância através da Terra dos Biomorfos e caírem um local específico predeterminado. Se decidirmos considerar um número suficientemente grande de melhoras, sua ocorrência conjunta torna-se tão improvável a ponto de ser, para todos os efeitos, impossível. Esse argumento já foi suficientemente desenvolvido, mas pode ser útil fazer uma distinção entre dois tipos de macromutações hipotéticas; ambos parecem ser refutados pelo argumento da complexidade, mas, na verdade, apenas um deles é descartado por esse argumento. Por motivos que ficarão claros, eu os chamo de macromutações Boeing 747 e macromutações Stretched Dc8 [DC8 alongado].

As macromutações Boeing 747 são aquelas realmente excluídas pelo argumento da complexidade mencionado acima. Devem seu nome ao memorável equívoco do astrônomo Sir Fred Hoyle quanto à teoria da seleção natural. Ele comparou a seleção natural, em sua pretensa improbabilidade, a um furacão abatendo-se sobre um depósito de ferro-velho e por acaso montando um Boeing 747. Como vimos no capítulo 1, essa é uma analogia totalmente falsa para se aplicar à seleção natural, mas é uma excelente analogia para a idéia de que certos tipos de macromutação originam mudança evolutiva. Na verdade, o erro fundamental de Hoyle foi ter pensado (sem perceber) que a teoria da seleção natural dependia da

macromutação. A idéia de uma única macromutação originar um olho que funcionava plenamente com as propriedades relacionadas acima onde antes só havia pele é, de fato, tão improvável quanto um furacão montar um Boeing 747. Por isso é que me refiro a esse tipo de macromutação hipotética como Boeing 747.

As mutações Stretched Dc8 são as que, embora possam ser grandes na magnitude de seus efeitos, não o são no aspecto da complexidade. O Stretched DC8 é um avião que foi feito modificando-se um avião mais antigo, o DC8. Ele é parecido com um DC8, mas tem a fuselagem alongada. Foi uma melhora pelo menos de um ponto de vista: podia transportar mais passageiros que o DC8 original. O alongamento é um grande aumento no comprimento e, neste sentido, é análogo a uma macromutação. Mais interessante é acrescentar numerosas poltronas, cinzeiros, lâmpadas de leitura, seletores de música de doze canais e bocais de circulação de ar. À primeira vista, parece haver muito mais complexidade em um Stretched DC8 do que em um DC8 comum; mas há mesmo? A resposta é não, ou pelo menos não na medida em que as coisas "novas" no avião alongado são apenas "mais da mesma coisa". Os biomorfos do capítulo 3 freqüentemente apresentam macromutações da variedade Stretched DC8.

Que relação tem isso com as macromutações em animais reais? A resposta é que algumas mutações reais causam grandes mudanças muito semelhantes à mudança de um DC8 para um Stretched DC8, e algumas delas, embora em certo sentido sejam "macro" mutações, foram definitivamente incorporadas à evolução. As cobras, por exemplo, têm todas muito mais vértebras do que suas ancestrais. Poderíamos ter certeza disso mesmo se não dispuséssemos de nenhum fóssil, pois as cobras têm muito mais vértebras do que seus parentes que sobreviveram. Além disso, diferentes espécies de cobras possuem números de vértebras diferentes, o que significa que esses números devem ter mudado na evolução desde seu ancestral comum, e ainda por cima com grande freqüência.

Ora, para mudar o número de vértebras de um animal, é preciso fazer mais do que simplesmente introduzir-lhe um osso extra. Cada vértebra vem associada a um conjunto de nervos, de vasos sangüíneos, de músculos etc., exatamente como cada fileira de poltronas em um avião tem seus conjuntos de almofadas, apoios de cabeça, entradas para fone de ouvido, luzes de leitura com seus fios correspondentes etc. A parte média do corpo de uma cobra, assim como a do corpo de um avião, compõe-se de vários segmentos, muitos dos quais são exatamente iguais entre si, por mais complexos que possam ser individualmente. Portanto, para acrescentar

novos segmentos, basta um simples processo de duplicação. Como já existe maquinário genético para produzir um segmento de cobra - maquinário genético de alta complexidade, que exigiu muitas gerações de evolução gradual passo a passo -, novos segmentos podem facilmente ser acrescentados por um único passo mutacional. Se concebermos os genes como "instruções para um embrião em desenvolvimento", um gene para inserir segmentos extras poderia ordenar, simplesmente: "mais da mesma coisa aqui". Imagino que as instruções para construir o primeiro Stretched DC foram mais ou menos nesse estilo.

Podemos ter certeza de que, na evolução das cobras, os números de vértebras mudaram em inteiros, não em frações. Não dá para imaginar uma cobra com 26,3 vértebras. Ou a cobra tinha 26 ou 27, e é óbvio que deve ter havido casos em que um filhote teve pelo menos uma vértebra inteira a mais do que seus genitores tinham. Isto significa que o filhote tinha todo um conjunto extra de nervos, vasos sanguíneos, feixes de músculos etc. Em certo sentido, portanto, essa cobra foi uma macromutante, mas só no sentido fraco, o do "Stretched DC8". É fácil acreditar que cobras individuais com dúzia de vértebras a mais do que seus genitores poderiam ter surgido num único passo mutacional. O "argumento da complexidade" contra a evolução por saltação não se aplica às macromutações do tipo Stretched DC8 porque, se examinarmos com atenção a natureza da mudança envolvida, elas não são, em um sentido real, verdadeiras macromutações. São macromutações apenas se considerarmos, ingenuamente, o produto acabado, o adulto. Se considerarmos os processos de desenvolvimento embrionário, elas mostram ser micromutações, no sentido de que apenas uma pequena mudança nas instruções embrionárias produziram um grande efeito visível no adulto. O mesmo se aplica às antenapédias das drosófilas e a muitas outras chamadas "mutações homeóticas".

Isto conclui minha digressão sobre macromutação e evolução saltatória. Ela foi necessária, pois a teoria do equilíbrio pontuado com frequência é confundida com a evolução saltatória. Mas foi uma digressão, pois a teoria do equilíbrio pontuado é o principal tema deste capítulo, e, na verdade, ela não tem ligação com a macromutação e a verdadeira saltação.

As "lacunas" que Eldredge e Gould e os demais "pontuacionistas" mencionam, portanto, não se relacionam com a verdadeira saltação, e são lacunas muito menores do que as que assanham os criacionistas. Além disso, Eldredge e Gould originalmente introduziram sua teoria não como

uma oposição radical e revolucionária ao darwinismo comum, "convencional" - que é como mais tarde passou a ser interpretada -, mas como algo decorrente do darwinismo convencional aceito há muito tempo e propriamente compreendido. Para chegarmos a essa compreensão apropriada, infelizmente teremos de fazer mais uma digressão, desta vez sobre a questão de como se originam novas espécies, o processo conhecido como "especiação".

A resposta de Darwin à questão da origem das espécies foi, em um sentido geral, que as espécies descendiam de outras espécies. Além disso, a árvore genealógica da vida é ramificada, ou seja, uma espécie ancestral pode ter originado mais de uma espécie moderna. Por exemplo, os atuais leões e tigres pertencem a espécies diferentes, mas ambos surgiram de uma única espécie ancestral, provavelmente não muito tempo atrás. Essa espécie ancestral pode ter sido uma dessas duas espécies modernas; pode ter sido uma terceira espécie moderna; ou talvez esteja atualmente extinta. De modo semelhante, humanos e chimpanzés claramente pertencem a espécies diferentes, mas seus ancestrais de alguns milhões de anos atrás pertenciam a uma única espécie. Especiação é o processo pelo qual uma única espécie se torna duas espécies, uma das quais pode ser a mesma que a original.

A razão de a especiação ser considerada um problema difícil é que todos os membros da espécie única que poderá vir a tornar-se espécie ancestral são capazes de cruzamento entre si - de fato, para muita gente, isso é o que define uma "espécie única". Portanto, toda vez que uma nova espécie-filha começa a "brotar", o processo corre o risco de ser frustrado pelo cruzamento entre espécimes das duas vertentes. Dá para imaginar os que poderiam vir a ser os ancestrais dos leões e os que poderiam vir a ser os ancestrais dos tigres deixando de dividir-se porque cruzavam entre si e assim permaneciam semelhantes. A propósito: não se deve levar longe demais o meu uso do termo "frustrado" como se os leões e tigres ancestrais "quisessem", em algum sentido, separar-se uns dos outros. Ocorre apenas que, de fato, as espécies obviamente divergiram uma da outra na evolução, e à primeira vista o fato do cruzamento entre os respectivos espécimes dificulta vermos como essa divergência se deu.

Parece quase certo que a principal resposta correta a esse problema é óbvia. Não haverá problema de cruzamento entre leões e tigres ancestrais se eles por acaso estiverem em diferentes partes do mundo, onde não têm acesso uns aos outros. É claro que não foram para continentes diferentes para permitir que ocorresse a divergência: eles

não se consideravam ancestrais dos leões ou ancestrais dos tigres! Mas, dado que a espécie ancestral única disseminou-se para continentes diferentes - digamos, África e Ásia-, os que por acaso estavam na África não puderam mais cruzar com os que por acaso estavam na Ásia, pois nunca se encontraram. Se havia alguma tendência de os animais nos dois continentes evoluírem em direções diferentes, seja sob a influência da seleção natural, seja sob a influência do acaso, o cruzamento entre eles não mais constituiu uma barreira para que divergissem e por fim se tornassem duas espécies distintas.

Falei em continentes diferentes para dar clareza ao argumento, mas o princípio da separação geográfica como uma barreira para o cruzamento pode aplicar-se a animais em lados diferentes de um deserto, de uma cordilheira, de um rio ou até de uma rodovia.

Também pode aplicar-se a animais separados simplesmente pela barreira da distância. Os musaranhos da Espanha não podem cruzar com os da Mongólia, podendo divergir, no aspecto evolutivo, dos musaranhos da Mongólia mesmo que tenha havido uma cadeia ininterrupta de cruzamentos ligando os musaranhos das duas regiões. Mesmo assim, a idéia da separação geográfica como a chave da especiação fica mais clara se raciocinarmos da perspectiva de uma verdadeira barreira física, como um mar ou uma cordilheira. De fato, os conjuntos de ilhas são provavelmente viveiros férteis para novas espécies.

Eis, portanto, nosso quadro neodarwinista ortodoxo de como uma espécie típica "nasce", divergindo de uma espécie ancestral. Começamos com a espécie ancestral, uma grande população bastante uniforme de animais que cruzam entre si, distribuídos por uma vasta massa de terra. Poderia ser qualquer tipo de animal, mas continuemos falando dos musaranhos. Essa massa de terra é dividida em duas por uma cordilheira, uma região hostil que os musaranhos não tendem a atravessar; mas passar para o outro lado não é impossível e, muito ocasionalmente, um ou dois espécimes vão parar nas planícies do lado oposto. Ali podem prosperar e originar uma população de sua espécie, isolada da população principal. Agora passam a ocorrer cruzamentos separados em cada uma dessas duas populações, cada qual misturando seus genes do seu lado da montanha mas não do lado oposto. Com o passar do tempo, quaisquer mudanças na composição genética de uma população disseminam-se, pelo cruzamento, por toda a população local, mas não para a população do lado oposto. Algumas dessas mudanças podem ser ocasionadas pela seleção natural, podendo diferir dos dois lados da cordilheira: não podemos esperar que as

condições climáticas, os predadores e os parasitas sejam exatamente os mesmos dos dois lados. Algumas das mudanças podem ser devidas somente ao acaso. Sejam quais forem as razões das mudanças genéticas, o cruzamento tende a disseminá-las dentro de cada uma das duas populações, mas não entre as duas. Assim, as duas populações divergem geneticamente: tornam-se cada vez mais dessemelhantes.

Elas se tornam tão dessemelhantes que, após um tempo, os naturalistas as veriam como pertencentes a "raças" diferentes. Após mais um tempo, terão divergido tanto que as classificariamos como espécies diferentes. Agora imaginemos que ocorra um aquecimento climático que facilite a travessia das montanhas, e que então alguns membros da nova espécie comecem a voltar esparsamente às suas regiões de origem ancestrais. Quando encontrarem os descendentes de seus primos que não viam há tanto tempo, terão divergido tanto em sua constituição genética que não pode mais haver cruzamento bem-sucedido entre eles. Se chegarem a cruzar e produzir híbridos, essa prole resultante é doentia, ou estéril, como as mulas. Portanto, a seleção natural penaliza qualquer preferência, da parte dos indivíduos de qualquer um dos dois lados, pela hibridação com a outra espécie ou mesmo outra raça. A seleção natural, com isso, conclui o processo de "isolamento reprodutivo" que começou com a intervenção fortuita de uma cordilheira. A "especiação" está completa. Agora temos duas espécies onde anteriormente só existia uma, e as duas espécies podem coexistir na mesma área sem cruzarem entre si.

Na verdade, a probabilidade maior é de que as duas espécies não venham a coexistir por muito tempo. Não porque cruzariam entre si, mas porque competiriam. Um princípio amplamente aceito da ecologia é o de que duas espécies com o mesmo modo de vida não coexistirão por muito tempo no mesmo lugar, pois competirão, e uma ou outra será impelida à extinção. É claro que nossas duas populações de musaranhos poderiam não ter mais o mesmo modo de vida; por exemplo, a nova espécie, durante seu período de evolução do outro lado das montanhas, poderia ter acabado por especializar-se como predadora de um tipo diferente de inseto. Mas se existir uma competição significativa entre as duas espécies, a maioria dos ecologistas esperaria que uma ou outra acabaria por extinguir-se na área em que se sobrepõem. Se por acaso a espécie levada à extinção fosse a original, a ancestral, diríamos que ela foi substituída pela nova espécie, a imigrante.

A teoria da especiação resultante da separação geográfica inicial há muito tempo tem sido a pedra fundamental do preponderante neodarwinismo ortodoxo, sendo até hoje aceita por todas as vertentes como o principal processo gerador de novas espécies (há quem acredite que também existem outros processos). Sua incorporação ao darwinismo moderno deveu-se, em grande medida, à influência do eminente zoólogo Ernst Mayr. O que os "pontuacionistas" fizeram, quando pela primeira vez expuseram sua teoria, foi perguntar-se: dado que, como a maioria dos neodarwinistas, aceitamos a teoria ortodoxa de que a especiação começa com o isolamento geográfico, o que deveríamos esperar ver no registro fóssil? Pensemos na população hipotética de musaranhos, com uma nova espécie que divergiu do lado oposto da cordilheira, regressou por fim às regiões de origem ancestrais e muito possivelmente impeliu a espécie ancestral para a extinção. Suponhamos que esses musaranhos houvessem deixado fósseis; suponhamos até que o registro fóssil fosse perfeito, sem lacunas causadas por uma lamentável omissão de estágios fundamentais. O que deveríamos esperar encontrar nesses fósseis? Uma transição suave de uma espécie ancestral para uma espécie descendente? Certamente que não, ao menos se estivermos escavando na principal massa de terra onde viveram os musaranhos ancestrais originais, para onde voltou a nova espécie. Pensemos na história do que realmente aconteceu na principal massa de terra. Lá estavam os musaranhos ancestrais, vivendo e se reproduzindo felizes da vida, sem nenhuma razão específica para mudar. Reconhecidamente, seus primos do outro lado da montanha estavam ocupados evoluindo, mas seus fósseis estão todos do lado oposto das montanhas, portanto não os encontramos na principal massa de terra onde fazemos nossas escavações. E então, de repente (isto é, de repente pelos padrões geológicos), a nova espécie volta, compete com a espécie principal e, talvez, a substitui. Subitamente, mudam os fósseis que encontramos à medida que vamos escavando em partes superiores dos estratos da principal massa de terra. Antes eram todos da espécie ancestral. Agora, abruptamente e sem transições visíveis, aparecem fósseis da nova espécie e desaparecem os da espécie mais antiga.

As "lacunas", longe de ser imperfeições importunas ou embaraços incômodos, são, afinal de contas, exatamente o que deveríamos de fato esperar, se levarmos a sério nossa teoria neodarwiniana ortodoxa da especiação. A razão de a "transição" da espécie ancestral para a espécie descendente parecer ter abruptamente dado um salto é apenas que, quando examinamos uma série de fósseis de qualquer dado lugar,

provavelmente não estamos observando nenhum evento evolutivo: estamos observando um evento migratório, a chegada de uma nova espécie proveniente de outra área geográfica. Decerto que houve eventos evolutivos, e uma espécie de fato evoluiu, provavelmente de modo gradual, a partir de outra. Mas para ver a transição evolutiva documentada nos fósseis, teríamos de escavar em outro lugar - neste caso, do lado oposto das montanhas.

O que Eldredge e Gould quiseram mostrar, portanto, poderia ter sido modestamente apresentado como uma prestimosa ajuda a Darwin e seus sucessores para a resolução do que lhes parecera uma embaraçosa dificuldade. Na verdade, foi assim, ao menos em parte, que tudo foi apresentado - inicialmente. Os darwinistas sempre haviam sido incomodados pelas aparentes lacunas no registro fóssil, e parecem ter sido forçados a recorrer a sofismas sobre imperfeição de provas, O próprio Darwin escrevera:

O registro geológico é extremamente imperfeito, e este fato em grande medida há de explicar por que não encontramos variedades intermináveis, ligando todas as formas de vida extintas e existentes pelos mais tênues passos graduados. Quem rejeitar estas idéias sobre a natureza do registro geológico rejeitará justificadamente toda a minha teoria.

Eldredge e Gould poderiam ter escolhido como sua mensagem principal a seguinte: não se preocupe, Darwin, mesmo que o registro fóssil fosse perfeito, você não deveria esperar ver uma progressão tenuemente graduada se escavasse em um só local, pela razão de que a maior parte da mudança evolutiva aconteceu em outro lugar! E poderiam ter prosseguido dizendo:

Darwin, quando você afirmou que o registro fóssil era imperfeito, estava sendo muito comedido. Não só ele é imperfeito, mas há boas razões para esperar que seja particularmente imperfeito justo quando se torna interessante, justo quando a mudança evolutiva está ocorrendo; isto acontece em parte porque a evolução em geral ocorreu em um lugar diferente daquele onde encontramos a maioria de nossos fósseis, e em parte porque, mesmo se tivermos a felicidade de escavar em uma das pequenas áreas distantes onde ocorreu a maior parte da mudança evolutiva, essa mudança (embora ainda assim gradual) ocupa tão breve intervalo de tempo que precisaríamos de um registro fóssil extremamente rico para reconstituí-la!

Mas não - em vez disso, eles preferiram, especialmente em trabalhos mais recentes, que foram avidamente acompanhados por jornalistas, vender suas idéias como radicalmente opostas de Darwin e à síntese neodarwinista. Fizeram isso enfatizando o "adualismo" da visão darwinista da evolução em oposição ao "pontuacionismo" súbito, espasmódico e esporádico que eles próprios defendem. E especialmente Gould chegou mesmo a ver analogias entre eles próprios e as velhas escolas do "catastrofismo" e "saltacionismo". Sobre o saltacionismo já discutimos. O catastrofismo foi uma tentativa feita nos séculos xviii e xix de conciliar alguma forma de criacionismo com os incômodos fatos do registro fóssil. Os catastrofistas acreditavam que a evidente progressão do registro fóssil na verdade refletia uma série de criações separadas, cada qual encerrada por uma catastrófica extinção em massa. A última delas foi o dilúvio de Noé.

As comparações entre, de um lado, o pontuacionismo moderno e, de outro, o catastrofismo e o saltacionismo têm uma força puramente poética. Elas são, se me é permitido cunhar um paradoxo, profundamente superficiais. Soam impressionantes em uma esfera "artística", literária, mas nada acrescentam à compreensão fundamentada, e podem fornecer um conforto e uma ajuda espúrios aos criacionistas modernos em sua luta preocupantemente bem-sucedida para subverter a educação e a publicação de livros didáticos nos Estados Unidos. O fato é que, no sentido mais completo e mais sério, Eldredge e Gould são, na realidade, tão gradualistas quanto Darwin e qualquer um de seus seguidores. Ocorre apenas que eles querem comprimir toda a mudança gradual em breves rompantes em vez de supô-la ocorrendo o tempo todo; e eles ressaltam que a maior parte da mudança gradual acontece em áreas geográficas distantes das regiões onde a maioria dos fósseis são escavados.

Portanto, não é realmente ao gradualismo de Darwin que os pontuacionistas se opõem: gradualismo significa que cada geração é apenas ligeiramente diferente da geração anterior; seria preciso ser um saltacionista para opor-se a essa noção, o que Eldredge e Gould não são. Na realidade, é à pretensa crença de Darwin na constância das taxas de evolução que eles e os demais pontuacionistas fazem objeção. Não a aceitam porque pensam que a evolução (ainda assim uma inegável evolução gradualista) ocorre depressa durante surtos relativamente breves de atividade (eventos de especiação, que impõem uma espécie de atmosfera de

crise na qual a pretensa resistência normal à mudança evolutiva é vencida), e que a evolução ocorre muito lentamente ou nem sequer ocorre durante longos períodos intermediários de estase. Quando dizemos "relativamente" breves, queremos dizer, obviamente, breves em relação à escala temporal geológica em geral. Mesmo os espasmos evolutivos dos pontuacionistas, embora possam ser instantâneos pelos padrões geológicos, ainda assim têm uma duração que é medida em dezenas ou centenas de milhares de anos.

Uma idéia do célebre evolucionista americano G. Ledyard Stebbins é esclarecedora neste assunto. Ele não está especificamente se referindo à evolução espasmódica, mas apenas tentando salienta a velocidade em que a mudança evolutiva pode ocorrer, quando vista no contexto da escala temporal do tempo geológico disponível. Ele imagina uma espécie de animal, mais ou menos do tamanho de um camundongo. Supõe, então, que a seleção natural começa a favorecer um aumento de tamanho do corpo, mas apenas muito ligeiramente. Talvez os machos maiores tenham uma ligeira vantagem na competição pelas fêmeas. Em qualquer momento, os machos de tamanho médio são ligeiramente menos bem-sucedidos do que os que são um pouquinho maiores do que a média. Stebbins designa um número exato para a vantagem matemática desfrutada pelos indivíduos maiores em seu exemplo hipotético. Escolhe um valor tão infinitesimal que não seria mensurável pelos observadores humanos. E a taxa de mudança evolutiva que ele ocasiona é, conseqüentemente, tão lenta que não seria notada durante um período de vida humana normal. No que diz respeito ao cientista estudando a evolução ao vivo, portanto, esses animais não estão evoluindo. Mas eles estão evoluindo, muito lentamente, a uma taxa determinada pela suposição matemática de Stebbins e, mesmo a essa taxa baixíssima, eles acabarão por atingir o tamanho de elefantes. Quanto tempo isso irá demorar? Evidentemente, muito tempo pelos padrões humanos, mas os padrões humanos são irrelevantes. Estamos falando de tempo geológico. Stebbins calcula que, a essa taxa baixíssima de evolução que ele supôs, seriam necessárias cerca de 12 mil gerações para os animais evoluírem de um peso médio de quarenta gramas (tamanho de camundongo) para um peso médio superior a 6 milhões de gramas (tamanho de elefante). Supondo que cinco anos seja o tempo de uma geração, o que é mais do que o tempo de uma geração de camundongos, mas menos que uma geração de elefantes, 12 mil gerações abrangeriam aproximadamente 60 mil anos. Esse tempo é demasiado breve para ser medido pelos métodos geológicos comuns de datação de registro fóssil. Como afirma Stebbins: "A origem de um novo

tipo de animal em 100 mil anos ou menos é vista pelos paleontólogos como "súbita" ou "instantânea".

Os pontuacionistas não estão falando de saltos evolutivos, e sim de episódios de evolução relativamente rápida. E mesmo esses episódios não têm de ser rápidos pelos padrões humanos para parecer instantâneos pelos padrões geológicos. Independentemente do que possamos pensar sobre a teoria do equilíbrio pontuado em si, é muito fácil confundir gradualismo (a convicção, sustentada tanto pelos pontuacionistas modernos como por Darwin, de que não existem saltos abruptos entre uma geração e a seguinte) com "hipótese da velocidade evolutiva constante" (à qual os pontuacionistas se opõem e que pretensamente, embora não realmente, Darwin defendia). Não são, de modo algum, a mesma coisa. O certo é caracterizar as idéias dos pontuacionistas como "gradualistas, mas com longos períodos de "estase" (estagnação evolutiva) pontuando breves episódios de mudança gradual rápida". A ênfase, então, incide sobre os longos períodos de estase como os fenômenos, anteriormente não notados, que de fato requerem explicação. É a ênfase sobre a estase que constitui a verdadeira contribuição dos pontuacionistas, e não sua alardeada oposição ao gradualismo, pois em verdade eles são tão gradualistas quanto todos os demais.

Mesmo a ênfase sobre a estase pode ser encontrada, em forma menos exagerada, na teoria da especiação de Mayr. Ele supunha que, de duas raças geograficamente separadas, a população ancestral original numerosa tende menos a mudar do que a população nova, a "filha" (do outro lado das montanhas no nosso exemplo dos musaranhos). Isto não apenas porque a população filha é a que se mudou para novas pastagens, onde as condições provavelmente são diferentes e as pressões da seleção natural se modificam. É também porque existem algumas razões teóricas (que Mayr salientou mas cuja importância pode ser questionada) para pensarmos que grandes populações reprodutivas apresentam uma tendência inerente a resistir à mudança evolutiva. Uma analogia apropriada é com um grande objeto pesado: é difícil deslocá-lo. Populações pequenas, afastadas da principal, em virtude de serem pequenas têm inerentemente maior probabilidade de mudar, de evoluir, diz a teoria. Portanto, embora em meu exemplo as duas populações ou raças de musaranhos tenham divergido uma da outra, Mayr prefere supor que a população ancestral original é relativamente estática enquanto a nova população diverge dela. O galho da

árvore evolutiva não se bifurca em dois ramos iguais; em vez disso, existe um galho principal do qual brota um pequeno ramo lateral.

Os proponentes do equilíbrio pontuado apoderaram-se dessa suposição de Mayr e a magnificaram na irredutível convicção de que a "estase", ou ausência de mudança evolutiva, é a norma de uma espécie. Para eles, nas grandes populações existem forças genéticas que resistem ativamente à mudança evolutiva. A mudança evolutiva, segundo eles, é um evento raro, coincidente com a especiação. A coincidência com a especiação, ainda na concepção dessa vertente, ocorre porque as condições em que são formadas novas espécies - separação geográfica de subpopulações pequenas e isoladas - são exatamente aquelas nas quais as forças que normalmente resistem à mudança evolutiva são afrouxadas ou anuladas. A especiação é uma época de convulsão, ou revolução. E é durante esses períodos de convulsão que a mudança evolutiva se concentra. Durante a maior parte da história de uma linhagem, ela permanece estagnada.

Não é verdade que na opinião de Darwin a evolução ocorria a uma taxa constante. Ele com toda a certeza não acreditava nisso do modo ridiculamente extremo como satirizei minha parábola sobre os filhos de Israel, e não creio que realmente acreditasse nela em nenhum sentido importante. A citação da célebre passagem a seguir, da quarta edição de *A origem das espécies* (e das edições posteriores), irrita Gould porque, para ele, não é representativa do pensamento geral de Darwin:

Muitas espécies, uma vez formadas, nunca passam por nenhuma mudança adicional [...]; e os períodos durante os quais as espécies sofreram modificações, embora longos quando medidos em anos, foram provavelmente curtos em comparação com os períodos durante os quais elas conservaram a mesma forma.

Gould quer descartar essa sentença e outras semelhantes, argumentando:

Não se pode fazer história citando seletivamente e procurando notas de rodapé restritivas. O teor geral e o impacto histórico são os critérios apropriados. Os contemporâneos ou descendentes de Darwin alguma vez o interpretaram como um saltacionista?

Gould tem razão, evidentemente, com respeito ao teor geral e ao impacto histórico, mas a sentença final desta sua citação é uma gafe tremendamente reveladora. É óbvio que ninguém jamais interpretou Darwin como saltacionista e é óbvio que Darwin foi consistentemente hostil ao

saltacionismo, mas o importante é que o saltacionismo não vem ao caso quando estamos discutindo o equilíbrio pontuado. Como ressaltai, a teoria do equilíbrio pontuado, pela própria interpretação de Eldredge e Gould, não é uma teoria saltacionista. Os saltos que ela postula não são verdadeiros saltos de uma única geração. Distribuem-se por numerosas gerações no decorrer de períodos de talvez dezenas de milhares de anos, pelas estimativas do próprio Gould. A teoria do equilíbrio pontuado é uma teoria gradualista, embora enfatize longos períodos de estase entremeando surtos relativamente breves de evolução gradualista. Gould desnor-teou-se com sua própria ênfase retórica sobre a semelhança puramente poética ou literária entre, de um lado, o pontuacionismo e, de outro, o verdadeiro saltacionismo.

Acho que esclareceria a questão se, nesta altura, eu resumisse um conjunto de possíveis pontos de vista sobre os ritmos da evolução. Em uma vertente, temos o verdadeiro saltacionismo, sobre o qual já discuti o suficiente. Não existem verdadeiros saltacionistas entre os biólogos modernos. Todos os que não são saltacionistas são gradualistas, e isso inclui Eldredge e Gould, não importa como eles possam preferir chamar-se. No gradualismo, podemos distinguir várias posições com respeito aos ritmos da evolução (gradual).

Algumas dessas posições, como vimos, têm uma semelhança puramente superficial ("literária" ou "poética") com o verdadeiro saltacionismo antigradualista, sendo essa a razão por que são às vezes confundidas com ele.

Em outro extremo, temos o tipo de "hipótese da velocidade Constante" que caricaturei na parábola do Êxodo no início deste Capítulo. Um defensor extremo da hipótese da velocidade constante acredita que a evolução avança de modo extremamente lento o tempo todo, de maneira constante e inexorável, esteja ou não ocorrendo alguma ramificação ou especiação. Ele acredita que a quantidade da mudança evolutiva é estritamente proporcional ao tempo decorrido. Ironicamente, em nossos dias uma forma de teoria da velocidade constante vem contando com o favor de geneticistas moleculares modernos. Existem boas razões para acreditar que a mudança evolutiva na esfera das moléculas de proteína de fato avança de modo extremamente lento a um ritmo constante, como os hipotéticos filhos de Israel; e isto mesmo se as características externamente visíveis, como braços e pernas, estiverem evoluindo de maneira acentuadamente pontuada. Já tratamos deste assunto no capítulo 5, e tornarei a mencioná-lo no próximo capítulo. Mas no que diz respeito à

evolução adaptativa de estruturas em grande escala e padrões de comportamento, praticamente todos os evolucionistas rejeitariam a hipótese da velocidade constante, e Darwin com certeza a teria rejeitado. Todos os que não são defensores da hipótese da velocidade constante são defensores da hipótese da velocidade variável.

Na esfera da hipótese da velocidade variável, podemos distinguir dois tipos de posição, denominadas "hipótese da velocidade variável discreta" e "hipótese da velocidade continuamente variável". Um "discretista" extremo não só acredita que a evolução tenha velocidade variável, mas também julga que a velocidade muda abruptamente de um nível discreto a outro, como a caixa de câmbio de um automóvel. Ele poderia acreditar, por exemplo, que a evolução tem apenas duas velocidades: muito rápida e nula (não posso evitar lembrar da humilhação de meu primeiro boletim escolar, escrito pela monitora, informando meu desempenho de garoto de sete anos nas tarefas de dobrar roupas, tomar banho frio e outras rotinas diárias da vida de colégio interno: "Dawkins tem apenas três velocidades: lenta; muito lenta e nula"). A evolução "nula" é a "estase" que os pontuacionistas julgam caracterizar as grandes populações. A evolução em alta velocidade é a que ocorre durante a especiação, em pequenas populações isoladas na periferia de grandes populações evolutivamente estáticas. Segundo essa concepção, a evolução está sempre em uma ou outra dessas duas marchas, nunca em um ponto intermediário. Eldredge e Gould pendem para o discretismo, e neste aspecto são genuinamente radicais. Podem ser chamados "defensores da velocidade variável discreta". A propósito: não existe nenhuma razão específica para que um defensor da hipótese da velocidade variável discreta deva necessariamente enfatizar a especiação como um período de evolução em alta velocidade. Na prática, porém, é o que a maioria deles faz.

Os defensores da "hipótese da velocidade continuamente variável" por outro lado, acreditam que os ritmos da evolução flutuam continuamente, de muito rápido a muito lento e nulo, com todos os ritmos intermediários. Não vêem nenhuma razão específica para salientar certas velocidades mais do que outras. Em particular, a estase, para eles, é apenas um caso extremo de evolução ultralenta. Para um pontuacionista, a estase tem uma característica muito especial: ela não é apenas uma evolução tão lenta que sua taxa é zero, não é apenas a ausência passiva de evolução por inexistir uma força impelindo para a mudança. A estase, para os pontuacionistas, representa uma resistência positiva à mudança

evolutiva. É quase como se considerassem que as espécies tomam providências ativamente para não evoluir, apesar de haver forças impelindo para a evolução.

Há mais biólogos de acordo em que a estase é um fenômeno real do que biólogos de acordo sobre suas causas. Tomemos como exemplo extremo o celacanto *Latimeria*. Os celacantos fírmam um grande grupo de "peixes" (na verdade, embora sejam chamados de peixes, eles têm parentesco muito mais próximo conosco do que com as trutas e os arenques) que existiram em grande número há mais de 250 milhões de anos e aparentemente se extinguiram mais ou menos na mesma época em que os dinossauros. Eu disse que eles aparentemente se extinguiram porque em 1938, para grande espanto dos zoólogos, um peixe esquisito, com quase um metro e meio de comprimento e barbatanas singulares um tanto longas, parecidas com pernas, apareceu entre os animais apanhados por um pescueiro de alto-mar na costa sul-africana. Embora quase destruídos antes que seu valor incalculável fosse reconhecido, seus restos em decomposição felizmente chamaram a atenção de um competente zoólogo sul-africano bem a tempo. Mal acreditando em seus próprios olhos, ele identificou o animal como um celacanto vivo, dando-lhe a denominação de *Latimeria*. Desde então, alguns outros espécimes foram pescados na mesma área, e a espécie agora já foi devidamente estudada e descrita. É um "fóssil vivo", pois quase não mudou desde a época de seus ancestrais fósseis, centenas de milhões de anos atrás.

Portanto, existe a estase. Como devemos interpretá-la? Como explicá-la? Alguns de nós diriam que a linhagem conducente ao *Latimeria* não mudou porque a natureza não a impeliu. Em certo sentido, ele não teve "necessidade" de evoluir porque esses animais haviam encontrado um modo de vida bem-sucedido nas profundezas do oceano, onde as condições não sofreram grandes mudanças. Talvez nunca tenham participado de corridas armamentistas. Seus primos que emergiram em terra firme evoluíram, forçados pela seleção natural, sob uma variedade de condições hostis, incluindo corridas armamentistas. Outros biólogos, entre eles alguns dos que se intitulam pontuacionistas, poderiam dizer que a linhagem conducente ao moderno *Latimeria* resistiu ativamente à mudança, apesar de quaisquer que possam ter sido as pressões da seleção natural. Quem está com a razão? No caso específico do *Latimeria* é difícil saber, mas, em princípio, há um modo de procurarmos descobrir. Para sermos justos, paremos de pensar no caso específico do *Latimeria*. Ele é um exemplo notável, mas muito extremo, e os pontuacionistas não fariam questão de

usá-lo. Eles acreditam que são comuns os exemplos de estase menos extremos e de mais curto prazo; acreditam que, de fato, esses exemplos são a regra, pois as espécies possuem mecanismos genéticos que resistem ativamente à mudança, mesmo havendo forças da seleção natural pressionando para que mudem. Pois existe um experimento muito simples que, ao menos em princípio, podemos fazer para testar essa hipótese. Podemos usar populações vivendo em estado natural e impor a elas nossas próprias forças de seleção. Segundo a hipótese de que as espécies resistem ativamente à mudança, deveríamos constatar que, se tentarmos fazer cruzamentos visando a uma determinada qualidade, a espécie empacaria, por assim dizer, e se recusaria a mover-se, pelo menos durante algum tempo. Se tentássemos fazer cruzamentos seletivos com o gado para obter grande produção de leite, por exemplo, deveríamos fracassar. Os mecanismos genéticos da espécie deveriam mobilizar suas forças antievolução e combater a pressão para mudar. Se tentássemos fazer evoluir em galinhas taxas de produção de ovos, deveríamos fracassar. Se os promotores de touradas, para fomentar seu desprezível "esporte" tentassem aumentar a coragem de seus touros pelo cruzamento seletivo, deveriam fracassar. Esses fracassos deveriam ser apenas temporários, evidentemente. Por fim, como uma represa rompendo-se sob pressão, as pretensas forças antievolução serão vencidas, e a linhagem poderá então mover-se rapidamente para um novo equilíbrio. Mas deveríamos encontrar pelo menos alguma resistência ao iniciar um novo programa de cruzamento seletivo.

O fato, obviamente, é que não fracassamos quando tentamos moldar a evolução cruzando seletivamente animais e plantas em cativeiro, e tampouco encontramos dificuldades durante o período inicial. Espécies animais e vegetais em geral são imediatamente receptivas ao cruzamento seletivo, e os criadores não encontram indício algum de forças antievolutivas intrínsecas. O máximo que pode acontecer é os criadores encontrarem dificuldades após várias gerações de cruzamentos seletivos bem-sucedidos. Isto porque, após algumas gerações de cruzamentos seletivos, a variação genética disponível se esgota, e temos de aguardar novas mutações. É concebível que os celacantos tenham parado de evoluir porque pararam de sofrer mutação - talvez por serem protegidos dos raios cósmicos no fundo do mar! - mas ninguém, que eu saiba, já aventou isso a sério e, seja como for, não é isso que os pontuacionistas querem dizer quando afirmam que as espécies têm uma resistência inerente à mudança evolutiva.

Eles estão se referindo a algo mais na linha do argumento que apresentei no capítulo 7 sobre os genes "cooperativos": a idéia de que os grupos de genes são tão bem adaptados uns aos outros que resistem à invasão de novos genes mutantes que não sejam membros do clube. Essa é uma idéia bem complexa, que pode ser tornada plausível. De fato, foi um dos alicerces teóricos da já mencionada idéia da inércia de Mayr. Mesmo assim, o fato de não encontrarmos uma resistência inicial sempre que tentamos fazer cruzamentos seletivos leva-me a pensar que, se as linhagens prosseguem por muitas gerações sem sofrer mudanças quando deixadas na natureza, isso não ocorre porque elas resistem à mudança, mas porque não há pressão da seleção natural em favor da mudança. Elas não mudam porque os indivíduos que permanecem iguais sobrevivem melhor do que os que mudam.

Portanto, os pontuacionistas são, na verdade, tão gradualistas quanto Darwin ou qualquer outro darwinista; eles simplesmente inserem longos períodos de estase entre surtos de evolução gradual. Como afirmei, o único aspecto em que os pontuacionistas diferem das outras escolas darwinistas é na forte ênfase sobre a estase como algo positivo: como uma resistência ativa à mudança evolutiva em vez de simplesmente uma ausência de mudança evolutiva. E esse é o único aspecto em que eles muito provavelmente estão errados, o que me resta agora é esclarecer o mistério de por que eles pensaram estar tão distantes do darwinismo e do neodarwinismo.

A resposta está na confusão de dois significados da palavra "gradual", associada à confusão, que me esforcei para esclarecer aqui mas que está por trás das concepções de muitas pessoas, entre pontuacionismo e saltacionismo. Darwin foi um ferrenho anti- saltacionista, e isso o levou a salientar, vezes sem conta, o caráter extremamente gradual das mudanças evolutivas que estava propondo. A razão disso é que, para ele, saltação significava o que chamei de macromutação Boeing 747. Significava o súbito surgimento, como Palas Atena da cabeça de Zeus, de órgãos complexos novinhos em folha a um único toque da varinha de condão genética. Significava olhos complexos e funcionais totalmente formados brotando de simples pele em uma única geração. A razão de Darwin conceber assim o saltacionismo é ser exatamente isso o que significava para a maioria de seus oponentes mais influentes, que realmente o consideravam um fator fundamental da evolução.

O duque de Argyll, por exemplo, aceitava a evidência de que a evolução ocorrera, mas desejava fazer a criação divina entrar clandestinamente pela porta dos fundos. Não era o único. Muitos vitorianos pensavam que, em vez de uma criação única e definitiva no Jardim do Éden, a divindade fizera repetidas intervenções, em pontos cruciais da evolução. Para eles, órgãos complexos como os olhos, em vez de evoluir de outros menos complexos de modo lento e gradual como afirmava Darwin, haviam aparecido no mundo num único instante. Aquelas pessoas percebiam, corretamente, que tal evolução "instantânea", se ocorresse, implicaria a intervenção sobrenatural; é nisso que acreditavam. As razões são aquelas estatísticas que mencionei ao falar sobre os furacões e os Boeings 747.

O saltacionismo 747, na realidade, é apenas uma forma atenuada de criacionismo. Vendo do ângulo oposto, a criação divina é o fator supremo da saltação. É o supremo salto da argila inanimada ao homem totalmente formado. Darwin também percebeu isso. Em uma carta a Sir Charles Lyell, o principal geólogo de sua época, ele escreveu:

Se eu estivesse convicto de que precisaria desse tipo de adições à teoria da seleção natural, eu a rejeitaria como imprestável [...]. Não daria nada pela teoria da seleção natural se ela exigisse adições milagrosas em qualquer estágio de descendência.

Isso não é uma questão secundária. Na concepção de Darwin, todo o objetivo da teoria da evolução pela seleção natural era fornecer uma explicação não milagrosa para a existência de adaptações complexas. E esse, tenha o valor que tiver, é também o objetivo deste livro. Para Darwin, qualquer evolução que precisasse da ajuda de Deus para dar seus passos não era evolução coisa nenhuma. Tal idéia destituía de sentido a tese da evolução. Isto posto, é fácil ver por que Darwin constantemente reiterou o caráter gradual da evolução. É fácil ver por que ele escreveu a sentença abaixo, citada no capítulo 4:

Se fosse possível demonstrar que existiu algum órgão complexo que não poderia absolutamente ter sido formado por numerosas e sucessivas modificações pequenas, minha teoria cairia totalmente por terra.

Há outro modo de ver a importância fundamental do caráter gradual da evolução para Darwin. Seus contemporâneos, como muita gente ainda hoje, tinham dificuldade para acreditar que o corpo humano e outras entidades também complexas poderiam, concebivelmente, ter surgido por meios evolutivos. Se pensarmos na ameba unicelular como nosso ancestral remoto - como até bem pouco tempo atrás era moda pensar -, para muita gente é difícil imaginar como teria sido preenchida a lacuna entre a ameba e o homem. Essas pessoas acham inconcebível que desses princípios tão simples poderia ter emergido algo tão complexo. Darwin recorreu à idéia dos pequenos passos graduais como meio de vencer esse tipo de incredulidade. Podemos ter dificuldade para imaginar uma ameba transformando-se em um homem, diz o argumento, mas não temos dificuldade para imaginar uma ameba transformando-se em um tipo ligeiramente diferente de ameba. E então não é difícil imaginá-la transformando-se em um tipo ligeiramente diferente de um tipo ligeiramente diferente de... e assim por diante. Como vimos no capítulo 3, esse argumento só vence nossa incredulidade se salientarmos que houve um número extremamente grande de passos pelo caminho, e apenas se cada passo for bem pequeno. Darwin lutou constantemente contra essa fonte de incredulidade, e constantemente fez uso da mesma arma: a ênfase na mudança gradual, quase imperceptível, distribuída por incontáveis gerações.

A propósito, vale a pena citar o característico exemplo comparativo de L. B. S. Haldane para combater a mesma fonte de incredulidade. Algo semelhante à transição da ameba para o homem ocorre em todo útero materno em apenas nove meses, ele argumentou. Reconhecidamente, o desenvolvimento é um processo muito diferente da evolução; mesmo assim, qualquer um que seja cético quanto à possibilidade de uma transição de uma única célula para um homem precisa apenas refletir sobre seu próprio início fetal para aquietar suas dúvidas. Espero não ser considerado pedante por salientar, a propósito, que a escolha da ameba para o título de ancestral honorário está simplesmente seguindo uma tradição caprichosa. Uma bactéria seria uma escolha melhor, mas mesmo as bactérias, como as conhecemos, são organismos modernos.

Retomando a argumentação: Darwin deu grande ênfase ao caráter gradual da evolução devido ao que ele estava tentando refutar. Os equívocos acerca da evolução que prevaleciam no século XIX. No contexto da época, o significado de "gradual" era "oposto à saltação". Eldredge e Gould, no contexto do final do século XX, empregam "gradual" num sentido bem diferente. Eles usam o termo, com efeito, embora não explicitamente,

na acepção de "em velocidade constante", e o opõem à noção que eles próprios têm de "pontuação". Criticam o gradualismo definido pela "hipótese da velocidade constante". Sem dúvida, estão certos ao fazê-lo: em sua forma extrema, essa hipótese é tão absurda quanto minha parábola do Êxodo.

Mas atrelar essa crítica justificável a uma crítica a Darwin é simplesmente confundir dois significados distintos do termo "gradual". No sentido em que Eldredge e Gould se opõem ao gradualismo, não há nenhuma razão específica para duvidar que Darwin teria concordado com eles. No sentido do termo em que Darwin era um gradualista ferrenho, Eldredge e Gould também são gradualistas. A teoria do equilíbrio pontuado é apenas uma nota de rodapé sem grande importância para o darwinismo, que o próprio Darwin poderia muito bem ter aprovado se a questão houvesse sido discutida em sua época. Como nota de rodapé sem grande importância, ela não merece uma dose particularmente grande de publicidade. A razão de ter recebido tanta publicidade, e de eu ter sentido a necessidade de dedicar-lhe todo um capítulo deste livro, é simplesmente que a teoria foi alardeada - alardeada em excesso por alguns jornalistas - como se fosse radicalmente oposta às idéias de Darwin e seus sucessores. Por que isso aconteceu?

Existem pessoas no mundo que desejam desesperadamente não ter de acreditar no darwinismo. Parecem enquadrar-se em três classes principais. Na primeira estão aquelas que, por razões religiosas, querem que a própria evolução não seja verdade. Na segunda, aquelas que não têm razão para negar que a evolução ocorreu mas, por motivos políticos ou ideológicos, têm aversão ao mecanismo da teoria de Darwin. Destas, algumas acham a idéia da seleção natural inaceitavelmente dura e implacável; outras confundem seleção natural com aleatoriedade, e portanto "ausência de sentido", e se sentem ofendidas em sua dignidade; outras ainda confundem o darwinismo com darwinismo social, que tem conotações racistas e outras conotações desagradáveis. Na terceira classe, que inclui muitos dos que trabalham no que denominam "mídia", estão as pessoas que simplesmente gostariam de entornar o caldo, talvez porque isso produza bom material jornalístico, e o darwinismo tornou-se suficientemente bem estabelecido e respeitável para ser um caldo deveras tentador.

Seja qual for o motivo, a conseqüência é que, se um acadêmico respeitado deixa escapar a menor insinuação de crítica a algum detalhe da atual teoria darwinista, com grande avidez o fato é agarrado e

desproporcionalmente exaltado. Tão grande é a sofreguidão que parece haver um potente amplificador provido de um microfone finamente sintonizado para detectar de modo seletivo qualquer coisa que soe ligeiramente como uma oposição ao darwinismo. E isto é deplorável, pois o debate e a crítica sérios constituem um elemento de importância vital para qualquer ciência, e seria trágico se os acadêmicos sentissem a necessidade de calar-se por causa desses microfones. Nem é preciso dizer que o amplificador, embora potente, não é de alta-fidelidade: a distorção é tremenda! Um cientista que cautelosamente sussurra alguma ligeira dúvida a respeito de alguma nuance corrente do darwinismo está sujeito a Ouvir suas palavras ressoarem e ecoarem, distorcidas e quase irreconhecíveis, através dos famintos alto-falantes.

Eldredge e Gould não sussurram - gritam, com eloquência e poder! O que eles gritam é com frequência muito sutil, mas a mensagem é interpretada como "há algo errado com o darwinismo".

Aleluia! "Os próprios cientistas" afirmaram! O editor do Biblical Creation escreveu:

É inegável que a credibilidade de nossa posição religiosa e científica foi acentuadamente reforçada pelo recente arrefecimento dos ânimos combativos dos neodarwinistas. E isso é algo que temos de explorar ao máximo.

Eldredge e Gould têm sido, ambos, vigorosos combatentes na luta contra o criacionismo tacanho e intolerante. Bradaram seus protestos contra o uso indevido de suas palavras, mas descobriram que, para essa parte de sua mensagem, os microfones subitamente foram desligados. Posso entendê-los e me solidarizar com eles, pois tive um problema semelhante com um conjunto diferente de microfones, no meu caso sintonizados para a política em vez da religião.

O que tem de ser dito agora, alto e bom som, é a verdade: a teoria do equilíbrio pontuado enquadra-se firmemente na síntese neodarwinista. Sempre se enquadrou. Levará um bom tempo para reparar os danos causados pela retórica bombástica, mas eles serão reparados. A teoria do equilíbrio pontuado será vista nas devidas proporções, como uma interessante mas pequena ruga na superfície da teoria neodarwinista. Ela certamente não fornece nenhuma base para um "arrefecimento nos ânimos combativos dos neodarwinistas", e nenhuma base para a afirmação de Gould de que a teoria sintética (outro nome para neodarwinismo) "está efetivamente morta". É como se a descoberta de que a Terra não é uma

esfera perfeita, mas um esferóide ligeiramente achatado, fosse alardeada na primeira página com a manchete:

COPÉRNICO ERROU. COMPROVADA A TEORIA DA TERRA PLANA.

Mas, para ser justo, o comentário de Gould não visava tanto ao pretensão "gradualismo" da síntese darwinista quanto a uma outra proposição dela. É a asserção, contestada por Eldredge e Gould, de que toda a evolução, mesmo na mais grandiosa escala temporal geológica, é uma extrapolação de eventos que ocorrem no âmbito das populações ou espécies. Eles acreditam que existe uma forma superior de seleção, que denominam "seleção de espécies". Deixo este assunto para o próximo capítulo, que também é o momento ideal para falar de outra escola de biólogos que, sobre bases igualmente frágeis, foram em alguns casos interpretados como antidarwinistas: os chamados "cladistas transformados". Eles se inserem no campo geral da taxonomia, a ciência da classificação.

10. A verdadeira e única árvore da vida

Este livro tem por tema principal a evolução como a solução do problema do "design" complexo, a evolução como a verdadeira explicação dos fenômenos que, na opinião de Paley, provavam a existência de um relojoeiro divino. É por isso que falo tanto sobre olhos e ecolocalização. Mas há todo um outro conjunto de coisas que a teoria da evolução explica. São os fenômenos da diversidade: o padrão dos diferentes tipos de animais e plantas espalhados pelo mundo e a distribuição de características entre eles. Embora eu esteja tratando principalmente de olhos e outros elementos de mecanismo complexo, não devo negligenciar este outro aspecto do papel da evolução na contribuição para nossa compreensão da natureza. Portanto, este capítulo trata da taxonomia.

Taxonomia é a ciência da classificação. Para algumas pessoas, ela tem a imerecida reputação de ser maçante, gerando uma associação inconsciente com museus empoeirados e cheiro de formol, quase como se fosse confundida com taxidermia. Na verdade, ela nada tem de maçante. Por razões que não compreendo muito bem, é um dos campos mais acerbamente polêmicos de toda a biologia. Interessa aos filósofos e aos historiadores. Tem papel importante a desempenhar em qualquer discussão

sobre evolução. E das fileiras dos taxonomistas emergiram alguns dos mais vociferantes biólogos modernos que se pretendem antidarwinistas.

Embora os taxonomistas estudem principalmente animais e plantas, pode-se classificar todo tipo de coisa: rochas, navios de guerra, livros de uma biblioteca, estrelas, línguas. A classificação ordenada é com frequência representada como uma conveniência, uma necessidade prática, o que, de fato, é parte da verdade. Os livros de uma grande biblioteca são quase inúteis se não forem organizados de algum modo não aleatório, para que os livros sobre um assunto específico possam ser encontrados quando precisamos deles. A ciência, ou talvez arte, da biblioteconomia é um exercício de taxonomia aplicada. Pelo mesmo tipo de razão, os biólogos encontram mais facilidade em seu trabalho quando podem enquadrar animais e plantas em categorias com nomes, sobre as quais existe consenso. Mas dizer que essa é a única razão da taxonomia animal e vegetal seria deixar de lado o principal. Para os biólogos evolucionistas, a classificação dos organismos vivos tem algo muito especial, algo que não se aplica a nenhum outro tipo de taxonomia. Da idéia de evolução decorre que existe uma única árvore genealógica ramificada correta para todos os seres vivos, e podemos basear nela a nossa taxonomia. Em adição a seu caráter único, essa taxonomia tem a singular propriedade que denomino aninhamento perfeito. O que isso significa e a razão de sua grande importância são o tema essencial deste capítulo.

Tomemos a biblioteca como exemplo de taxonomia não biológica. Não existe uma única solução correta para o problema de como devem ser classificados os livros de uma biblioteca ou livraria. Um bibliotecário poderia dividir seu acervo segundo as principais categorias a seguir: ciência, história, literatura, outras artes, obras estrangeiras etc. Cada um desses departamentos principais da biblioteca seria subdividido. A ala de ciência da biblioteca poderia ser subdividida em biologia, geologia, química, física etc. Os livros do setor de biologia da ala de ciência poderiam ser subdivididos em prateleiras destinadas a fisiologia, anatomia, bioquímica, entomologia etc. Por fim, em cada prateleira, os livros poderiam ser guardados em ordem alfabética. Outras alas principais da biblioteca, a de história, a de literatura, a de línguas estrangeiras etc., subdivididas de modo semelhante. Essa biblioteca, portanto, é hierarquicamente dividida de modo a possibilitar ao leitor ir direto ao livro que deseja. A classificação hierárquica é conveniente porque permite ao usuário orientar-se rapidamente pelo acervo. É pelo mesmo tipo

de razão que as palavras nos dicionários são organizadas em ordem alfabética.

Mas não existe uma hierarquia única e obrigatória para os livros de uma biblioteca. Um outro bibliotecário poderia decidir organizar o mesmo acervo de um modo diferente e ainda assim hierárquico. Por exemplo, ele poderia não determinar uma ala separada para os livros estrangeiros, preferindo organizar os livros independentemente da língua em que foram escritos, segundo suas áreas temáticas apropriadas: os livros de biologia em alemão na seção de biologia, os livros de história em alemão na seção de história e assim por diante. Um terceiro bibliotecário poderia adotar a política radical de organizar todos os livros, independentemente do assunto, por ordem cronológica de publicação, servindo-se de cartões indexados (ou equivalentes computadorizados) para encontrar os livros de assuntos específicos.

Esses três planos para a biblioteca são bem diferentes entre si, mas provavelmente todos funcionariam de maneira adequada e seriam considerados aceitáveis por muitos leitores, menos por um colérico associado de um clube londrino que certa vez ouvi esbravejar no rádio porque o comitê de seu clube contratara um bibliotecário. A biblioteca havia funcionado por cem anos sem organização, ele não via por que precisava ser organizada naquele momento. O entrevistador delicadamente lhe perguntou como ele achava que os livros deveriam ser arrumados. "Os mais altos à esquerda, os mais baixos à direita", ele bradou sem hesitação. As livrarias populares classificam seus livros em seções principais que refletem a demanda da massa. Em vez de ciência, história, literatura, geografia etc., seus principais setores são jardinagem, culinária, "títulos de televisão", ocultismo e, como já vi certa ocasião, uma estante identificada em letras garrafais como "RELIGIÃO E UFOLOGIA".

Portanto, não existe uma solução correta para o problema de como classificar livros. Os bibliotecários podem discordar racionalmente entre si quanto à política de classificação, mas os critérios que permitirão ganhar ou perder a discussão não incluirão a "verdade" ou "correção" de um sistema classificatório em comparação com outro. Em vez disso, os critérios empregados na argumentação serão "conveniência para os usuários", "rapidez na localização dos livros" etc. Neste sentido, a taxonomia dos livros de um bibliotecário pode ser considerada arbitrária. Isto não implica que não seja importante elaborar um bom sistema classificatório - longe disso. O que significa é que não existe um único sistema classificatório que, em um mundo de informações perfeitas,

contaria como consenso universal como a única classificação correta. Por outro lado, a taxonomia dos seres vivos, comoveremos, tem essa propriedade fundamental ausente na taxonomia dos livros - pelo menos se adotarmos um ponto de vista evolucionista.

Evidentemente é possível conceber um sem-número de sistemas para classificar os seres vivos, mas demonstrarei que todos, exceto um, são tão arbitrários quanto a taxonomia de qualquer bibliotecário. Se o requisito for a mera conveniência, o administrador de um museu poderia classificar seus espécimes por tamanho e condições de conservação: grandes espécimes empalhados, pequenos espécimes desidratados espetados em painéis de cortiça, espécimes engarrafados em solução conservante, espécimes microscópicos em lâminas etc. Esse tipo de agrupamento por conveniência é comum nos zoológicos. No zôo londrino, os rinocerontes são abrigados na "Casa dos Elefantes" tão-somente porque precisam do mesmo tipo de jaulas altamente reforçadas que os elefantes. Um especialista em biologia aplicada poderia classificar os animais em nocivos (subdivididos em pragas médicas, pragas agrícolas e animais de mordida ou picada diretamente perigosa), benéficos (subdivididos de modos semelhantes) e neutros. Um nutricionista poderia classificar os animais segundo o valor nutricional de sua carne para os seres humanos, novamente com uma elaborada subdivisão das categorias. Minha avó certa vez bordou um livro infantil de pano sobre animais que classificava os bichos pelo tipo de patas. Os antropólogos registraram numerosos sistemas complexos de taxonomia animal usados por tribos do mundo todo.

Mas, de todos os sistemas de classificação que poderiam ser imaginados, um deles é excepcional - excepcional no sentido de que palavras como "correto" e "incorreto", "verdadeiro" ou "falso" podem ser aplicadas a ele gerando consenso, desde que haja informação perfeita. Esse sistema único é aquele baseado nas relações evolutivas. Para evitar confusão, darei a esse sistema o nome que os biólogos dão à sua forma mais estrita: taxonomia cladística.

Na taxonomia cladística, o critério supremo para o agrupamento de organismos é a proximidade de parentesco entre primos ou, em outras palavras, o caráter relativamente recente dos ancestrais comuns. As aves, por exemplo, distinguem-se de não-aves já pelo fato de serem todas descendentes de um ancestral comum, que não é ancestral de nenhuma não-ave. Os mamíferos são todos descendentes de um ancestral comum, que não é ancestral de nenhum não-mamífero. Aves e mamíferos têm um ancestral comum

mais remoto, que também é o ancestral de numerosos outros animais, como as cobras, lagartos e tuataras. Os animais que descendem desse ancestral comum são chamados amniotas. Assim, aves e mamíferos são amniotas. "Répteis" não é um verdadeiro termo taxonômico, segundo os cladistas, pois se define por exceção: todos os amniotas exceto aves e mamíferos. Em outras palavras, o ancestral comum mais recente de todos os "répteis" (cobras, tartarugas etc.) também é ancestral de alguns não- "répteis", ou seja, das aves e mamíferos.

Entre os mamíferos, ratos e camundongos têm um ancestral comum recente, e o mesmo se pode dizer de leopardos e leões, e de chimpanzés e humanos. Animais de parentesco próximo são os que têm um ancestral comum recente. Animais de parentesco mais distante têm um ancestral comum mais antigo. Animais de parentesco muito distante, como pessoas e lesmas, têm um ancestral comum muitíssimo remoto. Os organismos nunca podem ser totalmente sem parentesco entre si, pois está praticamente certo que a vida como a conhecemos originou-se apenas uma vez na Terra.

A verdadeira taxonomia cladística é estritamente hierárquica, uma expressão que usarei na aceção de que ela pode ser representada como uma árvore cujos ramos sempre divergem e nunca mais tornam a convergir. A meu ver (algumas escolas de taxonomistas que mencionaremos adiante discordariam), ela é estritamente hierárquica não porque a classificação hierárquica é conveniente, como a classificação de um bibliotecário, nem porque tudo no mundo se enquadra naturalmente em um padrão hierárquico, mas simplesmente porque o padrão de descendência evolutiva é hierárquico. Assim que a árvore da vida se ramifica além de uma certa distância mínima (basicamente, as fronteiras das espécies), os ramos nunca mais tornam a juntar-se (pode haver raríssimas exceções, como na origem da célula eucariótica mencionada no capítulo 7). Aves e mamíferos descendem de um ancestral comum, mas agora são ramos separados da árvore evolutiva e nunca mais tornarão a juntar-se: nunca haverá um híbrido de ave e mamífero. Um grupo de organismos que têm essa propriedade de descenderem todos de um ancestral comum, que não é ancestral de não-membros do grupo, é chamado "clado", palavra originada do grego, significando ramo de árvore.

Um outro modo de representar essa idéia de hierarquia estrita é segundo o "aninhamento perfeito". Escrevemos os nomes de qualquer conjunto de animais numa grande folha de papel e desenhamos um círculo ao redor de conjuntos aparentados. Por exemplo, rato e camundongo estariam unidos por um pequeno círculo indicando que são parentes próximos, com um

ancestral comum recente. O porquinho-da-índia e a capivara seriam unidos por outro pequeno círculo, O círculo do rato! Camundongo e o do porquinho-da-índia/capivara, por sua vez, seriam unidos um ao outro (junto com o dos castores, porcos-espinhos, esquilos e muitos outros animais) em um círculo maior rotulado com seu próprio nome, roedores. Os círculos interiores estão "aninhados" nos círculos maiores, mais exteriores. Em alguma outra parte da folha de papel, leão e tigre estariam unidos um ao outro em um círculo menor. Este círculo estaria incluído junto com outros em um círculo denominado fclijrns. Gatos, cães, doninhas, ursos etc. estariam todos unidos, numa série de círculos dentro de círculos, em um único círculo maior denominado carnívoros. O círculo dos roedores e o dos carnívoros fariam parte de uma série mais global de círculos dentro de um círculo enorme denominado mamíferos.

O importante nesse sistema de círculos dentro de círculos é o fato de eles se aninharem com perfeição. Nunca, em nenhuma ocasião isolada, existe intersecção entre os círculos que desenhamos. Toda vez que há sobreposição entre dois círculos, um deles está inteiramente dentro do outro. A área circundada pelo mais interno sempre está totalmente contida dentro do externo: nunca existem sobreposições parciais. Essa propriedade do "aninhamento" taxonômico perfeito não é encontrada nos livros, línguas, tipos de solo ou escolas de pensamento em filosofia. Se um bibliotecário traça um círculo ao redor de livros de biologia e outro ao redor de livros de teologia, descobrirá que os dois círculos têm partes sobrepostas. Na zona de sobreposição há títulos como "Biologia e Fé Cristã".

Pelas aparências, poderíamos esperar que a classificação das línguas tivesse a propriedade do aninhamento perfeito. Como vimos no capítulo 8, as línguas evoluem de um modo muito semelhante ao dos animais. As línguas que divergiram recentemente de um ancestral comum, como o sueco, o norueguês e o dinamarquês, têm muito mais semelhanças entre si do que com línguas que divergiram há mais tempo, como o islandês. Mas as línguas não apenas divergem; também se fundem. O inglês moderno é um híbrido de línguas germânicas e românicas que haviam divergido muito antes, e portanto o inglês não se encaixaria nitidamente em nenhum diagrama de aninhamento hierárquico. Veríamos que os círculos que contêm o inglês teriam uma intersecção, uma sobreposição parcial. Os círculos classificatórios da biologia nunca apresentam intersecções assim, pois a evolução biológica acima do nível das espécies é sempre divergente.

Voltando ao exemplo da biblioteca, nenhum bibliotecário pode evitar inteiramente o problema dos intermediários ou sobreposições. De nada adianta pôr as seções de biologia e teologia lado a lado e os livros intermediários no corredor entre elas, pois, neste caso, o que faremos com os livros que são intermediários entre biologia e química, entre física e teologia, história e teologia, história e biologia? Acho que tenho razão em dizer que o problema dos intermediários é uma parte inerente, inescapável de todos os sistemas taxonômicos com exceção daquele que se origina da biologia evolucionista. Pessoalmente, um problema que quase chega a me causar desconforto físico é a modesta tarefa de tentar classificar o que ocorre em minha vida profissional: organizar meus livros nas estantes, as separatas de textos científicos que os colegas me enviam (com a melhor das intenções), arquivar documentos administrativos, velhas cartas etc. Sejam quais forem as categorias que adotamos para um sistema de arquivamento, existem sempre itens incômodos que não se encaixam, e a desagradável decisão me obriga, lamento dizer, a deixar papéis avulsos em cima da mesa, às vezes por anos a fio, até que seja seguro descartá-los. É freqüente recorrer-se à insatisfatória categoria "diversos" a qual, uma vez iniciada, tem a ameaçadora tendência de crescer. As vezes me pergunto se bibliotecários e administradores de museus, especialmente museus de biologia, não seriam particularmente propensos a úlceras.

Na taxonomia dos seres vivos esses problemas de arquivamento não existem. Não existem animais "diversos". Se nos mantivermos acima do nível das espécies e se estudarmos apenas animais modernos (ou animais em uma determinada fatia do tempo, como veremos adiante), não haverá intermediários importunos. Se um animal parece ser um intermediário importuno, digamos que pareça ser exatamente um intermediário entre mamífero e ave, um evolucionista pode ter certeza de que esse animal decididamente tem de ser uma coisa ou outra. A aparência de intermediário sem dúvida nenhuma é uma ilusão. O pobre bibliotecário não pode ter essa certeza. É perfeitamente possível um livro pertencer simultaneamente aos departamentos de história e biologia. Os biólogos cladistas nunca se entregam a discussões bibliotecárias sobre ser ou não "conveniente" classificar as baleias como mamíferos, peixes, ou intermediários entre mamíferos e peixes. Nossas argumentações giram em torno apenas de fatos. Acontece que, neste caso, os fatos levam todos os biólogos modernos à mesma conclusão. As baleias são mamíferos, e não peixes, e não são, nem mesmo no mais ínfimo grau, intermediários. Não são mais proximamente

aparentadas com os peixes do que os humanos, os ornitorrincos com seu bico de pato ou quaisquer outros mamíferos.

De fato, é importante entender que todos os mamíferos - humanos, baleias, ornitorrincos e os demais - têm exatamente a mesma proximidade de parentesco com os peixes, pois todos os mamíferos são ligados aos peixes por intermédio do mesmo ancestral comum. O mito de que os mamíferos, por exemplo, formam uma escada, ou "escala", com os "inferiores" sendo mais proximamente aparentados com os peixes do que os "superiores", é um esnobismo que não tem relação nenhuma com a evolução. É uma noção antiga, pré-evolucionista, às vezes denominada "a grande cadeia dos seres", que deveria ter sido destruída pela evolução mas foi, misteriosamente, absorvida no modo como muitas pessoas concebem a evolução.

Nesta altura, não posso resistir a chamar a atenção para a ironia no desafio que os criacionistas adoram lançar aos evolucionistas: "Apresentem seus intermediários. Se a evolução fosse verdade, deveria haver animais a meio caminho entre um gato e um cão, ou entre um sapo e um elefante. Mas alguém já viu um sapefante?". Já vi panfletos criacionistas que tentam ridicularizar a evolução com desenhos de grotescas quimeras, a parte posterior de um cavalo enxertada na parte dianteira de um cão, por exemplo. Os autores parecem imaginar que os evolucionistas deveriam esperar que tais animais existam. Isso não só é uma compreensão equivocada da teoria - é a antítese dela. Uma das mais fortes suposições da teoria da evolução é a de que intermediários desse tipo não devem existir. Essa é a idéia principal de minha comparação entre animais e livros de uma biblioteca.

Assim, a taxonomia dos seres vivos evoluídos possui a propriedade singular de permitir o consenso perfeito em um mundo de informação perfeita. Foi isso que eu quis dizer quando afirmei que termos como "verdadeiro" e "falso" podiam ser aplicados a declarações sobre a taxonomia cladística, mas não a declarações sobre a taxonomia dos bibliotecários. É preciso fazer duas ressalvas. Primeiro, no mundo real não temos informação perfeita. Os biólogos podem discordar uns dos outros sobre os fatos da genealogia, e pode ser difícil decidir as discussões devido à imperfeição das informações - insuficiência de fósseis, digamos. Retomarei este assunto mais adiante. Segundo, um tipo diferente de problema surge se tivermos fósseis demais. O caráter distinto, bem definido da classificação poderia evaporar se tentássemos incluir todos os animais que já viveram em vez de apenas os animais modernos. Isto

porque, por maior que seja a distância entre dois animais modernos - digamos, entre uma ave e um mamífero-, eles algum dia, há muito tempo, tiveram um ancestral comum. Se surgisse a tarefa de tentar inserir esse ancestral em nossa classificação moderna, poderíamos ter problemas.

No momento em que começamos a levar em consideração animais extintos, deixa de ser verdadeira a afirmação de que inexistem intermediários. Ao contrário, agora temos de nos haver com séries potencialmente contínuas de intermediários. A distinção entre aves modernas e não-aves modernas, como os mamíferos, é nítida apenas porque os intermediários que convergem em direção a um ancestral comum estão todos mortos. Para reforçar mais esta idéia, pensemos novamente em uma criatura hipoteticamente "generosa" que nos fornece um registro fóssil completo, com um fóssil de cada animal que já viveu. Quando introduzi esta fantasia no capítulo anterior, mencionei que, de certo ponto de vista, a natureza na verdade estava sendo perversa. Naquele momento pensava na trabalhadeira que daria estudar e descrever todos os fósseis, mas agora chegamos a outro aspecto dessa paradoxal perversidade. Um registro fóssil completo dificultaria muito classificar animais em grupos distintos que pudessem ser nomeados. Se tivéssemos um registro fóssil completo, deveríamos ter de abrir mão de nomes distintos e recorrer a algum tipo de notação matemática ou gráfica de escalas móveis. A mente humana dá preferência muito acentuada a nomes distintos; por isso, em certo sentido, é bom mesmo que o registro fóssil seja pobre.

Se considerarmos todos os animais que já viveram em vez de apenas os animais modernos, palavras como "humano" e "ave" se tornam tão nebulosas e indistintas em suas fronteiras quanto termos como "alto" e "gordo". Os zoólogos podem ter uma discussão interminável sobre um determinado fóssil ser ou não ser uma ave. De fato, com freqüência eles debatem exatamente isso com respeito ao célebre fóssil do arqueoptérix. Acontece que se "ave/não-ave" é uma distinção mais clara do que "alto/baixo" é tão-somente porque no caso ave/não-ave os intermediários incômodos estão todos mortos. Se uma peste curiosamente seletiva se abatesse e matasse todas as pessoas de altura intermediária, "alto" e "baixo" passariam a ter um significado tão preciso quanto "ave" e "mamífero".

Não é apenas a classificação zoológica que se salva da ambigüidade desconcertante apenas pelo conveniente fato de que a maioria dos intermediários está hoje extinta. O mesmo se pode dizer da ética e do direito dos seres humanos. Nossos sistemas legais e morais estão

fortemente direcionados para nossa espécie. O diretor de um zoológico tem o direito legal de "sacrificar" um chimpanzé que esteja excedendo a capacidade de abrigo do zôo, enquanto qualquer sugestão de que poderíamos "sacrificar" um zelador ou bilheteiro excedentes seria recebida com gritos de incredulidade e indignação. O chimpanzé é propriedade do zoológico. Os humanos, hoje em dia, supostamente não são propriedade de ninguém, mas os fundamentos para essa discriminação contra os chimpanzés raramente são especificados, e duvido que exista um fundamento defensável. Tamanho é o viés estarrecedor em favor da própria espécie que existe em nossas atitudes inspiradas em valores cristãos que o aborto de um único zigoto humano (sendo a maioria deles destinada a ser abortada espontaneamente, de qualquer modo) pode gerar mais solidariedade moral e indignação moralista do que a vivissecção de qualquer número de chimpanzés adultos inteligentes! Já ouvi cientistas liberais e respeitáveis, que não tinham nenhuma intenção de cortar chimpanzés vivos, ainda assim defenderem ardorosamente seu direito de fazê-lo se o desejassem, sem a interferência da lei. Essas pessoas com freqüência são as primeiras a se encolerizar diante da menor violação dos direitos humanos. A única razão de podermos aceitar com tanta naturalidade essa parcialidade é os intermediários entre humanos e chimpanzés estarem todos mortos.

O último ancestral comum de humanos e chimpanzés viveu talvez há apenas 5 milhões de anos, sendo, sem dúvida, mais recente do que o ancestral comum de chimpanzés e orangotangos, e talvez 30 milhões de anos mais recente que o ancestral comum de chimpanzés e macacos não antropóides nem prossímios. Os chimpanzés têm em comum com os humanos mais de 99 por cento dos genes. Se, em várias ilhas esquecidas do mundo, fossem descobertos sobreviventes de todos os intermediários até o ancestral comum de humanos e chimpanzés, quem duvidaria que nossas leis e convenções morais seriam profundamente afetadas, em especial porque presumivelmente haveria algum tipo de cruzamento entre esses intermediários ao longo do espectro? Ou teríamos de atribuir plenos direitos humanos a todo o espectro (direito de voto aos chimpanzés) ou teria de haver algum sistema complexo, tipo apartheid, de leis discriminatórias, ficando a cargo dos tribunais decidir se determinados indivíduos seriam legalmente "chimpanzés" ou legalmente "humanos"; e as pessoas se preocupariam caso sua filha dissesse querer casar-se com um "deles". Suponho que o mundo já tenha sido exaustivamente explorado para esperarmos que essa fantasia punitiva venha a realizar-se. Mas quem acha

que existe algo de óbvio e evidente nos "direitos" humanos deveria refletir que é sorte esses intermediários incômodos não terem sobrevivido. Alternativamente, talvez se os chimpanzés não tivessem sido descobertos até hoje eles agora seriam vistos como intermediários constrangedores.

Quem leu os capítulos anteriores poderia comentar que toda essa argumentação - de que as categorias se confundem se não nos ativermos aos animais contemporâneos - supõe que a evolução se processa a uma velocidade constante em vez de ser pontuada. Quanto mais nossa concepção da evolução se aproximar do extremo da mudança suave e contínua, mais pessimistas seremos quanto à própria possibilidade de aplicar a todos os animais que já viveram designações como "ave" ou "não-ave", "humano" ou "não-humano". Um saltacionista extremo poderia acreditar que houve realmente um primeiro humano, cujo cérebro mutante foi duas vezes maior que o de seu pai e o de seu irmão assemelhado a um chimpanzé.

Os defensores do equilíbrio pontuado não são, em grande medida, verdadeiros saltacionistas, como já vimos. Mesmo assim, para eles o problema da ambigüidade de nomes há de ser menos grave do que para aqueles que têm uma visão mais contínua da marcha evolutiva. O problema da denominação surgiria mesmo para os pontuacionistas se literalmente todos os animais que já viveram fossem preservados como fósseis, pois os pontuacionistas são, na verdade, gradualistas quando refletimos a fundo. Mas como ele, supõem que é particularmente improvável encontrarmos fósseis documentando breves períodos de rápida transição e que é particularmente provável encontrarmos fósseis documentando longos períodos de estase, o "problema da denominação" seria real. Para um não-pontuacionista, "a espécie" é definível apenas porque os intermediários incômodos estão mortos. Um antipontuacionista extremo, com uma visão de longo prazo de toda a história evolutiva, não pode ver "a espécie" como uma entidade distinta. Ele só pode ver um contínuo nebuloso. Do seu ponto de vista, uma espécie nunca teve um início claramente definido, e só às vezes tem um fim claramente definido (extinção); com freqüência uma espécie não termina de modo decisivo; apenas se transforma gradualmente em uma nova espécie. Um pontuacionista, por outro lado, julga que uma espécie surgiu em um momento específico (rigorosamente falando, em sua concepção existe um período de transição com duração de dezenas de milhares de anos, mas essa duração é pequena pelos padrões geológicos). Além disso, ele julga que uma espécie tem um fim definido, ou pelo menos

de ocorrência rápida, e não uma transformação gradual em uma nova espécie. Como na concepção pontuacionista a maior parte da vida de uma espécie é passada em estase inalterada, e como uma espécie tem um começo e um fim distintos, um pontuacionista pode afirmar que uma espécie tem um "tempo de vida" definido. O não-pontuacionista não julgaria que uma espécie tem um "tempo de vida" como um organismo individual. O pontuacionista extremo vê "a espécie" como uma entidade distinta que realmente merece seu nome. O antipontuacionista extremo vê "a espécie" como um trecho arbitrário de um rio continuamente em movimento, sem uma razão particular para traçar linhas delimitando seu início e seu fim.

No livro de um pontuacionista sobre a história de um grupo de animais - digamos, a história dos cavalos nos últimos 30 milhões de anos -, os personagens do drama podem ser todos espécies em vez de organismos individuais, pois o autor pontuacionista concebe as espécies como "coisas" reais, com sua própria identidade distinta. Espécies surgem em cena subitamente e desaparecem subitamente, substituídas por espécies sucessoras. Será uma história de sucessões, à medida que uma espécie dá lugar a outra. Mas se um antipontuacionista escrever a mesma história, usará os nomes das espécies apenas como uma vaga conveniência. Quando ele olha longitudinalmente no tempo, deixa deveras espécies como entidades distintas. Os atores reais do drama serão organismos individuais em populações que mudam. Em seu livro, serão animais individuais que darão lugar a animais individuais descendentes, e não espécies que darão lugar a espécies. Não surpreende, portanto, que os pontuacionistas tendem a acreditar em um tipo de seleção natural no âmbito das espécies, o que eles consideram análogo à seleção darwiniana na esfera individual usual. Os não-pontuacionistas, por sua vez, tendem a julgar que a seleção natural não atua em um âmbito maior que o do organismo individual. A idéia da "seleção de espécies" tem menos atrativo para eles, pois não concebem as espécies como entidades com existência distinta no decorrer do tempo geológico.

Este é um momento conveniente para tratarmos da hipótese da seleção de espécies, que sobrou, por assim dizer, do capítulo anterior. Não dedicarei a ela muito tempo, pois em *The Extended Phenotype* já explicitarei minhas dúvidas sobre sua pretensa importância na evolução. É verdade que a grande maioria das espécies que já viveram extinguiu-se. Também é verdade que novas espécies surgem a uma taxa que no mínimo compensa a taxa de extinção, de modo que existe um tipo de "pool de

espécies" cuja composição está sempre mudando. E é verdade que o recrutamento não aleatório para o pool de espécies e a eliminação não aleatória de espécies desse pool poderiam, teoricamente, constituir um tipo de seleção natural de nível superior. É possível que certas características das espécies influam em sua probabilidade de extinguir-se ou de gerar novas espécies. Antes de mais nada, as espécies que vemos no mundo tenderão a ter o que quer que seja necessário para virem ao mundo - para serem "especiadas"- e o que quer que seja necessário para não se extinguirem. Poderíamos chamar isso de uma forma de seleção natural, se quiséssemos, mas desconfio que essa característica está mais para a seleção de um só passo do que para a seleção cumulativa. Sou cético quanto à suposição de que esse tipo de seleção tem alguma grande importância na explicação da evolução. Isso pode simplesmente refletir minha concepção tendenciosa do que é importante. Como afirmei no início deste capítulo, o que eu desejo principalmente em uma teoria da evolução é que ela explique os mecanismos complexos e bem estruturados como o coração, as mãos, os olhos e a ecolocalização. Ninguém, nem mesmo o mais ardoroso defensor da seleção de espécies, acha que esse tipo de seleção fornece essa explicação. Algumas pessoas julgam que a seleção de espécies pode explicar certas tendências de longo prazo no registro fóssil, como a tendência muito comumente observada ao maior tamanho do corpo com o passar das eras. Os cavalos modernos, como vimos, são maiores do que seus ancestrais de 30 milhões de anos atrás. Os defensores da seleção de espécies opõem-se à idéia de que isso ocorreu graças a uma consistente vantagem individual: para eles, a tendência encontrada nos fósseis não indica que, no âmbito da espécie, os cavalos de grande porte individualmente foram mais bem-sucedidos do que os de pequeno porte individualmente, de um modo consistente. Vejamos a seguir o que eles julgam que ocorreu. Havia numerosas espécies, um pool de espécies; em algumas delas, o tamanho médio do corpo era grande, e em outras, pequeno (talvez porque em algumas espécies se saíram melhor os indivíduos grandes, e em outras os indivíduos pequenos). As espécies de grande porte tinham menor probabilidade de se extinguir (ou maior probabilidade de gerar novas espécies semelhantes a si próprias) do que as espécies de pequeno porte. Independentemente do que ocorresse no âmbito da espécie, segundo os defensores da seleção de espécies, a tendência fóssil ao maior porte deveu-se a uma sucessão de espécies de porte progressivamente maior. É até possível que na maioria das espécies os indivíduos menores fossem favorecidos, e ainda assim a tendência fóssil poderia ser ao porte

maior. Em outras palavras, a seleção de espécies poderia favorecer aquela minoria de espécies nas quais os indivíduos maiores fossem favorecidos. Esse argumento foi defendido, reconhecidamente no papel de advogado do diabo, pelo teórico neodarwinista George C. Williams, muito antes que a idéia moderna da seleção de espécies surgisse em cena.

Poderíamos dizer que temos aqui, e talvez em todos os pretensos exemplos de seleção de espécies, não tanto uma tendência de evolução, e sim uma tendência de Sucessão, como a tendência a haver plantas cada vez maiores à medida que um trecho de solo a ser colonizado sucessivamente por pequenas ervas, ervas maiores, arbustos e por fim pelas árvores de floresta maduras, o "clímax" dessa sucessão. Seja como for, não importa se chamarmos o processo de tendência de sucessão ou de evolução, os defensores da seleção de espécies podem muito bem estar certos em acreditar que é esse tipo de tendência que eles, como paleontólogos, estão encontrando freqüentemente em sucessivos estratos do registro fóssil. Mas, como já mencionei, ninguém quer afirmar que a seleção de espécies é uma explicação importante para a evolução de adaptações complexas. Eis por quê.

As adaptações complexas, na maioria dos casos, são propriedades não de espécies, mas de indivíduos. Espécies não têm olhos e corações; os indivíduos é que têm. Se uma espécie se extingue em razão de visão deficiente, isto presumivelmente significa que cada indivíduo dessa espécie morreu porque tinha visão deficiente. A qualidade da visão é uma propriedade de animais individuais. Que tipos de características podemos dizer que as espécies têm? A resposta deve ser: características que afetam a sobrevivência e a reprodução da espécie, de modos que não podem ser reduzidos à soma de seus efeitos sobre a sobrevivência e a reprodução dos indivíduos.

No exemplo hipotético dos cavalos, supus que aquela minoria de espécies nas quais os indivíduos maiores fossem favorecidos tinha menor probabilidade de extinguir-se do que a maioria das espécies nas quais os indivíduos menores fossem favorecidos. Mas isso não é nada convincente. É difícil conceber razões por que a probabilidade de sobreviver de uma espécie deveria ser dissociada da soma das probabilidades de sobreviver dos membros individuais dessa espécie.

Como exemplo melhor de uma característica atribuível a uma espécie, temos o caso hipotético a seguir. Suponhamos que em algumas espécies todos os indivíduos se sustentam da mesma maneira. Todos os coalas, por exemplo, vivem em eucaliptos e só comem folhas dessa árvore.

Espécies como essa podem ser chamadas de uniformes. Outras espécies poderiam conter uma diversidade de indivíduos que se sustentam de maneiras diferentes. Cada indivíduo poderia ser tão especializado quanto um coala individual, mas a espécie como um todo contém uma variedade de hábitos alimentares. Alguns membros da espécie não comem nada além de folhas de eucalipto, outros nada além de trigo, outros só inhame, outros apenas casca de lima e assim por diante. Chamemos este segundo tipo de espécies variegadas. Ora, creio que é fácil imaginar circunstâncias em que espécies uniformes teriam maior probabilidade de se extinguir do que espécies variegadas. Os coalas dependem totalmente da disponibilidade de eucaliptos, e uma praga dos eucaliptos análoga ao fungo do olmo acabaria com eles. Nas espécies variegadas, por outro lado, alguns membros da espécie sobreviveriam a qualquer praga específica em plantas alimentícias, e a espécie poderia prosseguir. Também é fácil acreditar que as espécies variegadas têm maior probabilidade do que as espécies uniformes de engendrar novas espécies-filhas. Aqui, talvez, haveria exemplos de verdadeira seleção de espécies. Diferentemente de visão curta ou de pernas longas, a "uniformidade" e a "variegação" são verdadeiras características pertinentes à esfera das espécies. O problema é que exemplos assim são raríssimos.

Existe uma teoria interessante, do evolucionista americano Egbert Leigh, que pode ser interpretada como possível candidata a exemplo de verdadeira seleção no âmbito de espécies, embora tenha sido proposta antes que a expressão "seleção de espécies" entrasse em voga. Leigh estava interessado no eterno problema da evolução do comportamento "altruísta" em indivíduos. Ele reconheceu, corretamente, que, se os interesses do indivíduo conflitam com os da espécie, os interesses do indivíduo - interesses de curto prazo - têm de prevalecer. Nada, aparentemente, pode impedir a marcha dos genes egoístas. Mas Leigh fez a seguinte sugestão interessante: deve haver alguns grupos de espécies nos quais, por acaso, o que é melhor para o indivíduo coincide em grande medida com o que é melhor para a espécie; e deve haver outras espécies nas quais os interesses do indivíduo por acaso se distanciam acentuadamente dos interesses da espécie. Sendo tudo o mais igual, o segundo tipo de espécie bem poderia ter maior probabilidade de extinguir-se. Assim, uma forma de seleção de espécies poderia favorecer não a abnegação individual, mas as espécies nas quais os indivíduos não precisariam sacrificar seu próprio bem-estar. Poderíamos então ver o comportamento individual aparentemente altruísta evoluindo, pois a

seleção de espécies favoreceu aquelas nas quais o auto-interesse do indivíduo é mais bem servido por seu próprio aparente altruísmo.

Talvez o mais notável exemplo de característica verdadeiramente atribuível à espécie seja o modo de reprodução, sexuada ou assexuada. Por razões cuja explicação não caberia neste livro, a reprodução sexuada constitui um grande enigma teórico para os darwinistas. Muitos anos atrás, R. A. Fisher, em geral hostil a qualquer idéia de seleção em níveis acima do organismo individual, dispôs-se a abrir uma exceção para o caso especial da própria sexualidade. As espécies de reprodução sexuada, ele argumentou, por motivos que, mais uma vez, não discutirei aqui (eles não são tão óbvios quanto se poderia imaginar), são capazes de evoluir mais depressa do que as de reprodução assexuada. Evoluir é algo que as espécies fazem, e não que os organismos individuais fazem; não se pode dizer que um organismo está evoluindo. Assim, Fisher estava dizendo que a seleção no âmbito das espécies é parcialmente responsável pelo fato de a reprodução sexuada ser tão comum entre os animais modernos. Mas, sendo assim, estamos diante de um caso de seleção de um só passo, e não de seleção cumulativa.

Segundo esse argumento, as espécies assexuadas, quando ocorrem, tendem a se extinguir porque não evoluem com rapidez suficiente para acompanhar as mudanças do meio. As espécies sexuadas tendem a não se extinguir porque podem evoluir com rapidez suficiente para acompanhar as mudanças. Portanto, o que vemos à nossa volta são sobretudo espécies sexuadas. Mas a "evolução" cuja taxa varia entre os dois sistemas é, evidentemente, a evolução darwiniana comum, por seleção cumulativa no âmbito individual. A seleção de espécies, assim como é posta, é uma simples seleção de um só passo, escolhendo entre apenas duas características, reprodução sexuada ou assexuada, evolução lenta ou evolução rápida. O maquinário da sexualidade, órgãos sexuais, comportamento sexual, o mecanismo celular da divisão das células sexuais, tudo isso tem de ter sido reunido pela seleção cumulativa darwiniana clássica, de nível inferior, e não pela seleção de espécies. De qualquer modo, ocorre que o consenso moderno é contra a velha teoria de que a sexualidade é mantida por algum tipo de seleção no âmbito de grupos ou espécies.

Para concluir a discussão sobre a seleção de espécies, ela poderia explicar o padrão das espécies existentes no mundo em qualquer período específico. Disso decorre que ela também poderia explicar o fato de os padrões das espécies mudarem com o passar das eras geológicas, ou

seja, poderia explicar a mudança nos padrões do registro fóssil. Mas ela não é uma força significativa na evolução do complexo maquinário da vida, O máximo que pode fazer é escolher entre vários maquinários complexos alternativos, dado que esses maquinários complexos já foram montados pela verdadeira seleção darwiniana. Como já expliquei, a seleção de espécies pode ocorrer, mas ela não parece fazer grande coisa! Retomo agora o tema da taxonomia e seus métodos.

Afirmar que a taxonomia cladística tem, em relação aos tipos de taxonomia dos bibliotecários, a vantagem de existir na natureza um padrão hierárquico único, verdadeiro, esperando para ser descoberto. Tudo o que temos de fazer é desenvolver métodos para descobri-lo. Infelizmente, existem dificuldades práticas. O mais interessante bicho-papão do taxonomista é a convergência evolutiva. Esse é um fenômeno importante ao qual já dediquei meio capítulo. No capítulo 4, vimos que, vezes sem conta, descobrem-se semelhanças entre animais não aparentados em diferentes partes do mundo, porque têm modos de vida semelhantes. No Novo Mundo, as formigas-correição são parecidas com sua contrapartida no Velho Mundo. Semelhanças espantosas evoluíram entre peixes-elétricos sem parentesco da África e América do Sul, e entre os lobos verdadeiros e o tilacino, o "lobo" marsupial da Tasmânia. Em todos esses casos, afirmo simplesmente, sem justificar, que tais semelhanças eram convergentes: que haviam evoluído independentemente em animais não aparentados. Mas como sabemos que eles não são aparentados? Se os taxonomistas usam as semelhanças para medir a proximidade de parentesco, por que não se deixaram enganar pelas assombrosas semelhanças que parecem unir esses pares de animais? Ou, vendo a questão do ângulo oposto é mais preocupante: quando os taxonomistas nos dizem que dois animais têm realmente um parentesco próximo - digamos, coelhos e lebres -, quem garante que os taxonomistas não se deixaram enganar por uma grande convergência?

Essa é, de fato, uma questão preocupante, pois a história da taxonomia está repleta de casos de taxonomistas posteriores declarando que seus predecessores se enganaram precisamente por essa razão. No capítulo 4, vimos que um taxonomista argentino apontara os litopternos como ancestrais dos verdadeiros cavalos, mas hoje eles são considerados convergentes. Durante muito tempo se acreditou que o porco-espinho africano era parente próximo dos porcos-espinhos americanos, mas hoje se julga que os revestimentos espinhosos dos dois grupos evoluíram independentemente. Presume-se que os espinhos fossem úteis pelas mesmas

razões nos dois continentes. Quem pode garantir que futuras gerações de taxonomistas não tornarão a mudar de idéia? Que confiança podemos ter na taxonomia se a evolução convergente é uma forjadora de semelhanças enganosas tão poderosa? A principal razão de eu, pessoalmente, estar otimista, é a entrada em cena de novas técnicas eficazes baseadas na biologia molecular.

Relembrando capítulos anteriores: todos os animais, plantas e bactérias, por mais diferentes entre si que possam parecer, são espantosamente uniformes quando descemos ao nível molecular elementar. Isto fica muito evidente no próprio código genético. O dicionário genético tem 64 palavras de DNA de três letras. Cada uma dessas palavras tem uma tradução precisa para a língua das proteínas (um aminoácido específico ou um sinal de pontuação). Essa língua parece ser arbitrária, no mesmo sentido em que as línguas humanas são arbitrárias (no som da palavra "casa", por exemplo, não há nada intrínseco que sugira ao leitor algum atributo de uma habitação). Isto posto, é imensamente significativo que cada ser vivo, não importa quanto seja diferente de outros na aparência externa, "fale" quase a mesma língua no nível dos genes. O código genético é universal. Considero isso uma prova quase conclusiva de que todos os organismos descendem de um único ancestral comum. A probabilidade de um mesmo dicionário de "significados" arbitrários surgir duas vezes é quase inconceivelmente pequena. Como vimos no capítulo 6, pode ter havido, algum dia, outros organismos que usaram uma linguagem diferente, mas eles não estão mais entre nós. Todos os organismos sobreviventes descendem de um único ancestral, do qual herdaram um dicionário genético quase idêntico, embora arbitrário, idêntico em quase todas as suas 64 palavras de DNA.

Pense no impacto desse fato sobre a taxonomia. Antes da era da biologia molecular, os zoólogos só podiam estar seguros do parentesco próximo de animais que tivessem em comum várias características anatômicas. A biologia molecular de repente abriu uma nova arca do tesouro contendo semelhanças a serem adicionadas à parca lista oferecida pela anatomia e embriologia. As 64 identidades (semelhanças é um termo muito fraco) do dicionário genético comum são apenas o começo. A taxonomia transformou-se. As outrora vagas conjeturas sobre parentesco agora são quase certezas estatísticas.

A quase completa universalidade "palavra por palavra" do dicionário genético é, para o taxonomista, um excesso de uma coisa boa. Depois de nos dizer que todos os seres vivos são aparentados, ela não

pode nos dizer que pares são parentes mais próximos do que outros. Mas outras informações moleculares podem, pois nos mostram graus variados de semelhança em vez de total identidade. Lembremos que o produto do maquinário de tradução genética são moléculas de proteína. Cada molécula de proteína é uma sentença, uma cadeia de palavras de aminoácido do dicionário. Podemos ler essas sentenças, seja em sua forma traduzida para proteínas, seja em sua forma original de DNA. Embora todos os seres vivos compartilhem o mesmo dicionário, não produzem, todos, as mesmas sentenças com seu dicionário comum. Isto nos dá a oportunidade de descobrir vários graus de parentesco. As sentenças de proteína, embora difiram nos detalhes, são com freqüência semelhantes no padrão geral. Para qualquer par de organismos, sempre podemos encontrar sentenças que são semelhantes o bastante para obviamente constituírem versões um pouquinho "truncadas" da mesma sentença ancestral. Já vimos isso no exemplo das pequeninas diferenças entre as seqüências de histona de vacas e ervilhas.

Hoje os taxonomistas podem comparar sentenças moleculares exatamente como poderiam comparar crânios ou ossos da perna. Podem supor que sentenças de proteína ou DNA muito semelhantes provêm de parentes próximos, e sentenças mais diferentes, de parentes mais distantes. Essas sentenças são todas construídas a partir do dicionário universal de apenas 64 palavras. A beleza da biologia molecular moderna está em podermos medir exatamente a diferença entre dois animais com o número exato de palavras diferentes em suas respectivas versões de uma sentença específica. No caso do hiperespaço genético do capítulo 3, podemos medir exatamente quantos passos separam um afim de outro, ao menos no que concerne a uma molécula de proteína específica.

Uma vantagem adicional de usar sentenças moleculares em taxonomia é que segundo uma influente escola de geneticistas, "neutralistas" (tornaremos a encontrá-los no próximo capítulo), a maior parte da mudança evolutiva que ocorre no nível molecular é neutra. Isto significa que ela não se deve à seleção natural, sendo efetivamente aleatória; portanto exceto por uma ocasional má sorte, o bicho-papão da convergência não está presente para desnortear o taxonomista. Um fato relacionado é que, como já vimos, qualquer tipo de molécula parece evoluir a uma taxa aproximadamente constante em grupos de animais muito diferentes. Isto significa que o número de diferenças entre moléculas comparáveis em dois animais - digamos, o citocromo humano e o citocromo do javali africano - é uma boa medida do tempo decorrido desde que seu ancestral comum viveu. Temos um "relógio molecular" bem preciso. O

relógio molecular nos permite estimar não só que pares de animais têm os ancestrais comuns mais recentes, mas também aproximadamente quando viveram esses ancestrais comuns.

A esta altura, o leitor pode estar confuso com uma aparente inconsistência. Todo este livro salienta a importância suprema da seleção natural. Então, como podemos agora salientar a aleatoriedade da mudança evolutiva no nível molecular? Antecipando o capítulo 11, na realidade não existe incompatibilidade com respeito à evolução de adaptações, que são o tema principal deste livro. Nem mesmo o mais ardoroso neutralista acha que órgãos complexos funcionais como olhos e mãos evoluíram por deriva aleatória. Todo biólogo Sensato concorda que eles só podem ter evoluído pela seleção natural. Ocorre apenas que os neutralistas pensam corretamente, a meu ver - que essas adaptações são a ponta do iceberg - provavelmente a maior parte da mudança evolutiva, considerada no nível molecular, é não funcional. Contanto que o relógio molecular seja um fato - e realmente parece ser verdade que cada tipo de molécula muda aproximadamente à sua própria taxa característica por milhão de anos -, podemos usá-lo para datar pontos de ramificação da árvore evolutiva. E se realmente for verdade que a maior parte da mudança evolutiva, no nível molecular, é neutra, esse é um presente maravilhoso para o taxonomista. Significa que o problema da convergência pode ser rechaçado pela arma da estatística. Cada animal tem grandes volumes de texto genético escrito em suas células, texto esse cuja maior parte, segundo a teoria neutralista não tem nenhum papel na adequação do animal ao seu modo de vida característico; texto que, em grande medida, é intocado pela seleção natural e em grande medida não está sujeito à evolução convergente, exceto por puro acaso. A chance de dois grandes trechos de texto seletivamente neutro poderem assemelhar-se um ao outro por mera sorte pode ser calculada, e é baixíssima. Melhor ainda: a taxa constante de evolução molecular de fato nos permite datar pontos de ramificação na história evolutiva.

É difícil exagerar quando se fala no poder adicional que as novas técnicas de leitura de seqüências moleculares deram ao arsenal do taxonomista. Nem todas as sentenças moleculares de todos os animais já foram decifradas, obviamente, mas já é possível entrarmos na biblioteca e procurar a fraseologia exata, palavra por palavra, letra por letra, digamos, das sentenças de α^6 -hemoglobina de um cão, um canguru, um

⁶ α^* = símbolo grego alfa

équidna, uma galinha, uma víbora, um tritão, uma carpa e um homem. Nem todos os animais têm hemoglobina, mas há outras proteínas, por exemplo, as histonas, das quais existe uma versão em cada animal e planta, e muitas delas também podem ser procuradas na biblioteca. Não são mensurações vagas do tipo que pode variar com a idade ou estado de saúde do espécime, como o comprimento da perna ou largura do crânio, ou mesmo conforme a visão de quem está medindo. São versões alternativas, registradas com precisão, da mesma sentença na mesma língua, que podem ser postas lado a lado e comparadas umas às outras com tanta minúcia e exatidão quanto um metucioso estudioso do grego poderia comparar dois pergaminhos do mesmo evangelho. As seqüências de DNA são os evangelhos que documentam a vida, e aprendemos a decifrá-las.

A suposição básica dos taxonomistas é que parentes próximos terão versões mais semelhantes de uma determinada sentença molecular do que parentes mais distantes. Esse é o chamado "princípio da parcimônia". Parcimônia é um outro nome para avareza econômica. Dado um conjunto de animais cujas sentenças são conhecidas, digamos, os oito animais mencionados no parágrafo anterior, nossa tarefa é descobrir qual dos diagramas em árvore possíveis ligando os oito animais é o mais parcimonioso. A árvore mais parcimoniosa - a "economicamente mais avara" em suas suposições, ou seja, é a que supõe o menor número de mudanças de palavras na evolução e a menor convergência. Temos o direito de supor a menor convergência com base na pura improbabilidade. Não é provável, especialmente se grande parte da evolução molecular é neutra, que a mesma seqüência, palavra por palavra, letra por letra, viesse a aparecer em dois animais não aparentados.

Há dificuldades computacionais na tentativa de examinar todas as árvores possíveis. Quando temos apenas três animais a ser classificados, o número de árvores possíveis é apenas três: A unido a B exclui C; A com C exclui B; B com C exclui A. Podemos fazer o mesmo cálculo para números maiores de animais a ser classificados, e o número de árvores possíveis aumenta drasticamente. Quando temos apenas quatro animais a considerar, o número total de árvores possíveis de parentesco ainda é razoável: apenas quinze, O computador não demora muito para verificar qual das quinze é a mais parcimoniosa. Mas se tivermos vinte animais a considerar, calculo que o número de árvores possíveis é 8 200 794 532 637 891 559 375 (ver figura 9). Já se calculou que o mais rápido dos computadores atuais

levaria 10 mil milhões de anos, aproximadamente a idade do universo, para descobrir a árvore mais parcimoniosa para meros vinte animais. E os taxonomistas geralmente querem construir árvores demais de vinte animais.

Embora os taxonomistas moleculares tenham sido os primeiros a dar grande importância a isso, o problema dos números explosivamente grandes na realidade vem espreitando o tempo todo na taxonomia não molecular. Os taxonomistas não moleculares simplesmente o evitaram fazendo suposições intuitivas. De todas as árvores genealógicas possíveis que poderiam ser tentadas, números imensos delas podem ser descartados de imediato - por exemplo, todos aqueles milhões de árvores genealógicas concebíveis que colocam os humanos mais próximos de minhocas do que de chimpanzés. Os taxonomistas nem se dão o trabalho de levar em consideração essas árvores de parentesco obviamente absurdas; concentram-se nas relativamente poucas árvores que não violam tão drasticamente suas concepções. Isso provavelmente é razoável, embora sempre exista o perigo de que a árvore mais parcimoniosa de fato seja uma das que foram descartadas sem consideração. Os computadores também podem ser programados para escolher atalhos, e o problema dos números descomunais pode ser misericordiosamente reduzido.

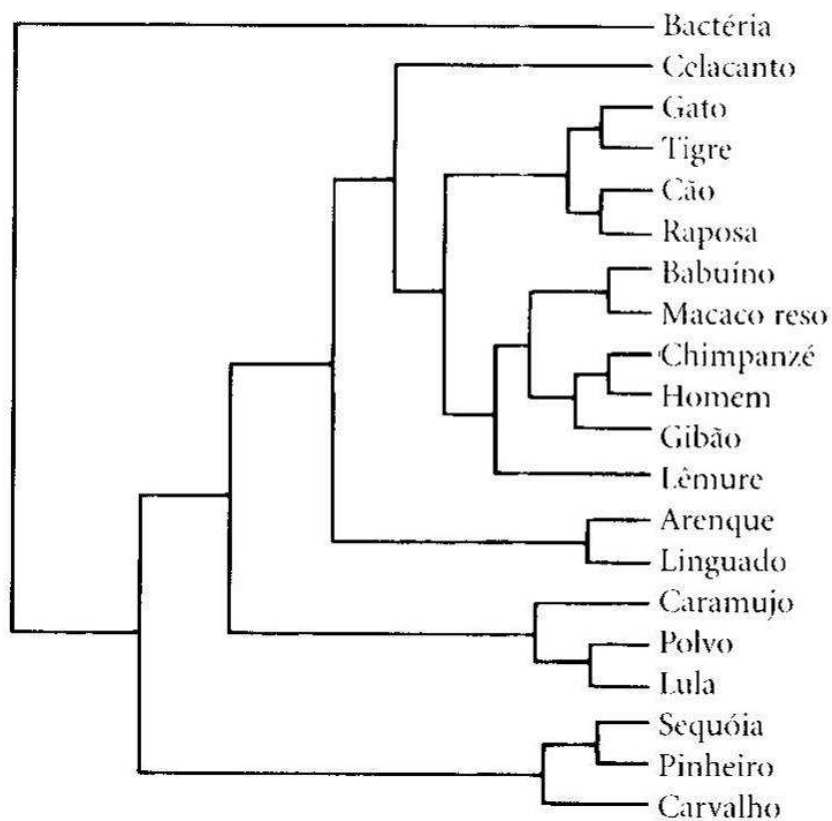


Figura 9

As informações moleculares são tão ricas que podemos fazer nossa taxonomia separadamente, vezes sem conta, para diferentes proteínas. Podemos então usar nossas conclusões, extraídas do estudo de uma molécula, como um controle para nossas conclusões baseadas no estudo de outra molécula. Se estamos preocupados com a possibilidade de a história contada por uma molécula de proteína ser confundida pela convergência, podemos imediatamente fazer uma verificação, examinando outra molécula de proteína. A evolução convergente é, de fato, um tipo de coincidência especial. E uma característica das coincidências é que, mesmo se acontecerem uma vez, têm probabilidade muito menor de acontecer duas. E menos ainda de acontecer três. Examinando cada vez mais moléculas de proteínas separadas, podemos praticamente eliminar a coincidência.

Por exemplo, em um estudo de um grupo de biólogos da Nova Zelândia, foram classificados onze animais, não uma, mas cinco vezes independentemente, usando cinco tipos diferentes de moléculas de proteína. Esses onze animais foram: carneiro, macaco resus, cavalo, canguru, rato, coelho, cão, porco, homem, vaca e chimpanzé. A idéia inicialmente era encontrar uma árvore de relações entre os onze animais usando proteínas, para ver se seria obtida a mesma árvore de relações usando uma proteína diferente. Em seguida, fazer o mesmo para uma terceira, uma quarta e uma quinta proteína. Teoricamente, se a evolução não fosse verdade, por exemplo, seria possível que cada uma das cinco proteínas fornecesse uma árvore de "relações" completamente diferente.

As cinco seqüências de proteína estavam todas disponíveis para procura na biblioteca, para todos os onze animais. Para onze animais existem 654 729 075 possíveis árvores de relações a ser consideradas, e foi preciso recorrer aos métodos de atalho usuais. Para cada uma das cinco moléculas de proteína, o computador imprimiu a árvore de relações mais parcimoniosa. Isto permite cinco melhores suposições quanto à verdadeira árvore de relações entre esses onze animais. O resultado mais inequívoco que poderíamos esperar é o de que todas as cinco árvores estimadas se mostrassem idênticas. A probabilidade de obter esse resultado por pura sorte é ínfima: o número que a representa tem 31 zeros após o ponto decimal. Não nos deveríamos surpreender se não obtivéssemos uma concordância tão perfeita quanto essa: uma certa quantidade de evolução convergente e coincidência é mesmo esperada. Mas deveríamos nos preocupar se não houvesse um grau considerável de concordância entre as diferentes árvores. De fato, as cinco árvores revelaram-se não idênticas, mas muito semelhantes. Todas as cinco moléculas concordam em situar

homem, chimpanzé e macaco reso próximos uns dos outros, mas há algumas discordâncias quanto a que animal é o mais próximo desse trio: a hemoglobina B diz que é o cão, o fibrinopeptídeo B diz que é o rato, o fibrinopeptídeo A diz que é um grupo composto do rato e do coelho, a hemoglobina A diz que é um grupo composto de rato, coelho e cão.

Temos decididamente um ancestral comum com o cão, e decididamente outro ancestral comum com o rato. Esses dois ancestrais de fato existiram, em um momento específico da história. Um deles tem de ser mais recente do que o outro, portanto ou a hemoglobina B ou o fibrinopeptídeo B tem de estar errado em sua estimativa das relações evolutivas. Não devemos nos preocupar com essas discrepâncias secundárias, como eu já disse. Esperamos um certo grau de convergência e coincidência. Se realmente somos mais próximos do cão, isto significa que nós e o rato convergimos um para o outro no que concerne ao fibrinopeptídeo B. Se somos realmente mais próximos do rato, isto significa que nós e o cão convergimos um para o outro no que concerne à nossa hemoglobina B. Podemos ter uma idéia de qual dessas duas possibilidades é a mais provável examinando outras moléculas. Mas não me alongarei nesse tema; o que eu queria mostrar foi mostrado.

Afirmar que a taxonomia já foi um dos mais rancorosos e mal-humorados ramos da biologia. Stephen Gould a caracterizou bem com a expressão "nomes e nocividade". Os taxonomistas parecem mostrar um apego desarrazoado às suas escolas de pensamento, de um modo que esperaríamos da ciência política ou da economia, mas não, normalmente, na ciência acadêmica. Está claro que os membros de uma determinada escola de taxonomia consideram-se um grupo de irmãos sitiados, como os primeiros cristãos. Percebi isso pela primeira vez quando um taxonomista conhecido meu veio me contar, lívido de desgosto, a "notícia" de que Fulano de Tal (o nome não vem ao caso) "passara-se para o lado dos cladistas".

A breve descrição de escolas taxonômicas a seguir provavelmente aborrecerá alguns membros dessas escolas, porém não mais do que eles próprios costumam enfurecer uns aos outros; portanto, nenhum mal indevido será feito. Quanto à sua filosofia fundamental, os taxonomistas situam-se em dois campos principais. De um lado estão os que não fazem mistério do fato de que seu objetivo declarado é descobrir relações evolutivas. Para eles (e para mim), uma boa árvore taxonômica é uma árvore genealógica de relações evolutivas. Quando se faz taxonomia, usam-se todos os métodos disponíveis para fazer a melhor suposição possível sobre a proximidade de parentesco entre certos animais. É difícil encontrar um nome para esses

taxonomistas, pois o nome óbvio, "taxonomistas evolucionistas", foi usurpado por uma subescola particular. Às vezes, eles são chamados de "fileticistas". Até aqui, escrevi este capítulo do ponto de vista de um fileticista.

Mas existem muitos taxonomistas que procedem de maneira diferente, e por razões muito sensatas. Embora tendam a concordar que o fim supremo da taxonomia é fazer descobertas sobre as relações evolutivas, eles insistem em manter a prática da taxonomia separada da teoria - presumivelmente, teoria evolucionista - sobre o que conduziu ao padrão de semelhanças. Esses taxonomistas estudam os padrões de semelhanças por si mesmos. Não prejudgam a questão de se o padrão de semelhanças é causado pela história evolutiva e se uma semelhança próxima se deve a parentesco próximo. Eles preferem construir sua taxonomia usando somente o padrão de semelhanças.

Uma vantagem de proceder assim é que, se houver dúvidas quanto à verdade da evolução, pode-se usar o padrão de semelhanças para verificar sua veracidade. Se a evolução for verdade, as semelhanças entre animais devem seguir certos padrões previsíveis, notavelmente o padrão de aninhamento hierárquico. Se a evolução não for verdade, sabe-se lá que padrões deveríamos esperar, mas não há nenhuma razão óbvia para esperarmos um padrão hierárquico aninhado. Se durante todo o processo de fazer a taxonomia supusermos a evolução, insiste essa escola, não podemos usar os resultados de nosso trabalho taxonômico para corroborar a verdade da evolução: o argumento seria circular. Este argumento teria força caso alguém estivesse seriamente em dúvida quanto à verdade da evolução. Mais uma vez, é difícil encontrar um nome apropriado para esta segunda escola de pensamento entre os taxonomistas. Eu os chamarei de "medidores de semelhança pura".

Os fileticistas, taxonomistas que declaradamente tentam descobrir relações evolutivas, dividem-se adicionalmente em duas escolas de pensamento: os cladistas, que seguem os princípios expostos no famoso livro *Prylogenetic Systematics*, de Willi Hennig, e os taxonomistas evolucionistas "tradicionais". Os cladistas são obcecados por ramos. Para eles, o objetivo da taxonomia é descobrir a ordem em que as linhagens se separam umas das outras no tempo evolutivo. Não importa se essas linhagens mudaram muito ou pouco desde o ponto de ramificação. Os taxonomistas evolucionistas "tradicionais" (este termo não tem aqui nenhuma conotação pejorativa) diferem dos cladistas principalmente porque não levam em consideração apenas o tipo de evolução ramificada. Eles

também levam em conta a quantidade total de mudança ocorrida durante a evolução, e não apenas as ramificações.

Os cladistas raciocinam com base em árvores ramificadas desde que começam seu trabalho. Idealmente, começam anotando todas as possíveis árvores ramificadas para os animais que estão estudando (apenas árvores com ramificações bifurcadas, pois para qualquer um a paciência tem limites!). Como vimos ao discutir a taxonomia molecular, isso fica difícil quando se tenta classificar numerosos animais, pois o número de árvores possíveis torna-se astronômico. Mas, como também já vimos, felizmente existem atalhos e aproximações úteis, o que significa que este tipo de taxonomia pode ser feito na prática.

Se, para facilitar a exposição, estivéssemos tentando classificar apenas três animais, lula, arenque e homem, as únicas três árvores ramificadas possíveis seriam as seguintes:

1. Lula e arenque têm parentesco próximo, homem é o "grupo excluído"

2. Homem e arenque têm parentesco próximo, lula é o grupo excluído.

3. Lula e humano têm parentesco próximo, arenque é o grupo excluído.

Os cladistas examinariam uma a uma estas três árvores possíveis e escolheriam a melhor. Como reconhecer a melhor árvore? Basicamente, é aquela que une os animais possuidores do maior número de características em comum. Denominamos "grupo excluído" o animal que tem o menor número de características em comum com os outros dois. Da lista de árvores acima, a segunda seria preferida, pois homem e arenque têm mais características em comum do que lula e arenque ou lula e homem. Lula é o grupo excluído porque não tem muitas características em comum com o homem nem com o arenque.

Na realidade, o processo não é tão simples quanto contar as características em comum, pois alguns tipos de características são deliberadamente deixados de lado. Os cladistas querem dar um peso especial a características que evoluíram recentemente. As mais antigas, que todos os mamíferos herdaram do primeiro mamífero, por exemplo, são inúteis para as classificações na classe dos mamíferos. Os métodos usados para decidir quais características são antigas podem ser interessantes,

mas descrevê-los está fora dos objetivos deste livro. O principal a lembrar neste estágio é que, ao menos em princípio, o cladista pensa em todas as possíveis árvores com ramificações bifurcadas que poderiam unir o conjunto de animais que ele está estudando, e tenta escolher a árvore correta. E o verdadeiro cladista não esconde o fato de que ele vê as árvores ramificadas, ou "cladogramas", como árvores genealógicas, árvores de parentesco evolutivo próximo.

Se levada ao extremo, a obsessão exclusivamente pelas ramificações poderia produzir resultados estranhos. Em teoria, é possível uma espécie ser idêntica a seus parentes distantes em todos os detalhes enquanto difere acentuadamente de seus parentes mais próximos. Por exemplo, suponhamos que duas espécies de peixes muito semelhantes, que poderíamos chamar de Jacó e Esaú, tenham vivido há 300 milhões de anos. Ambas as espécies fundaram dinastias de descendentes, que perduram até hoje. Os descendentes de Esaú foram viver em mares profundos, mas não evoluíram. O resultado é que um descendente moderno de Esaú é essencialmente igual a Esaú e, portanto, muito parecido com Jacó. Os descendentes de Jacó evoluíram e proliferaram. Por fim, originaram todos os mamíferos modernos. Mas uma linhagem de descendentes de Jacó também permanece estagnada nas profundezas marinhas, e também deixa descendentes modernos. Estes descendentes modernos são peixes tão semelhantes aos descendentes modernos de Esaú que é difícil distingui-los.

Então como devemos classificar esses animais? O taxonomista evolucionista tradicional reconheceria a grande semelhança entre os descendentes primitivos de Esaú e Jacó habitantes das profundezas, e os classificaria juntos. O cladista rigoroso não faria isso. Os descendentes de Jacó que habitam as profundezas, por mais que se pareçam com os descendentes de Esaú também habitantes das profundezas, ainda assim são parentes próximos dos mamíferos. Seu ancestral comum com os mamíferos viveu mais recentemente, embora apenas um pouquinho mais recentemente, do que seu ancestral comum com os descendentes de Esaú. Portanto, devem ser classificados junto com os mamíferos. Isto pode parecer estranho, mas pessoalmente não me espanta. Pelo menos, é totalmente lógico e claro. Com efeito, existem virtudes tanto no cladismo como na taxonomia evolucionista tradicional, e para mim não importa muito como as pessoas classificam os animais, desde que me expliquem seus critérios com toda a clareza.

Passando agora à outra principal escola de pensamento, os medidores de semelhança pura: também eles podem ser divididos em duas

subescolas. Ambas concordam em excluir a evolução de seu raciocínio rotineiro enquanto fazem taxonomia. Mas discordam quanto ao modo de proceder em sua taxonomia rotineira. Uma subescola entre esses taxonomistas às vezes é chamada "fenotocista", e às vezes "taxonomia numérica". Chamarei os representantes dessa escola de "medidores de distâncias médias". Os membros da outra escola de medidores de semelhança dão a si mesmos o nome de "cladistas transformados". É um péssimo nome, pois cladistas eles não são de jeito nenhum! Quando Julian Huxley cunhou o termo "clade" ou "clado", definiu-o, de modo claro e inequívoco, com base na ramificação evolutiva e na linhagem evolutiva. Clado é o conjunto de todos os organismos descendentes de um ancestral específico. Como os "cladistas transformados" pretendem sobretudo evitar todas as concepções sobre evolução e linhagem, não podem, em sua consciência, intitular-se cladistas. Eles o fazem por uma razão histórica: começaram como verdadeiros cladistas e conservaram alguns dos métodos dos cladistas enquanto abandonavam sua filosofia e fundamentos racionais elementares. Acho que não tenho escolha além de chamá-los de cladistas transformados, embora o faça a contragosto.

Os medidores de distâncias médias não só se recusam a usar a evolução em sua taxonomia (embora todos eles acreditem na evolução), mas também, consistentemente, nem sequer supõem que o padrão de semelhanças tenha de ser uma hierarquia de ramificações simples. Tentam empregar métodos que revelem um padrão hierárquico caso ele de fato exista, mas não se ele não existir. Tentam pedir à Natureza que lhes diga se ela é de fato organizada hierarquicamente. Não é uma tarefa fácil, sendo provavelmente justo afirmar que inexistem métodos disponíveis para atingir esse objetivo. Não obstante, o objetivo me parece totalmente coerente com o louvável propósito de evitar preconceções. Os métodos dessa vertente são, com frequência, muito complexos e matemáticos, e se prestam admiravelmente tanto à classificação de coisas não vivas, por exemplo, rochas ou relíquias arqueológicas, como à classificação de organismos vivos.

Em geral, eles começam medindo tudo o que podem em seus animais. É preciso muita sagacidade para interpretar essas mensurações, mas não me alongarei nessa questão. O resultado final é que as mensurações são todas combinadas para produzir um índice de semelhança (ou seu oposto, um índice de diferença) entre um determinado animal e cada um dos demais. Poderíamos visualizar os animais como nuvens de pontos no espaço. Ratos, camundongos, hamsters etc. seriam todos encontrados em uma parte do

espaço. Bem distante, em outra parte do espaço, haveria outra nuvenzinha, composta de leões, tigres, leopardos, guepardos etc. A distância entre dois pontos quaisquer no espaço é uma medida de quanto esses animais se assemelham uns aos outros quando muitos de seus atributos são combinados. A distância entre leão e tigre é pequena. O mesmo se pode dizer da distância entre rato e camundongo. Mas a distância entre rato e tigre, ou camundongo e leão, é grande. A combinação de atributos em geral é feita com ajuda de computador. Superficialmente, o espaço em que esses animais estão situados se parece um pouco com a Terra dos Biomorfos, mas as "distâncias" refletem semelhanças corporais e não genéticas.

Depois de calcular um índice de semelhança (ou distância) média entre cada animal e cada um dos demais, o computador é programado para esquadrihar o conjunto de distâncias/semelhanças e tentar ajustá-las em um padrão de agrupamento hierárquico. Infelizmente existe muita controvérsia quanto a exatamente qual método de cálculo deve ser usado na procura desses agrupamentos. Não existe um método que seja obviamente o correto, e os métodos não fornecem todos a mesma resposta. Pior: é possível que alguns desses métodos computadorizados sejam "ávidos" demais para "enxergar" agrupamentos dentro de agrupamentos hierarquicamente organizados, mesmo que eles não existam. A escola dos medidores de distância, ou "taxonomistas numéricos", está hoje um pouco fora de moda. Em minha opinião, essa é só uma fase passageira, como sempre acontece com as modas, e esse tipo de "taxonomia numérica" não é nada fácil de descartar. Imagino que ela vai voltar à cena.

A outra escola de medidores de padrões puros compõe-se dos que se intitulam cladistas transformados, por motivos históricos já mencionados. É desse grupo que emana grande parte da "nocividade". Não seguirei a prática usual de descrever suas origens históricas nas fileiras dos verdadeiros cladistas. Em sua filosofia básica, os chamados cladistas transformados têm mais em comum com a outra escola de medidores de padrões puros, com freqüência chamados "fenotocistas" ou "taxonomistas numéricos" que acabei de mencionar sob a designação de medidores de distâncias médias. O que eles têm em comum é a aversão a trazer a evolução para a prática da taxonomia, embora isto não necessariamente signifique alguma hostilidade à idéia da evolução propriamente dita.

O que os cladistas transformados têm em comum com os verdadeiros cladistas é um grande número de métodos usados na prática. Ambos pensam, desde o início, em árvores bifurcadas. E ambos ressaltam certos tipos de características como importantes e outras como inúteis

para a taxonomia. Diferem quanto às justificativas que fornecem para essa discriminação. Como os medidores de distâncias médias, os cladistas transformados não têm por objetivo descobrir árvores genealógicas. Estão à procura de árvores de semelhança pura. Concordam com os medidores de distâncias médias na decisão de deixar em aberto a questão de o padrão de semelhanças refletir ou não a história evolutiva. Mas, ao contrário dos medidores de distâncias médias, que, ao menos em teoria, estão dispostos a deixar que a Natureza lhes diga se ela é de fato hierarquicamente organizada, os cladistas transformados supõem que ela é. Para eles, é um axioma, um artigo de fé a classificação das coisas em hierarquias ramificadas (ou, o equivalente, em "ninhos aninhados"). Como a árvore ramificada não possui nenhuma relação com a evolução, não tem necessariamente de ser aplicada a seres vivos. Os métodos dos cladistas transformados podem, segundo seus defensores, ser usados para classificar não só animais e plantas, mas pedras, planetas, livros de bibliotecas e potes da Idade do Bronze. Em outras palavras, eles não concordam com a argumentação na qual usei a comparação com a biblioteca, de que a evolução é a única base sensata para uma classificação hierárquica única.

Os medidores de distâncias médias, como vimos, medem quanto cada animal está distante de cada um dos demais, com "distante" significando "não se assemelha" e "próximo" significando "assemelha-se". Só então, depois de calcularem uma espécie de índice de semelhanças médias adicionadas, eles passam a tentar interpretar seus resultados do ponto de vista de uma hierarquia ramificada de agrupamentos dentro de agrupamentos, ou diagrama "em árvore". Mas os cladistas transformados, como os verdadeiros cladistas que foram outrora, desde o princípio introduzem a idéia do agrupamento, da ramificação. Como os verdadeiros cladistas, eles começam, ao menos em princípio, anotando todas as possíveis árvores bifurcadas e então escolhendo a melhor.

Mas do que eles realmente estão falando quando refletem sobre cada "árvore" possível, e o que, para eles, é a melhor árvore? A qual estado hipotético do mundo corresponde cada árvore? Para um verdadeiro cladista, um seguidor de H. Hennig, a resposta é muito clara. Cada uma das quinze árvores possíveis unindo quatro animais representa uma possível árvore genealógica. De todas as quinze árvores genealógicas concebíveis unindo quatro animais, uma, e somente uma, tem de ser a correta. A história dos ancestrais dos animais realmente aconteceu no mundo. Existem quinze histórias possíveis, se trabalharmos com a suposição de que todas as ramificações são bifurcadas. Catorze dessas

possíveis histórias têm de estar erradas. Só uma pode estar certa, corresponder ao modo como a história de fato aconteceu. De todas as 135 135 possíveis árvores genealógicas culminando em oito animais, 135 134 têm de estar erradas. Apenas uma representa a verdade histórica. Pode não ser fácil ter certeza sobre qual é a correta, mas um verdadeiro cladista pode ao menos ter a certeza de que não mais de uma é correta.

Mas a que correspondem as quinze (ou as 135 135, ou qualquer outro número) árvores possíveis no mundo não evolutivo dos cladistas transformados? A resposta, como salientou meu colega e ex-aluno Mark Ridley em *Evolution and Classification*, é: a não muita coisa. O cladista transformado recusa-se a permitir que o conceito de linhagem entre em suas considerações. "Ancestral", para ele, é palavrão. Mas, por outro lado, ele insiste em que a classificação tem de ser uma hierarquia ramificada. Ora, se as quinze (ou 135 135) possíveis árvores hierárquicas não são árvores de história ancestral, então são o quê? Não há muito a fazer além de buscar na filosofia antiga alguma confusa noção idealista de que o mundo simplesmente é organizado de um modo hierárquico, alguma noção de que tudo no mundo tem seu "oposto", seu místico yin ou yang. Nunca se avança mais do que isso na esfera do concreto. Certamente não é possível, no mundo não evolutivo do cladista transformado, fazer afirmações categóricas e claras do tipo "apenas uma das 945 árvores possíveis unindo seis animais pode ser a certa; todas as demais têm de ser erradas".

Por que o termo "ancestral" é palavrão para os cladistas? Não é porque (espero) eles pensem que nunca existiram ancestrais. Ocorre que eles decidiram que os ancestrais não têm nenhum papel na taxonomia. Essa é uma posição defensável quando se trata da prática rotineira da taxonomia. Nenhum cladista realmente desenha ancestrais de carne e OSSO em árvores genealógicas, embora os taxonomistas evolucionistas tradicionais às vezes o façam. Os cladistas, de qualquer vertente, consideram todas as relações entre animais reais observados como parentescos, como uma questão de forma. Isso é perfeitamente sensato. O que não é sensato é estender isso a um tabu contra o próprio conceito de ancestrais, contra o uso da linguagem da genealogia para fornecer a justificativa fundamental para a adoção da árvore hierarquicamente ramificada como a base de nossa taxonomia.

Deixei por último o mais curioso aspecto da escola de taxonomia do cladismo transformado. Não contentes com uma convicção perfeitamente sensata de que existem argumentos para deixar as suposições sobre

evolução e linhagem de fora da prática da taxonomia, uma convicção que eles compartilham com os "medidores de distâncias" fenotípicos, alguns cladistas transformados chegaram ao extremo de concluir que deve haver algo errado com a própria evolução! É quase um fato bizarro demais para merecer crédito, mas alguns dos principais "cladistas transformados" professam uma autêntica hostilidade à própria idéia de evolução, especialmente à teoria da evolução darwiniana. Dois deles, G. Nelson e N. Platnick, do Museu Americano de História Natural de Nova York, chegaram ao ponto de escrever que o "darwinismo [...] em suma, é uma teoria que foi testada e se revelou falsa". Eu adoraria saber que "teste" foi esse e, mais ainda, adoraria saber com base em que teoria alternativa Nelson e Platnick explicariam os fenômenos que o darwinismo explica, especialmente a complexidade adaptativa.

Não estou dizendo que todo cladista transformado é um criacionista fundamentalista. Minha interpretação é que eles têm uma idéia exagerada da importância da taxonomia na biologia. Eles decidiram, talvez corretamente, que é melhor fazer taxonomia deixando de lado a evolução e especialmente nunca usando o conceito de ancestral quando pensam em taxonomia. Do mesmo modo, um estudioso, digamos, das células nervosas poderia decidir que não ajuda seu trabalho pensar em evolução. O especialista em nervos concorda que as células nervosas que ele estuda são um produto da evolução, mas não precisa usar esse fato em suas pesquisas. Ele precisa saber muito sobre física e química, mas acredita que o darwinismo é irrelevante para suas pesquisas rotineiras sobre os impulsos nervosos. Essa é uma posição defensável. Mas não podemos sensatamente afirmar que, como não precisamos usar determinada teoria na prática rotineira de nosso ramo particular da ciência, por isso mesmo essa teoria é falsa. Só diria isto quem tivesse uma opinião notavelmente exaltada sobre a importância de seu ramo da ciência.

E mesmo assim, não é lógico. Um físico decerto não precisa do darwinismo para trabalhar em física. Ele poderia pensar que a biologia é uma disciplina sem importância comparada à física. Disso decorreria que, em sua opinião, o darwinismo não tem importância para a ciência. Mas ele não poderia sensatamente concluir que, por isso, o darwinismo é falso! Mas é essencialmente isso que alguns dos líderes da escola dos cladistas transformados parecem ter feito. "Falso", ressaltamos aqui, é precisamente a palavra que Nelson e Platnick usaram. Nem é preciso dizer que suas palavras foram captadas pelos sensíveis microfones que mencionei no capítulo anterior, e o resultado foi uma considerável publicidade.

Eles granjearam um lugar de honra na literatura criacionista fundamentalista. Quando um eminente cladista transformado veio fazer uma conferência em minha universidade recentemente, atraiu uma multidão maior do que qualquer outro conferencista naquele ano! Não é difícil perceber por quê.

Não há dúvida nenhuma de que declarações como "O darwinismo [...] é uma teoria que foi testada e se revelou falsa", proferidas por biólogos bem estabelecidos na equipe de um respeitado museu nacional, serão um prato cheio para criacionistas e outros que têm um interesse ativo na mentira. Essa é a única razão por que incomodei meus leitores com o tema do cladismo transformado. Como afirmou Mark Ridley menos incisivamente em uma crítica ao livro no qual Nelson e Platnick registraram a afirmação de que o darwinismo é falso: quem teria adivinhado que tudo o que eles realmente queriam dizer era que é muito complicado representar espécies ancestrais na classificação cladista? Obviamente é difícil apontar a identidade precisa dos ancestrais, e há boas razões para nem ao menos se tentar fazê-lo. Mas fazer afirmações que encorajam outros a concluir que nunca houve ancestrais é deturpar o idioma e trair a verdade.

Agora é melhor eu sair e cuidar do jardim ou fazer alguma outra coisa.

11. Rivais condenadas

Nenhum biólogo sério duvida do fato de que a evolução aconteceu e que todos os seres vivos são aparentados. Mas alguns biólogos têm dúvidas quanto à teoria específica de Darwin sobre como a evolução aconteceu. Às vezes isso acaba sendo apenas uma discussão sobre terminologia. A teoria da evolução pontuada, por exemplo, pode ser representada como antidarwinista. Mas, como demonstrei no capítulo 9, na realidade ela é uma variedade secundária do darwinismo, e não se encaixa em nenhum capítulo sobre teorias rivais. No entanto, existem outras teorias que decididamente não são versões do darwinismo, teorias que manifestamente contrariam o próprio espírito do darwinismo. Essas teorias rivais são o tema deste capítulo. Elas incluem várias versões do chamado lamarckismo e também outros pontos de vista, como o "neutralismo", o "mutacionismo" e o "criacionismo", que de tempos em tempos são apresentados como alternativas à seleção darwiniana.

O modo óbvio de decidir entre teorias rivais é examinar os indícios que poderão corroborá-las. Os tipos de teoria lamarckianos, por exemplo, são tradicionalmente rejeitados - com razão-, pois nunca se encontrou nenhum indício convincente de que tais teorias poderiam ser corretas (e não foi por falta de tentativas insistentes, em alguns casos de fanáticos dispostos a falsificar provas). Neste capítulo adotarei uma abordagem diferente, em grande medida porque numerosos outros livros já examinaram os indícios disponíveis e concluíram em favor do darwinismo. Em vez de examinar os indícios favoráveis e contrários às teorias rivais, adotarei uma tática de cunho mais teórico: meu argumento será que o darwinismo é a única teoria conhecida que, em seus fundamentos, é capaz de explicar certos aspectos da vida. Se eu estiver correto, isso significa que, mesmo se não existissem realmente indícios em favor da teoria darwinista (evidentemente existem), ainda assim teríamos razão em preferi-la a todas as demais teorias rivais.

Um modo de dramatizar esse argumento é fazer uma predição. Predigo que, se alguma vez for descoberta uma forma de vida em outra parte do universo, por mais bizarra e exótica que ela seja em seus detalhes, veremos que se assemelha à vida na Terra em um aspecto fundamental: ela terá evoluído pelo mesmo tipo de seleção natural darwiniana. Infelizmente, essa é uma predição que, com toda a probabilidade, não poderá ser posta à prova ainda na vida das presentes gerações, mas resta um modo de dramatizar uma importante verdade sobre a vida em nosso planeta. A teoria darwinista é, em seus fundamentos, capaz de explicar a vida. Nenhuma outra teoria já proposta é capaz, em seus fundamentos, de dar essa explicação. Demonstrarei isso discutindo todas as teorias rivais conhecidas - não os indícios que depõem contra elas, mas sua adequação, naquilo que as fundamenta, como explicações da vida.

Primeiro, devo especificar o que significa "explicar" a vida. Obviamente, existem muitas propriedades dos seres vivos que poderíamos mencionar, e algumas delas poderiam ser explicáveis por teorias rivais. Muitos fatos sobre a distribuição das moléculas de proteínas, como vimos, podem dever-se a mutações genéticas neutras e não à seleção darwiniana. Mas existe uma propriedade específica dos seres vivos que desejo destacar como sendo explicável somente pela seleção darwiniana. Essa propriedade é aquela que vem sendo o tema recorrente deste livro: a complexidade adaptativa. Os organismos vivos são aptos para sobreviver e se reproduzir em seus meios de maneiras demasiado numerosas e estatisticamente

improváveis para terem surgido por um único golpe de sorte. Seguindo Paley, usei o exemplo do olho. Duas ou três características do bom "design" de um olho poderiam, concebivelmente, ter surgido por um único e afortunado acidente. É justamente o número de partes interligadas, todas bem adaptadas para a visão e bem adaptadas umas às outras, que requer um tipo especial de explicação além do mero acaso. A explicação darwinista também envolve o acaso, obviamente, na forma da mutação. Mas o acaso é filtrado cumulativamente pela seleção, passo a passo, ao longo de muitas gerações. Em outros capítulos, mostrei que essa teoria é capaz de dar uma explicação satisfatória para a complexidade adaptativa. Neste, procurarei mostrar que todas as outras teorias conhecidas não são capazes de fazer o mesmo.

Vejamos primeiro o mais eminente rival histórico do darwinismo, o lamarckismo. Quando foi proposto pela primeira vez, no início do século XIX, não era rival do darwinismo, pois Darwin ainda não surgira em cena. O Chevalier de Lamarck esteve à frente de sua época. Foi um dos intelectuais que, no século xviii, argumentaram em favor da evolução. Nisto ele estava correto, e só por isso mereceria ser homenageado, juntamente com Erasmus, o avo de Charles Darwin, e outros. Lamarck também apresentou a melhor teoria do mecanismo da evolução que qualquer um em sua época poderia conceber, mas não há razão para supor que, se a teoria darwiniana do mecanismo evolutivo estivesse disponível naquele momento, ele a teria rejeitado. A teoria de Darwin não estava disponível e, para o azar de Lamarck, pelo menos no mundo anglófono, seu nome passou a indicar um erro - sua teoria do mecanismo da evolução - e não sua convicção correta de que o fato da evolução havia acontecido. Este não é um livro de história, por isso não tentarei fazer uma dissecação acadêmica do que exatamente o próprio Lamarck afirmou. Havia uma dose de misticismo nas palavras efetivamente usadas por Lamarck - por exemplo, ele tinha uma forte crença no progresso ascendente, o que muita gente, mesmo hoje, imagina como a escada da vida; e falava em esforço dos animais, como se, em certo sentido, eles conscientemente quisessem evoluir. Extrairei do lamarckismo os elementos não místicos que, ao menos à primeira vista, parecem ter uma chance justa de oferecer uma real alternativa ao darwinismo. Esses elementos, os únicos adotados pelos "neolamarckistas modernos", são basicamente dois: a herança de características adquiridas e o princípio do uso e desuso.

O princípio do uso e desuso afirma que as partes do corpo de um organismo que são usadas aumentam de tamanho. As partes não usadas

tendem a definhar. É um fato observado que, quando exercitamos músculos específicos, eles crescem, e que músculos nunca usados encolhem. Examinando o corpo de um homem, podemos distinguir os músculos que ele usa e os que não usa. Podemos até adivinhar sua profissão ou sua atividade de lazer. Os fisiculturistas usam o princípio do uso e desuso para modelar o corpo, quase como uma escultura, segundo qualquer que seja a forma artificial requerida pela moda nessa singular cultura de minoria. Os músculos não são a única parte do corpo que reage dessa maneira ao uso. Quem anda descalço fica com a sola do pé mais grossa. É fácil distinguir um lavrador de um escriturário de banco só pelas mãos. As do lavrador são calosas, fortalecidas pela longa exposição ao trabalho rude. Se as mãos do bancário não forem totalmente sem calos, terão apenas um pequenino calo no dedo usado para escrever.

O princípio do uso e desuso permite aos animais tornarem-se melhores na tarefa de sobreviver em seu mundo, progressivamente melhores ao longo de sua vida, em decorrência daquilo que vivenciam. Os humanos, pela exposição ou ausência de exposição direta à luz solar, desenvolvem uma cor de pele que os capacita melhor a sobreviver em condições locais específicas. Luz solar em excesso é perigoso. Os entusiastas dos banhos de sol que têm a pele muito clara são propensos a ter câncer de pele. A escassez de luz solar, por outro lado, causa deficiência de vitamina D, raquitismo, às vezes encontrado em crianças hereditariamente negras que vivem na Escandinávia. O pigmento marrom melanina, que é sintetizado sob a influência da luz do sol, cria um escudo que protege os tecidos subjacentes dos efeitos danosos de luz solar adicional. Se uma pessoa bronzeada se muda para um clima menos ensolarado, a melanina desaparece, e o corpo consegue beneficiar-se do pouco sol que houver. Isto pode ser representado como um exemplo do princípio do uso e desuso: a pele torna-se bronzeada quando é "usada", e desbota voltando a ser branca quando não é "usada". Algumas raças tropicais, obviamente, herdaram uma grossa proteção de melanina independentemente de seus membros individuais se exporem ou não à luz solar.

Tratemos agora do outro princípio lamarckiano fundamental, a idéia de que essas características adquiridas são então herdadas por gerações futuras. Todos os indícios atestam que essa idéia é absolutamente falsa, mas ao longo de grande parte da história se acreditou que ela era verdadeira. Lamarck não a inventou, apenas incorporou a sabedoria popular de sua época. Em alguns círculos, ainda se

acredita nela. Minha mãe tinha um cachorro que às vezes fingia mancar, erguendo uma das pernas traseiras e se apoiando apenas nas outras três. Uma vizinha tinha um cachorro mais velho que por infelicidade perdera uma perna traseira num acidente de carro. Minha mãe estava convicta de que o cachorro da vizinha era o pai do nosso cachorro, e a prova disso era que ele tinha herdado aquela claudicação. A sabedoria popular e os contos de fadas estão repletos de lendas semelhantes. Muita gente acredita, ou gostaria de acreditar, na herança de características adquiridas. Até este século ela foi a teoria da hereditariedade dominante também entre os biólogos sérios. O próprio Darwin acreditou nela, embora não a tenha inserido em sua teoria da evolução, sendo este o motivo de não associarmos mentalmente seu nome a essa teoria.

Se juntarmos a herança das características adquiridas ao princípio do uso e desuso, teremos o que parece ser uma boa receita para a melhora evolutiva. É essa receita que comumente se designa "teoria lamarckiana da evolução". Se sucessivas gerações endurecem os pés andando descalças sobre chão áspero, cada geração, segundo a teoria, terá a pele um pouquinho mais dura do que a anterior. Cada geração obtém uma vantagem sobre sua predecessora. No final, os bebês já nascerão com os pés calejados (o que de fato acontece, mas por uma outra razão, comoveremos). Se sucessivas gerações se expõem ao sol tropical, progressivamente se tornarão mais morenas, pois, pela teoria lamarckiana, cada geração herdará parte do bronzeado da geração anterior. No devido tempo, nascerão negras (mais uma vez, de fato isso acontece, mas não pela razão lamarckiana).

Os exemplos mais célebres são os braços do ferreiro e o pescoço da girafa. Acreditava-se que, nas aldeias onde o ferreiro herdava o ofício de seu pai, avô e bisavô, ele também herdava os bem exercitados músculos de seus ancestrais. Não só os herdava mas os aumentava pelo uso, e transmitia a melhora a seu filho. As girafas ancestrais com pescoços curtos precisavam desesperadamente alcançar as folhas no alto das árvores. Esforçavam-se muito para alcançar o alimento, e com isso alongavam os músculos e ossos do pescoço. Cada geração acabava tendo um pescoço ligeiramente mais longo que sua predecessora, e transmitia essa vantagem inicial à geração seguinte. Todo avanço evolutivo, segundo a teoria lamarckiana pura, segue esse padrão. O animal esforça-se para obter algo de que precisa. Em conseqüência, as partes do corpo usadas nesse esforço aumentam de tamanho ou mudam de alguma outra maneira na

direção apropriada. Essa mudança é herdada pela geração seguinte, e assim o processo continua. Esta teoria tem a vantagem de ser cumulativa - um ingrediente essencial de qualquer teoria da evolução se ela pretende cumprir seu papel em nossa visão de mundo, como já dissemos.

A teoria lamarckiana parece ter grande apelo emocional para certos tipos de intelectuais e também para os leigos. Certa vez fui procurado por um colega, célebre historiador marxista, um homem muito refinado e erudito. Ele compreendia que os fatos pareciam estar todos contra a teoria lamarckiana, disse-me, mas não haveria mesmo nenhuma esperança de que ela pudesse ser correta? Respondi que, na minha opinião, não havia nenhuma, e ele aceitou isso lamentando sinceramente, dizendo que, por razões ideológicas, gostaria que o lamarckismo fosse verdade. A teoria parecia oferecer tantas esperanças positivas para o aprimoramento da humanidade! George Bernard Shaw dedicou um de seus vastos prefácios (em *Back to Methuselah*) a uma arrebatada defesa da herança de características adquiridas. Seus argumentos não se baseavam em conhecimentos da biologia, que ele prontamente admitia não possuir. Baseavam-se em uma ojeriza emocional às implicações do darwinismo, esse "capítulo de acidentes": parece simples, pois a princípio não percebemos tudo o que ele implica. Mas assim que nos damos conta de toda a sua importância, desabamos, arrasados. Há nele um odioso fatalismo, uma chocante e abominável redução da beleza e inteligência, da força e resolução, da honra e aspiração.

Arthur Koestler foi outro ilustre letrado que não se conformou com o que julgou serem as implicações do darwinismo. Como Stephen Gould apontou com sarcasmo, mas corretamente, em seus últimos seis livros Koestler empreendeu "uma campanha contra sua própria compreensão equivocada do darwinismo". Buscou refúgio em uma alternativa que para mim nunca ficou inteiramente clara, mas que pode ser interpretada como uma versão obscura do lamarckismo.

Koestler e Shaw eram individualistas, homens de pensamento independente. Suas concepções excêntricas sobre a evolução provavelmente não foram muito influentes, embora eu me lembre, envergonhado, de que minha apreciação do darwinismo quando adolescente foi retardada em pelo menos um ano graças à sedutora retórica de Shaw em *Back to Methuselah*. O apelo emocional do lamarckismo e a hostilidade emocional ao darwinismo que o acompanha tiveram em certas ocasiões um impacto mais sinistro, servindo de instrumento para poderosas ideologias usadas como substitutas do pensamento. T. D. Lyssenko era um cultivador de plantas de segunda

classe, sem distinção nenhuma, exceto no campo da política. Seu fanatismo antimendeliano e sua crença fervorosa e dogmática na herança de características adquiridas teriam sido inofensivamente ignorados na maioria dos países civilizados. Infelizmente, ele viveu em um país onde a ideologia tinha mais importância do que a verdade científica. Em 1940, foi nomeado diretor do Instituto de Genética da União Soviética, e se tornou imensamente influente. Suas concepções ignorantes sobre a genética passaram a ser as únicas permitidas no ensino das escolas soviéticas por toda uma geração. Um dano incalculável foi causado à agricultura soviética. Muitos geneticistas soviéticos eminentes foram banidos, exilados ou presos. Por exemplo, N. L. Vavilov, geneticista de renome mundial, morreu de subnutrição em uma cela sem janela na prisão, após um prolongado julgamento por acusações ridiculamente forjadas como a de "espionar para os britânicos".

Não é possível provar que as características adquiridas nunca são herdadas. Pela mesma razão, nunca poderemos provar que não existem fadas. Tudo o que podemos dizer é que nunca foram confirmadas as visões de fadas, e as pretensas fotografias que se produziram delas são flagrantes falsificações. O mesmo vale para as pretensas pegadas humanas em estratos de dinossauros no Texas. Qualquer afirmação categórica que eu faça de que fadas não existem é vulnerável à possibilidade de, algum dia, eu ver uma pessoinha de asas diáfanas no fundo de meu jardim. A situação da teoria da herança de características adquiridas é semelhante. Quase todas as tentativas de demonstrar o efeito falharam totalmente. Das que aparentemente foram bem-sucedidas, algumas se revelaram fraudes; por exemplo, a famigerada injeção de tinta de escrever na pele de um sapo-parteiro, relatada por Arthur Koestler em seu livro *The Case of the Midwife Toad* [O caso do sapo-parteiro]. As demais não puderam ser repetidas por outros pesquisadores. Ainda assim, do mesmo modo que alguém, algum dia, poderia ver uma fada no fundo do jardim estando sóbrio e em posse de uma câmera, alguém poderia, algum dia, provar que características adquiridas podem ser herdadas.

Mas há algo mais que pode ser dito. É possível acreditar em certas coisas que nunca foram confiavelmente vistas, desde que elas não contradigam tudo o mais que conhecemos. Nunca vi provas convincentes para a teoria de que plesiossauros vivem atualmente no lago Ness, mas minha visão de mundo não cairia por terra se algum fosse encontrado. Eu apenas ficaria surpreso (e encantado), pois não se conhece nenhum fóssil de plesiossauro dos últimos 60 milhões de anos, e esse parece ser um longo

tempo para uma pequena população sobrevivente de outra era ainda se manter viva. Mas nesse caso nenhum grande princípio científico está em jogo. É simplesmente uma questão de fatos. Por outro lado, a ciência reuniu bons conhecimentos sobre como o universo funciona, conhecimentos que se aplicam bem a uma variedade imensa de fenômenos, e certas afirmações seriam incompatíveis, ou ao menos muito difíceis de conciliar, com esses conhecimentos. Por exemplo, isso vale para a afirmação, às vezes feita com justificativas bíblicas espúrias, de que o universo foi criado há apenas 6 mil anos. Essa teoria não é só inautêntica. Ela é incompatível não apenas com a biologia e a geologia ortodoxas, mas com a teoria física da radioatividade e com a cosmologia (corpos celestes a mais de 6 mil anos-luz de distância não seriam visíveis se não existisse nada com mais de 6 mil anos; a Via Láctea não seria detectável, tampouco nenhuma das 100 milhões de outras galáxias cuja existência é reconhecida pela moderna cosmologia).

Houve momentos na história da ciência em que toda a ciência ortodoxa foi acertadamente descartada em razão de um único fato perturbador. Seria arrogância asseverar que nunca mais acontecerá algo assim. Mas antes de aceitar um fato que demoliria um grandioso e bem-sucedido edifício científico, exigimos, naturalmente e com razão, um nível maior de autenticidade do que exigiríamos antes de aceitar um fato que, embora surpreendente, se encaixasse com facilidade nos moldes da ciência existente. Para um plesiossauro no lago Ness, eu aceitaria a prova de meus próprios olhos. Se visse um homem levitando, antes de rejeitar toda a física eu pensaria estar sendo vítima de alucinação ou de algum truque de ilusionismo. Existe um contínuo que vai de teorias que provavelmente não são verdadeiras mas facilmente poderiam ser até teorias que só seriam verdadeiras ao custo de derrubar grandes edifícios de uma ciência ortodoxa bem-sucedida.

Então onde o lamarckismo se situa nesse contínuo? Em geral, julga-se que ele está bem na ponta ocupada pelas teorias que "não são verdadeiras mas facilmente poderiam ser". Quero mostrar que, embora não se encontre na mesma classe da levitação pelo poder da prece, o lamarckismo ou, mais especificamente, a herança de características herdadas, está mais próximo da ponta do contínuo ocupada pela "levitação" do que do extremo ocupado pelo "monstro do lago Ness". A herança de características adquiridas não é uma daquelas coisas que facilmente poderiam ser verdade mas provavelmente não são. Demonstrarei que ela só poderia ser verdade se um de nossos mais respeitados e bem-sucedidos

princípios da embriologia fosse descartado. Portanto, o lamarckismo precisa estar sujeito a um nível de ceticismo maior do que o habitualmente reservado ao "monstro do lago Ness". Mas qual é esse princípio da embriologia amplamente aceito e bem-sucedido que teria de ser derrubado para permitir a aceitação do lamarckismo? A resposta requer algumas explicações, que parecerão uma digressão, mas cuja relevância logo ficará clara. E lembremos que tudo isto será dito antes de começarmos a argumentar que, mesmo se o lamarckismo fosse verdade, ele ainda assim seria incapaz de explicar a evolução da complexidade adaptativa.

O campo da discussão, portanto, é a embriologia. Tradicionalmente, tem havido uma profunda divisão entre duas perspectivas diferentes sobre o modo como uma única célula se transforma em uma criatura adulta. Os nomes oficiais dessas perspectivas são pré-formacionismo e epigênese, mas em suas formas modernas eu as chamaria de teoria da planta e teoria da receita. Os primeiros pré-formacionistas acreditavam que o corpo adulto era pré-formado na única célula a partir da qual se desenvolvia. Um deles imaginou que podia ver em seu microscópio um minúsculo humano - um "homúnculo" - todo encolhido dentro de um espermatozóide (não de um óvulo!). Para ele, o desenvolvimento embrionário era simplesmente um processo de crescimento. Todas as partes do corpo adulto já estavam lá, pré-formadas. Presumivelmente, cada homúnculo do sexo masculino tinha seus próprios espermatozoides ultraminiaturizados nos quais seus próprios filhos estavam encolhidos, e cada um dos filhos continha seus netos encolhidos... Deixando de lado esse problema de regressão infinita, o pré-formacionismo ingênuo negligencia o fato, que no século xvii era tão óbvio quanto hoje, de que os filhos herdam atributos também da mãe. Para ser justo, houve outros pré-formacionistas, chamados ovistas, muito mais numerosos que os "espermistas", para quem o adulto era pré-formado no óvulo e não no espermatozóide. Mas o ovismo apresenta os mesmos dois problemas que o espermismo.

O pré-formacionismo moderno não apresenta nenhum desses problemas, mas continua errado. O pré-formacionismo moderno - a teoria da planta - afirma que o DNA em um óvulo fecundado é equivalente à planta para a construção de um corpo adulto. Uma planta é uma representação em escala miniaturizada de uma coisa real. A coisa real - casa, carro ou seja lá o que for - é um objeto tridimensional, enquanto a planta é

bidimensional. Podemos representar um objeto tridimensional, como um edifício, por meio de um conjunto de cortes bidimensionais: uma planta baixa para cada andar, várias elevações etc. Essa redução nas dimensões é feita por conveniência. Os arquitetos poderiam fornecer aos construtores uma maquete, um modelo tridimensional em madeira do edifício, mas um conjunto de modelos bidimensionais em papel - as plantas - é mais fácil de transportar em uma pasta, mais fácil de corrigir e mais fácil de trabalhar.

Uma redução adicional, para uma dimensão, é necessária para que as plantas sejam armazenadas em um código de impulsos no computador e, por exemplo, transmitidas por telefone a outra parte do país. Isso é feito facilmente recodificando-se cada planta bidimensional em um escaneamento unidimensional. As imagens de televisão são codificadas desse modo para a transmissão pelas ondas eletromagnéticas. Mais uma vez, a compressão dimensional é um recurso de codificação essencialmente trivial. O importante é que ainda existe uma correspondência biunívoca entre a planta e o edifício. Cada trecho da planta corresponde a um trecho equivalente do edifício. Em certo sentido, a planta é um edifício-miniaturizado "pré-formado"; embora a miniatura possa estar registrada em menos dimensões do que o edifício.

A razão por que mencionei a redução das plantas a uma só dimensão é, obviamente, o fato de o DNA ser um código unidimensional. Assim como é teoricamente possível transmitir um modelo em escala de um edifício através de uma linha telefônica unidimensional - um conjunto digitalizado de plantas -, também é teoricamente possível transmitir um corpo em escala reduzida através do código digital unidimensional de DNA. Isso não acontece, mas, se acontecesse, seria justo dizer que a biologia molecular moderna comprovou a velha teoria do pré-formacionismo. Passemos agora à outra grande teoria da embriologia, a epigênese - a teoria da receita ou do "livro de culinária".

Uma receita em um livro de culinária não é, em nenhum sentido, uma planta do bolo que finalmente sairá do forno. Não porque a receita seja uma série unidimensional de palavras enquanto o bolo é um objeto tridimensional. Como vimos, é perfeitamente possível, por escaneamento, representar um modelo em escala por um código unidimensional. Mas a receita não é um modelo em escala, nem uma descrição de um bolo pronto, e tampouco, em nenhum sentido, uma representação ponto a ponto. Ela é um conjunto de instruções que, se seguidas na ordem correta, resultarão em um bolo. Uma verdadeira planta codificada em uma só dimensão para fazer

um bolo consistiria em uma série de escaneamentos de todo o bolo, como se um palito fosse atravessado nele repetidamente em uma seqüência ordenada, na horizontal e na vertical. Em intervalos milimétricos, as regiões contíguas à ponta do palito seriam registradas em código; por exemplo, as exatas coordenadas de cada uva passa e cada migalha poderiam ser recuperadas dos dados seriais. Existiria um estrito mapeamento biunívoco entre cada trecho do bolo e um trecho correspondente da planta. Obviamente, isso não se parece nada com uma verdadeira receita. Não existe um mapeamento biunívoco entre "trechos" do bolo e palavras ou letras da receita. Se é que as palavras da receita mapeiam alguma coisa, não são os pedacinhos isolados do bolo acabado, mas os passos distintos do processo da feitura do bolo.

Pois bem: não compreendemos tudo, e até mesmo a maioria das coisas, sobre o modo como os animais se desenvolvem a partir de óvulos fecundados. Mas há indícios muito fortes de que os genes atuam muito mais como uma receita do que como uma planta. De fato, a analogia da receita é ótima, enquanto a da planta, embora com freqüência seja usada irrefletidamente em livros didáticos, sobretudo nos recentes, está errada em quase todos os detalhes. O desenvolvimento embrionário é um processo. É uma seqüência ordenada de eventos, como os procedimentos do preparo de um bolo, só que há milhões de passos a mais no processo, e passos diferentes são dados simultaneamente em muitas partes diferentes da "iguaria". A maioria dos passos envolve a multiplicação celular, gerando números prodigiosos de células, algumas das quais morrem, enquanto outras se juntam para formar órgãos, tecidos e outras estruturas multicelulares. Como já vimos em outro capítulo, o modo como uma célula específica se comporta depende não dos genes que ela contém - pois todas as células de um corpo contêm o mesmo conjunto de genes -, mas de qual subconjunto de genes é ativado naquela célula. Em qualquer dado local do corpo em desenvolvimento, em qualquer dado momento durante o desenvolvimento, apenas uma minoria dos genes estará ativada.

Em diferentes partes do embrião, e em momentos diferentes durante o desenvolvimento, outros conjuntos de genes estarão ativados. Precisamente quais genes são ativados em cada célula específica em cada dado momento depende das condições químicas naquela célula. Isto, por sua vez, depende das condições passadas naquela parte do embrião.

Além disso, o efeito que um gene tem quando ele é ativado depende do que existe, naquela parte do embrião, para ser afetado pelo gene. Um gene ativado em células na base da medula espinhal na terceira

semana de desenvolvimento terá um efeito totalmente diferente desse mesmo gene quando ativado em células do ombro na décima sexta semana de desenvolvimento. Portanto, o efeito, se houver algum, que um gene produz não é uma simples propriedade do próprio gene, mas uma propriedade do gene em interação com a história recente de seu meio próximo no embrião. Isto torna sem sentido a idéia de que os genes funcionariam como uma planta para o desenvolvimento do corpo. O mesmo se aplica, como o leitor deve se lembrar, aos biomorfos computadorizados.

Assim, não existe um simples mapeamento biunívoco entre genes e trechos do corpo, da mesma maneira que não existe um mapeamento entre as palavras de uma receita e as migalhas de um bolo. Os genes, considerados conjuntamente, podem ser vistos como uma série de instruções para a execução de um processo, assim como as palavras de uma receita, consideradas conjuntamente, são uma série de instruções para a execução de um processo. O leitor pode estar se perguntando como, nesse caso, é possível os geneticistas ganharem a vida. Como é possível falar, ou pior, fazer pesquisas, sobre um gene "para" olhos azuis, ou um gene "para" daltonismo? O próprio fato de os geneticistas poderem estudar esses efeitos de um único gene não indica que existe realmente algum tipo de mapeamento um-gene/um-trecho-do-corpo? Isso não refuta tudo o que eu estava dizendo sobre o conjunto de genes ser uma receita para desenvolver um corpo? Ora, não, certamente que não, e é importante entender por quê.

Talvez o melhor modo de perceber isso seja voltarmos à analogia da receita. Todos concordarão que não podemos dividir um bolo em suas migalhas componentes e dizer "esta migalha corresponde à primeira palavra da receita, esta outra à segunda palavra" etc. Neste sentido, todos concordarão que toda a receita mapeia o bolo inteiro. Mas suponhamos que mudamos uma palavra na receita; por exemplo, suponhamos que "fermento em pó" seja apagado ou trocado por "lêvedo". Fazemos cem bolos seguindo a nova versão da receita e cem bolos seguindo a versão anterior. Existe uma diferença fundamental entre os dois conjuntos de cem bolos, e essa diferença deve-se a uma diferença de uma única palavra nas receitas. Embora não exista um mapeamento biunívoco de palavras com migalhas do bolo, existe um mapeamento biunívoco de diferença de palavras com diferença no bolo inteiro. "Fermento" não corresponde a nenhuma parte específica do bolo: sua influência afeta o crescimento, e portanto a forma final, do bolo todo. Se a palavra "fermento" for apagada ou substituída por "farinha", o bolo não crescerá. Se for substituída por

"lêvedo", ele crescerá, mas seu gosto será mais parecido com o de um pão. Haverá uma diferença confiável, identificável, entre os bolos feitos segundo a versão original e as versões da receita que sofreram "mutação" embora nenhum "trecho" particular de nenhum dos bolos corresponda às palavras em questão. Esta é uma boa analogia com o que acontece quando um gene sofre mutação.

Uma analogia ainda melhor, pois os genes exercem efeitos quantitativos e as mutações alteram a magnitude quantitativa desses efeitos, seria uma mudança de "180 graus" para "250 graus". Os bolos preparados segundo a versão da receita que sofreu a "mutação" para a temperatura mais elevada resultariam diferentes, não apenas em uma de suas partes mas em toda a sua substância, dos bolos assados segundo a versão original, com temperatura mais baixa. Mas esta analogia ainda é demasiado simples. Para simular o "preparo" de um bebê, devemos imaginar não um único processo em um só forno, mas um emaranhado de esteiras móveis, passando diferentes partes da iguaria por 10 milhões de diferentes fornos em miniatura, de modo serial e paralelo, cada forno produzindo uma diferente combinação de sabores a partir de 10 mil ingredientes básicos. O que eu quero mostrar com a analogia da culinária - que os genes não são como uma planta, mas como uma receita de um processo - salienta-se ainda mais com aversão complexa da analogia do que com a versão simples.

Chegou a hora de aplicar esta lição à questão da herança de características herdadas. Ao contrário do que ocorre no caso da receita, quando se constrói algo a partir de uma planta, o processo é reversível. Quando temos uma casa, é fácil reconstituir sua planta. Basta medir todas as dimensões da casa e reduzir a escala. Obviamente, se a casa viesse a "adquirir" características - digamos, se uma parede interna fosse derrubada para obtermos um grande espaço aberto no andar térreo-, a "planta reversa" registraria fielmente a alteração. O mesmo ocorreria se os genes fossem uma descrição do corpo adulto. Se os genes fossem uma planta, seria fácil imaginar qualquer característica que um corpo adquiriu ao longo da vida sendo fielmente transcrita de volta para o código genético, e assim transmitida à geração seguinte. O filho do ferreiro realmente herdaria as conseqüências do exercício de seu pai. Pelo fato de os genes não serem como uma planta, e sim como uma receita, isso não é possível. Não podemos imaginar características adquiridas sendo herdadas, exatamente como não podemos imaginar o seguinte: um bolo tem uma fatia cortada e retirada; uma descrição da alteração é inserida

na receita original, e a receita muda de modo que o próximo bolo feito segundo a receita alterada já saia do forno com uma fatia a menos.

Os lamarckianos são tradicionalmente apreciadores de calos, portanto usemos esse exemplo. Nosso bancário hipotético tem mãos macias e bem cuidadas, exceto por um calo no dedo médio da mão, o dedo de escrever. O lamarckiano espera que, se gerações de descendentes desse bancário escreverem com grande frequência, os genes controladores do desenvolvimento da pele nessa região venham a alterar-se de modo que os bebês passem a nascer com o dedo apropriado já calejado. Se os genes fossem uma planta, seria fácil. Haveria um gene "para" cada milímetro quadrado (ou alguma unidade pequena apropriada) de pele. Toda a superfície da pele de um bancário adulto seria "escaneada", a dureza de cada milímetro quadrado meticulosamente registrada e retransmitida aos genes para aquele milímetro quadrado específico, nos genes específicos apropriados em seus espermatozóides.

Mas os genes não são uma planta. Em nenhum sentido existe um gene "para" cada milímetro quadrado. Em nenhum sentido um corpo adulto poderia ser escaneado e sua descrição retransmitida aos genes. As "coordenadas" de um calo não podem ser "procuradas" no registro genético alterando-se então os genes "pertinentes". O desenvolvimento embrionário é um processo no qual todos os genes ativos participam; um processo que, se seguido corretamente em direção à frente, resultará em um corpo adulto; mas é um processo que, por sua própria natureza, é inerentemente irreversível. A herança de características herdadas não só não acontece: ela não poderia acontecerem qualquer forma de vida cujo desenvolvimento embrionário se dá pela epigênese e não pela pré-formação. Embora possa ficar chocado ao saber disso, qualquer biólogo que defenda o lamarckismo está implicitamente defendendo uma embriologia atomista, determinista, reducionista. Eu não queria impingir ao leitor médio essa pequena série de pedantes termos especializados; só não pude resistir à ironia, pois os biólogos atuais que mais se aproximam de simpatizar com o lamarckismo também são aqueles que mais gostam de usar esse mesmo jargão para criticar outros.

Isso não quer dizer que em parte nenhuma do universo poderia existir algum sistema de vida estranho no qual a embriologia fosse pré-formacionista, uma forma de vida que realmente se desenvolvesse segundo uma "planta genética" e que de fato pudesse, portanto, herdar características adquiridas. Tudo o que demonstrei até agora é que o lamarckismo é incompatível com a embriologia como a conhecemos. Minha

afirmação no início deste capítulo foi mais drástica: eu disse que, mesmo se as características adquiridas pudessem ser herdadas, a teoria lamarckiana continuaria sendo incapaz de explicar a evolução adaptativa. Essa afirmação é tão drástica que se destina a ser aplicada a todas as formas de vida, em todas as partes do universo. Baseia-se em duas linhas de raciocínio, uma ligada às dificuldades em torno do princípio do uso e desuso, outra a problemas adicionais em torno da herança de características adquiridas. Tratarei delas na ordem inversa.

O problema fundamental das características adquiridas é que herdá-las não é algo impossível, mas nem todas as características adquiridas são melhoras. De fato, a imensa maioria delas são danos. Obviamente, a evolução não seguirá na direção geral da melhora adaptativa se as características adquiridas forem herdadas indiscriminadamente - pernas quebradas e cicatrizes de varíola sendo transmitidas às gerações seguintes exatamente como calos nos pés e pele bronzeada. A maioria das características que qualquer máquina adquire à medida que envelhece tendem a ser os estragos cumulativos do tempo: ela se desgasta. Se essas características fossem reunidas por algum tipo de processo de escaneamento e inseridas na planta da geração seguinte, as gerações sucessivas se tornariam cada vez mais decrépitas. Em vez de começar novinha em folha com uma nova planta, cada nova geração principiaria a vida com as deficiências e cicatrizes acumuladas pela deterioração e danos sofridos pelas gerações anteriores.

Este problema não é necessariamente insuperável. Não se pode negar que algumas características adquiridas são melhoras, e teoricamente é concebível que o mecanismo de herança possa, de algum modo, discriminar entre melhoras e danos. Mas, refletindo sobre a maneira como essa discriminação poderia funcionar, somos levados a indagar por que características adquiridas às vezes são melhoras. Por que, por exemplo, áreas da pele que são usadas, como a sola dos pés de um corredor descalço, tornam-se mais grossas e resistentes? À primeira vista, pareceria mais provável que a pele se tornaria mais fina: na maioria das máquinas, as partes sujeitas a desgaste tornam-se mais finas, pela óbvia razão de que o desgaste remove partículas em vez de adicionar.

O darwinista, evidentemente, tem uma resposta pronta. A pele sujeita a desgaste torna-se mais espessa porque a seleção natural no passado ancestral favoreceu os indivíduos cuja pele por acaso reagia ao desgaste desse modo vantajoso. Analogamente, a seleção natural favoreceu os membros de gerações ancestrais que por acaso reagiam à luz do Sol com

o escurecimento da pele. O darwinista afirma que a única razão por que até mesmo uma minoria de características adquiridas são melhoras é existir uma base de seleção darwiniana passada. Em outras palavras, a teoria lamarckiana pode explicar a melhora adaptativa na evolução apenas, por assim dizer, pegando carona na teoria darwinista. Dado que a seleção darwiniana está por trás, assegurando que algumas características adquiridas são vantajosas e fornecendo um mecanismo para discriminar entre aquisições vantajosas e desvantajosas, a herança de características adquiridas poderia, concebivelmente, conduzir a alguma melhora evolutiva. Mas a melhora, como tal, deve-se toda à base darwinista. Somos forçados a voltar ao darwinismo para explicar o aspecto adaptativo da evolução.

O mesmo vale para uma classe muito mais importante de melhoras adquiridas, aquelas que reunimos sob o rótulo de aprendizado. No decorrer da vida, um animal torna-se mais hábil na tarefa de sobreviver. Aprende o que é bom para ele e o que não é. Seu cérebro armazena uma grande biblioteca de lembranças sobre seu mundo e sobre que ações tendem a conduzir a conseqüências desejáveis e que outras levam a conseqüências indesejáveis. Assim, boa parte do comportamento do animal pode ser enquadrada no rótulo de características adquiridas, e boa parte desse tipo de aquisição - "aprendizado" - realmente merece o título de melhora. Se os pais pudessem, de algum modo, transcrever a sabedoria de toda uma vida de experiência em seus genes para que os filhos nascessem com uma biblioteca de experiências indiretas acumuladas e prontas para servir de guia, os filhos poderiam começar a vida um grande passo à frente dos pais. O progresso evolutivo poderia realmente se acelerar, pois as habilidades aprendidas e a sabedoria automaticamente seriam incorporadas nos genes.

Mas tudo isso pressupõe que as mudanças de comportamento que denominamos aprendizado são mesmo melhoras. Por que elas necessariamente devem ser melhoras? Os animais de fato aprendem o que é bom para eles e não o que é ruim, mas por quê? Os animais tendem a evitar ações que, no passado, conduziram à dor. Mas a dor não é uma substância. Dor é apenas aquilo que o cérebro trata como dor. É bom que as ocorrências que são tratadas como dolorosas, por exemplo, perfurar a superfície do corpo, também tendem a ser as ocorrências que põem em perigo a sobrevivência do animal. Mas é fácil imaginar uma raça de animais que gostassem de lesões e outras ocorrências que ameaçassem sua sobrevivência; uma raça de animais cujo cérebro fosse construído de tal forma que sentissem prazer com as lesões e dor com os estímulos que prognosticam um benefício para

sua sobrevivência, como por exemplo o gosto de um alimento nutritivo. Não vemos de fato esses animais masoquistas no mundo pela razão darwinista de que os ancestrais masoquistas, por motivos óbvios, não teriam sobrevivido para deixar descendentes que herdassem seu masoquismo. Poderíamos provavelmente, por seleção artificial em gaiolas acolchoadas, em condições facilitadas nas quais a sobrevivência fosse assegurada por equipes de veterinários e guardiães, criar uma raça de masoquistas hereditários. Mas na natureza esses masoquistas não sobreviveriam, e esta é a razão fundamental por que as mudanças que denominamos aprendizado tendem a ser melhoras e não o contrário. Mais uma vez, chegamos à conclusão de que tem de haver uma base darwinista para garantir que as características herdadas sejam vantajosas.

Trataremos agora do princípio do uso e desuso. Esse princípio parece funcionar muito bem para alguns aspectos das melhoras adquiridas. É uma regra geral que não depende de pormenores específicos. A regra diz, simplesmente: "Qualquer pedaço do corpo que seja usado com grande frequência deve aumentar de tamanho; qualquer pedaço não usado deve diminuir, ou mesmo desaparecer totalmente". Como podemos esperar que os pedaços do corpo úteis (e, portanto, presumivelmente usados) em geral se beneficiem aumentando de tamanho, enquanto os pedaços inúteis (e portanto presumivelmente não usados) poderiam muito bem não existir, a regra de fato parece ter algum mérito geral. Mesmo assim, existe um grande problema no princípio do uso e desuso: mesmo que não houvesse outra objeção a ele, seria uma ferramenta demasiado tosca para moldar as adaptações primorosamente delicadas que efetivamente vemos nos animais e plantas.

O olho já foi um exemplo útil antes; por que não seria novamente? Pensemos em todas as partes funcionais em intricada cooperação: o cristalino, com sua límpida transparência, sua correção para as cores e para a distorção esférica; os músculos capazes de permitir ao cristalino focalizar instantaneamente qualquer alvo, de alguns centímetros até o infinito; a íris, ou mecanismo de "diafragma", que regula continuamente a abertura do olho como uma câmera com um fotômetro e um computador rápido especializado; a retina, com seus 125 milhões de fotocélulas codificadoras de cores; a fina rede de vasos sanguíneos que enviam o combustível a todas as partes da máquina; a ainda mais fina rede de nervos - o equivalente de fios conectores e chips eletrônicos. Tendo em mente todas essas complexidades elaboradamente

talhadas, perguntemo-nos: elas poderiam ter sido reunidas graças ao princípio do uso e desuso? A resposta parece-me ser um óbvio "não".

O cristalino é transparente e corrigido contra a aberração esférica e cromática. Isso poderia ter surgido mediante o mero uso? Uma lente pode ser limpa graças ao volume de fótons que a atravessam? Ela se tornaria melhor por ser usada, por ser atravessada pela luz? Evidentemente não. Por que haveria de sê-lo? As células da retina se dividirão em três classes sensíveis à luz simplesmente por serem bombardeadas com luz de diferentes cores? Novamente: por que o fariam? Uma vez que os músculos focalizadores existem, é verdade que exercitá-los faria com que se tornassem maiores e mais fortes; mas isto, em si, não faria com que as imagens aparecessem em um foco mais nítido. A verdade é que o princípio do uso e desuso é incapaz de moldar qualquer coisa além das mais toscas e banais adaptações.

A seleção darwiniana, por outro lado, facilmente explica os menores detalhes. Uma boa visão, precisa e fiel nos mínimos detalhes, pode ser uma questão -devida ou morte para um animal. Um cristalino apropriadamente focado e corrigido contra aberrações pode fazer toda a diferença, para uma ave que voa em alta velocidade como uma águia, na hora de apanhar um pássaro ou se estatelar contra um penhasco. Uma íris bem modulada, diminuindo a abertura rapidamente quando o sol aparece, pode fazer toda a diferença na hora de enxergar um predador a tempo de fugir ou ser ofuscado por um instante fatal. Qualquer melhora na eficácia de um olho, não importa quanto possa ser tênue e profundamente situada em tecidos internos, pode contribuir para a sobrevivência do animal e seu êxito reprodutivo e, portanto, para a propagação dos genes causadores da melhora. Assim, a seleção darwiniana pode explicar a evolução da melhora. A teoria darwinista explica a evolução do maquinário de sobrevivência bem-sucedido como uma conseqüência direta de seu próprio sucesso. A ligação entre a explicação e o que deve ser explicado é direta e minuciosa.

A teoria lamarckiana, por sua vez, depende de uma ligação frouxa e tosca: a regra de que qualquer coisa que é muito usada seria melhor se fosse maior. Isto equivale a alicerçar-se em uma correlação entre o tamanho do órgão e sua eficácia. Se existir tal correlação, ela é sem dúvida extraordinariamente fraca. A teoria darwinista, de fato, baseia-se em uma correlação entre a eficácia de um órgão e sua eficácia: uma correlação necessariamente perfeita! A deficiência da teoria lamarckiana não depende de fatos detalhados relacionados às formas de

vida específicas que vemos neste planeta. É uma deficiência geral que se aplica a qualquer tipo de complexidade adaptativa, e julgo que tem de aplicar-se à vida em qualquer parte do universo, por mais estranhos e bizarros que possam ser os detalhes dessa vida.

Portanto, nossa refutação do lamarckismo é devastadora. Primeiro, sua suposição fundamental, a da herança de características adquiridas, parece ser falsa para todas as formas de vida que estudamos. Segundo, ela não só é falsa mas tem de ser falsa em qualquer forma de vida que dependa de um tipo de embriologia epigenética ("receita") em vez de pré-formacionista ("planta"), e isso inclui todas as formas de vida que estudamos. Terceiro, mesmo que as suposições da teoria lamarckiana fossem verdadeiras, a teoria é, em seus fundamentos, por duas razões totalmente distintas, incapaz de explicar a evolução da complexidade adaptativa significativa não só em nosso planeta mas em qualquer parte do universo. Assim, não é que o lamarckismo seja uma teoria rival do darwinismo que se revelou incorreta, O lamarckismo não é absolutamente rival do darwinismo. Não é nem sequer um candidato sério como explicação para a evolução da complexidade adaptativa. Como potencial rival do darwinismo, está condenado desde o início.

Existem algumas outras teorias que foram, e ocasionalmente ainda são, apresentadas como alternativas à seleção darwinista. Mais uma vez, demonstrarei que elas não são absolutamente verdadeiras alternativas. Demonstrarei (na realidade, é óbvio) que essas "alternativas" - "neutralismo", "mutacionismo" etc. - podem ou não explicar alguma proporção da mudança evolutiva observada, mas não podem explicar a mudança evolutiva adaptativa, ou seja, a mudança na direção do desenvolvimento de mecanismos melhorados para a sobrevivência, como olhos, ouvidos, articulações dos cotovelos e dispositivos para medir distâncias por meio de ecos. Evidentemente, grandes quantidades de mudança evolutiva podem ser não adaptativas, e neste caso essas teorias alternativas podem muito bem ser importantes em partes da evolução, mas apenas nas partes desinteressantes da evolução, e não naquelas responsáveis pelo que a vida tem de especial em contraste com a ausência de vida. Isto fica particularmente claro no caso da teoria neutralista da evolução. Essa é uma longa história, mas fácil de entender em sua roupagem moderna, molecular, na qual tem sido promovida em grande medida pelo geneticista japonês Motoo Kimura, cuja prosa em inglês, aliás, tem um estilo de matar de inveja muito falante nativo.

Já encontramos brevemente a teoria neutralista. A idéia, o leitor deve lembrar-se, é que entre as diferentes versões da mesma molécula por exemplo, versões da molécula de hemoglobina que diferem em suas seqüências precisas de aminoácidos - nenhuma é melhor ou pior do que a outra. Isso significa que mutações de uma versão alternativa da hemoglobina para outra são neutras no que diz respeito à seleção natural. Os neutralistas acreditam que a grande maioria das mudanças evolutivas, na esfera da genética molecular, são neutras aleatórias no que diz respeito à seleção natural. A escola alternativa de geneticistas, chamada selecionistas, acredita que a seleção natural é uma força poderosa mesmo no nível dos detalhes em cada ponto das cadeias moleculares.

É importante distinguir duas questões. A primeira é a que interessa neste capítulo: o neutralismo é uma alternativa à seleção natural como explicação para a evolução adaptativa? A segunda questão, bem distinta, é: a maior parte da mudança evolutiva que realmente ocorre é adaptativa? Como estamos falando em mudança evolutiva de uma forma de molécula para outra, qual a probabilidade de a mudança ocorrer graças à seleção natural e qual a probabilidade de ela ser uma mudança neutra que se deu por deriva aleatória? Uma batalha acirrada tem sido travada em torno desta segunda questão entre geneticistas moleculares, preponderando ora um lado, ora o outro. Mas se acontecer de concentrarmos nosso interesse na adaptação - a primeira questão - é tudo uma tempestade em copo d'água. No que nos diz respeito, uma mutação neutra pode muito bem não existir porque nem nós nem a seleção natural podemos vê-la. Uma mutação neutra não é absolutamente uma mutação quando estamos pensando em pernas, braços, asas, olhos e comportamento! Usando novamente a analogia da receita, a iguaria terá o mesmo gosto ainda que algumas palavras da receita tenham "sofrido mutação" para uma fonte diferente de caracteres de impressão. No que diz respeito àqueles dentre nós interessados na iguaria final, a receita ainda é a mesma, seja ela impressa assim, assim ou assim. Os geneticistas moleculares são como impressores meticulosos. Preocupam-se com a forma efetiva das palavras nas quais as receitas são escritas. A seleção natural não se ocupa disso, e tampouco nós devemos nos ocupar quando falamos sobre a evolução da adaptação. Quando estivermos tratando de outros aspectos da evolução, por exemplo, as taxas de evolução em diferentes linhagens, as mutações neutras terão insuperável importância.

Até o mais ferrenho neutralista concorda prontamente que a seleção natural é responsável por toda adaptação. O que ele está dizendo

apenas é que a maior parte da mudança evolutiva não é adaptação. Ele pode muito bem ter razão, embora uma escola de geneticistas não concorde. Eu, nas arquibancadas, fico torcendo para que os neutralistas vençam, pois isso facilitaria muito descobrir relações evolutivas e taxas de evolução. Todo mundo, de ambos os lados, concorda que a evolução neutra não pode conduzir à melhora adaptativa, pela simples razão de que a evolução neutra é, por definição, aleatória, enquanto uma melhora adaptativa é, por definição, não aleatória. Mais uma vez não conseguimos encontrar uma alternativa à seleção darwiniana como explicação para a característica da vida que a distingue da ausência de vida, ou seja, a complexidade adaptativa.

Passamos agora a outra rival histórica do darwinismo: a teoria do "mutacionismo". Hoje em dia é difícil para nós compreender, mas, no princípio do século xx, quando o fenômeno da mutação foi pela primeira vez descrito, ele foi considerado não uma parte necessária da teoria darwinista e sim uma teoria da evolução alternativa! Havia uma escola de geneticistas, os mutacionistas, que incluía nomes famosos como Hugo de Vries e Will iam Bateson, dois dos primeiros a redescobrir os princípios da hereditariedade de Mendel, Wilhelm Johannsen, o inventor da palavra gene , e Thomas Hunt Morgan, o pai da teoria cromossômica da hereditariedade. De Vries, em especial, impressionou-se com a magnitude da mudança que a mutação pode causar, e julgou que novas espécies sempre se originavam de grandes mutações únicas. Ele e Johannsen acreditavam que a maior parte da variação no âmbito de cada espécie era não genética. Todos os mutacionistas acreditavam que a seleção tinha, na melhor das hipóteses, um papel depurador secundário na evolução. A força realmente criadora era a própria mutação. A genética mendeliana era vista não como o esteio central do darwinismo que ela é hoje, mas como antitética ao darwinismo.

Para a mente moderna é difícilimo reagir a essa idéia sem uma gargalhada, mas devemos atentar para não repetir o tom condescendente do próprio Bateson: "Consultamos Darwin por sua incomparável coleção de fatos [mas...] para nós ele não fala mais com autoridade filosófica. Lemos seu esquema da Evolução como leríamos os de Lucrécio ou Lamarck". E ainda: "A transformação de massas de populações por passos imperceptíveis guiados pela seleção é, como hoje a maioria de nós percebe, tão inaplicável ao fato que só podemos nos espantar tanto com a falta de discernimento exibida pelos defensores dessa proposição como com a habilidade argumentativa que a fez parecer aceitável ainda que por algum

tempo". Foi sobretudo R. A. Fischer quem virou o jogo e demonstrou que, longe de ser antitética ao darwinismo, a hereditariedade particulada de Mendel era, na realidade, essencial a essa teoria.

A mutação é necessária para a evolução, mas como alguém chegou a imaginar que ela era suficiente? A mudança evolutiva é, em um grau muito maior do que se poderia esperar do acaso sozinho, melhora. O problema da mutação como a única força evolutiva é expresso com simplicidade: como é que a mutação há de "saber" o que será e o que não será bom para o animal? De todas as mudanças possíveis que poderiam ocorrer com um mecanismo complexo existente como um órgão, a grande maioria o tornará pior. Apenas uma ínfima minoria de mudanças o tornará melhor. Quem quiser argumentar que a mutação, sem seleção, é a força propulsora da evolução, tem de explicar como é que as mutações tendem a ser para melhor. Por qual misteriosa sabedoria inerente o corpo escolhe sofrer mutação na direção de uma melhora e não de uma piora? O leitor observará que esta é, na realidade, a mesma questão imposta ao lamarckismo, só que em outra roupagem. Nem é preciso dizer que os mutacionistas nunca responderam a ela. O curioso é que ela não lhes parece ter ocorrido.

Hoje em dia, injustamente, isso nos parece ainda mais absurdo porque fomos criados para acreditar que as mutações são "aleatórias". Se as mutações são aleatórias, então, por definição, não podem tender à melhora. Mas a escola mutacionista, obviamente, não considerava as mutações aleatórias. Seus integrantes julgavam que o corpo possui uma tendência inerente a mudar em certas direções e não em outras, embora deixassem em aberto a questão de como o corpo "sabia" que mudanças seriam boas para ele no futuro. Embora descartemos isso como um absurdo místico, é importante deixar claro exatamente o que queremos dizer quando afirmamos que a mutação é aleatória. Existem aleatoriedades e aleatoriedades, e muita gente confunde os diferentes significados da palavra. Na verdade, em muitos aspectos a mutação não é aleatória. Eu insisto apenas em que esses aspectos não incluem nada equivalente à antevisão do que tornaria a vida melhor para o animal. E algo equivalente à antevisão seria, de fato, necessário se a mutação, sem seleção, tivesse de ser usada para explicar a evolução. É instrutivo examinar mais a fundo os sentidos em que a mutação é e não é aleatória.

Vejamos o primeiro aspecto em que a mutação é não aleatória. As mutações são causadas por eventos inequivocamente físicos; elas não ocorrem espontaneamente, sendo induzidas pelos chamados "mutágenos"

(perigosos, pois freqüentemente causam câncer): raios X, raios cósmicos, substâncias radiativas, diversas substâncias químicas e até mesmo outros genes, denominados "genes mutatórios". Segundo, nem todos os genes, em quaisquer espécies, têm a mesma probabilidade de sofrer mutação. Cada lócus nos cromossomos tem sua própria taxa de mutação característica. Por exemplo, a taxa à qual a mutação cria o gene para a doença denominada coréia de Huntington (semelhante à dança de São Vito), que mata pessoas no início da meia-idade, é de aproximadamente um em 200 mil. A taxa correspondente para a acondroplasia (a conhecida síndrome do nanismo, característica dos basset hounds e dachshunds, na qual os braços e pernas são curtos demais para o corpo) é cerca de dez vezes mais elevada. Essas taxas são medidas em condições normais. Se mutágenos como os raios X estiverem presentes, todas as taxas normais de mutação aumentam. Algumas partes do cromossomo são as chamadas hot spots ("pontos quentes"), apresentando uma alta rotatividade de genes, uma taxa de mutação muito alta em âmbito local.

Terceiro, em cada lócus dos cromossomos, seja ele um ponto quente ou não, mutações em certas direções podem ser mais prováveis do que na direção inversa. Isto ocasiona o fenômeno conhecido como "pressão mutacional", que pode ter conseqüências evolutivas. Mesmo se, por exemplo, duas formas da molécula de hemoglobina, a Forma 1 e a Forma 2, forem seletivamente neutras, ou seja, se ambas forem igualmente boas para transportar oxigênio no sangue, ainda poderia acontecer de mutações de 1 para 2 serem mais comuns do que as mutações inversas, de 2 para 1. Neste caso, a pressão mutatória tenderá a tornar a Forma 2 mais comum do que a Forma 1. Diz-se que pressão mutatória é zero em um dado lócus cromossômico se a taxa de mutação à frente nesse lócus é exatamente compensada pela taxa de mutação retrógrada.

Agora podemos ver que a questão de a mutação realmente ser ou não aleatória não é nada trivial. A resposta depende do que entendemos por "aleatória". Se considerarmos que "mutação aleatória" significa que as mutações não são influenciadas por eventos externos, então os raios X refutam a afirmação de que a mutação é aleatória. Se pensarmos que "mutação aleatória" implica que todos os genes têm a mesma probabilidade de sofrer mutação, então os pontos quentes mostram que a mutação não é aleatória. Se julgarmos que "mutação aleatória" implica que em todos os lócus cromossômicos a pressão mutatória é zero, então mais uma vez a mutação não é aleatória. Somente se definirmos "aleatória" como "ausência de uma propensão generalizada à melhora do corpo" é que a mutação é

verdadeiramente aleatória. Todos os três tipos de não-aleatoriedade real que examinamos são incapazes de mover a evolução na direção da melhora adaptativa em oposição a qualquer outra direção (funcionalmente) "aleatória". Existe um quarto tipo de não-aleatoriedade para a qual isso também é verdade, mas não tão obviamente. Será necessário que lhe dediquemos algum tempo, visto que ele ainda confunde até mesmo alguns biólogos modernos.

Para certas pessoas, "aleatório" teria o significado explicitado a seguir - na minha opinião, um significado muito bizarro. Citarei dois oponentes do darwinismo (P. Saunders e M. W. Ho), em sua concepção do que os darwinistas pensam sobre "mutação aleatória": "O conceito neodarwinista de variação aleatória encerra a grande falácia de que tudo o que é concebível é possível". "Todas as mudanças são consideradas possíveis e igualmente prováveis" (grifo meu). Longe de ter essa convicção, não vejo mesmo como se começaria a dar-lhe um significado! O que possivelmente poderia significar dizer que "todas" as mudanças são igualmente prováveis? Todas as mudanças? Para que duas ou mais coisas sejam "igualmente prováveis" é necessário que essas coisas sejam definidas como eventos separados. Por exemplo, podemos dizer "cara e coroa são igualmente prováveis" porque cara e coroa são eventos separados. Mas "todas as mudanças possíveis" no corpo de um animal não são eventos separados desse tipo. Vejamos dois eventos possíveis: "a cauda da vaca alonga-se um centímetro" e "a cauda da vaca alonga-se dois centímetros". Esses dois eventos são separados e, portanto, "igualmente prováveis"? Ou são apenas variações quantitativas do mesmo evento?

Está evidente que foi criado um tipo de caricatura de darwinista cuja noção de aleatoriedade é um extremo absurdo, quando não realmente sem sentido. Demorei algum tempo para compreender essa caricatura, pois ela era demasiado alheia ao modo de pensar dos darwinistas que conheço. Mas creio que agora a compreendo, e tentarei explicá-la, pois acho que ela nos ajuda a entender o que está por trás de boa parte da pretensa oposição ao darwinismo.

Variação e seleção trabalham juntas para produzir a evolução. O darwinista afirma que a variação é aleatória querendo dizer que ela não é dirigida para a melhora e que a tendência à melhora na evolução deve-se à seleção. Podemos imaginar uma espécie de conjunto de doutrinas evolucionistas, com o darwinismo em um extremo e o mutacionismo no outro. O extremo mutacionista acredita que a seleção não tem papel na evolução. A direção da evolução é determinada pela direção das mutações que se

apresentam. Por exemplo, suponhamos que está em consideração o aumento do cérebro humano ocorrido durante os últimos milhões de anos de nossa evolução. O darwinista diz que a variação apresentada pela mutação à seleção incluiu alguns indivíduos com cérebro menor e alguns com cérebro maior; a seleção favoreceu estes últimos. O mutacionista afirma que houve um viés em favor de cérebros maiores na variação causada pela mutação; não houve seleção (ou necessidade de seleção) depois que a variação foi apresentada; os cérebros aumentaram de tamanho porque a mudança mutacional tendenciosa em favor de cérebros maiores. Em suma: na evolução houve uma tendência favorável a cérebros maiores; esse viés poderia ter sido causado apenas pela seleção (a opinião darwinista) ou só pela mutação (a opinião mutacionista); podemos imaginar um contínuo entre esses dois pontos de vista, quase uma espécie de trade-off entre as duas possíveis fontes de viés evolutivo. Uma visão intermediária seria a de que houve algum viés nas mutações favorável ao aumento do cérebro e que a seleção intensificou esse viés na população que sobreviveu.

O elemento de caricatura está na interpretação do que o darwinista quer dizer quando afirma não existir um viés na variação mutacional que é apresentada para seleção. Para mim, um darwinista da vida real, isso significa apenas que a mutação não é sistematicamente tendenciosa em favor da melhora adaptativa. Mas para a caricatura exagerada de darwinista, significa que todas as mudanças concebíveis são "igualmente prováveis". Desconsiderando toda a impossibilidade lógica dessa suposição, impossibilidade essa que já salientamos, julga-se que a caricatura de darwinista acredita que o corpo é uma argila infinitamente maleável, pronta para ser moldada pela onipotente seleção em qualquer forma que ela possa favorecer. É importante entender a diferença entre o darwinista da vida real e a caricatura. Faremos isso mediante um exemplo específico: a diferença entre a técnica de vôo dos morcegos e dos anjos.

Os anjos sempre são retratados com asas que brotam das costas, sem que as penas estorvem a movimentação dos braços. Os morcegos, por outro lado, juntamente com as aves e os pterodáctilos, não têm braços independentes. Os braços de seus ancestrais incorporaram-se às asas, e não podem ser usados, ou só podem ser usados muito desajeitadamente, para outros propósitos; como apanhar alimento. Ouviremos agora uma conversa entre um darwinista da vida real e uma caricatura extrema de darwinista.

Vida real. Eu me pergunto por que nos morcegos não evoluíram asas como as dos anjos. Imagino que um par de braços livres bem que lhes seria útil, Os camundongos usam os braços o tempo todo, para apanhar a

comida e mordê-la, e sem braços os morcegos parecem muito desajeitados no chão. Suponho que uma resposta poderia ser que a mutação nunca forneceu a variação necessária. Nunca houve morcegos ancestrais mutantes que possuíssem brotos de asas saindo do meio das costas.

Caricatura. Bobagem. A seleção é tudo. Se os morcegos não têm asas como as dos anjos, isso só pode significar que a seleção não favoreceu asas como as dos anjos. Com certeza existiram morcegos mutantes com brotos de asas saindo do meio das costas, mas acontece que a seleção não os favoreceu.

Vida real. Bem, eu concordo totalmente que a seleção poderia não ter favorecido esses morcegos, se tais asas tivessem brotado. Para começar, elas teriam aumentado o peso do animal, e excesso de peso é um luxo a que nenhum objeto voador pode dar-se. Mas decerto você não acha que, independentemente do que a seleção poderia em princípio favorecer, a mutação sempre produziria a variação necessária?

Caricatura. Mas é claro que acho. A seleção é tudo. A mutação é aleatória.

Vida real. Está certo, a mutação é aleatória, mas isto significa apenas que ela não pode antever o futuro e planejar o que será bom para o animal. Não significa que absolutamente qualquer coisa é possível. Por que você acha que nenhum animal solta fogo pelas narinas como um dragão, por exemplo? Isso não seria útil para capturar e assar as presas?

Caricatura. Essa é fácil. A seleção é tudo. Os animais não soltam fogo pelas narinas porque não seria vantajoso para eles. Os mutantes que soltavam fogo pelas narinas foram eliminados pela seleção natural, talvez porque produzir fogo demandasse muita energia.

Vida real. Não acredito que já tenham existido mutantes que soltassem fogo pelas narinas. E, se tivesse havido, presumivelmente eles teriam corrido um grave perigo de se queimar!

Caricatura. Bobagem. Se esse fosse o único problema, a seleção teria favorecido a evolução de narinas revestidas de amianto.

Vida real. Não acredito que alguma mutação tenha produzido narinas revestidas de amianto. Não acredito que animais mutantes pudessem secretar amianto, como não acredito que vacas mutantes pudessem pular até a Lua.

Caricatura. Qualquer vaca mutante que pulasse até a Lua teria sido prontamente eliminada pela seleção natural. Lá não existe oxigênio, sabia?

Vida real. Estou surpreso por você não pressupor vacas mutantes com trajes espaciais e máscaras de oxigênio geneticamente determinados.

Caricatura. Tem razão! Bem, suponho então que a verdadeira explicação deva ser simplesmente que não seria vantajoso para as vacas pular até a Lua. E não podemos esquecer o custo energético de atingir a velocidade de escape.

Vida real Isso é absurdo.

Caricatura. Dá para ver que você não é um verdadeiro darwinista. O que você é: alguma espécie de dissidente criptomutacionista?

Vida real Se você pensa assim, deveria conhecer um verdadeiro mutacionista.

Mutacionista. Essa é uma discussão exclusiva de darwinistas, ou posso participar? O problema de vocês dois é darem importância demais à seleção. Tudo o que a seleção pode fazer é eliminar as grandes deformidades e anomalias. Não pode produzir uma evolução realmente construtiva. Voltemos à evolução das asas dos morcegos. O que realmente aconteceu foi que, numa população primitiva de animais terrestres, mutações começaram a produzir dedos alongados com pele entre eles. No decorrer das gerações, essas mutações aumentaram de frequência até que, por fim, toda a população possuía asas. Não teve nenhuma relação com a seleção. Simplesmente houve essa tendência à evolução de asas inerente à constituição do ancestral do morcego.

Vida real e caricatura (em uníssono). Pura especulação infundada! Volte para o século passado e vá procurar sua turma.

Espero não estar sendo presunçoso ao supor que o leitor não se identifica com o mutacionista nem com a caricatura de darwinista. Penso que o leitor concorda com o darwinista da vida real, como eu obviamente concordo. Essa caricatura não existe de fato. Infelizmente, algumas pessoas acham que existe, e julgam que, por discordarem dela, estão discordando do próprio darwinismo. Existe uma escola de biólogos que deu de argumentar assim: o problema do darwinismo é que ele negligencia as restrições impostas pela biologia; os darwinistas (é aqui que entra a caricatura) pensam que, se a seleção favorecesse alguma mudança evolutiva concebível, a variação mutacional necessária se mostraria disponível. A

mudança mutacional em qualquer direção é igualmente provável: a seleção fornece o único viés.

Mas o darwinista da vida real reconhece que, embora qualquer gene em qualquer cromossomo possa sofrer mutação em qualquer momento, as conseqüências da mutação nos corpos são fortemente limitadas pelos processos da embriologia. Se eu alguma vez tivesse duvidado disso (o que nunca aconteceu), minhas dúvidas, elas teriam sido dissipadas por minhas simulações computadorizadas de biomorfos. Não se pode simplesmente postular uma mutação "para" asas brotando no meio das costas. Asas, ou qualquer outra coisa, somente evoluem se o processo de desenvolvimento lhes permite isso. Nada "brota" magicamente. Tudo depende da criação pelos processos de desenvolvimento embrionário. Apenas uma minoria das coisas que concebivelmente poderiam evoluir são de fato permitidas pelo status quo dos processos de desenvolvimento existentes. Devido ao modo como os braços se desenvolvem, é possível que mutações aumentem o comprimento dos dedos e causem o crescimento de pele entre eles. Mas pode não haver nada na embriologia das costas que permita "brotarem" asas como as dos anjos. Os genes podem sofrer mutação até ficarem roxos, mas nunca brotarão asas como as dos anjos em nenhum mamífero, a menos que os processos embriológicos dos mamíferos sejam suscetíveis a esse tipo de mudança.

Mas enquanto não conhecermos todos os detalhes do modo como os embriões se desenvolvem, há margem para discordância quanto à probabilidade de que mutações imaginadas específicas tenham ou não existido. Poderíamos futuramente descobrir, por exemplo, que não existe nada na embriologia dos mamíferos que proíba asas como as dos anjos, e neste caso específico a caricatura do darwinista estaria correta ao supor que os brotos de asas de anjo surgiram mas não foram favorecidos pela seleção. Ou poderíamos no futuro, quando viéssemos a conhecer mais sobre embriologia, descobrir que asas como as dos anjos nunca teriam sido vantajosas, e por isso a seleção nunca teve a chance de favorecê-las. Há uma terceira possibilidade, que devemos mencionar para completar a discussão: a embriologia nunca admitiu a possibilidade de surgirem asas como as dos anjos; mesmo se admitisse, a seleção nunca as teria favorecido. Mas o que precisa ser ressaltado é que não podemos nos dar ao luxo de desconsiderar as restrições à evolução impostas pela embriologia. Todo darwinista sério concordaria com isso, e no entanto algumas pessoas querem fazer crer que os darwinistas o negam. Ocorre que as pessoas que fazem estardalhaço sobre as "restrições do desenvolvimento" como uma

pretensa força antidarwinista estão confundindo o darwinismo com a caricatura do darwinismo que parodiei há pouco.

Tudo isso começou com uma discussão sobre o que queremos dizer com mutação "aleatória". Mencionei três aspectos nos quais a mutação não é aleatória: indução por raios X e outros mutágenos, taxas de mutação diferentes para genes diferentes e taxas de mutação à frente não têm de ser iguais às taxas de mutação retrógradadas. A estes acabamos de adicionar um quarto aspecto no qual a mutação não é aleatória. A mutação não é aleatória no aspecto de só poder produzir alterações em processos existentes de desenvolvimento embrionário. A mutação não pode criar do nada alguma mudança concebível que a seleção poderia favorecer. A variação que está disponível para seleção sofre as restrições dos processos embriológicos como eles realmente existem.

Há um quinto aspecto no qual a mutação poderia ter sido não aleatória. Podemos imaginar (com muito esforço) uma forma de mutação que fosse sistematicamente tendenciosa na direção de melhorar a capacidade de adaptação do animal à vida. Mas, embora possamos imaginar essa forma de mutação, ninguém jamais sequer chegou perto de aventar algum modo pelo qual essa tendência poderia ter surgido. É apenas nesse quinto aspecto, o "mutacionista" que o verdadeiro darwinista, o da vida real, insiste em que a mudança é aleatória. A mutação não é sistematicamente tendenciosa na direção da melhora adaptativa, e não se conhece nenhum mecanismo (para dizer o mínimo) que pudesse guiar a mutação em direções que fossem não aleatórias neste quinto sentido. A mutação é aleatória com respeito à vantagem adaptativa, embora seja não aleatória em todos os outros aspectos. É a seleção, e somente a seleção, que conduz a evolução em direções que são não aleatórias com respeito à vantagem adaptativa. O mutacionismo não é apenas errado de fato. Nunca poderia ter sido certo. Ele não tem fundamentos capazes de explicar a evolução da melhora. O mutacionismo equipara-se com o lamarckismo não como um rival refutado do darwinismo, mas como uma teoria incapaz de rivalizar com o darwinismo.

O mesmo se aplica ao próximo pretenso rival da seleção darwiniana, defendido por Gabriel Dover, geneticista de Cambridge, sob o singular nome de "impulso molecular" (como tudo é feito de moléculas, não está claro por que o processo hipotético de Dover deveria merecer o nome de impulso molecular, mais do que qualquer outro processo evolutivo; faz-me lembrar um conhecido meu que se queixava de gastrite estomacal e que raciocinava usando seu cérebro mental). Motoo Kimura e os demais proponentes da teoria neutralista da evolução não fazem afirmações falsas

em sua teoria, como já vimos. Não têm ilusões de que a deriva aleatória seja uma rival da seleção natural na explicação da evolução adaptativa. Reconhecem que apenas a seleção natural pode impulsionar a evolução em direções adaptativas. Afirmam apenas que boa parte da mudança evolutiva (como os geneticistas moleculares vêem a mudança evolutiva) não é adaptativa. Dover não tem pretensões assim modestas para sua teoria. Julga poder explicar toda a evolução sem a seleção natural, embora generosamente admita que também pode haver alguma verdade na seleção natural!

Ao longo de todo este livro, nosso primeiro recurso ao refletir sobre tais questões tem sido o exemplo do olho, embora, evidentemente, ele seja apenas um representante de um vasto conjunto de órgãos que são demasiado complexos e têm um design tão primoroso que não podem ter surgido por acaso. Somente a seleção natural, tenho mostrado repetidamente, chega perto de oferecer uma explicação plausível para o olho humano e para órgãos de extrema perfeição e complexidade comparáveis. Por sorte, Dover explicitamente aceitou o desafio e apresentou sua própria explicação para a evolução do olho. Suponhamos, diz ele, que sejam necessários mil passos na evolução para que o olho evolua do nada. Isto significa que foi necessária uma seqüência de mil mudanças genéticas para transformar um mero trecho de pele em um olho. Esta parece ser uma suposição aceitável para fins de argumentação. No caso da Terra dos Biomorfos, significa que o animal que só tem a pele está mil passos genéticos distante do animal com olho.

Então como explicamos o fato de que exatamente o conjunto certo de mil passos foi executado para resultar no olho que conhecemos? A explicação da seleção natural é bem conhecida. Reduzida à sua forma mais simples, ela diz que, a cada um dos mil passos, a mutação ofereceu várias alternativas, das quais apenas uma foi favorecida porque ajudou na sobrevivência. Os mil passos de evolução representam mil sucessivos pontos de escolha, em cada um dos quais a maioria das alternativas conduziu à morte. A complexidade adaptativa do olho moderno é o produto final de mil "escolhas" inconscientes bem-sucedidas. A espécie seguiu um caminho específico através do labirinto de todas as possibilidades. Houve mil pontos de ramificação ao longo do caminho, e em cada um deles os sobreviventes foram aqueles que por acaso enveredaram pela ramificação que conduzia a uma visão melhorada. A beira do caminho ficou juncada de cadáveres dos fracassos que escolheram a direção errada em cada um dos

mil sucessivos pontos de ramificação. O olho que conhecemos é o produto final de uma seqüência de mil "escolhas" seletivas bem-sucedidas.

Esta foi (uma forma de expressar) a explicação da seleção natural para a evolução do olho em mil passos. E quanto à explicação de Dover? Basicamente, ele argumenta que não teria importado qual escolha a linhagem fizesse a cada passo; analisando retrospectivamente, ela teria encontrado um uso para o órgão resultante. Cada passo dado pela linhagem, segundo Dover, foi um passo aleatório. No Passo 1, por exemplo, uma mutação aleatória disseminou-se pela espécie. Como a característica recém-evoluída era funcionalmente aleatória, não ajudou na sobrevivência do animal. Assim, a espécie procurou no mundo um novo lugar ou um novo modo de vida no qual pudesse usar essa nova característica aleatória que fora imposta a seu corpo. Tendo encontrado um meio que se mostrou conveniente à parte aleatória de seu corpo, a espécie viveu ali por algum tempo, até que uma nova mutação aleatória surgiu e se disseminou pela espécie. E então a espécie teve de vasculhar o mundo em busca de um novo lugar ou modo de vida onde pudesse viver com seu novo pedaço aleatório. Ao encontrá-lo, o Passo 2 se completou. E então a mutação aleatória correspondente ao Passo 3 disseminou-se pela espécie, e assim por diante para todos os mil passos, no final dos quais havia sido formado o olho como o conhecemos. Dover salienta que o olho humano por acaso usa o que chamamos de "luz visível" em vez da infravermelha. Mas se por acaso processos aleatórios nos houvessem imposto um olho sensível aos infravermelhos, sem dúvida teríamos aproveitado e encontrado um modo de vida que explorasse ao máximo os raios infravermelhos.

À primeira vista, essa idéia tem uma certa plausibilidade sedutora, mas só muito à primeira vista. A sedução está no modo rigorosamente simétrico como a seleção natural é virada de cabeça para baixo. A seleção natural, em sua forma mais simples, supõe que o meio é imposto à espécie, e as variantes genéticas mais bem adaptadas àquele meio sobrevivem, O meio é imposto, e a espécie evolui adaptando-se a ele. A teoria de Dover vira isso de cabeça para baixo. E a natureza da espécie que é "imposta", neste caso pelas vicissitudes da mutação e outras forças genéticas internas na qual ele tem um interesse especial. A espécie então localiza aquele membro do conjunto de todos os meios que melhor se ajuste à sua natureza imposta.

Mas a sedução da simetria é muito superficial. O tremendo disparate da idéia de Dover revela-se em toda a sua glória no momento em que começamos a pensar com números. A essência de seu esquema é que, a

cada um dos mil passos, não importa que caminho a espécie tomou. Cada inovação recém -surgida na espécie foi funcionalmente aleatória, e então a espécie encontrou um meio que se ajustasse a ela. A implicação é que a espécie teria encontrado um meio apropriado independentemente do caminho pelo qual enveredasse a cada ramificação do trajeto. Ora, imagine quantos meios possíveis isso nos leva a postular. Havia mil pontos de ramificação. Se cada um deles fosse uma mera bifurcação (e não se dividisse em três ou em dezoito, uma suposição moderada), o número total de meios habitáveis que teriam, em princípio, de existir para que o esquema de Dover funcionasse seria dois elevado a mil (a primeira ramificação produz 2 caminhos, que então se ramificam em dois cada um, totalizando 4; em seguida, os quatro produzem 8, depois 16, 32, 64... até $2 \cdot 1000^7$). Esse número pode ser escrito como 1 seguido de 301 zeros. É muito maior do que o número total de átomos no universo inteiro.

A pretensa teoria rival da seleção natural proposta por Dover nunca poderia funcionar, não só em 1 milhão de anos, mas tampouco em 1 milhão de anos a mais do que o tempo de existência do universo, nem em 1 milhão de universos cada um durando 1 milhão de vezes mais. Note-se que esta conclusão não é materialmente afetada se mudarmos a suposição inicial de Dover de que seriam necessários mil passos para produzir um olho. Se a reduzirmos para apenas cem passos, o que é provavelmente uma subestimativa, ainda assim concluimos que o conjunto de meios habitáveis que tem de estar à espera nos bastidores, por assim dizer, para atender a quaisquer passos aleatórios que a linhagem possa dar, é maior do que 1 milhão de milhões de milhões de milhões de milhões. Um número menor do que o anterior, mas que ainda significa que a vasta maioria dos "meios" de Dover à espera nos bastidores teriam de ser, cada um, feitos de menos de um único átomo.

Vale a pena explicar por que a teoria da seleção natural não é suscetível a uma destruição simétrica por uma versão do argumento dos grandes números. No capítulo 3, pensamos em todos os animais reais e concebíveis situados em um gigantesco hiperespaço. Estamos fazendo algo semelhante aqui, só que de um modo mais simplificado, considerando pontos de ramificação como bifurcações em vez de divisões em três ou dezoito ramos. Assim, o conjunto de todos os animais possíveis que poderiam ter evoluído em mil passos evolutivos está empoleirado em uma árvore gigantesca, com ramos e mais ramos, de modo que o número total de galhos

⁷ $2 \cdot 1000 = 2$ elevado à milésima potência

finais é 1 seguido de 301 zeros. Qualquer história evolutiva real pode ser representada como uma trajetória específica nessa árvore hipotética. De todas as trajetórias evolutivas concebíveis, apenas uma minoria poderia de fato ter acontecido. Podemos imaginar que a maior parte dessa "árvore de todos os animais possíveis" está escondida no escuro da inexistência. Aqui e ali algumas trajetórias na árvore escura estão iluminadas: são as trajetórias evolutivas que realmente aconteceram e, por mais numerosos que sejam esses ramos iluminados, ainda assim constituem uma minoria infinitesimal do conjunto de todos os ramos. A seleção natural é um processo capaz de escolher seu caminho na árvore de todos os animais possíveis e encontrar exatamente aquela minoria de caminhos que são viáveis. A teoria da seleção natural não pode ser criticada com o tipo de argumento dos grandes números com o qual critiquei a teoria de Dover, pois é da essência da teoria da seleção natural estar continuamente descartando a maioria dos ramos da árvore. É isso precisamente o que a seleção natural faz. Ela escolhe seu caminho, passo a passo, na árvore de todos os animais concebíveis, evitando a quase infinitamente grande maioria de ramos estéreis - animais com olhos na sola dos pés etc. que a teoria de Dover é obrigada a admitir devido à natureza de sua peculiar lógica invertida.

Já tratamos de todas as pretensas alternativas à teoria da seleção natural, exceto a mais antiga delas: a teoria de que a vida foi criada, ou sua evolução arquitetada, por um designer consciente. É óbvio que seria injustamente fácil demolir alguma versão específica dessa teoria, como a descrita (ou as descritas, pois podem ser duas) no Gênesis. Quase todos os povos elaboraram seu próprio mito sobre a criação, e a história do Gênesis é apenas aquela que foi adotada por uma tribo específica de pastores do Oriente Médio. Seu status não é superior ao da crença de uma determinada tribo da África Ocidental, para quem o mundo foi criado do excremento de formigas. Todos esses mitos têm em comum a dependência das intenções de algum tipo de ser sobrenatural.

À primeira vista existe uma distinção importante a ser feita entre o que se poderia chamar de "criação instantânea" e "evolução guiada". Os teólogos modernos com um mínimo grau de refinamento desistiram de acreditar na criação instantânea. Os indícios de que existiu de fato algum tipo de evolução tornaram-se avassaladores. Mas muitos teólogos que se intitulam evolucionistas, por exemplo, o bispo de Birmingham citado no capítulo 2, enfiam Deus clandestinamente pela porta dos fundos: permitem-lhe algum tipo de supervisão no rumo tomado pela

evolução, seja influenciando momentos cruciais na história evolutiva (especialmente, é claro, na história evolutiva humana), seja até mesmo imiscuindo-se de um modo mais abrangente nos eventos cotidianos que contribuem para a mudança evolutiva.

Não podemos refutar crenças como essas, especialmente se for suposto que Deus cuidou para que suas intervenções sempre imitassem estritamente o que se esperaria da evolução pela seleção natural. Tudo o que podemos afirmar sobre essas crenças é, primeiro, que elas são supérfluas, e, segundo, que elas supõem a existência da principal coisa que desejamos explicar, ou seja, a complexidade organizada. O que faz da evolução uma teoria tão impecável é o fato de ela explicar como a complexidade organizada pode surgir da simplicidade primitiva.

Se queremos postular uma deidade capaz de arquitetar toda a complexidade organizada do mundo, seja instantaneamente, seja pela evolução guiada, essa deidade já tem de ser imensamente complexa antes de tudo. O criacionista, fanático invocador da Bíblia ou bispo culto, simplesmente postula um ser já existente dotado de prodigiosa inteligência e complexidade. Se nos permitirmos o luxo de postular a complexidade organizada sem apresentar uma explicação, poderemos muito bem continuar no mesmo caminho e simplesmente postular a existência da vida como a conhecemos! Em suma, a criação divina, instantânea ou na forma da evolução guiada, junta-se à lista das outras teorias que examinamos neste capítulo. Todas dão uma impressão superficial de serem alternativas ao darwinismo, cujos méritos podem ser testados recorrendo-se aos indícios. Todas elas, diante de um exame mais atento, mostram que absolutamente não são rivais do darwinismo. A teoria da evolução pela seleção natural cumulativa é a única teoria conhecida que, em seus fundamentos, é capaz de explicar a existência da complexidade organizada. Mesmo se os indícios não a favorecessem, ela ainda assim seria a melhor teoria disponível! Na verdade, os indícios a favorecem. Mas essa é uma outra história.

Vejamos a conclusão de todo o assunto. A essência da vida é uma improbabilidade estatística em uma escala colossal. Portanto, seja qual for a explicação da vida, não pode ser o acaso. A verdadeira explicação da existência da vida tem de incorporar a própria antítese do acaso. A antítese do acaso é a sobrevivência não aleatória, adequadamente compreendida. A sobrevivência não aleatória compreendida inadequadamente não é a antítese do acaso, é o próprio acaso. Existe um contínuo ligando esses dois extremos, que é o contínuo que vai da seleção de um só passo à

seleção cumulativa. A seleção de um só passo é apenas um outro modo de designar o puro acaso. É isso que quero dizer com sobrevivência não aleatória inadequadamente compreendida. A seleção cumulativa, por etapas lentas e graduais, é a explicação, a única explicação exequível já proposta, para a existência do complexo design dos seres vivos.

Todo este livro foi dominado pela idéia do acaso, pelas probabilidades infinitamente pequenas do surgimento espontâneo da ordem, complexidade e aparente desígnio. Buscamos um modo de domesticar o acaso, de arrancar suas presas. O "acaso selvagem", o acaso puro e simples, indica um design ordenado brotando do nada em um único salto. Seria um acaso selvagem se em algum momento não existisse um olho e então, de súbito, num átimo que é a vida de uma única geração, um olho aparecesse, totalmente formado, perfeito e inteiro. Isso é possível, mas as probabilidades contra sua ocorrência nos manteriam ocupados escrevendo zeros até o fim dos tempos. O mesmo se aplica às probabilidades contra a existência espontânea de quaisquer seres totalmente formados, perfeitos e inteiros, incluindo - não vejo como evitar a conclusão - deidades.

"Domesticar" o acaso significa dividir o muito improvável em pequenos componentes menos improváveis organizados em séries. Não importa quanto seja improvável que um X possa ter surgido de um Y em um único passo, sempre é possível conceber uma série de intermediários infinitesimalmente graduados entre eles. Por mais improvável que uma mudança em grande escala possa ser, mudanças menores são menos improváveis. E, contanto que postulamos uma série grande o bastante de intermediários em uma graduação suficientemente pequena, seremos capazes de derivar qualquer coisa de qualquer outra coisa, sem invocar improbabilidades astronômicas. Temos permissão para fazer isso somente se houver decorrido tempo suficiente para encaixar todos os intermediários. E também somente se houver um mecanismo para guiar cada passo em alguma direção específica; caso contrário, a seqüência de passos se extraviará numa interminável caminhada aleatória.

A visão de mundo darwinista assevera que ambas essas condições são atendidas e que a seleção natural lenta, gradual e cumulativa é a explicação decisiva para nossa existência. Se existem versões da teoria da evolução que negam o gradualismo lento e o papel central da seleção natural, elas podem estar certas em casos particulares. Mas não podem ser toda a verdade, pois negam o próprio cerne da teoria da evolução, que lhe confere o poder de dissolver improbabilidades astronômicas e explicar prodígios aparentemente milagrosos.

Bibliografia

1. Alberts, B.; Bray, D.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K. & Watson, J. D. *Molecular Biology of the Cell* (Nova York: Garland, 1983).

2. Anderson, D. M. "Role of Interfacial Water and Water in Thin Films in the Origin of Life" in J. Billingham (ed.), *Life in the Universe* (Cambridge, Mass.: MIT Press, 1981).

3. Andersson, M. "Female Choice Selects for Extreme Tail Length in a Widow Bird". *Nature*, v. 299 (1982), pp.818-20.

4. Arnold, S. J. "Sexual Selection: the Interface of Theory and Empiricism", in P. P. G. Bateson (ed.), *Mate Choice* (Cambridge: Cambridge University Press).

5. Asimov, I. *Only a Trillion* (Londres: Abelard-Schuman, 1957).

6. Asimov, I. *Extraterrestrial Civilizations* (Londres: Pan, 1980).

7. Asimov, I. *In the Beginning* (Londres: New English Library, 1981).

8. Atkins, P. W. *The Creation* (Oxford: W. H. Freeman, 1981).

9. Attenborough, D. *Life on Earth* (Londres: Reader's Digest, Collins & BBC, 1980).

10. Barker, E. "Let There Be Light: Scientific Creationism in the Twentieth Century", in J. R. Durant (ed.), *Darwinism and Divinity* (Oxford: Basil Blackwell, 1985), pp. 189-204.

11. Bowler, P. J. *Evolution: the History of an Idea* (Berkeley: University of California Press, 1984).

12. Bowles, K. L. *Problein-Solving Using Pascal* (Berlim: Springer, 1977).
13. Cairns-Smith, A. G. *Genetic Takeover* (Cambridge: Cambridge University Press, 1982).
14. Cairns-Smith, A. G. *Seven Clues to the Origin of Life* (Cambridge: Cambridge University Press, 1985).
15. Cavalli-Sforza, L. & Feldman, M. *Cultural Transmission and Evolution* (Princeton, N.J.: Princeton University Press, 1981).
16. Cott, H. B. *Adaptive Coloration in Animals* (Londres: Methuen, 1940).
17. Crick, F. *Life Itself* (Londres: Macdonald, 1981).
18. Darwin, C. *The Origin of Species* (Londres: Penguin [1859]).
19. Dawkins, M. S. *Unravelling Animal Behaviour* (Londres: Longman, 1986).
20. Dawkins, R. *The Selfish Gene* (Oxford: Oxford University Press, 1976).
21. Dawkins, R. *The Extended Phenotype* (Oxford: Oxford University Press, 1982).
22. Dawkins, R. "Universal Darwinism" in D. S. Bendall (ed.), *Evolution from Moleccttie s to Men* (Cambridge: Cambridge University Press, 1982), pp. 403-25.
23. Dawkins, R. & Krebs, J. R. "Arms Races Between and Within Species". *Proceedings of the Royal Society of London, B*, 205 (1979), pp. 489-511.
24. Douglas, A. M. "Tigers in Western Australia". *New Scientist*, v. 110 (1986), pp. 44-7.
25. Dover, G. A. "Improbable Adaptations and Maynard Smith's Dilemma" (manuscrito inédito e duas conferências), Oxford, 1984.

26. Dyson, F. *Origins of Life* (Cambridge: Cambridge University Press, 1985).

27. Eigen, M.; Gardiner, W.; Schuster, P. & Winkler-Oswatitsch. "The Origin of Genetic Information" *Scientific American*, v. 244, n. 4 (1981), pp. 88-118.

28. Eisner, T. "Spray Aiming in Bombardier Beetles: Jet Deflection by the Coander Effect", *Science*, v.215 (1982), pp.83-5.

29. Eldredge, N. *Time Frames: the Ret hinking of Darwinian Evolution and the theory of Punctuated Equilibria* (Nova York: Simon & Schuster, 1985) [com o artigo original de Eldredge e Gould].

30. Eldredge, N. *Unfinished Synthesis: Biological Hierarchies and Modern Evolutionary Thought* (Nova York: Oxford University Press, 1985).

31. Fisher, R. A. *The Genetical Theory of Natural Selection* (Oxford: Clarendon, 1930); 2^a ed. em brochura (Nova York: Dover Publications).

32. Gillespie, N. C. *Charles Darwin and the Problem of Creation* (Chicago: University of Chicago Press, 1979).

33. Goldschmidt, R. B. "Mimetic Polymorphism, a Controversial Chapter of Darwinism", *Quarterly Review of Biology*, v. 20 (1945), pp. 147-64, 205-30.

34. Gould, S. J. *The Panda's Thumb* (Nova York: W. W. Norton, 1980).

35. Gould, S. J. "Is a New and General Theory of Evolution Emerging?". *Paleo-biology*, v.6 (1980), pp. 119-30.

36. Gould, S. J. "The Meaning of Punctuated Equilibrium, and Its Role in Validating a Hierarchical Approach to Macroevolution" in R. Milkman (ed.), *Perspectives on Evolution* (Sunderland, Mass.: Sinauer, 1982), pp. 83-104.

37. Gribbin, J. & Cherfas, J. The Monkey Piczie (Londres: Bodley Head, 1982).

38. Griffin, D. R. Listening in the Dark (New Haven: Yale University Press, 1958).

39. Hallam, A. A Revolution in the Earth Sciences (Oxford: Oxford University Press, 1973).

40. Hamilton, W. D. & Zuk, M. "Heritable True Fitness and Bright Birds: a Role for Parasites?". Science, v. 218 (1982), pp. 384-7.

41. Hitching, F. The Neck of the Giraffe, or Where Darwin Went Wrong (Londres: Pan, 1982).

42. Ho, M-W. & Saunders, P. Beyond Neo-Darwinism (Londres: Academic Press, 1984).

43. Hoyle, E & Wickramasinghe, N. C. Evolution from Space (Londres: J. M. Dent, 1981).

44. Hull, D. L. Darwin and His Critics (Chicago: Chicago University Press, 1973).

45. Jacob, E The Possible and the Actual (Nova York: Pantheon, 1982).

46. Jerison, H. I. "Issues in Brain Evolution", in R. Dawkins & M. Ridley (eds.), Oxford Surveys in Evolutionary Biology, 2 (1985), pp. 102-34.

47. Kimura, M. The Neutral Theory of Molecular Evolution (Cambridge: Cambridge University Press, 1982).

48. Kitcher, P. Abusing Science. the Case Against Creationism (Milton Keynes: Open University Press, 1983).

49. Land, M. F. "Optics and Vision in Invertebrates" in H. Autrum (ed.), Handbook of Sensory Physiology (Berlin: Springer, 1980), pp. 471 -592.

50. Lande, R. "Sexual Dimorphism, Sexual Selection, and Adaptation in Polygenic Characters". Evolution, v. 34 (1980), pp. 292-305.

51. Lande, R. "Models of Speciation by Sexual Selection of Polygenic Traits" Proceedings of the National Academy of Sciences, 78 (1981), pp. 3721-5.

52. Leigh, E. G. "How Does Selection Reconcile Individual Advantage with the Good of the Group?". Proceedings of the National Academy of Sciences, 74 (1977), pp. 4542 -6.

53. Lewontin, R. C. & Levins, R. "The Problem of Lysenkoism", in H. & S. Rose (eds.), The Radicalization of Science (London: Macmillan, 1976).

54. Mackie, J. L. The Miracle of Theism (Oxford: Clarendon Press, 1982).

55. Margulis, L. Symbiosis in Cell Evolution (San Francisco: W.H. Freeman, 1981).

56. Maynard Smith, J. "Current Controversies in Evolutionary Biology", in M. Grene (ed.), Dimensions of Darwinism (Cambridge: Cambridge University Press, 1983), pp. 273-86.

57. Maynard Smith, J. The Problems of Biology (Oxford: Oxford University Press, 1986).

58. Maynard Smith, J. et al. "Developmental Constraints and Evolution". Quarterly Review of Biology, v. 60 (1985), pp. 265-87.

59. Mayr, E. Animal Species and Evolution (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1963).

60. Mayr, E. Principles of Systematic Zoology (Nova York: McGraw-Hill, 1969).

61. Mayr, E. The Growth of Biological Thought (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1982).

465

62. Monod, J. Chance and Necessity (Londres: Fontana, 1972).

63. Montefiore, H. The Probability of God (Londres: SCM Press, 1985).

64. Morrison, P.; Morrison, P.; Eames, C. & Eames, R. Powers of Ten (Nova York: Scientific American, 1982).

65. Nagel, T. "What Is It Like to Be a Bat?", Philosophical Review. Reproduzido em D. R. Hofstadter & D. C. Dennett (eds.), The Mind's 1 (Brighton: Harvester, 1974), pp. 391-403.

66. Nelkin, D. "The Science text book Controversies" in Scientific American, v. 234 (1976), pp. 33-9.

67. Nelson, G. & Platnick, N. I. "Systematics and Evolution", in M-W Ho & P. Saunders (eds.), Beyond Neo-Darwinism (Londres: Academic Press, 1984).

68. O'Donald, P. "Sexual Selection by Females Choice" in P. P. G. Bateson (ed.), Mate Choice (Cambridge: Cambridge University Press, 1983), pp. 53-66.

69. Orgel, L. E. The Origins of Life (Nova York: Wiley, 1973).

70. Orgel, L. E. "Selection in Vitro". Proceedings of the Royal Society of London, B, 205 (1979), pp.435-42.

71. Paley; W. Natural Theolog, v, 2. ed. (Oxford: J.Vincent, 1828).

72. Penney, D., Foulds, L. R., Hendy, M. D. "Testing the Theory of Evolution by Comparing Phylogenetic Trees Constructed from Five Different Protein Sequences". *Nature*, v. 297 (1982), pp. 197-200.

73. Ridley, M. "Coadaptation and the Inadequacy of Natural Selection". *British Journal for the History of Science*, v. 15 (1982), pp. 45-68.

74. Ridley, M. *The Problems of Evolution* (Oxford: Oxford University Press, 1986).

75. Ridley, M. *Evolution and Classification: the Reformation of Cladism* (London: Longman, 1986).

76. Ruse, M. *Darwinism Defended* (London: Addison-Wesley, 1982).

77. Sales, G. & Pye, D. *Ultrasonic Communication by Animals* (London: Chapman & Hall, 1974).

78. Simpson, G. G. *Splendid Isolation* (New Haven: Yale University Press, 1980).

79. Singer, P. *Animal Liberation* (London: Cape, 1976).

80. Smith, J. L. B. *Old Fourlegs: the Story of the Coelacanth* (London: Longmans, Green, 1956).

81. Sneath, P. H.A. & Sokal, R. R. *Numerical Taxonomy* (San Francisco: W. H. Freeman, 1973).

82. Spiegelman, S. "An in Vitro Analysis of a Replicating Molecule". *American Scientist*, v. 55 (1967), pp. 63-8.

83. Stebbins, G. L. *Darwin to DNA, Molecules to Humanity* (San Francisco: W. H. Freeman, 1982).

84. Thompson, S. P. *Calculus Made Easy* (London: MacMillan, 1910).

85. Trivers, R. L. Social Evolution (Menlo Park: Benjamin-Cummings, 1985).

86. Turner, J. R. G. "The Hypothesis that Explains Mimetic Resemblance Explains Evolution": the Gradualist-Salvationist Schism", in M. Grene (ed.), Dimensions of Darwinism (Cambridge: Cambridge University Press, 1983), pp. 129-69.

466

87. Van Valen, L. "A New Evolutionary Law", Evolutionary Theory, v. 1(1973), pp. 1-30.

88. Watson, J. D. Molecular Biology of the Gene (Menlo Park: Benjamin-Cummings, 1976).

89. Williams, G. C. Adaptation and Natural Selection (New Jersey: Princeton University Press, 1966).

90. Wilson, E. O. The Insect Societies (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1971).

91. Wilson, E. O. Biophilia (Cambridge, Mass.: Harvard University Press, 1984).

92. Young, J. Z. The Life of Vertebrates (Oxford: Clarendon, 1950).

Apêndice (1991)

Programas de computador e
"a evolução da evolutibilidade"

O programa de computador para os biomorfos descritos no capítulo 3 agora está disponível para computadores Apple Macintosh, RM

Nimbus e compatíveis com IBM. Todos os três programas têm os nove genes básicos necessários para produzir os biomorfos ilustrados no capítulo 3 e trilhões de outros semelhantes - ou não tão semelhantes. A versão do programa para Macintosh também possui uma série de genes adicionais, produzindo biomorfos "segmentados" (com "gradientes" de segmentação) e imagens biomórficas refletidas em vários planos de simetria. Esses realces do cromossomo biomórfico, juntamente com uma nova versão em cores do programa que está sendo desenvolvida para o Macintosh ii, ainda não lançada, levaram-me a refletir sobre a "evolução da evolutibilidade". Esta nova reimpressão de O relojoeiro cego é uma oportunidade de compartilhar algumas dessas reflexões. A seleção natural só pode atuar sobre o conjunto das variações produzidas pela mutação. A mutação é descrita como "aleatória" mas isto significa apenas que ela não é sistematicamente dirigida para a melhora. Ela é um subconjunto altamente não aleatório de todas as variações que podemos conceber. A mutação tem de agir alterando os processos da embriologia existente. Não se pode produzir um elefante por mutação se a embriologia existente é a embriologia de um polvo. Isto é bem óbvio. O que era menos óbvio para mim quando comecei a brincar com o programa expandido do Relojoeiro Cego é que nem todas as embriologias são igualmente "férteis" quando se trata de promover a evolução futura.

Imaginemos que um vasto espaço de oportunidade evolutiva subitamente se abriu - digamos, um continente deserto que de repente se tornou disponível em razão de uma catástrofe natural. Que tipos de animais preencherão o vácuo evolutivo? Seguramente, têm de ser descendentes de indivíduos bons em sobreviver nas condições pós-catástrofe. Porém, mais interessante é que alguns tipos de embriologia poderiam ser especialmente bons não só para a sobrevivência mas para a evolução. Talvez a razão de os mamíferos terem preponderado após a extinção dos dinossauros não seja apenas terem sido bons em sobreviver no mundo pós- dinossauros. Pode ser que o modo como os mamíferos desenvolvem um novo corpo também seja "bom" para fazer surgir uma grande variedade de tipos - carnívoros, herbívoros, mirmeecófagos, arborícolas, cavadores, nadadores etc. - e, portanto, podemos dizer que os mamíferos são bons de evolução.

O que isso tem a ver com os biomorfos computadorizados? Pouco depois de criar o programa para o Relojoeiro Cego, fiz experimentos com

outros programas de computador que eram iguais exceto pelo fato de empregarem uma embriologia básica diferente - uma outra regra fundamental para o desenho do corpo, sobre a qual a mutação e a seleção poderiam atuar. Esses outros programas, embora superficialmente semelhantes ao do Relojoeiro Cego, mostraram-se lamentavelmente empobrecidos no conjunto das possibilidades evolutivas que ofereciam. A evolução continuamente empacou em estéreis becos sem saída. A degeneração pareceu ser o resultado mais comum até mesmo da evolução mais cuidadosamente guiada. Em contraste, a embriologia de árvores ramificadas no cerne do programa do Relojoeiro Cego parecia sempre fértil em recursos evolutivos renováveis; não havia tendência à degeneração automática no decorrer da evolução - a riqueza, versatilidade, até mesmo beleza, pareciam ser indefinidamente renovadas à medida que cada geração passava velozmente.

Mesmo assim, por mais prolífica e variada que fosse a fauna biomórfica produzida pelo programa original do Relojoeiro Cego, eu continuamente me vi diante de aparentes barreiras ao prosseguimento da evolução. Se a embriologia do Relojoeiro Cego era evolutivamente tão superior àqueles programas alternativos, não poderia haver modificações, extensões da regra de desenho embriológico que pudessem tornar o próprio Relojoeiro Cego ainda mais pródigo em diversidade evolutiva? Ou - outro modo de levantar a mesma questão - poderia o cromossomo básico de nove genes ser expandido em direções férteis?

Ao criar o programa original do Relojoeiro Cego, deliberadamente tentei evitar empregar meus conhecimentos de biologia. Minha intenção era demonstrar o poder da seleção não aleatória da variação aleatória. Eu queria que a biologia, o design, a beleza, emergissem como resultado da seleção. Não queria que mais tarde me acusassem de tê-las embutido no programa assim que o escrevi. A embriologia da árvore ramificada do Relojoeiro Cego foi a primeira embriologia que tentei. O fato de eu ter tido sorte foi indicado por minha subsequente experiência decepcionante com embriologias alternativas. De qualquer modo, ao pensar em maneiras de expandir o "cromossomo básico", eu realmente me dei ao luxo de usar um pouco de meus conhecimentos de biologia e um pouco de intuição. Entre os grupos de animais que têm mais êxito evolutivo estão aqueles que possuem um plano corporal segmentado. E entre as características mais fundamentais dos planos corporais dos animais estão seus planos de simetria. Assim, os

novos genes que acrescentei ao cromossomo biomórfico controlavam variações na segmentação e simetria.

Nós, e todos os vertebrados, somos segmentados. Isto está evidente em nossas costelas e coluna vertebral, cuja natureza repetitiva podemos ver não apenas nos ossos, mas nos músculos, nervos e vasos sanguíneos associados. Mesmo a nossa cabeça é fundamentalmente segmentada, mas na cabeça do adulto a estrutura segmentada tornou-se obscura para todos que não são especialistas em anatomia embrionária. Os peixes são mais obviamente segmentados do que nós (pense na bateria de músculos dispostos ao longo da espinha dorsal de um arenque defumado). Nos crustáceos, insetos, centípedes e milípedes, a segmentação até se manifesta exteriormente. Neste aspecto, a diferença entre um centípede e uma lagosta é de homogeneidade. O centípede é como um longo trem de carga, com todos os vagões quase idênticos uns aos outros. A lagosta é como um trem com uma mistura heterogênea de vagões e carretas, todos basicamente os mesmos e com os mesmos apêndices emergindo de cada um. Mas, em alguns casos, os vagões estão soldados uns aos outros em grupos, e os apêndices tornaram-se grandes pernas ou quelas. Na região da cauda, os vagões são menores e mais uniformes, e seus apêndices laterais munidos de garras tornaram-se pequenos pliópodes.

Para tomar os biomorfos segmentados, fiz o óbvio: inventei um novo gene controlador do "Número de Segmentos" e outro controlador da "Distância entre Segmentos": Um biomorfo completo no velho estilo tornou-se um único segmento de um biomorfo no novo estilo.

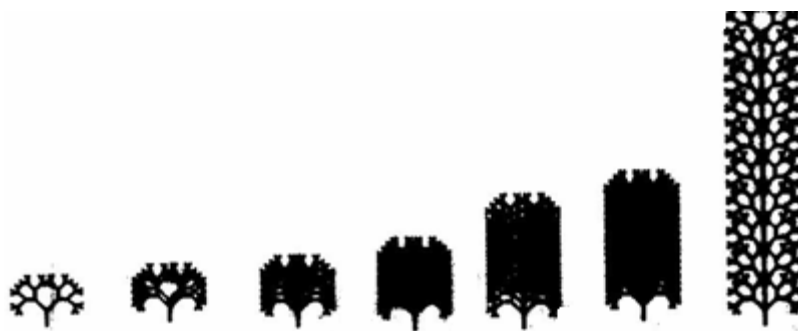


Figura 10

Vemos acima sete biomorfos quê diferem apenas em seu gene para o "Número de Segmentos" ou em seu gene para a "Distância entre Segmentos". O biomorfo à esquerda é nossa velha conhecida, a árvore ramificada, e os outros são apenas comboios repetitivos dispostos em série da mesma árvore básica. A árvore simples, como todos os biomorfos do Relojoeiro Cego original, é o caso especial de um "animal de um segmento".

Até aqui, falei apenas em segmentação uniforme, como a dos centípedes. Os segmentos da lagosta diferem uns dos outros de maneiras complexas. Um modo mais simples de variação dos segmentos é por meio de "gradientes". Os segmentos de um tatuzinho são mais parecidos entre si do que os da lagosta, porém não são tão uniformes quanto os de um milípede típico (na realidade, alguns aparentes "tatuzinhos", ou "bichos-de-conta", tecnicamente são milípedes). Um tatuzinho é estreito na dianteira e na traseira e largo no meio. À medida que examinamos o comboio de frente para trás, vemos que os segmentos têm um gradiente de tamanhos que culmina no meio. Outros animais segmentados, como os extintos trilobitas, são mais largos na dianteira e afilados na traseira. Têm um gradiente de tamanho mais simples, que culmina no final. Foi esse tipo de gradiente mais simples que procurei imitar em meus biomorfos segmentados. Fiz isso adicionando um número constante (que podia ser um número negativo) ao valor expresso de um gene específico, avançando da parte dianteira para a posterior. Nos três biomorfos a seguir, o da esquerda não tem gradientes, o do meio tem um gradiente no Gene 1, e o da direita, um no Gene 4.

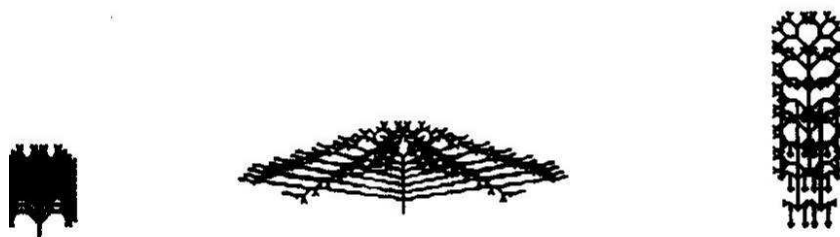


Figura 11

Depois de expandir o cromossomo biomórfico básico com esses dois genes e os associados genes de gradiente, eu estava pronto para libertar o novo estilo de embriologia biomórfica no computador e ver o que ele podia fazer em matéria de evolução. Comparemos a figura abaixo com a figura 5 do capítulo 3, cujos biomorfos não têm segmentação.

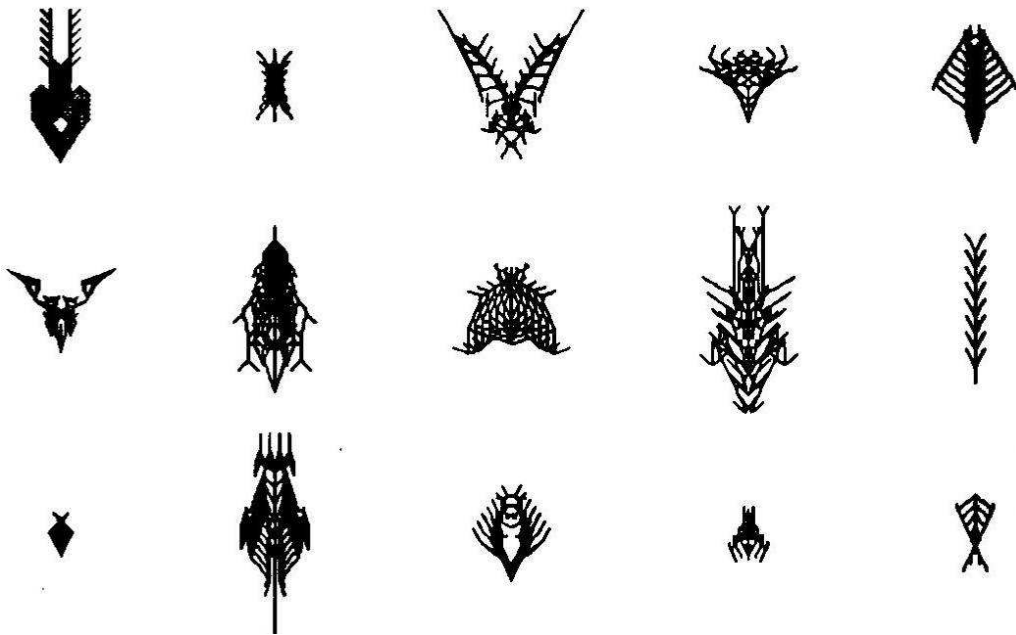


Figura 12

Acho que o leitor concordará que um conjunto de versatilidade evolutiva mais "biologicamente interessante" agora se tornou disponível. A "invenção" da segmentação, como um novo avanço da embriologia, abriu as comportas do potencial evolutivo na Terra dos Biomorfos computadorizados. Suponho que alguma coisa desse tipo ocorreu na origem dos vertebrados e na origem dos primeiros ancestrais segmentados dos insetos, lagostas e milípedes. A invenção da segmentação foi um divisor de águas na evolução.

⁸ Este livro foi digitalizado e distribuído GRATUITAMENTE pela equipe Digital Source com a intenção de facilitar o acesso ao conhecimento a quem não pode pagar e também proporcionar aos Deficientes Visuais a oportunidade de conhecer novas obras.

Se quiser outros títulos nos procure http://groups.google.com/group/Viciados_em_Livros, será um prazer recebê-lo em nosso grupo.

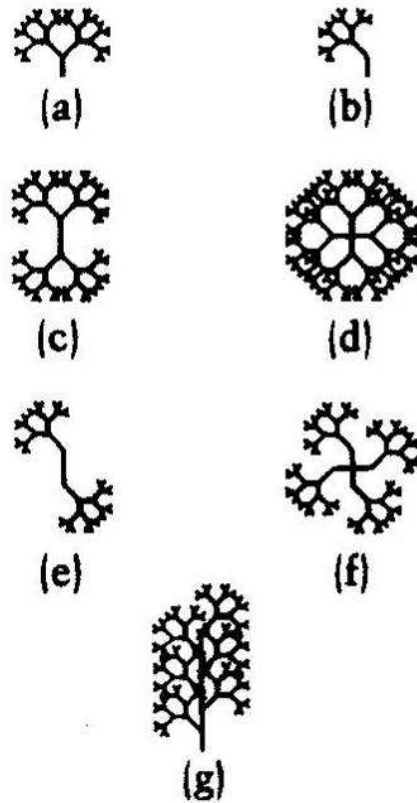


Figura 13

A simetria foi outra inovação óbvia. Os biomorfos originais do Relojoeiro Cego estavam todos sujeitos à restrição de serem simétricos na linha média. Introduzi um novo gene para tornar isso opcional. Esse novo gene determinava se um biomorfo com seus nove valores de genes originais ajustados aos da árvore básica se parecia com (a) ou com (b). Outros genes determinavam se havia reflexão simétrica no plano superior/inferior (c) ou uma simetria total nas quatro direções (d). Esses novos genes podiam variar em todas as combinações, como em (e) e (f). Quando animais segmentados eram assimétricos no plano da linha média, introduzi uma restrição inspirada na botânica: segmentos alternados deviam ser assimétricos em direções opostas, como em (g). Armado desses genes adicionais, novamente empreendi um vigoroso programa de cruzamentos, para ver se a nova embriologia poderia promover uma evolução mais exuberante do que a velha. Eis um conjunto de biomorfos segmentados com assimetria na linha média:

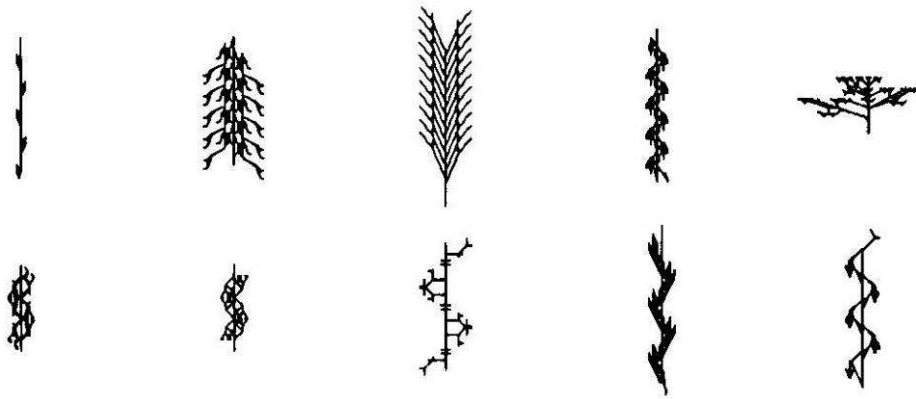


Figura 14

E aqui estão alguns biomorfos com simetria radial cuja segmentação, se houver, pode ser tão misteriosa quanto a da cabeça do humano adulto:

humano adulto:

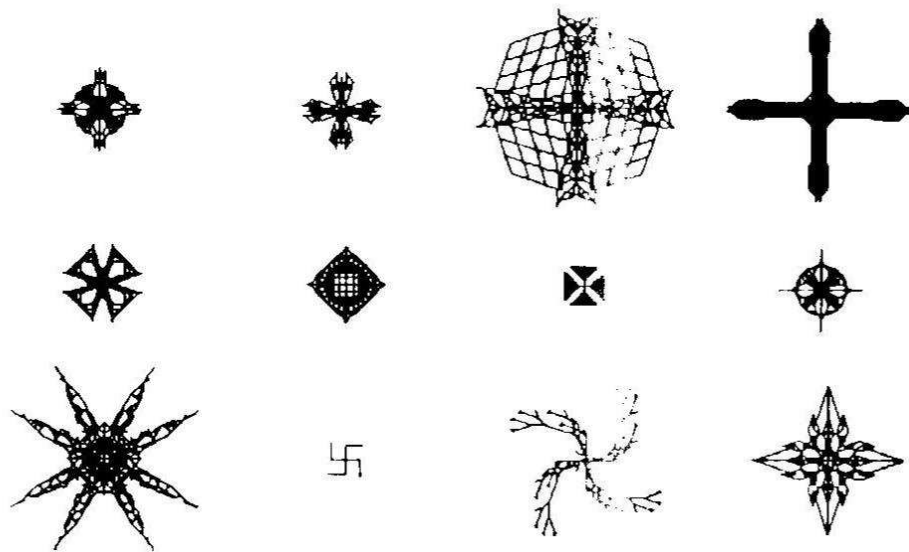


Figura 15

O gene para a simetria radial total tenta o selecionador a induzir a criação de belos padrões abstratos em vez dos biologicamente realistas que eu procurei de antemão. E isso se aplica ainda mais à versão em cores do programa que estou desenvolvendo.

Um grupo de animais, os equinodermos (incluindo estrelas-do-mar, ouriços-do-mar, ofiuróides e lírios-do-mar), destaca-se por sua simetria em cinco lados. Tenho certeza de que, por mais que eu ou qualquer outra pessoa tente, nunca encontraremos uma simetria em cinco lados emergindo por mutação aleatória da embriologia existente. Isso exigiria uma nova inovação "divisora de águas" na embriologia biomórfica, e eu não tentei descobri-la.

Mas na natureza às vezes aparecem estrelas-do-mar e ouriços-do-mar anômalos, com quatro ou seis braços em vez dos cinco usuais. Enquanto eu explorava a Terra dos Biomorfos, encontrei formas superficialmente semelhantes às da estrela-do-mar e do ouriço-do-mar, que me encorajaram a tentar a seleção visando ao aumento dessa semelhança. Eis uma coleção de Wiemorfos parecidos com equinodermos, embora nenhum deles tenha os cinco braços exigidos:

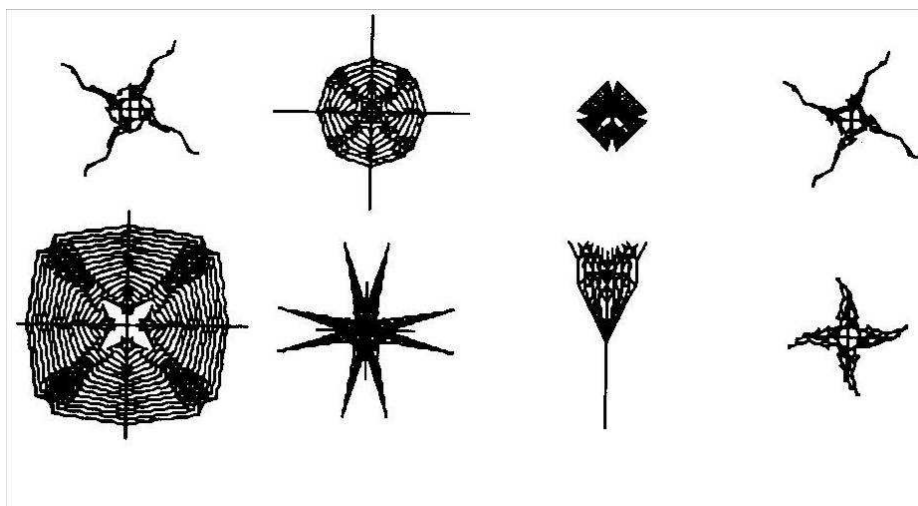


Figura 16

Como teste final da versatilidade de minha nova embriologia biomórfica, impus-me a tarefa de fazer surgir um alfabeto biomórfico suficientemente apropriado para escrever meu nome. Toda vez que encontrava um biomorfo que se assemelhava, mesmo que ligeiramente, a uma letra do alfabeto, eu fazia cruzamentos e mais cruzamentos para aumentar a semelhança. O veredicto para os resultados dessa empreitada ambiciosa é, no mínimo, misto. O "I" e o "N" são quase perfeitos. "A" e "H" são decentes, embora um tanto desajeitados. O "D" é bem ruinzinho, e desconfio que produzir um "K" que se preze é simplesmente impossível - tive de trapacear, pedindo emprestado o traço ascendente do "W". Acho que mais um gene teria de ser adicionado para que um "K" plausível pudesse evoluir.

RICHARD DAWKINS

Figura 17

Após minha tentativa semi-analfabeta de escrever meu próprio nome, tive mais sorte em fazer evoluir o nome do inspirado artefato no qual todo este trabalho foi feito:

MACINTOSH

Figura 18

Tenho uma forte impressão, corroborada, espero, por estas ilustrações, de que a introdução de algumas mudanças radicais na embriologia fundamental dos biomorfos descortinou um novo panorama de possibilidades evolutivas que não podia ser percebido com o programa original descrito no capítulo 3. E, como afirmei anteriormente, acredito que algo semelhante aconteceu em vários momentos críticos da evolução de alguns grupos destacados de animais e plantas. A invenção da segmentação por nossos ancestrais, e separadamente pelos ancestrais dos insetos e crustáceos, é provavelmente apenas um dos vários exemplos de eventos "divisores de águas" em nossa história evolutiva. Esses eventos divisores de águas, pelo menos quando vistos com a sabedoria da visão retrospectiva, são de um tipo diferente do das mudanças evolutivas usuais. Nossos primeiros ancestrais segmentados, e o primeiro ancestral segmentado das minhocas e insetos, podem não ter sido particularmente bons em sobreviver como indivíduos - embora obviamente sobrevivessem como indivíduos, ou nós, seus descendentes, não estaríamos aqui. O que desejo mostrar aqui é que a invenção da segmentação por esses ancestrais foi mais significativa do que apenas uma nova técnica para sobreviver, como dentes mais afiados ou visão mais apurada. Quando a segmentação foi adicionada aos procedimentos embrionários de nossos ancestrais, independentemente de os animais individuais terem se tornado melhores em

matéria de sobrevivência, as linhagens às quais eles pertenciam subitamente se tornaram melhores em matéria de evolução.

Os animais modernos - nós, os vertebrados, e todos os nossos companheiros de viagem neste planeta - herdamos os genes de uma linhagem ininterrupta de ancestrais que foram bons em sobrevivência individual. Isso eu tentei deixar claro em O relojoeiro cego. Mas também herdamos os procedimentos embriológicos das linhagens ancestrais que foram boas em matéria de evolução. Tem havido uma espécie de seleção de ordem superior entre as linhagens, não por sua aptidão para sobreviver, mas por sua aptidão de mais longo prazo para evoluir. Trazemos conosco as melhoras acumuladas de numerosos eventos divisores de águas, dos quais a invenção da segmentação é apenas um exemplo. Não foram apenas os corpos e o comportamento que evoluíram em direções melhores. Poderíamos até mesmo dizer que a própria evolução evoluiu. Tem havido uma progressiva evolução da evolutibilidade.

A versão do programa do Relojoeiro Cego para Macintosh traz no menu opções para ativar ou desativar cada uma das principais categorias de mutação. Desativando todos os novos tipos de mutação, regressamos à versão inicial do programa (ou à presente versão para IBM). Depois de fazer surgir algumas gerações nessas condições, podemos ter alguma idéia da enorme variedade de faunas permitidas pelo programa inicial, mas também das suas limitações. Se, então, ativarmos, digamos, as mutações com segmentação, ou as mutações com simetria (ou se mudarmos de um IBM para um Macintosh!), podemos exultar com um pouco da sensação de libertação que deve ter acompanhado os grandes eventos divisores de águas da evolução.

Referência: Dawkins, R. (1989), "The evolution of evolvability". Em C. Langton (ed.), Artificial Life. New York: Addison-Wesley.

Orelhas do livro

Orelha esquerda:

Richard Dawkins, o mais influente cientista da evolução contemporâneo, não é exatamente um tipo conciliador. Outros livros seus, como O gene egoísta e A escalada do monte Improvável, marcaram época não só pela força expositiva, mas antes de tudo pelas polêmicas que suscitaram. Neste O relojoeiro cego - obra que se tornou clássica tão

logo foi lançada, em 1986 -, a verve e a paixão são as mesmas; variam, entretanto, o ângulo de abordagem e o tom do argumento.

Desta vez, não se trata apenas de expor a coerência interna e as bases empíricas do darwinismo. Dawkins não quer pregar aos já convertidos: quer conquistar novos adeptos para o evolucionismo e, mais amplamente, para o pensamento científico. Para tanto, há que desfazer duas confusões.

Primeiro, Dawkins mostra que o darwinismo não é uma teoria do acaso "cego", uma vez que não procura explicar o surgimento dos seres vivos por meio do acúmulo de casualidades favoráveis. Ao contrário, a seleção natural é tudo menos aleatória: a sobrevivência é um jogo árduo, de regras estritas e definidas. Desmonta-se então a alternativa tendenciosa "acaso versus designio divino", proposta pelas várias versões do criacionismo.

Em seguida a essa desmontagem, o autor enfrenta a tarefa mais delicada: desfazer o mal-estar que o binômio básico da moderna síntese de darwinismo e genética - pressão seletiva e mutação gênica - costuma causar a tantos

Orelha direita:

leigos. De fato, haverá modo de conciliar a aparente magreza conceitual com a pujança e a variedade do mundo natural? Será possível professar o darwinismo sem perder a admiração que a complexidade dos seres vivos sabe nos causar?

Dawkins não poupa esforços e exemplos para demonstrar que o darwinismo tem tudo para avivar nosso espanto diante dos resultados da evolução, esse relojoeiro cego que consegue produzir obras tão refinadas a partir de elementos tão simples.

Richard Dawkins nasceu em Nairóbi (Quênia), em 1941, e educou-se na Inglaterra. Lecionou zoologia nas universidades da Califórnia e em Oxford, onde desde 1995 ocupa a cátedra de Compreensão Pública da Ciência. Obras de sua autoria publicadas no Brasil: O gene egoísta (Itatiaia/EDUSP), O rio que saía do Éden (Rocco) e, pela Companhia das

Letras, A escalada do monte Improvável, Desvendando o arco-íris e O Capelão do Diabo.

Copyright © 1986 by Richard Dawkins Copyright do Apêndice © 1991 by Richard Dawkins

Título original The Blind Watchmaker

Capa João Baptista da Costa Aguiar

Índice remissivo Rosângela de Souza Mainente

Preparação Cássio de Arantes Leite

Revisão Carmen S. da Costa Isabel Jorge Cury

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (civ) (Câmara Brasileira do Livro, SP Brasil)

Dawkins, Richard, 1941-

O relojoeiro cego A teoria da evolução contra o desígnio divino / Richard Dawkins tradução Laura Teixeira Moita. São Paulo Companhia das Letras, 2001.

Título original: The blind watchmaker. Bibliografia ISBN 85-359-0161-2

1. Evolução (Biologia) 2. Seleção natural I. Título.

01-3967 CDL-576.82

Índices para catálogo sistemático: 1. Darwinismo : Evolução : Ciência da vida 576.82 2. Evolucionismo : Ciência da vida 576.82 3. Seleção natural : Evolução : Ciência da vida 576.82

[2005]



http://groups.google.com/group/Viciados_em_Livros

<http://groups.google.com/group/digitalsource>