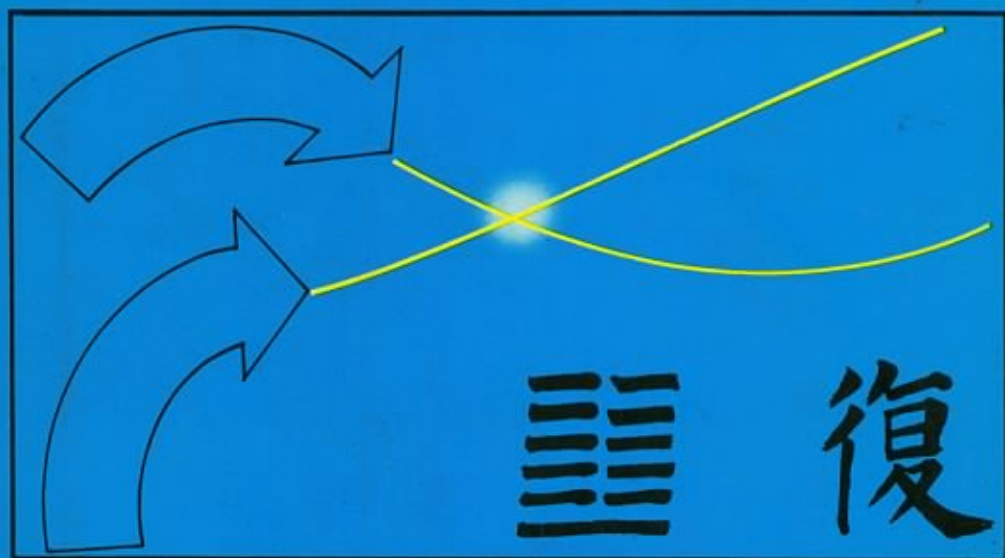


FRITJOF CAPRA

Autor de O TAO DA FÍSICA

O PONTO DE MUTACÃO

A Ciência, a Sociedade e a Cultura emergente



Uma convincente visão de uma nova realidade.
A reconciliação da ciência e do espírito humano
e o futuro que está para acontecer.

CULTRIX

Título do original:
The Turning Point

Copyright © 1982 by Fritjof Capra

Revisão técnica da tradução:
NEWTON ROBERVAL EICHEMBERG



Ao término de um período de decadência sobrevém o ponto de mutação. A luz poderosa que fora banida ressurge. Há movimento, mas este não é gerado pela força... O movimento é natural, surge espontaneamente. Por essa razão, a transformação do antigo torna-se fácil. O velho é descartado, e o novo é introduzido. Ambas as medidas se harmonizam com o tempo, não resultando daí, portanto, nenhum dano.

I Ching

Edição

16-17-18-19-20

Ano

94-95-96-97

Direitos reservados

EDITORA CULTRIX LTDA.

Rua Dr. Mário Vicente, 374 - 04270 São Paulo, SP - Fone: 272-1399

Impresso nas oficinas gráficas da Editora Pensamento.

Índice

Prefácio	13
I. Crise e transformação	17
1. A inversão da situação	19
II. Os dois paradigmas	47
2. A máquina do mundo newtoniana	49
3. A nova física	70
III. A influência do pensamento cartesiano-newtoniano	93
4. A concepção mecanicista da vida	95
5. O modelo biomédico	116
6. A psicologia newtoniana	156
7. O impasse da economia	180
8. O lado sombrio do crescimento	226
IV. A nova visão da realidade	257
9. A concepção sistêmica da vida	259
10. Holismo e saúde	299
11. Jornadas para além do espaço e do tempo	351
12. A passagem para a Idade Solar	380
Notas	411
Bibliografia	431

II

Os dois paradigmas

2. A máquina do mundo newtoniana

A visão do mundo e o sistema de valores que estão na base de nossa cultura, e que têm de ser cuidadosamente reexaminados, foram formulados em suas linhas essenciais nos séculos XVI e XVII. Entre 1500 e 1700 houve uma mudança drástica na maneira como as pessoas descreviam o mundo e em todo o seu modo de pensar. A nova mentalidade e a nova percepção do cosmo propiciaram à nossa civilização ocidental aqueles aspectos que são característicos da era moderna. Eles tornaram-se a base do paradigma que dominou a nossa cultura nos últimos trezentos anos e está agora prestes a mudar.

Antes de 1500, a visão do mundo dominante na Europa, assim como na maioria das outras civilizações, era orgânica. As pessoas viviam em comunidades pequenas e coesas, e vivenciavam a natureza em termos de relações orgânicas, caracterizadas pela interdependência dos fenômenos espirituais e materiais e pela subordinação das necessidades individuais às da comunidade. A estrutura científica dessa visão de mundo orgânica assentava em duas autoridades: Aristóteles e a Igreja. No século XIII, Tomás de Aquino combinou o abrangente sistema da natureza de Aristóteles com a teologia e a ética cristãs e, assim fazendo, estabeleceu a estrutura conceitual que permaneceu incontestada durante toda a Idade Média. A natureza da ciência medieval era muito diferente daquela da ciência contemporânea. Baseava-se na razão e na fé, e sua principal finalidade era compreender o significado das coisas e não exercer a predição ou o controle. Os cientistas medievais, investigando os desígnios subjacentes nos vários fenômenos naturais, consideravam do mais alto significado as questões referentes a Deus, à alma humana e à ética.

A perspectiva medieval mudou radicalmente nos séculos XVI e XVII. A noção de um universo orgânico, vivo e espiritual foi substituída pela noção do mundo como se ele fosse uma máquina, e a máquina do mundo converteu-se na metáfora dominante da era moderna. Esse desenvolvimento foi ocasionado por mudanças revolucionárias na física e na astronomia, culminando nas realizações de Copérnico, Galileu e Newton. A ciência do século XVII baseou-se num novo método de investigação, defendido vigorosamente por

Francis Bacon, o qual envolvia a descrição matemática da natureza e o método analítico de raciocínio concebido pelo gênio de Descartes. Reconhecendo o papel crucial da ciência na concretização dessas importantes mudanças, os historiadores chamaram os séculos XVI e XVII de a Idade da Revolução Científica.

A revolução científica começou com Nicolau Copérnico, que se opôs à concepção geocêntrica de Ptolomeu e da Bíblia, que tinha sido aceita como dogma por mais de mil anos. Depois de Copérnico, a Terra deixou de ser o centro do universo para tornar-se meramente um dos muitos planetas que circundam um astro secundário nas fronteiras da galáxia; e ao homem foi tirada sua orgulhosa posição de figura central da criação de Deus. Copérnico estava plenamente cômico de que sua teoria ofenderia profundamente a consciência religiosa de seu tempo; ele retardou sua publicação até 1543, ano de sua morte, e, mesmo assim, apresentou a concepção heliocêntrica como mera hipótese.

A Copérnico seguiu-se Johannes Kepler, cientista e místico que se empenhava em descobrir a harmonia das esferas, e terminou por formular, através de um trabalho laborioso com tabelas astronômicas, suas célebres leis empíricas do movimento planetário, as quais vieram corroborar o sistema de Copérnico. Mas a verdadeira mudança na opinião científica foi provocada por Galileu Galilei, que já era famoso por ter descoberto as leis da queda dos corpos quando voltou sua atenção para a astronomia. Ao dirigir o recém-inventado telescópio para os céus e aplicar seu extraordinário talento na observação científica dos fenômenos celestes, Galileu fez com que a velha cosmologia fosse superada, sem deixar margem para dúvidas, e estabeleceu a hipótese de Copérnico como teoria científica válida.

O papel de Galileu na revolução científica supera largamente suas realizações no campo da astronomia, embora estas sejam mais conhecidas por causa de seu conflito com a Igreja. Galileu foi o primeiro a combinar a experimentação científica com o uso da linguagem matemática para formular as leis da natureza por ele descobertas; é, portanto, considerado o pai da ciência moderna. “A filosofia*”, acreditava ele, “está escrita nesse grande livro que permanece sempre aberto diante de nossos olhos; mas não podemos entendê-la se não aprendermos primeiro a linguagem e os caracteres em que ela foi escrita. Essa linguagem é a matemática, e os caracteres são triângulos, círculos e outras figuras geométricas.”¹ Os dois aspectos pioneiros do trabalho de Galileu — a abordagem

* Da Idade Média até o século XIX, o termo “filosofia” foi usado numa acepção muito ampla e incluía o que hoje chamamos “ciência”. (N. do A.)

empírica e o uso de uma descrição matemática da natureza — tornaram-se as características dominantes da ciência no século XVII e subsistiram como importantes critérios das teorias científicas até hoje.

A fim de possibilitar aos cientistas descreverem matematicamente a natureza, Galileu postulou que eles deveriam restringir-se ao estudo das propriedades essenciais dos corpos materiais — formas, quantidades e movimento —, as quais podiam ser medidas e qualificadas. Outras propriedades, como som, cor, sabor ou cheiro, eram meramente projeções mentais subjetivas que deveriam ser excluídas do domínio da ciência². A estratégia de Galileu de dirigir a atenção do cientista para as propriedades quantificáveis da matéria foi extremamente bem sucedida em toda a ciência moderna, mas também exigiu um pesado ônus, como nos recorda enfaticamente o psiquiatra R. D. Laing: “Perderam-se a visão, o som, o gosto, o tato e o olfato, e com eles foram-se também a sensibilidade estética e ética, os valores, a qualidade, a forma; todos os sentimentos, motivos, intenções, a alma, a consciência, o espírito. A experiência como tal foi expulsa do domínio do discurso científico”³. Segundo Laing, nada mudou mais o nosso mundo nos últimos quatrocentos anos do que a obsessão dos cientistas pela medição e pela quantificação.

Enquanto Galileu realizava engenhosos experimentos na Itália, Francis Bacon descrevia explicitamente na Inglaterra o método empírico da ciência. Bacon foi o primeiro a formular uma teoria clara do procedimento indutivo — realizar experimentos e extrair deles conclusões gerais, a serem testadas por novos experimentos —, e tornou-se extremamente influente ao defender com vigor o novo método. Atacou frontalmente as escolas tradicionais de pensamento e desenvolveu uma verdadeira paixão pela experimentação científica.

O “espírito baconiano” mudou profundamente a natureza e o objetivo da investigação científica. Desde a Antiguidade, os objetivos da ciência tinham sido a sabedoria, a compreensão da ordem natural e a vida em harmonia com ela. A ciência era realizada “para maior glória de Deus” ou, como diziam os chineses, para “acompanhar a ordem natural” e “fluir na corrente do *tao*”⁴. Esses eram propósitos *yin*, ou integrativos; a atitude básica dos cientistas era ecológica, como diríamos na linguagem de hoje. No século XVII, essa atitude inverteu-se totalmente; passou de *yin* para *yang*, da integração para a auto-afirmação. A partir de Bacon, o objetivo da ciência passou a ser aquele conhecimento que pode ser usado para dominar e controlar a natureza e, hoje, ciência e tecnologia buscam sobretudo fins profundamente antiecológicos.

Os termos em que Bacon defendeu esse novo método empírico de investigação eram não só apaixonados mas, com frequência,

francamente rancorosos. A natureza, na opinião dele, tinha que ser “acossada em seus descaminhos”, “obrigada a servir” e “escravizada”. Devia ser “reduzida à obediência”, e o objetivo do cientista era “extrair da natureza, sob tortura, todos os seus segredos”⁵. Muitas dessas imagens violentas parecem ter sido inspiradas pelos julgamentos de bruxas que eram freqüentemente realizados no tempo de Bacon. Como chanceler da coroa no reinado de Jaime I, Bacon estava intimamente familiarizado com tais denúncias e libelos; e, como a natureza era comumente vista como fêmea, não deve causar surpresa o fato de ele ter transferido as metáforas usadas no tribunal para os seus escritos científicos. De fato, sua idéia da natureza como uma mulher cujos segredos têm que ser arrancados mediante tortura, com a ajuda de instrumentos mecânicos, sugere fortemente a tortura generalizada de mulheres nos julgamentos de bruxas do começo do século XVII⁶. A obra de Bacon representa, pois, um notável exemplo da influência das atitudes patriarcais sobre o pensamento científico.

O antigo conceito da Terra como mãe nutriente foi radicalmente transformado nos escritos de Bacon e desapareceu por completo quando a revolução científica tratou de substituir a concepção orgânica da natureza pela metáfora do mundo como máquina. Essa mudança, que viria a ser de suprema importância para o desenvolvimento subsequente da civilização ocidental, foi iniciada e completada por duas figuras gigantescas do século XVII: Descartes e Newton.

René Descartes é usualmente considerado o fundador da filosofia moderna. Era um brilhante matemático, e sua perspectiva filosófica foi profundamente afetada pelas novas física e astronomia. Ele não aceitava qualquer conhecimento tradicional, propondo-se a construir um novo sistema de pensamento. De acordo com Bertrand Russell, “isso não acontecia desde Aristóteles, e constitui um sinal da nova autoconfiança que resultou do progresso da ciência. Há em sua obra um frescor que não se encontra em qualquer outro filósofo eminente anterior, desde Platão”⁷.

Aos 23 anos de idade, Descartes teve uma visão iluminadora que iria moldar toda a sua vida⁸. Após muitas horas de intensa concentração, durante as quais reviu sistematicamente todo o conhecimento que tinha acumulado, percebeu, num súbito lampejo de intuição, os “alicerces de uma ciência maravilhosa” que prometia a unificação de todo o saber. Essa intuição tinha sido prenunciada numa carta dirigida a um amigo, na qual Descartes anunciou seu ambicioso objetivo: “E assim, para nada esconder de vós acerca da natureza de meu trabalho, gostaria de tornar público (...) uma

ciência completamente nova que resolveria em geral todas as questões de quantidade, contínua ou descontínua”⁹. Em sua visão, Descartes percebeu como poderia concretizar esse plano. Visualizou um método que lhe permitiria construir uma completa ciência da natureza, acerca da qual poderia ter absoluta certeza; uma ciência baseada, como a matemática, em princípios fundamentais que dispensam demonstração. Essa revelação impressionou-o muito. Descartes sentiu ter feito a suprema descoberta de sua vida e não duvidou de que sua visão resultara de uma inspiração divina. Essa convicção foi reforçada por um sonho extraordinário na noite seguinte, no qual a nova ciência lhe foi apresentada de forma simbólica. Descartes teve certeza de que Deus lhe apontava uma missão e dedicou-se à construção de uma nova filosofia científica.

A visão de Descartes despertou nele a firme crença na certeza do conhecimento científico; sua vocação na vida passou a ser distinguir a verdade do erro em todos os campos do saber. “Toda ciência é conhecimento certo e evidente”, escreveu ele. “Rejeitamos todo conhecimento que é meramente provável e consideramos que só se deve acreditar naquelas coisas que são perfeitamente conhecidas e sobre as quais não pode haver dúvidas.”¹⁰

A crença na certeza do conhecimento científico está na própria base da filosofia cartesiana e na visão de mundo dela derivada, e foi aí, nessa premissa essencial, que Descartes errou. A física do século XX mostrou-nos de maneira convincente que não existe verdade absoluta em ciência, que todos os conceitos e teorias são limitados e aproximados. A crença cartesiana na verdade científica é, ainda hoje, muito difundida e reflete-se no cientificismo que se tornou típico de nossa cultura ocidental. Muitas pessoas em nossa sociedade, tanto cientistas como não-cientistas, estão convencidas de que o método científico é o único meio válido de compreensão do universo. O método de pensamento de Descartes e sua concepção da natureza influenciaram todos os ramos da ciência moderna e podem ser ainda hoje muito úteis. Mas só o serão se suas limitações forem reconhecidas. A aceitação do ponto de vista cartesiano como verdade absoluta e do método de Descartes como o único meio válido para se chegar ao conhecimento desempenhou um importante papel na instauração de nosso atual desequilíbrio cultural.

A certeza cartesiana é matemática em sua natureza essencial. Descartes acreditava que a chave para a compreensão do universo era a sua estrutura matemática; para ele, ciência era sinônimo de matemática. Assim, ele escreveu, a respeito das propriedades dos objetos físicos: “Não admito como verdadeiro o que não possa ser deduzido, com a clareza de uma demonstração matemática, de noções comuns de cuja verdade não podemos duvidar. Como todos os fenômenos da natureza podem ser explicados desse modo, penso

que não há necessidade de admitir outros princípios da física, nem que sejam desejáveis”¹¹.

Tal como Galileu, Descartes acreditava que a linguagem da natureza — “esse grande livro que está permanentemente aberto ante nossos olhos” — era matemática, e seu desejo de descrever a natureza em termos matemáticos levou-o à sua mais célebre descoberta. Mediante a aplicação de relações numéricas a figuras geométricas, ele pôde correlacionar álgebra e geometria e, assim fazendo, estabeleceu um novo ramo da matemática, hoje conhecido como geometria analítica. Esta incluiu a representação de curvas por meio de equações algébricas cujas soluções estudou de modo sistemático. O novo método permitiu a Descartes aplicar um tipo muito geral de análise matemática ao estudo de corpos em movimento, de acordo com o seu grandioso plano de redução de todos os fenômenos físicos a relações matemáticas exatas. Assim, ele pôde afirmar, com grande orgulho: “Toda a minha física nada mais é do que geometria”¹².

O gênio de Descartes era o de um matemático, e isso também se evidencia em sua filosofia. Para executar seu plano de construção de uma ciência natural completa e exata, ele desenvolveu um novo método de raciocínio que apresentou em seu mais famoso livro, *Discurso do método*. Embora essa obra tenha se tornado um dos grandes clássicos da filosofia, sua proposição original não era ensinar filosofia, mas sim um método que servisse de introdução à ciência. O método de Descartes tinha por finalidade apontar o caminho para se chegar à verdade científica, como fica evidente no título completo do livro, *Discurso do método para bem conduzir a razão e procurar a verdade nas ciências*.

O ponto fundamental do método de Descartes é a dúvida. Ele duvida de tudo o que pode submeter à dúvida — todo o conhecimento tradicional, as impressões de seus sentidos e até o fato de ter um corpo —, e chega a uma coisa de que não pode duvidar, a existência de si mesmo como pensador. Assim chegou à sua famosa afirmação “*Cogito, ergo sum*”, “Penso, logo existo”. Daí deduziu Descartes que a essência da natureza humana reside no pensamento, e que todas as coisas que concebemos clara e distintamente são verdadeiras. À tal concepção clara e distinta — “a concepção da mente pura e atenta”¹³ — chamou ele “intuição”, afirmando que “não existem outros caminhos ao alcance do homem para o conhecimento certo da verdade, exceto a intuição evidente e a necessária dedução”¹⁴. O conhecimento certo, portanto, é obtido através da intuição e da dedução, e essas são as ferramentas que Descartes usa em sua tentativa de reconstrução do edifício do conhecimento sobre sólidos alicerces.

O método de Descartes é analítico. Consiste em decompor pensamentos e problemas em suas partes componentes e em dispô-las

em sua ordem lógica. Esse método analítico de raciocínio é provavelmente a maior contribuição de Descartes à ciência. Tornou-se uma característica essencial do moderno pensamento científico e provou ser extremamente útil no desenvolvimento de teorias científicas e na concretização de complexos projetos tecnológicos. Foi o método de Descartes que tornou possível à NASA levar o homem à Lua. Por outro lado, a excessiva ênfase dada ao método cartesiano levou à fragmentação característica do nosso pensamento em geral e das nossas disciplinas acadêmicas, e levou à atitude generalizada de reducionismo na ciência — a crença em que todos os aspectos dos fenômenos complexos podem ser compreendidos se reduzidos às suas partes constituintes.

O *cogito* cartesiano, como passou a ser chamado, fez com que Descartes privilegiasse a mente em relação à matéria e levou-o à conclusão de que as duas eram separadas e fundamentalmente diferentes. Assim, ele afirmou que “não há nada no conceito de corpo que pertença à mente, e nada na idéia de mente que pertença ao corpo”¹⁵. A divisão cartesiana entre matéria e mente teve um efeito profundo sobre o pensamento ocidental. Ela nos ensinou a conhecermos a nós mesmos como egos isolados existentes “dentro” dos nossos corpos; levou-nos a atribuir ao trabalho mental um valor superior ao do trabalho manual; habilitou indústrias gigantescas a venderem produtos — especialmente para as mulheres — que nos proporcionem o “corpo ideal”; impediu os médicos de considerarem seriamente a dimensão psicológica das doenças e os psicoterapeutas de lidarem com o corpo de seus pacientes. Nas ciências humanas, a divisão cartesiana redundou em interminável confusão acerca da relação entre mente e cérebro; e, na física, tornou extremamente difícil aos fundadores da teoria quântica interpretar suas observações dos fenômenos atômicos. Segundo Heisenberg, que se debateu com o problema durante muitos anos, “essa divisão penetrou profundamente no espírito humano nos três séculos que se seguiram a Descartes, e levará muito tempo para que seja substituída por uma atitude realmente diferente em face do problema da realidade”¹⁶.

Descartes baseou toda a sua concepção da natureza nessa divisão fundamental entre dois domínios separados e independentes: o da mente, ou *res cogitans*, a “coisa pensante”, e o da matéria, ou *res extensa*, a “coisa extensa”. Mente e matéria eram criações de Deus, que representava o ponto de referência comum a ambas e era a fonte da ordem natural exata e da luz da razão que habilitava a mente humana a reconhecer essa ordem. Para Descartes, a existência de Deus era essencial à sua filosofia científica, mas, em séculos subsequentes, os cientistas omitiram qualquer referência explícita a Deus e desenvolveram suas teorias de acordo com a divisão carte-

siana, as ciências humanas concentrando-se na *res cogitans* e as naturais, na *res extensa*.

Para Descartes, o universo material era uma máquina, nada além de uma máquina. Não havia propósito, vida ou espiritualidade na matéria. A natureza funcionava de acordo com leis mecânicas, e tudo no mundo material podia ser explicado em função da organização e do movimento de suas partes. Esse quadro mecânico da natureza tornou-se o paradigma dominante da ciência no período que se seguiu a Descartes. Passou a orientar a observação científica e a formulação de todas as teorias dos fenômenos naturais, até que a física do século XX ocasionou uma mudança radical. Toda a elaboração da ciência mecanicista nos séculos XVII, XVIII e XIX, incluindo a grande síntese de Newton, nada mais foi do que o desenvolvimento da idéia cartesiana. Descartes deu ao pensamento científico sua estrutura geral — a concepção da natureza como uma máquina perfeita, governada por leis matemáticas exatas.

A drástica mudança na imagem da natureza, de organismo para máquina, teve um poderoso efeito sobre a atitude das pessoas em relação ao meio ambiente natural. A visão de mundo orgânica da Idade Média implicava um sistema de valores que conduzia ao comportamento ecológico. Nas palavras de Carolyn Merchant:

“A imagem da terra como organismo vivo e mãe nutriente serviu como restrição cultural, limitando as ações dos seres humanos. Não se mata facilmente uma mãe, perfurando suas entranhas em busca de ouro ou mutilando seu corpo. (...) Enquanto a terra fosse considerada viva e sensível, seria uma violação do comportamento ético humano levar a efeito atos destrutivos contra ela”¹⁷.

Essas restrições culturais desapareceram quando ocorreu a mecanização da ciência. A concepção cartesiana do universo como sistema mecânico forneceu uma sanção “científica” para a manipulação e a exploração da natureza que se tornaram típicas da cultura ocidental. De fato, o próprio Descartes compartilhava do ponto de vista de Bacon, de que o objetivo da ciência é o domínio e controle da natureza, afirmando que o conhecimento científico podia ser usado para “nos tornarmos os senhores e dominadores da natureza”¹⁸.

Em sua tentativa de construir uma ciência natural completa, Descartes estendeu sua concepção mecanicista da matéria aos organismos vivos. Plantas e animais passaram a ser considerados simples máquinas; os seres humanos eram habitados por uma alma racional que estava ligada ao corpo através da glândula pineal, no centro do cérebro. No que dizia respeito ao corpo humano, era in-

distinguível de um animal-máquina. Descartes explicou em detalhe como os movimentos e as várias funções biológicas do corpo podiam ser reduzidos a operações mecânicas, a fim de mostrar que os organismos vivos nada mais eram do que *automata*. Ao fazer isso, ele foi profundamente influenciado pela preocupação do barroco seicentista com as máquinas engenhosas, “como que dotadas de vida própria”, que deliciavam as pessoas com a magia de seus movimentos aparentemente espontâneos. Como a maioria de seus contemporâneos, Descartes estava fascinado por esses autômatos, e até construiu alguns. Era inevitável que acabasse por comparar o funcionamento deles com o de organismos vivos. “Vemos relógios, fontes artificiais, moinhos e outras máquinas semelhantes que, embora meramente feitas pelo homem, têm, não obstante, o poder de se moverem por si mesmas de muitas maneiras diferentes. (...) Não reconheço qualquer diferença entre as máquinas feitas por artífices e os vários corpos que só a natureza é capaz de criar.”¹⁹

A fabricação de relógios, em especial, atingira um alto grau de perfeição na época de Descartes; o relógio era, pois, um modelo privilegiado para outras máquinas automáticas. Descartes comparou o corpo dos animais a um “relógio (...) composto (...) de rodas e molas” e estendeu essa comparação ao corpo humano: “Considero o corpo humano uma máquina. (...) Meu pensamento (...) compara um homem doente e um relógio mal fabricado com a idéia de um homem saudável e um relógio bem-feito”²⁰.

A concepção de Descartes sobre organismos vivos teve uma influência decisiva no desenvolvimento das ciências humanas. A cuidadosa descrição dos mecanismos que compõem os organismos vivos tem sido a principal tarefa dos biólogos, médicos e psicólogos nos últimos trezentos anos. A abordagem cartesiana foi coroada de êxito, especialmente na biologia, mas também limitou as direções da pesquisa científica. O problema é que os cientistas, encorajados por seu êxito em tratar os organismos vivos como máquinas, passaram a acreditar que estes *nada mais são* que máquinas. As consequências adversas dessa falácia reducionista tornaram-se especialmente evidentes na medicina, onde a adesão ao modelo cartesiano do corpo humano como um mecanismo de relógio impediu os médicos de compreender muitas das mais importantes enfermidades da atualidade.

Eis, pois, a “maravilhosa ciência” anunciada por Descartes. Usando seu método de pensamento analítico, ele tentou apresentar uma descrição precisa de todos os fenômenos naturais num único sistema de princípios mecânicos. Sua ciência pretendia ser completa, e o conhecimento que ofereceu tinha a intenção de fornecer uma certeza matemática absoluta. Descartes, é claro, não pôde executar esse plano ambicioso, e ele próprio reconheceu que sua ciência era

incompleta. Mas seu método de raciocínio e as linhas gerais da teoria dos fenômenos naturais que forneceu embasaram o pensamento científico ocidental durante três séculos.

Hoje, embora as sérias limitações da visão de mundo cartesiana estejam ficando evidentes em todas as ciências, o método geral de Descartes de abordagem dos problemas intelectuais, assim como sua clareza de pensamento, continuam sendo imensamente valiosos. Isso me foi nitidamente lembrado após uma conferência sobre física moderna, na qual enfatizei as limitações da visão de mundo mecanicista na teoria quântica e a necessidade de superar essa visão em outros campos, quando uma ouvinte francesa me cumprimentou por minha... “clareza cartesiana”. Como escreveu Montesquieu no século XVIII, “Descartes ensinou àqueles que vieram depois dele como descobrir seus próprios erros”²¹.

Descartes criou a estrutura conceitual para a ciência do século XVII, mas sua concepção da natureza como uma máquina perfeita, governada por leis matemáticas exatas, permaneceu como simples visão durante sua vida. Ele não pôde fazer mais do que esboçar as linhas gerais de sua teoria dos fenômenos naturais. O homem que deu realidade ao sonho cartesiano e completou a revolução científica foi Isaac Newton, nascido na Inglaterra em 1642, ano da morte de Galileu. Newton desenvolveu uma completa formulação matemática da concepção mecanicista da natureza e, portanto, realizou uma grandiosa síntese das obras de Copérnico e Kepler, Bacon, Galileu e Descartes. A física newtoniana, a realização culminante da ciência seiscentista, forneceu uma consistente teoria matemática do mundo, que permaneceu como sólido alicerce do pensamento científico até boa parte do século XX. A apreensão matemática de Newton era bem mais poderosa do que a de seus contemporâneos. Ele criou um método completamente novo — hoje conhecido como cálculo diferencial — para descrever o movimento de corpos sólidos, um método que foi muito além das técnicas matemáticas de Galileu e Descartes. Esse enorme feito intelectual foi considerado por Einstein “talvez o maior avanço no pensamento que um único indivíduo teve alguma vez o privilégio de realizar”²².

Kepler extraía leis empíricas do movimento planetário estudando tábuas astronômicas, e Galileu realizou engenhosos experimentos para descobrir as leis da queda dos corpos. Newton combinou essas duas descobertas formulando as leis gerais do movimento que governam todos os objetos no sistema solar, das pedras aos planetas.

Segundo a lenda, o *insight* decisivo ocorreu a Newton num súbito lampejo de inspiração quando viu uma maçã cair de uma

árvore. Ele compreendeu que a maçã era atraída para a Terra pela mesma força que atraía os planetas para o Sol, e assim descobriu a chave para a sua grandiosa síntese. Empregou então seu novo método matemático para formular as leis exatas do movimento para todos os corpos, sob a influência da força da gravidade. A significação dessas leis reside em sua aplicação universal. Comprovou-se que eram válidas para todo o sistema solar; assim, pareciam confirmar a visão cartesiana da natureza. O universo newtoniano era, de fato, um gigantesco sistema mecânico que funcionava de acordo com leis matemáticas exatas.

Newton apresentou em detalhes sua teoria do mundo nos *Princípios matemáticos de filosofia natural*. Os *Principia*, como a obra é usualmente chamada por uma questão de brevidade, de acordo com o seu título latino original, compreendem um sistema abrangente de definições, proposições e provas que os cientistas consideraram a descrição correta da natureza por mais de duzentos anos. Contêm, ao mesmo tempo, uma exposição explícita do método experimental de Newton, que ele considerava um procedimento sistemático no qual a descrição matemática se baseia, passo a passo, para chegar à avaliação crítica da evidência experimental:

“Tudo o que não é deduzido dos fenômenos será chamado de hipótese; e as hipóteses, sejam elas metafísicas ou físicas, sejam elas dotadas de qualidades ocultas ou mecânicas, não têm lugar na filosofia experimental. Nesta filosofia, proposições particulares são inferidas dos fenômenos e depois tornadas gerais por indução”²³.

Antes de Newton, duas tendências opostas orientavam a ciência seiscentista: o método empírico, indutivo, representado por Bacon, e o método racional, dedutivo, representado por Descartes. Newton, em seus *Principia*, introduziu a combinação apropriada de ambos os métodos, sublinhando que tanto os experimentos sem interpretação sistemática quanto a dedução a partir de princípios básicos sem evidência experimental não conduziram a uma teoria confiável. Ultrapassando Bacon em sua experimentação sistemática e Descartes em sua análise matemática, Newton unificou as duas tendências e desenvolveu a metodologia em que a ciência natural passou a basear-se desde então.

Isaac Newton era uma personalidade muito mais complexa do que se poderá deduzir da leitura de seus escritos científicos. Notabilizou-se não só como cientista e matemático, mas também, em várias fases de sua vida, como jurista, historiador e teólogo, e estava profundamente envolvido em pesquisas sobre o oculto e o conhecimento esotérico. Via o mundo como um enigma e acreditava que as chaves para sua compreensão podiam ser encontradas não só

através dos experimentos científicos como também das revelações crípticas das tradições esotéricas. Newton foi tentado a pensar, como Descartes, que sua mente poderosa seria capaz de desvendar os segredos do universo, e decidiu servir-se dela, com igual intensidade, no estudo da ciência natural tanto quanto no da ciência esotérica. Enquanto trabalhava, no Trinity College, Cambridge, nos *Principia*, acumulou, ao longo de todos esses anos, volumosas notas sobre alquimia, textos apocalípticos, teorias teológicas não-ortodoxas e várias matérias ligadas ao ocultismo. A maioria de seus escritos esotéricos nunca foi publicada, mas o que deles se conhece indica que Newton, o grande gênio da revolução científica, foi também o “último dos mágicos”²⁴.

O palco do universo newtoniano, no qual todos os fenômenos físicos aconteciam, era o espaço tridimensional da geometria euclidiana clássica. Era um espaço absoluto, um recipiente vazio, independente dos fenômenos físicos que nele ocorriam. Nas próprias palavras de Newton, “o espaço absoluto, em sua própria natureza, sem levar em conta qualquer coisa que lhe seja externa, permanece sempre inalterado e imóvel”²⁵. Todas as mudanças no mundo físico eram descritas em função de uma dimensão à parte, o tempo, também absoluto, sem ligação alguma com o mundo material, e que fluía de maneira uniforme do passado para o futuro através do presente. Escreveu Newton: “O tempo absoluto, verdadeiro e matemático, de si mesmo e por sua própria natureza, flui uniformemente, sem depender de qualquer coisa externa”²⁶.

Os elementos do mundo newtoniano que se movimentavam nesse espaço e nesse tempo absolutos eram partículas materiais, os objetos pequenos, sólidos e indestrutíveis de que toda matéria era feita. O modelo newtoniano de matéria era atomístico, mas diferia da moderna noção de átomos pelo fato de as partículas newtonianas serem todas da mesma substância material. Newton presumia que a matéria era homogênea; explicava a diferença entre um tipo e outro de matéria não em termos de átomos de diferentes pesos ou densidades, e sim de uma aglomeração mais ou menos densa e compacta de átomos. Os componentes básicos da matéria podiam ser de diferentes dimensões, mas consistiam na mesma “substância”, e o total de substância material num objeto era dado por sua massa.

O movimento das partículas era causado pela força da gravidade, a qual, na visão de Newton, atuava instantaneamente à distância. As partículas materiais e as forças entre elas eram de uma natureza fundamentalmente diferente, sendo a constituição interna das partículas independente de sua interação mútua. Newton considerava que tanto as partículas quanto a força da gravidade eram

criadas por Deus e, por conseguinte, não estavam sujeitas a uma análise ulterior. Em sua *Óptica*, Newton explicou claramente como imaginava a criação do mundo material por Deus:

“Parece-me provável que Deus, no começo, formou a matéria em partículas sólidas, compactas, duras, impenetráveis e móveis, de tais dimensões e configurações, e com outras propriedades tais, e em tais proporções com o espaço, que sejam as mais compatíveis com a finalidade para que Ele as formou; e que essas partículas primitivas, sendo sólidas, são incomparavelmente mais duras do que quaisquer corpos porosos compostos por elas; realmente tão duras que nunca se desgastam nem se fragmentam, e não existe nenhuma força comum que seja capaz de dividir o que o próprio Deus unificou na criação original”²⁷.

Na mecânica newtoniana, todos os fenômenos físicos estão reduzidos ao movimento de partículas materiais, causado por sua atração mútua, ou seja, pela força da gravidade. O efeito dessa força sobre uma partícula ou qualquer outro objeto material é descrito matematicamente pelas equações do movimento enunciadas por Newton, as quais formam a base da mecânica clássica. Foram estabelecidas leis fixas de acordo com as quais os objetos materiais se moviam, e acreditava-se que eles explicassem todas as mudanças observadas no mundo físico. Na concepção newtoniana, Deus criou, no princípio, as partículas materiais, as forças entre elas e as leis fundamentais do movimento. Todo o universo foi posto em movimento desse modo e continuou funcionando, desde então, como uma máquina, governado por leis imutáveis. A concepção mecanicista da natureza está, pois, intimamente relacionada com um rigoroso determinismo, em que a gigantesca máquina cósmica é completamente causal e determinada. Tudo o que aconteceu teria tido uma causa definida e dado origem a um efeito definido, e o futuro de qualquer parte do sistema podia — em princípio — ser previsto com absoluta certeza, desde que seu estado, em qualquer momento dado, fosse conhecido em todos os seus detalhes.

Esse quadro de uma perfeita máquina do mundo subentendia um criador externo; um deus monárquico que governaria o mundo a partir do alto, impondo-lhe sua lei divina. Não se pensava que os fenômenos físicos, em si, fossem divinos em qualquer sentido; assim, quando a ciência tornou cada vez mais difícil acreditar em tal deus, o divino desapareceu completamente da visão científica do mundo, deixando em sua esteira o vácuo espiritual que se tornou característico da corrente principal de nossa cultura. A base filosófica dessa secularização da natureza foi a divisão cartesiana entre espírito e matéria. Em consequência dessa divisão, acreditava-se que

o mundo era um sistema mecânico suscetível de ser descrito objetivamente, sem menção alguma ao observador humano, e tal descrição objetiva da natureza tornou-se o ideal de toda a ciência.

Os séculos XVIII e XIX serviram-se da mecânica newtoniana com enorme sucesso. A teoria newtoniana foi capaz de explicar o movimento dos planetas, luas e cometas nos mínimos detalhes, assim como o fluxo das marés e vários outros fenômenos relacionados com a gravidade. O sistema matemático do mundo elaborado por Newton estabeleceu-se rapidamente como a teoria correta da realidade e gerou enorme entusiasmo entre cientistas e o público leigo. A imagem do mundo como uma máquina perfeita, que tinha sido introduzida por Descartes, era então considerada um fato comprovado, e Newton tornou-se o seu símbolo. Durante os últimos vinte anos de sua vida, Sir Isaac Newton reinou na Londres setecentista como o homem mais famoso de seu tempo, o grande sábio de cabelos brancos da revolução científica. As descrições desse período da vida de Newton soam-nos muito familiares por causa de nossas recordações e fotografias de Albert Einstein, que desempenhou um papel muito semelhante em nosso século.

Encorajados pelo brilhante êxito da mecânica newtoniana na astronomia, os físicos estenderam-na ao movimento contínuo dos fluidos e às vibrações de corpos elásticos, e ela continuou a funcionar. Ao final, até mesmo a teoria do calor pôde ser reduzida à mecânica quando se percebeu que o calor era a energia gerada por um complicado movimento de “agitação” de átomos e moléculas. Assim, muitos fenômenos térmicos, como a evaporação de um líquido, ou a temperatura e pressão de um gás, puderam ser entendidos sob um ponto de vista puramente mecanicista.

O estudo do comportamento físico dos gases levou John Dalton à formulação de sua célebre hipótese atômica, provavelmente o mais importante passo em toda a história da química. Dalton possuía uma vívida imaginação pictórica, e tentou explicar as propriedades das misturas de gases com a ajuda de elaborados desenhos de modelos geométricos e mecânicos de átomos. Seus principais pressupostos eram que todos os elementos químicos compõem-se de átomos e que todos os átomos de um determinado elemento são semelhantes, mas diferem dos átomos de todos os outros elementos em massa, tamanho e propriedades. Usando a hipótese de Dalton, os químicos do século XIX desenvolveram uma precisa teoria atômica da química que preparou o caminho para a unificação dos conceitos da física e da química no século XX. Assim, a mecânica newtoniana estendeu-se muito além da descrição dos corpos macroscópicos. O comportamento de sólidos, líquidos e gases, incluindo os fenômenos de calor e som, foi explicado com sucesso em termos do movimento de partículas materiais elementares. Para os

cientistas dos séculos XVIII e XIX, esse enorme sucesso do modelo mecanicista confirmou sua convicção de que o universo era, de fato, um gigantesco sistema mecânico que funcionava de acordo com as leis newtonianas do movimento, e de que a mecânica de Newton era a teoria definitiva dos fenômenos naturais.

Embora as propriedades dos átomos tivessem sido estudadas mais por químicos do que por físicos durante todo o século XIX, a física clássica baseava-se na idéia newtoniana de que os átomos são os elementos básicos, duros e sólidos, da matéria. Essa imagem contribuiu, sem dúvida, para a reputação da física como uma ciência pesada * e para o desenvolvimento da tecnologia pesada ** baseada naquela. O irretorquível êxito da física newtoniana e a crença cartesiana na certeza do conhecimento científico levaram diretamente à ênfase que foi dada, em nossa cultura, à ciência e à tecnologia pesadas. Somente em meados do século XX tornar-se-ia claro que a idéia de uma ciência pesada era parte do paradigma cartesiano-newtoniano, um paradigma que seria superado.

Com o firme estabelecimento da visão mecanicista do mundo no século XVIII, a física tornou-se naturalmente a base de todas as ciências. Se o mundo é realmente uma máquina, a melhor maneira de descobrir como ela funciona é recorrer à mecânica newtoniana. Assim, foi uma consequência inevitável da visão de mundo cartesiana que as ciências dos séculos XVIII e XIX tomassem como seu modelo a física newtoniana. De fato, Descartes estava perfeitamente cômico do papel básico da física em sua concepção da natureza. Escreveu ele: “Toda a filosofia é como uma árvore. As raízes são a metafísica, o tronco é a física e os ramos são todas as outras ciências”²⁸.

O próprio Descartes esboçara as linhas gerais de uma abordagem mecanicista da física, astronomia, biologia, psicologia e medicina. Os pensadores do século XVIII levaram esse programa ainda mais longe, aplicando os princípios da mecânica newtoniana às ciências da natureza e da sociedade humanas. As recém-criadas ciências sociais geraram grande entusiasmo, e alguns de seus proponentes proclamaram terem descoberto uma “física social”. A teoria newtoniana do universo e a crença na abordagem racional dos problemas humanos propagaram-se tão rapidamente entre as classes médias do século XVIII, que toda essa época recebeu o nome de Iluminismo. A figura dominante nesse período foi o filósofo John Locke, cujos escritos mais importantes foram publicados no final do século XVII.

* *No original*, “hard science”. (N. do E.)

** *No original*, “hard technology”. (N. do E.)

Fortemente influenciado por Descartes e Newton, a obra de Locke produziu um impacto decisivo no pensamento setecentista.

Na esteira da física newtoniana, Locke desenvolveu uma concepção atomística da sociedade, descrevendo-a em termos de seu componente básico, o ser humano. Assim como os físicos reduziram as propriedades dos gases aos movimentos de seus átomos, ou moléculas, também Locke tentou reduzir os padrões observados na sociedade ao comportamento de seus indivíduos. Assim, ele passou a estudar primeiro a natureza do ser humano individual, e depois tentou aplicar os princípios da natureza humana aos problemas econômicos e políticos. A análise de Locke da natureza humana baseou-se na de um filósofo anterior, Thomas Hobbes, que declarara ser a percepção sensorial a base de todo conhecimento. Locke adotou essa teoria do conhecimento e, numa famosa metáfora, comparou a mente humana, no nascimento, a uma *tabula rasa* em que o conhecimento é gravado, uma vez adquirido através da experiência sensorial. Essa imagem estava destinada a exercer forte influência sobre duas importantes escolas da psicologia clássica, o behaviorismo e a psicanálise, assim como sobre a filosofia política. Segundo Locke, todos os seres humanos — “todos os homens”, como diria ele — são iguais ao nascer e, para seu desenvolvimento, dependem inteiramente do seu meio ambiente. Suas ações, acreditava Locke, eram sempre motivadas pelo que supunham ser seu próprio interesse.

Quando Locke aplicou sua teoria da natureza humana aos fenômenos sociais, foi guiado pela crença de que existem leis da natureza que governam a sociedade humana, leis semelhantes às que governam o universo físico. Tal como os átomos de um gás estabelecem um estado de equilíbrio, também os indivíduos humanos se estabilizariam numa sociedade num “estado de natureza”. Assim, a função do governo não seria impor suas leis às pessoas, mas, antes, descobrir e fazer valer as leis naturais que existiam antes de qualquer governo ter sido formado. Segundo Locke, essas leis naturais incluíam a liberdade e a igualdade entre todos os indivíduos, assim como o direito à propriedade, que representava os frutos do trabalho de cada um.

As idéias de Locke tornaram-se a base para o sistema de valores do Iluminismo e tiveram uma forte influência sobre o desenvolvimento do moderno pensamento econômico e político. Os ideais de individualismo, direito de propriedade, mercados livres e governo representativo, que podem ser atribuídos a Locke, contribuíram significativamente para o pensamento de Thomas Jefferson, e estão refletidos na Declaração de Independência e na Constituição americanas.

Durante o século XIX, os cientistas continuaram a elaborar o modelo mecanicista do universo na física, química, biologia, psicologia e ciências sociais. Por conseguinte, a máquina do mundo newtoniana tornou-se uma estrutura muito mais complexa e sutil. Ao mesmo tempo, novas descobertas e novas formas de pensamento evidenciaram as limitações do modelo newtoniano e prepararam o caminho para as revoluções científicas do século XX.

Uma dessas conquistas do século XIX foi a descoberta e a investigação dos fenômenos elétricos e magnéticos que envolviam um novo tipo de força e não podiam ser descritos adequadamente pelo modelo mecanicista. Um passo importante foi dado por Michael Faraday e completado por Clerk Maxwell — o primeiro, um dos maiores experimentadores na história da ciência, o segundo, um brilhante teórico. Faraday e Maxwell não só estudaram os efeitos das forças elétricas e magnéticas, mas fizeram dessas forças o objeto primeiro de suas investigações. Ao substituírem o conceito de força pelo conceito muito mais sutil de campo de força, eles foram os primeiros a ultrapassar a física newtoniana²⁹, mostrando que os campos têm sua própria realidade e podem ser estudados sem qualquer referência a corpos materiais. Essa teoria, chamada eletrodinâmica, culminou com a descoberta de que a luz é, de fato, um campo eletromagnético rapidamente alternante, que viaja através do espaço em forma de ondas.

Apesar dessas mudanças de extraordinário alcance, a mecânica newtoniana mantinha sua posição, continuava a ser a base de toda a física. O próprio Maxwell tentou explicar seus resultados em termos mecânicos, interpretando os campos como estados de tensão mecânica num meio muito leve e difundido por toda parte, chamado éter, e as ondas eletromagnéticas como ondas elásticas desse éter. Entretanto, ele usou várias interpretações mecânicas de sua teoria ao mesmo tempo e, segundo parece, não levou nenhuma delas realmente a sério, sabendo intuitivamente que as entidades fundamentais em sua teoria eram os campos e não os modelos mecânicos. Caberia a Einstein reconhecer claramente esse fato em nosso século, quando declarou que o éter não existe e que os campos eletromagnéticos são entidades físicas independentes que podem viajar através do espaço vazio e não podem ser explicadas mecanicamente.

Enquanto o eletromagnetismo destronava a mecânica newtoniana como teoria fundamental dos fenômenos naturais, surgiu uma nova tendência do pensamento que suplantou a imagem da máquina do mundo newtoniana e iria dominar não só o século XIX, mas todo o pensamento científico futuro. Ela envolvia a idéia de evolução — de mudança, crescimento e desenvolvimento. A noção de evolução surgira na geologia, onde os estudos metódicos de

fósseis levaram os cientistas à conclusão de que o estado atual da Terra era o resultado de um desenvolvimento contínuo causado pela ação de forças naturais durante imensos períodos de tempo. Mas os geólogos não foram os únicos a pensar nesses termos. A teoria do sistema solar, proposta por Immanuel Kant e Pierre Laplace, baseava-se no pensamento evolucionista ou desenvolvimentista; os conceitos evolucionistas foram fundamentais para a filosofia política de Hegel e Engels; poetas e filósofos, indistintamente, durante todo o século XIX, preocuparam-se profundamente com o problema do devir.

Essas idéias constituíram o *background* intelectual para a formulação mais precisa e de mais longo alcance do pensamento evolucionista: a teoria da evolução das espécies, em biologia. Desde a Antiguidade, os filósofos naturais tinham alimentado a idéia de uma “grande cadeia do ser”. Essa cadeia, entretanto, era concebida como uma hierarquia estática, que começava em Deus, no topo, e descia, através de anjos, seres humanos e animais, até as formas cada vez mais inferiores de vida. O número de espécies era fixo; não mudara desde o dia de sua criação. Como disse Lineu, o grande botânico e classificador: “Calculamos tantas espécies quantas as saídas aos pares das mãos do Criador”³⁰. Essa idéia das espécies biológicas estava em completa concordância com a doutrina judaico-cristã e ajustava-se bem ao mundo newtoniano.

A mudança decisiva ocorreu com Jean-Baptiste Lamarck, no começo do século XIX; essa mudança foi tão drástica que Gregory Bateson, um dos pensadores mais esclarecidos e profundos do nosso tempo, comparou-a à revolução de Copérnico:

“Lamarck, provavelmente o maior biólogo da história, inverteu essa escala de explicação. Foi ele o homem que disse que a escala começa com os infusórios e que havia mudanças que culminavam no homem. Essa inversão completa da taxonomia é uma das mais surpreendentes façanhas de todos os tempos. Foi o equivalente, em biologia, à revolução de Copérnico em astronomia”³¹.

Lamarck foi o primeiro a propor uma teoria coerente da evolução, segundo a qual todos os seres vivos teriam evoluído a partir de formas mais primitivas e mais simples, sob a influência do meio ambiente. Embora os detalhes da teoria lamarckiana tivessem que ser abandonados mais tarde, ela representou, não obstante, o primeiro passo importante.

Muitas décadas depois, Charles Darwin apresentou aos cientistas uma esmagadora massa de provas em favor da evolução biológica, colocando o fenômeno acima de qualquer dúvida. Apresentou

também uma explicação baseada nos conceitos de variação aleatória — hoje conhecida como mutação randômica — e seleção natural, os quais continuariam sendo as pedras angulares do moderno pensamento evolucionista. A monumental *Origem das espécies* de Darwin sintetizou as idéias de pensadores anteriores e deu forma a todo o pensamento biológico subsequente. Seu papel nas ciências humanas foi semelhante ao dos *Principia* de Newton na física e na astronomia, dois séculos antes.

A descoberta da evolução em biologia forçou os cientistas a abandonarem a concepção cartesiana segundo a qual o mundo era uma máquina inteiramente construída pelas mãos do Criador. O universo, pelo contrário, devia ser descrito como um sistema em evolução e em permanente mudança, no qual estruturas complexas se desenvolviam a partir de formas mais simples. Enquanto essa nova forma de pensamento era elaborada nas ciências humanas, conceitos evolucionistas surgiam também na física. Contudo, enquanto a evolução, em biologia, significou um movimento no sentido de uma ordem e uma complexidade crescentes, na física passou a significar justamente o oposto — um movimento no sentido de uma crescente desordem.

A aplicação da mecânica newtoniana ao estudo dos fenômenos térmicos — o que envolveu o tratamento de líquidos e gases como complicados sistemas mecânicos — levou os físicos à formulação da termodinâmica, a “ciência da complexidade”. A primeira grande realização dessa nova ciência foi a descoberta de uma das leis mais fundamentais da física, a lei da conservação da energia. Diz essa lei que a energia total envolvida num processo é sempre conservada. Pode mudar de forma do modo mais complicado, mas nenhuma porção dela se perde. Os físicos descobriram essa lei em seu estudo das máquinas a vapor e outras máquinas geradoras de calor, e é também conhecida como a primeira lei da termodinâmica.

A segunda lei da termodinâmica é a da dissipação da energia. Enquanto a energia total envolvida num processo é sempre constante, a quantidade de energia útil diminui, dissipando-se em calor, fricção, etc. Esta segunda lei foi formulada pela primeira vez por Sadi Carnot, em termos da tecnologia das máquinas térmicas, mas não tardou a ser reconhecido que envolvia um significado muito mais amplo. Ela introduziu na física a idéia de processos irreversíveis, de uma “flecha do tempo”. De acordo com a segunda lei, há uma certa tendência nos fenômenos físicos. A energia mecânica dissipa-se em calor e não pode ser completamente recuperada; quando se juntam água quente e água fria, resulta a água morna, e os dois líquidos não se separam. Do mesmo modo, quando se mistura um saco de areia branca com um saco de areia preta, resulta areia cinzenta, e quanto mais agitarmos a mistura mais uniforme será o

cinzento; não veremos as duas espécies de areia separarem-se espontaneamente.

O que todos esses processos têm em comum é que avançam numa certa direção — da ordem para a desordem —, e esta é a formulação mais geral da segunda lei da termodinâmica: qualquer sistema físico isolado avançará espontaneamente na direção de uma desordem sempre crescente. Em meados do século, para expressar essa direção, na evolução de sistemas físicos, numa forma matemática precisa, Rudolf Clausius introduziu uma nova quantidade a que chamou “entropia”. O termo representa uma combinação de “energia” e “*tropos*”, a palavra grega que designa transformação ou evolução. Assim, entropia é uma quantidade que mede o grau de evolução de um sistema físico. De acordo com a segunda lei, a entropia de um sistema físico isolado continuará aumentando; como essa evolução é acompanhada de crescente desordem, a entropia também pode ser vista como uma medida de desordem.

A formulação do conceito de entropia e a segunda lei da termodinâmica estão entre as mais importantes contribuições para a física no século XIX. O aumento de entropia em sistemas físicos, que marca a direção do tempo, não podia ser explicado pelas leis da mecânica newtoniana, e permaneceu um mistério até que Ludwig Boltzmann esclareceu a situação mediante a introdução de uma idéia adicional, o conceito de probabilidade. Com a ajuda da teoria das probabilidades, o comportamento de sistemas mecânicos complexos pôde ser descrito em termos de leis estatísticas, e a termodinâmica se assentou numa sólida base newtoniana, conhecida como mecânica estatística.

Boltzmann mostrou que a segunda lei da termodinâmica é uma lei estatística. Sua afirmação de que certos processos não ocorrem — por exemplo, a conversão espontânea de energia térmica em energia mecânica — não significa que eles sejam impossíveis, mas apenas que são extremamente improváveis. Em sistemas microscópicos que consistem em apenas algumas moléculas, a segunda lei é violada regularmente; mas, em sistemas macroscópicos, que consistem num grande número de moléculas*, a probabilidade de que a entropia total do sistema aumente torna-se virtualmente certa. Assim, em qualquer sistema isolado, composto de um elevado número de moléculas, a entropia — ou desordem — continuará aumentando até que, finalmente, o sistema atinja um estado de máxima entropia, também conhecido como “morte térmica”; nesse estado, toda a atividade cessa, estando o material uniformemente distribuído e à mesma temperatura. De acordo com a física clássica,

* Por exemplo, cada centímetro cúbico de ar contém cerca de dez bilhões de bilhões (10^{19}) de moléculas. (N. do A.)

o universo está caminhando como um todo para tal estado de máxima entropia, no qual irão declinando gradualmente os processos espontâneos de troca energética até que finalmente cessem.

Essa imagem sombria da evolução cósmica está em nítido contraste com a idéia evolucionista sustentada pelos biólogos, os quais observam que o universo vivo evolui da desordem para a ordem, para estados de complexidade sempre crescente. O surgimento do conceito de evolução em física trouxe à luz, portanto, uma outra limitação da teoria newtoniana. A concepção mecanicista do universo como um sistema de pequenas bolas de bilhar em movimento randômico é simplista demais para explicar a evolução da vida.

No final do século XIX, a mecânica newtoniana tinha perdido seu papel de teoria fundamental dos fenômenos naturais. Os conceitos da eletrodinâmica de Maxwell e da teoria da evolução de Darwin superavam claramente o modelo newtoniano e indicavam que o universo era muitíssimo mais complexo do que Descartes e Newton haviam imaginado. Não obstante, ainda se acreditava que as idéias básicas subjacentes à física newtoniana, embora insuficientes para explicar todos os fenômenos naturais, eram corretas. As primeiras três décadas de nosso século mudaram radicalmente essa situação. Duas descobertas no campo da física, culminando na teoria da relatividade e na teoria quântica, pulverizaram todos os principais conceitos da visão de mundo cartesiana e da mecânica newtoniana. A noção de espaço e tempo absolutos, as partículas sólidas elementares, a substância material fundamental, a natureza estritamente causal dos fenômenos físicos e a descrição objetiva da natureza — nenhum desses conceitos pôde ser estendido aos novos domínios em que a física agora penetrava.

3. A nova física

O início da física moderna foi marcado pela extraordinária proeza intelectual de um homem: Albert Einstein. Em dois artigos, ambos publicados em 1905, Einstein introduziu duas tendências revolucionárias no pensamento científico. Uma foi a teoria especial da relatividade; a outra, um novo modo de considerar a radiação eletromagnética, que se tornaria característico da teoria quântica, a teoria dos fenômenos atômicos. A teoria quântica completa foi elaborada vinte anos mais tarde por uma equipe de físicos. A teoria da relatividade, porém, foi construída em sua forma completa quase inteiramente pelo próprio Einstein. Os ensaios científicos de Einstein são monumentos intelectuais que marcam o começo do pensamento do século XX.

Einstein acreditava profundamente na harmonia inerente à natureza, e, ao longo de sua vida científica, sua maior preocupação foi descobrir um fundamento unificado para a física. Começou a perseguir esse objetivo ao construir uma estrutura comum para a eletrodinâmica e a mecânica, duas teorias isoladas dentro da física clássica. Essa estrutura é conhecida como a teoria especial da relatividade. Ela unificou e completou a estrutura da física clássica, mas, ao mesmo tempo, provocou mudanças radicais nos conceitos tradicionais de espaço e tempo, e, por conseguinte, abalou um dos alicerces da visão de mundo newtoniana. Dez anos depois, Einstein propôs sua teoria geral da relatividade, na qual a estrutura da teoria especial foi ampliada, passando a incluir também a gravidade. Isso foi realizado mediante novas e drásticas modificações nos conceitos de espaço e tempo.

Outra conquista importante em física no século XX foi uma consequência da investigação experimental dos átomos. No começo do século, os físicos descobriram vários fenômenos relacionados com a estrutura dos átomos, como os raios X e a radiatividade, os quais eram inexplicáveis em termos da física clássica. Além de serem objeto de intensos estudos, esses fenômenos foram usados, das maneiras mais engenhosas, como novas ferramentas para sondar a matéria mais profundamente do que tinha sido possível até então. Por exemplo, descobriu-se que as chamadas partículas alfa que se

desprendem de substâncias radiativas eram projéteis de alta velocidade, com dimensões subatômicas, passíveis de serem usados para explorar o interior do átomo. Podiam ser empregados para bombardear átomos, e pelo modo como eram desviados, era possível extrair conclusões acerca da estrutura do átomo.

Essa exploração do mundo atômico e subatômico colocou os cientistas em contato com uma estranha e inesperada realidade que pulverizou os alicerces da sua visão de mundo e os forçou a pensar de um modo inteiramente novo. Nada parecido com isso acontecera antes na ciência. Revoluções como as de Copérnico e Darwin tinham introduzido profundas mudanças na concepção geral do universo, mudanças que haviam chocado muita gente, mas os novos conceitos, *per se*, não eram difíceis de ser apreendidos. No século XX, entretanto, os físicos enfrentavam, pela primeira vez, um sério desafio à sua capacidade de entender o universo. Todas as vezes que faziam uma pergunta à natureza, num experimento atômico, a natureza respondia com um paradoxo, e, quanto mais eles se esforçavam por esclarecer a situação, mais agudos os paradoxos se tornavam. Em sua luta para apreenderem essa nova realidade, os cientistas ficaram profundamente conscientes de que seus conceitos básicos, sua linguagem e toda a sua forma de pensar eram inadequados para descrever fenômenos atômicos. O problema deles não era apenas intelectual, mas envolvia uma intensa experiência emocional e existencial, como foi claramente descrito por Werner Heisenberg: “Recordo as discussões com Bohr que se estendiam por horas a fio, até altas horas da noite, e terminavam quase em desespero; e, quando no fim da discussão, eu saía sozinho para um passeio no parque vizinho, repetia para mim, uma e outra vez, a pergunta: Será a natureza tão absurda quanto parece nesses experimentos atômicos?”¹

Somente depois de muito tempo esses físicos aceitaram o fato de que os paradoxos com que se deparavam constituem um aspecto essencial da física atômica, percebendo, então, que eles surgem sempre que alguém tenta descrever fenômenos atômicos em função de conceitos clássicos. Uma vez percebido isso, os físicos foram aprendendo a fazer as perguntas certas e a evitar contradições. Como diz Heisenberg: “Seja como for, eles penetraram no espírito da teoria quântica”² e, finalmente, encontraram a formulação matemática precisa e consistente dessa teoria. A teoria quântica, ou mecânica quântica, como também é chamada, foi formulada durante as primeiras três décadas deste século por um grupo internacional de físicos, entre eles Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Louis De Broglie, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg e Paul Dirac. Esses homens juntaram suas forças, a despeito de fronteiras nacionais para viver um dos mais excitantes períodos da ciência moderna, no qual ocorreram não só brilhantes intercâmbios

intelectuais, mas também dramáticos conflitos humanos, assim como profundas amizades pessoais entre os cientistas.

Depois de concluída a formulação matemática da teoria quântica, sua estrutura conceitual não foi facilmente aceita. Seu efeito sobre a concepção de realidade dos físicos foi verdadeiramente dilacerante. A nova física exigia profundas mudanças nos conceitos de espaço, tempo, matéria, objeto e causa e efeito; como esses conceitos são fundamentais para o nosso modo de vivenciar o mundo, sua transformação causou um grande choque. Citando de novo Heisenberg: “A reação violenta ao recente desenvolvimento da física moderna só pode ser entendida quando se percebe que, neste ponto, os alicerces da física começaram a se mover; e que esse movimento provocou a sensação de que a ciência estava sendo separada de suas bases”³.

Einstein sentiu o mesmo choque quando se defrontou com os novos conceitos de física, e descreveu seus sentimentos em termos muito semelhantes aos de Heisenberg: “Todas as minhas tentativas para adaptar os fundamentos teóricos da física a esse [novo tipo de] conhecimento fracassaram completamente. Era como se o chão tivesse sido retirado de baixo de meus pés, e não houvesse em qualquer outro lugar uma base sólida sobre a qual pudesse construir algo”⁴.

A partir das mudanças revolucionárias em nossos conceitos de realidade ocasionadas pela física moderna, uma nova e consistente visão de mundo começa a surgir. Essa visão não é compartilhada por toda a comunidade científica, mas está sendo discutida e elaborada por muitos físicos eminentes cujo interesse em sua ciência supera os aspectos de suas pesquisas. Esses cientistas se mostram profundamente interessados nas implicações filosóficas da física moderna, e estão tentando, com espírito aberto, melhorar sua compreensão da natureza da realidade.

Em contraste com a concepção mecanicista cartesiana, a visão de mundo que está surgindo a partir da física moderna pode caracterizar-se por palavras como orgânica, holística e ecológica. Pode ser também denominada visão sistemática, no sentido da teoria geral dos sistemas⁵. O universo deixa de ser visto como uma máquina, composta de uma infinidade de objetos, para ser descrito como um todo dinâmico, indivisível, cujas partes estão essencialmente inter-relacionadas e só podem ser entendidas como modelos de um processo cósmico.

Os conceitos básicos subjacentes a essa visão de mundo da física moderna são examinados nas páginas seguintes. Descrevi em detalhe essa visão de mundo em meu livro *The tao of physics*, mostrando como ela está relacionada com as concepções defendidas em

tradições místicas, especialmente as do misticismo oriental. Muitos físicos, criados, como eu, numa tradição que associa misticismo a coisas vagas, misteriosas e altamente não-científicas, ficaram chocados ao ver suas idéias comparadas às dos místicos⁶. Essa atitude, felizmente, está mudando. Como o pensamento oriental começou a interessar a um número significativo de pessoas, e como a meditação deixou de ser vista como ridícula ou suspeita, o misticismo está sendo encarado seriamente, mesmo no seio da comunidade científica. Um número crescente de cientistas está consciente de que o pensamento místico fornece um coerente e importante *background* filosófico para as teorias da ciência contemporânea, uma concepção do mundo em que as descobertas científicas de homens e mulheres podem estar em perfeita harmonia com seus desígnios espirituais e crenças religiosas.

A investigação experimental dos átomos, no início do século, provocou resultados sensacionais e totalmente inesperados. Ao invés de partículas duras, sólidas, como eram consideradas pela teoria consagrada pelo tempo, concluiu-se que os átomos consistem em vastas regiões de espaço onde partículas extremamente pequenas — os elétrons — se movimentam em redor do núcleo. Alguns anos depois, a teoria quântica deixou claro que mesmo as partículas subatômicas — os elétrons, prótons e nêutrons no núcleo — não se pareciam em nada com os objetos sólidos da física clássica. Essas unidades subatômicas da matéria são entidades muito abstratas e têm um aspecto dual. Dependendo do modo como as observamos, apresentam-se ora como partículas, ora como ondas; e essa natureza dual também é apresentada pela luz, que pode adotar a forma de partículas ou de ondas eletromagnéticas. As partículas de luz foram chamadas inicialmente *quanta* por Einstein — daí a origem do termo “teoria quântica” — e são hoje conhecidas como fótons.

Essa natureza dual da matéria e da luz é muito estranha. Parece impossível aceitar que alguma coisa possa ser, ao mesmo tempo, uma partícula, uma entidade confinada num volume muito pequeno, e uma onda que se espalha sobre uma vasta região do espaço. E, no entanto, era exatamente isso o que os físicos tinham que aceitar. A situação parecia irremediavelmente paradoxal, até que se percebeu que os termos “partícula” e “onda” referem-se a conceitos clássicos que não são inteiramente adequados para descrever fenômenos atômicos. Um elétron não é uma partícula nem uma onda, mas pode apresentar aspectos de partícula em algumas situações e aspectos de onda em outras. Enquanto age como partícula, é capaz de desenvolver sua natureza ondulatória às custas de sua natureza de partícula, e vice-versa, sofrendo assim transformações contínuas de

partícula para onda e de onda para partícula. Isso significa que nem o elétron nem qualquer outro “objeto” atômico possuem propriedades intrínsecas, independentes do seu meio ambiente. As propriedades que ele apresenta — semelhante a partícula e semelhante a onda — dependem da situação experimental, ou seja, do aparelho com que o elétron é forçado a interagir⁷.

A grande realização de Heisenberg consistiu em expressar as limitações dos conceitos clássicos numa forma matemática precisa, conhecida como princípio de incerteza. Esse princípio consiste num conjunto de relações matemáticas que determinam a extensão em que conceitos clássicos podem ser aplicados a fenômenos atômicos; essas relações marcam os limites da imaginação humana no mundo atômico. Sempre que usamos termos clássicos — partícula, onda, posição, velocidade — para descrever fenômenos atômicos, descobrimos existirem pares de conceitos, ou aspectos, que estão inter-relacionados e não podem ser definidos simultaneamente de um modo preciso. Quanto mais enfatizamos um aspecto em nossa descrição, mais o outro se torna incerto, e a relação precisa entre os dois é dada pelo princípio de incerteza.

Para um melhor entendimento dessa relação entre pares de conceitos clássicos, Niels Bohr introduziu a noção de complementaridade. Segundo ele, a imagem da partícula e a imagem da onda são duas descrições complementares da mesma realidade, cada uma delas só parcialmente correta e com uma gama limitada de aplicação. Ambas as imagens são necessárias para uma descrição total da realidade atômica e ambas são aplicadas dentro das limitações fixadas pelo princípio de incerteza. A noção de complementaridade tornou-se parte essencial do modo como os físicos pensam a natureza, e Bohr sugeriu várias vezes que também pode ser um conceito útil fora do campo da física. De fato, isso parece ser verdade, e voltaremos a esse assunto quando examinarmos os fenômenos biológicos e psicológicos. A complementaridade já foi amplamente usada em nosso exame da terminologia chinesa *yin/yang* uma vez que os opostos *yin* e *yang* estão inter-relacionados de um modo polar, ou complementar. O moderno conceito de complementaridade está claramente refletido no antigo pensamento chinês, fato que causou profunda impressão em Niels Bohr⁸.

A resolução do paradoxo partícula/onda forçou os físicos a aceitarem um aspecto da realidade que contestava o próprio fundamento da visão mecanicista de mundo — o conceito de realidade da matéria. Em nível subatômico, a matéria não existe com certeza em lugares definidos; em vez disso, mostra “tendências para existir”, e os eventos atômicos não ocorrem com certeza em tempos definidos e de maneiras definidas, mas antes mostram “tendências

para ocorrer”. No formalismo da mecânica quântica, essas tendências são expressas como probabilidades e estão associadas a quantidades que assumem a forma de ondas; são semelhantes às formas matemáticas usadas para descrever, digamos, uma corda de violão em vibração, ou uma onda sonora. É assim que as partículas podem ser ao mesmo tempo ondas. Não são ondas tridimensionais “reais”, como as ondas de água ou as ondas sonoras. São “ondas de probabilidade” — quantidades matemáticas abstratas com todas as propriedades características de ondas —, que estão relacionadas com as probabilidades de se encontrarem as partículas em determinados pontos do espaço e em momentos determinados. Todas as leis da física atômica se expressam em termos dessas probabilidades. Nunca podemos prever com certeza um evento atômico; apenas podemos prever a probabilidade de sua ocorrência.

A descoberta do aspecto dual da matéria e do papel fundamental da probabilidade demoliu a noção clássica de objetos sólidos. A nível subatômico, os objetos materiais sólidos da física clássica dissolvem-se em padrões ondulatórios de probabilidades. Esses padrões, além disso, não representam probabilidades de coisas, mas probabilidades de interconexões. Uma análise cuidadosa do processo de observação na física atômica mostra que as partículas subatômicas carecem de significado como entidades isoladas e somente podem ser entendidas como interconexões, ou correlações, entre vários processos de observação e medição. Como escreveu Niels Bohr, “as partículas materiais isoladas são abstrações, e suas propriedades são definíveis e observáveis somente através de sua interação com outros sistemas”⁹.

Portanto, as partículas subatômicas não são “coisas” mas interconexões entre “coisas”, e essas “coisas”, por sua vez, são interconexões entre outras “coisas”, e assim por diante. Na teoria quântica, nunca lidamos com “coisas”, lidamos sempre com interconexões.

É assim que a física moderna revela a unicidade básica do universo. Mostra-nos que não podemos decompor o mundo em unidades ínfimas com existência independente. Quando penetramos na matéria, a natureza não nos mostra quaisquer elementos básicos isolados, mas apresenta-se como uma teia complicada de relações entre as várias partes de um todo unificado. Heisenberg assim se expressou: “O mundo apresenta-se, pois, como um complicado tecido de eventos, no qual conexões de diferentes espécies se alternam, se sobrepõem ou se combinam, e desse modo determinam a textura do todo”¹⁰.

O universo é, portanto, um todo unificado que pode, até certo ponto, ser dividido em partes separadas, em objetos feitos de mo-

lúcidas e átomos, compostos, por sua vez, de partículas. Mas atingido esse ponto, no nível das partículas, a noção de partes separadas dissipa-se. As partículas subatômicas — e, portanto, em última instância, todas as partes do universo — não podem ser entendidas como entidades isoladas, mas devem ser definidas através de suas inter-relações. Henry Stapp, da Universidade da Califórnia, escreve: “Uma partícula elementar não é uma entidade não-analisável que tenha existência independente. É, em essência, um conjunto de relações que se estendem a outras coisas”¹¹.

Essa mudança de objetos para relações tem implicações de longo alcance para a ciência como um todo. Gregory Bateson argumentou, inclusive, que as relações devem ser usadas como base para *todas* as definições, e que isso deveria ser ensinado às nossas crianças na escola primária¹². Acreditava que qualquer coisa devia ser definida por suas relações com outras coisas e não pelo que é em si mesma.

Na teoria quântica, o fato de os fenômenos atômicos serem determinados por suas conexões com o todo está intimamente relacionado com o papel fundamental da probabilidade¹³. Na física clássica, a probabilidade é usada sempre que são desconhecidos os detalhes mecânicos envolvidos em um evento. Por exemplo, quando lançamos um dado, poderíamos — em princípio — predizer o resultado se conhecêssemos todos os detalhes dos objetos envolvidos: a composição exata do dado, da superfície em que ele cai, etc. Esses detalhes são chamados variáveis locais, porque residem dentro dos objetos envolvidos. As variáveis locais são importantes também na física atômica e subatômica. Aí, elas são representadas por conexões entre eventos, espacialmente separados, através de sinais — partículas e redes de partículas — que respeitam as leis usuais da separação espacial. Por exemplo, nenhum sinal pode ser transmitido mais rapidamente do que a velocidade da luz. Mas, além dessas conexões locais, existem outras, não-locais, que são instantâneas e não podem ser previstas, atualmente, de um modo matemático preciso. Essas conexões não-locais constituem a essência da realidade quântica. Cada evento é influenciado pelo universo todo, e, embora não possamos descrever essa influência em detalhe, reconhecemos uma certa ordem que pode ser expressa em termos de leis estatísticas.

Assim, a probabilidade é usada na física clássica e quântica por razões semelhantes. Em ambos os casos existem variáveis “ocultas” que nos são desconhecidas, e essa ignorância impede-nos de fazer predições exatas. Há, no entanto, uma diferença fundamental. Enquanto as variáveis “ocultas” na física clássica são mecanismos locais, na física quântica elas são não-locais, são conexões instantâneas com o universo como um todo. No mundo macroscópico co-

mun, as conexões não-locais têm, relativamente, pouca importância e, assim, podemos falar de objetos separados e formular as leis da física em termos de certezas. Mas quando passamos para dimensões menores, a influência das conexões não-locais torna-se mais forte; nesse caso, as leis da física só podem ser formuladas em termos de probabilidades, ficando cada vez mais difícil separar qualquer parte do universo do seu todo.

Einstein nunca pôde aceitar a existência de conexões não-locais e a resultante natureza fundamental da probabilidade. Foi esse o tema do histórico debate na década de 20 com Bohr, no qual Einstein expressou sua oposição à interpretação de Bohr da teoria quântica na famosa metáfora: “Deus não joga dados”¹⁴. No final do debate, Einstein teve de admitir que a teoria quântica, tal como Bohr e Heisenberg a interpretaram, formava um sistema coerente de pensamento; mas continuou convencido de que uma interpretação determinista em termos de variáveis ocultas locais seria encontrada mais cedo ou mais tarde no futuro.

A relutância de Einstein em aceitar as consequências da teoria que seu trabalho anterior ajudara a formular é um dos mais fascinantes episódios na história da ciência. A essência de sua discordância em relação a Bohr estava em sua firme crença numa realidade externa, que consistiria em elementos independentes e espacialmente separados. Isso mostra que a filosofia de Einstein era essencialmente cartesiana. Embora ele tivesse iniciado a revolução da ciência no século XX e tivesse ido muito além de Newton com sua teoria da relatividade, parece que Einstein, de algum modo, não era capaz, ele próprio, de ultrapassar Descartes. Esse parentesco entre Einstein e Descartes é ainda mais desconcertante em virtude das tentativas de Einstein, já perto do final de sua vida, de construir uma teoria do campo unificado geometrizando a física, de acordo com os princípios fundamentais de sua teoria geral da relatividade. Se essas tentativas tivessem sido bem sucedidas, Einstein poderia muito bem ter dito, como Descartes, que toda a sua física nada mais era do que geometria.

Em sua tentativa de mostrar que a interpretação de Bohr da teoria quântica era inconsistente, Einstein imaginou um experimento de pensamento que se tornou conhecido como o experimento Einstein-Podolsky-Rosen (EPR)¹⁵. Três décadas depois, John Bell formulou um teorema, baseado no experimento EPR, que prova que a existência de variáveis locais ocultas é incompatível com as predições estatísticas da mecânica quântica¹⁶. O teorema de Bell desferiu um golpe demolidor na posição de Einstein, ao mostrar que a concepção cartesiana da realidade, por consistir em partes separadas, unidas por conexões locais, é incompatível com a teoria quântica.

O experimento EPR fornece um excelente exemplo de uma si-

tuação em que um fenômeno quântico se choca com nossa mais profunda intuição da realidade. Portanto, é idealmente adequado para mostrar a diferença entre conceitos clássicos e quânticos. Uma versão simplificada do experimento envolve dois elétrons rotatórios; e, se pretendemos apreender a essência da situação, é necessário entender algumas propriedades do *spin* (movimento rodopiante) do elétron¹⁷. A imagem clássica de uma bola de tênis em rotação não é inteiramente adequada para descrever uma partícula subatômica em rotação. Num certo sentido, o *spin* da partícula é um movimento de rotação em torno de seu próprio eixo, mas, como sempre ocorre na física subatômica, esse conceito clássico é limitado. No caso de um elétron, o *spin* da partícula está restrito a dois valores: a quantidade de *spin* é sempre a mesma, mas a partícula pode girar numa ou noutra direção, para um dado eixo de rotação. Os físicos denotam freqüentemente esses dois valores do *spin* pelos termos “para cima” e “para baixo”, supondo-se, neste caso, que o eixo de rotação do elétron seja vertical.



“SPIN” PARA CIMA

“SPIN” PARA BAIXO

A propriedade fundamental de um elétron em rotação, que não pode ser entendida em termos de idéias clássicas, reside no fato de que seu eixo de rotação nem sempre pode ser definido com exatidão. Assim como os elétrons mostram tendências para existir em certos lugares, eles também mostram tendências para girar em torno de certos eixos. Entretanto, sempre que se realizar uma medição para qualquer eixo de rotação, verificar-se-á que o elétron gira num ou noutro sentido em torno desse eixo. Em outras palavras, a partícula adquire um eixo definido de rotação no processo de medição, mas, antes de a medição ser feita, não se pode dizer, geralmente, se ela gira em torno de um eixo definido; a partícula possui meramente uma certa tendência, ou potencialidade, para fazê-lo.

Com esta compreensão do *spin* do elétron, podemos examinar agora o experimento EPR e o teorema de Bell. Para organizar o

experimento, usa-se qualquer um dentre vários métodos para colocar dois elétrons num estado em que o seu *spin* total é zero, ou seja, em que eles estejam girando em sentidos opostos. Suponha-se agora que, por algum processo que não afeta seus *spins*, se faz com que as duas partículas desse sistema de *spin* total zero se afastem uma da outra. Ao se distanciarem em sentidos opostos, seu *spin* combinado ainda será zero, e, uma vez separadas por uma grande distância, são medidos os seus *spins* individuais. Um aspecto importante do experimento é o fato de que a distância entre as duas partículas no momento da medição é macroscópica. Ela pode ser arbitrariamente grande; uma partícula pode estar em Los Angeles e a outra em Nova York, ou uma na Terra e a outra na Lua.

Suponha-se agora que o *spin* da partícula 1 é medido num eixo vertical e verifica-se que é “para cima”. Como o *spin* combinado das duas partículas é zero, essa medição nos indica que o *spin* da partícula 2 deve ser “para baixo”. Do mesmo modo, se preferirmos medir o *spin* da partícula 1 num eixo horizontal e verificarmos que é “para a direita”, sabemos que, nesse caso, o *spin* da partícula 2 deve ser “para a esquerda”. A teoria quântica nos diz que num sistema de duas partículas com *spin* total zero, os *spins* das partículas em torno de qualquer eixo estarão sempre correlacionados — serão opostos —, muito embora existam somente como tendências, ou potencialidades, antes de a medição ser realizada. Essa correlação significa que a medição do *spin* da partícula 1, em qualquer eixo, fornece uma medição indireta do *spin* da partícula 2, sem perturbar de forma alguma essa partícula.

O aspecto paradoxal do experimento EPR decorre do fato de o observador ter liberdade de escolha do eixo de medição. Uma vez feita essa escolha, a medição transforma em certeza as tendências das partículas para girar em torno de vários eixos. O ponto fundamental é que podemos escolher o nosso eixo de medição no último minuto, quando as partículas já estão bastante distanciadas uma da outra. No instante em que realizarmos nossa medição na partícula 1, a partícula 2, que pode estar a milhares de quilômetros de distância, adquirirá um *spin* definido — “para cima” ou “para baixo”, se escolhermos um eixo vertical, “para a esquerda” ou “para a direita” se o eixo escolhido for o horizontal. Como é que a partícula 2 sabe que eixo escolhemos? Não há tempo para ela receber essa informação através de qualquer sinal convencional.

Esse é o ponto crítico do experimento EPR, e foi aí que Einstein discordou de Bohr. Segundo Einstein, como nenhum sinal pode viajar mais rápido que a velocidade da luz, é impossível, portanto, que a medição realizada numa partícula determine instantaneamente o sentido do *spin* da outra partícula, a milhares de quilômetros de distância. De acordo com Bohr, o sistema de duas partículas é um

todo indivisível, mesmo que as partículas estejam separadas por uma grande distância; o sistema não pode ser analisado em termos de partes independentes. Em outras palavras, a concepção cartesiana da realidade não pode ser aplicada aos dois elétrons. Mesmo que estejam muito separados no espaço, eles estão, não obstante, ligados por conexões instantâneas, não-locais. Essas conexões não são sinais no sentido einsteiniano; elas transcendem nossas noções convencionais de transferência de informação. O teorema de Bell corrobora a interpretação de Bohr das duas partículas como um todo indivisível e prova rigorosamente que o ponto de vista cartesiano de Einstein é incompatível com as leis da teoria quântica. Stapp assim resumiu a situação: “O teorema de Bell prova, com efeito, a profunda verdade de que o mundo ou é fundamentalmente desprovido de leis ou fundamentalmente inseparável”¹⁸.

— O papel fundamental das conexões não-locais e da probabilidade na física atômica implica uma nova noção de causalidade, suscetível de ter profundas implicações em todos os campos da ciência. A ciência clássica foi construída segundo o método cartesiano, que analisa o mundo em partes e organiza essas partes de acordo com leis causais. O quadro determinista do universo resultante disso estava intimamente relacionado com a imagem da natureza como um mecanismo de relógio. Na física atômica, tal quadro mecânico e determinista deixou de ser possível. A teoria quântica mostrou-nos que o mundo não pode ser analisado a partir de elementos isolados, independentes. A noção de partes separadas — como átomos, ou partículas subatômicas — é uma idealização com validade somente aproximada; essas partes não estão ligadas por leis causais na acepção clássica.

Na teoria quântica, eventos individuais nem sempre têm uma causa bem definida. Por exemplo, o salto de um elétron de uma órbita atômica para outra, ou a desintegração de uma partícula subatômica, podem ocorrer espontaneamente sem terem sido causados por qualquer evento. Nunca podemos prever quando e como tal fenômeno vai acontecer; apenas podemos prever sua probabilidade. Isso não significa que eventos atômicos aconteçam de um modo completamente arbitrário; significa apenas que não são devidos a causas locais. O comportamento de qualquer parte é determinado por suas conexões não-locais com o todo, e como não conhecemos precisamente essas conexões, temos que substituir a estreita noção clássica de causa e efeito por um conceito mais amplo, o de causalidade estatística. As leis da física atômica são leis estatísticas, de acordo com as quais as probabilidades de eventos atômicos são determinadas pela dinâmica de todo o sistema. Enquanto, na mecâ-

nica clássica, as propriedades e o comportamento das partes determinam as propriedades e o comportamento do todo, a situação na mecânica quântica é inversa: é o todo que determina o comportamento das partes.

Os conceitos de não-localidade e causalidade estatística implicam muito claramente que a estrutura da matéria não é mecânica. Por isso, o termo “mecânica quântica” é uma denominação imprópria, como David Bohm sublinhou¹⁹. Em seu compêndio de 1951 sobre a teoria quântica, Bohm ofereceu algumas interessantes especulações sobre as analogias entre processos quânticos e processos de pensamento²⁰, levando, assim, mais longe a célebre declaração feita por James Jeans duas décadas antes: “Hoje, existe uma ampla medida de concordância (...) em que a corrente do conhecimento avança na direção de uma realidade não-mecânica; o universo começa a se parecer mais com um grande pensamento do que com uma grande máquina”²¹.

As semelhanças evidentes entre a estrutura da matéria e a estrutura da mente não nos devem surpreender muito, uma vez que a consciência humana desempenha um papel fundamental no processo de observação e, na física atômica, ela determina, em grande medida, as propriedades dos fenômenos observados. Esse é outro importante *insight* da teoria quântica, suscetível de ter consequências de longo alcance. Na física atômica, os fenômenos observados só podem ser entendidos como correlações entre vários processos de observação e medição, e o fim dessa cadeia de processos reside sempre na consciência do observador humano. A característica fundamental da teoria quântica é que o observador é imprescindível não só para que as propriedades de um fenômeno atômico sejam observadas, mas também para ocasionar essas propriedades. Minha decisão consciente acerca de como observar, digamos, um elétron determinará, em certa medida, as propriedades do elétron. Se formulo uma pergunta sobre a partícula, ele me dá uma resposta sobre a partícula; se faço uma pergunta sobre a onda, ele me dá uma resposta sobre a onda. O elétron *não possui* propriedades objetivas independentes da minha mente. Na física atômica, não pode mais ser mantida a nítida divisão cartesiana entre matéria e mente, entre o observado e o observador. Nunca podemos falar da natureza sem, ao mesmo tempo, falarmos sobre nós mesmos.

Ao transcender a divisão cartesiana, a física moderna não só invalidou o ideal clássico de uma descrição objetiva da natureza, mas também desafiou o mito da ciência isenta de valores. Os modelos que os cientistas observam na natureza estão intimamente relacionados com os modelos de sua mente — com seus conceitos, pensamentos e valores. Assim, os resultados científicos que eles obtêm e as aplicações tecnológicas que investigam serão condicio-

nada por sua estrutura mental. Embora muitas de suas detalhadas pesquisas não dependam explicitamente do seu sistema de valores, o paradigma maior dentro do qual essas pesquisas são levadas a efeito nunca está isento de valores. Portanto, os cientistas são responsáveis por suas pesquisas, intelectual e moralmente. Essa responsabilidade tornou-se uma importante questão em muitas das ciências de hoje, mas especialmente na física, na qual os resultados da mecânica quântica e da teoria da relatividade abriram dois caminhos muito diferentes para serem explorados pelos físicos. Eles podem levar-nos — para expressá-lo em termos extremos — a Buda ou à Bomba, e cabe a cada um de nós escolher o caminho a seguir.

A concepção do universo como uma rede interligada de relações é um dos dois temas tratados com maior frequência na física moderna. O outro tema é a compreensão de que a rede cósmica é intrinsecamente dinâmica. O aspecto dinâmico da matéria manifesta-se na teoria quântica como consequência da natureza ondulatória das partículas subatômicas, e é ainda mais central na teoria da relatividade, a qual nos mostrou que o ser da matéria não pode ser separado de sua atividade. As propriedades de seus modelos básicos, as partículas subatômicas, só podem ser entendidas num contexto dinâmico, em termos de movimento, interação e transformação.

Pelo fato de as partículas não serem entidades isoladas, mas modelos de probabilidade semelhantes a ondas, elas se comportam de um modo muito peculiar. Sempre que uma partícula subatômica está confinada a uma pequena região do espaço, ela reage a esse confinamento movendo-se por toda a região. Quanto menor for a região de confinamento, mais rapidamente a partícula se “agitará” nela. Esse comportamento é um típico “efeito quântico”, uma característica do mundo subatômico que não tem analogia na física macroscópica: quanto mais confinada estiver uma partícula, mais rapidamente ela se movimentará²². Essa tendência das partículas a reagirem ao confinamento com movimento implica um “estado de agitação” fundamental da matéria que é característico do mundo subatômico. Nesse mundo, a maioria das partículas materiais estão confinadas; elas estão presas às estruturas molecular, atômica e nuclear; não estão, portanto, em repouso, mas possuem uma tendência inerente para se movimentarem. De acordo com a teoria quântica, a matéria está sempre se agitando, nunca está imóvel. Na medida em que as coisas podem ser descritas como sendo feitas de componentes menores — moléculas, átomos e partículas —, esses componentes encontram-se em um estado de contínuo movimento. Macroscopicamente, os objetos materiais que nos cercam podem parecer passivos e inertes; porém, quando ampliamos um pedaço “morto”

de pedra ou metal, podemos ver que nele há grande atividade. Quanto mais de perto o observarmos, mais vivo se apresenta. Todos os objetos materiais em nosso meio ambiente são feitos de átomos que se interligam de várias maneiras para formar uma enorme variedade de estruturas moleculares, as quais não são rígidas e inertes, mas vibram de acordo com sua temperatura e em harmonia com as vibrações térmicas de seu meio ambiente. Dentro dos átomos vibrantes, os elétrons estão ligados aos núcleos atômicos por forças elétricas que tentam mantê-los, tanto quanto possível, próximos uns dos outros, e eles respondem a esse confinamento turbilhonando de forma extremamente rápida. Nos núcleos, finalmente, os prótons e os nêutrons são comprimidos pelas poderosas forças nucleares até constituírem um minúsculo volume, correndo, por conseguinte, de um lado para outro a velocidades inimagináveis.

Assim, a física moderna representa a matéria não como inerte e passiva, mas num estado de contínuo movimento dançante e vibratório, cujos modelos rítmicos são determinados pelas configurações moleculares, atômicas e nucleares. Acabamos por compreender que não existem estruturas estáticas na natureza. Existe estabilidade, mas essa estabilidade é a do equilíbrio dinâmico, e quanto mais penetramos na matéria mais precisamos entender sua natureza dinâmica, a fim de compreendermos seus modelos.

Nessa penetração no mundo de dimensões submicroscópicas, um ponto decisivo é atingido no estudo de núcleos atômicos, nos quais as velocidades de prótons e nêutrons são frequentemente tão altas que se aproximam da velocidade da luz. Esse fato é crucial para a descrição de suas interações, pois qualquer descrição de fenômenos naturais que envolvem essas altas velocidades deve levar em conta a teoria da relatividade. A fim de compreendermos as propriedades e interações de partículas subatômicas, necessitamos de uma estrutura conceitual que incorpore não só a teoria quântica, mas também a teoria da relatividade; e é a teoria da relatividade que revela a natureza dinâmica da matéria em toda a sua extensão.

A teoria da relatividade de Einstein provocou uma drástica mudança em nossos conceitos de espaço e tempo. Obrigou-nos a abandonar as idéias clássicas de um espaço absoluto como palco dos fenômenos físicos e de um tempo absoluto como dimensão separada do espaço. De acordo com a teoria de Einstein, espaço e tempo são conceitos relativos, reduzidos ao papel subjetivo de elementos da linguagem que um determinado observador usa para descrever fenômenos naturais. Para fornecer uma descrição precisa de fenômenos que envolvem velocidades próximas da velocidade da luz, temos que recorrer a uma estrutura “relativística” que incorpore o tempo às três coordenadas espaciais, fazendo dele uma quarta coordenada a ser especificada em relação ao observador. Em tal estrutura, es-

paço e tempo estão íntima e inseparavelmente ligados e formam um *continuum* quadridimensional chamado “espaço-tempo”. Na física relativística, nunca se pode falar de espaço sem falar de tempo, e vice-versa.

Os físicos de hoje vêm convivendo já há muitos anos com a teoria da relatividade e estão inteiramente familiarizados com seu formalismo matemático. Não obstante, isso não veio contribuir para nossa intuição. Não temos uma experiência sensorial direta do espaço-tempo quadridimensional, e sempre que essa realidade relativística se manifesta — isto é, em todas as situações onde altas velocidades estão envolvidas — temos grande dificuldade em lidar com ela no nível da intuição e da linguagem comum. Um exemplo extremo de tal situação ocorre na eletrodinâmica quântica, uma das mais bem-sucedidas teorias relativísticas da física das partículas, em que as antipartículas podem ser interpretadas como partículas que retrocedem no tempo. De acordo com essa teoria, a mesma expressão matemática descreve um pósitron — a antipartícula do elétron — movendo-se do passado para o futuro ou um elétron movendo-se do futuro para o passado. As interações das partículas podem estender-se em qualquer direção do espaço-tempo quadridimensional, deslocando-se para trás e para a frente no tempo tal como se movimentam para a esquerda e para a direita no espaço. Para descrever essas interações necessitamos de mapas quadridimensionais que abranjam toda a extensão do tempo, assim como toda a região do espaço. Esses mapas, conhecidos como diagramas espaço-tempo, não incluem uma direção definida do tempo. Por conseguinte, não há “antes” e “depois” nos processos que descrevem e, assim, nenhuma relação linear de causa e efeito. Todos os eventos estão interligados, mas as conexões não são causais no sentido clássico.

Matematicamente não existem problemas nessa interpretação das interações de partículas, mas quando queremos expressá-la em linguagem comum defrontamo-nos com sérias dificuldades, uma vez que todas as nossas palavras se referem às noções convencionais de tempo e são inadequadas para descrever fenômenos relativísticos. Assim, a teoria da relatividade ensinou-nos a mesma lição que a mecânica quântica. Mostrou-nos que nossas noções comuns de realidade estão limitadas à nossa experiência comum do mundo físico e que elas têm de ser abandonadas sempre que ampliamos essa experiência.

Os conceitos de espaço e tempo são tão básicos para nossa descrição dos fenômenos naturais que sua modificação radical na teoria da relatividade acarretou uma modificação de todos os con-

ceitos que usamos em física para descrever a natureza. A mais importante consequência da nova estrutura relativística foi a compreensão de que a massa nada mais é senão uma forma de energia. Mesmo um objeto em repouso tem energia armazenada em sua massa, e a relação entre as duas é dada pela famosa equação de Einstein, $E = mc^2$, sendo “ c ” a velocidade da luz.

Uma vez aceita como uma forma de energia, deixa de se requerer que a massa seja indestrutível, já que pode ser transformada em outras formas de energia. Isso acontece continuamente nos processos de colisão de alta energia, em física, nos quais partículas materiais são criadas e destruídas, sendo suas massas transformadas em energia de movimento e vice-versa. As colisões de partículas subatômicas constituem nosso principal instrumento para estudar suas propriedades, e a relação entre massa e energia é essencial para sua descrição. A equivalência de massa e energia tem sido verificada inúmeras vezes, e os físicos estão completamente familiarizados com ela — tão familiarizados, de fato, que eles medem a massa das partículas nas unidades correspondentes de energia.

A descoberta de que a massa é uma forma de energia teve uma profunda influência em nossa representação da matéria e forçou-nos a modificar nosso conceito de partícula de um modo essencial. Na física moderna, a massa deixou de estar associada a uma substância material; por conseguinte, não se considera que as partículas consistam em qualquer “substância” básica; elas são vistas como feixes de energia. Entretanto, a energia está associada à atividade, a processos, o que implica que a natureza das partículas subatômicas é intrinsecamente dinâmica. Para entender isso melhor, cumpre recordar que essas partículas só podem ser concebidas em termos relativísticos, isto é, em termos de uma estrutura conceitual onde espaço e tempo estão fundidos num *continuum* quadridimensional. Nessa estrutura, as partículas já não podem ser representadas como pequenas bolas de bilhar ou pequenos grãos de areia. Tais imagens são inadequadas, não só porque representam as partículas como objetos separados, mas também porque são imagens estáticas, tridimensionais. As partículas subatômicas devem ser concebidas como entidades quadridimensionais no espaço-tempo. Suas formas têm que ser entendidas dinamicamente, como formas no espaço e no tempo. As partículas são padrões dinâmicos, padrões de atividade que possuem um aspecto espacial e um aspecto temporal. O aspecto espacial faz com que elas se apresentem como objetos com uma certa massa, o aspecto temporal, como processos que envolvem a energia equivalente. Assim, o ser da matéria e sua atividade não podem ser separados; são apenas aspectos diferentes da mesma realidade espaço-tempo.

A concepção relativística da matéria afetou drasticamente tanto

nossa concepção de partículas como nossa representação das forças entre essas partículas. Numa descrição relativística de interações de partículas, as forças entre elas — sua mútua atração ou repulsão — são apresentadas como a troca de outras partículas. Esse conceito é muito difícil de visualizar, mas é necessário para se entender os fenômenos subatômicos. Liga as forças entre constituintes da matéria às propriedades de outros constituintes da matéria e, assim, unifica os dois conceitos, força e matéria, que pareciam tão fundamentalmente diferentes na física newtoniana. Força e matéria são vistas agora como tendo sua origem comum nos modelos dinâmicos a que chamamos partículas. Esses modelos de energia do mundo subatômico formam as estruturas nucleares, atômicas e moleculares estáveis que constroem a matéria e lhe conferem seu sólido aspecto macroscópico, fazendo-nos por isso acreditar que ela é feita de alguma substância material. Em nível macroscópico, essa noção de substância é uma útil aproximação, mas no nível atômico deixa de ter qualquer sentido. Os átomos consistem em partículas, e estas partículas não são feitas de qualquer substância material. Quando as observamos, nunca vemos qualquer substância; o que vemos são modelos dinâmicos que se convertem continuamente uns nos outros — a contínua dança da energia.

As duas teorias básicas da física moderna transcenderam, pois, os principais aspectos da visão de mundo cartesiana e da física newtoniana. A teoria quântica mostrou que as partículas subatômicas não são grãos isolados de matéria, mas modelos de probabilidade, interconexões numa inseparável teia cósmica que inclui o observador humano e sua * consciência. A teoria da relatividade fez com que a teia cósmica adquirisse vida, por assim dizer, ao revelar seu caráter intrinsecamente dinâmico, ao mostrar que sua atividade é a própria essência de seu ser. Na física moderna, a imagem do universo como uma máquina foi transcendida por uma visão dele como um todo dinâmico e indivisível, cujas partes estão essencialmente inter-relacionadas e só podem ser entendidas como modelos de um processo cósmico. No nível subatômico, as inter-relações e interações entre as partes do todo são mais fundamentais do que as próprias partes. Há movimento, mas não existem, em última análise, objetos moventes; há atividade, mas não existem atores; não há dançarinos, somente a dança.

* O pronome feminino [em inglês, “her” consciousness] é usado aqui como referência geral a uma pessoa que tanto pode ser mulher como homem. Do mesmo modo, usarei ocasionalmente o pronome masculino como referência geral, incluindo homens e mulheres. Penso ser essa a melhor maneira de evitar ser sexista ou deselegante. (N. do A.)

A atual pesquisa em física almeja unificar a mecânica quântica e a teoria da relatividade, para que formem uma teoria completa das partículas subatômicas. Embora ainda não tenhamos sido capazes de formular essa teoria completa, possuímos numerosas teorias parciais, ou modelos, que descrevem muito bem certos aspectos dos fenômenos subatômicos. Existem atualmente duas diferentes espécies de teorias “quântico-relativísticas” na física das partículas, que foram bem sucedidas em diferentes áreas. A primeira espécie é constituída por um grupo de teorias quânticas de campo que se aplicam às interações eletromagnéticas e fracas; a segunda é conhecida como a teoria da matriz S, que tem sido bem sucedida na descrição das interações fortes²³. Dessas duas abordagens, a teoria da matriz S é mais importante para o tema deste livro, uma vez que se reveste de profundas implicações para a ciência como um todo²⁴.

A base filosófica da teoria da matriz S é conhecida como abordagem *bootstrap* *. Geoffrey Chew a propôs no começo da década de 60, e ele e outros físicos usaram-na para desenvolver uma teoria abrangente das partículas em interação forte, em conjunto com uma filosofia mais geral da natureza. Segundo essa filosofia *bootstrap*, a natureza não pode ser reduzida a entidades fundamentais, como elementos fundamentais da matéria, mas tem de ser inteiramente entendida através da autocorência. A física tem que submeter-se, toda ela, unicamente à exigência de que todos os seus componentes sejam mutuamente coerentes — e coerentes consigo mesmos. Essa idéia constitui um afastamento radical do espírito tradicional da pesquisa básica em física, que sempre esteve inclinada a tentar descobrir os componentes fundamentais da matéria. Ao mesmo tempo, é a culminação da concepção do mundo material como uma teia interligada de relações, que resultou da teoria quântica. A filosofia *bootstrap* não só abandona a idéia de constituintes fundamentais da matéria, como também não aceita quaisquer espécies de entidades fundamentais — nenhuma constante, lei ou equação fundamental. O universo é visto como uma teia dinâmica de eventos inter-relacionados. Nenhuma das propriedades de qualquer parte dessa teia é fundamental; todas elas decorrem das propriedades das outras partes do todo, e a coerência total de suas inter-relações determina a estrutura da teia.

O fato de a abordagem *bootstrap* não aceitar quaisquer entidades fundamentais torna-a, em minha opinião, um dos mais profundos sistemas de pensamento ocidental, o que a eleva ao nível da filosofia budista ou taoísta²⁵. Ao mesmo tempo, é uma abordagem

* Usado metaforicamente, como na expressão “lift oneself by one’s own bootstraps” (levantar-se puxando pelas alças das próprias botas), ou seja, usando de seus próprios recursos (N. do E.)

muito difícil para a física, e tem sido explorada apenas por uma pequena minoria de físicos. A filosofia *bootstrap* é estranha demais para o pensamento tradicional; por isso, não pode, por enquanto, ser seriamente apreciada, como acontece, também, com a teoria da matriz S. É curioso que nem um só prêmio Nobel tenha sido, até hoje, conferido a qualquer um dos notáveis físicos que contribuíram para o desenvolvimento da teoria da matriz S nas duas últimas décadas, já que os conceitos básicos da teoria são usados por todos os físicos de partículas, sempre que analisam os resultados de colisões de partículas e os comparam com suas previsões teóricas.

No âmbito da teoria da matriz S, a abordagem *bootstrap* tenta derivar todas as propriedades das partículas e suas interações unicamente do requisito de autocoerência. As únicas leis “fundamentais” aceitas são uns poucos princípios muito gerais requeridos pelos métodos de observação e que são partes essenciais da estrutura científica. Espera-se que todos os outros aspectos da física das partículas surjam como consequência necessária da autocoerência. Se esta abordagem puder ser levada adiante com sucesso, as implicações filosóficas serão profundas. O fato de que todas as propriedades das partículas sejam determinadas por princípios estreitamente relacionados com os métodos de observação significaria que as estruturas básicas do mundo material são determinadas, em última instância, pelo modo como observamos esse mundo; e que os modelos da matéria são reflexos de modelos da mente.

Os fenômenos do mundo subatômico são tão complexos que não se pode ter certeza de que ainda venha a ser construída uma teoria completa e consistente; mas podemos considerar uma série de modelos parcialmente bem-sucedidos de menor âmbito. Cada um deles teria a finalidade de cobrir apenas uma parte dos fenômenos observados e conteria alguns aspectos, ou parâmetros, inexplicados; mas os parâmetros de um modelo poderiam ser explicados por um outro. Assim, um número cada vez maior de fenômenos poderia ser gradualmente coberto, com crescente precisão, por um mosaico de modelos engrenados entre si cujo número efetivo de parâmetros inexplicados desceria continuamente. O termo “*bootstrap*” não é, pois, apropriado para qualquer modelo individual, podendo ser aplicado apenas a uma combinação de modelos mutuamente coerentes, nenhum dos quais é mais fundamental do que os outros. Chew explica sucintamente: “Um físico que seja capaz de considerar qualquer número de diferentes modelos parcialmente bem-sucedidos sem favoritismo é automaticamente um *bootstrapper*”²⁶.

O progresso na teoria da matriz S foi constante, mas lento, até que várias conquistas importantes em anos recentes resultaram num avanço de grande envergadura, que tornou muito provável que o programa *bootstrap* para as interações fortes venha a ser completado

em futuro próximo, e que possa também ser estendido com êxito às interações eletromagnéticas e fracas²⁷. Esses resultados geraram grande entusiasmo entre os teóricos da matriz S, e é possível que forcem o resto da comunidade dos físicos a reavaliar suas atitudes em relação à abordagem *bootstrap*.

O elemento-chave da nova teoria *bootstrap* das partículas subatômicas é a noção de ordem como um novo e importante aspecto da física das partículas. Ordem, neste contexto, significa ordem no estado de interligação dos processos subatômicos. Como os eventos subatômicos podem interligar-se de várias maneiras, é possível definir várias categorias de ordem. A linguagem da topologia — bem conhecida pelos matemáticos, mas nunca aplicada antes à física das partículas — é usada para classificar essas categorias de ordem. Quando esse conceito de ordem é incorporado ao quadro matemático da teoria da matriz S, resulta que apenas algumas categorias especiais de relações ordenadas são consistentes. Os modelos de interações de partículas resultantes são precisamente os observados na natureza.

O quadro de partículas subatômicas que resulta da teoria *bootstrap* pode ser resumido nesta provocante frase: “Cada partícula consiste em todas as outras partículas”. Não se deve imaginar, porém, que cada uma delas contenha todas as outras num sentido clássico, estático. As partículas subatômicas não são entidades separadas, são padrões interligados de energia num contínuo processo dinâmico. Esses padrões não se “contém” uns aos outros; em vez disso “envolvem-se mutuamente de um modo a que pode ser dado um significado matemático preciso, mas que não pode ser facilmente expresso em palavras.

O surgimento da ordem como um conceito novo e central na física das partículas levou a um importante avanço na teoria da matriz S, e poderá revestir-se de grandes implicações para a ciência como um todo. O significado de ordem na física subatômica ainda é obscuro, e ainda não se sabe exatamente até que ponto poderá ser incorporado ao âmbito da matriz S, mas é curioso o fato de nos recordar que a noção de ordem desempenha um papel básico no enfoque científico da realidade e constitui um aspecto fundamental de todos os métodos de observação. A capacidade de reconhecimento da ordem parece ser um aspecto essencial da mente; toda e qualquer percepção de um modelo é, num certo sentido, uma percepção de ordem. O esclarecimento do conceito de ordem promete abrir fascinantes fronteiras de conhecimento num campo de pesquisa em que os modelos de matéria e os da mente estão sendo cada vez mais reconhecidos como reflexos recíprocos.

Novas extensões da abordagem *bootstrap* na física subatômica terão finalmente que ir além do atual âmbito da teoria da matriz

S, desenvolvida especificamente para descrever as interações fortes. Para ampliar o programa *bootstrap* terá que ser encontrada uma estrutura mais geral, na qual alguns dos conceitos que são hoje aceitos sem explicação terão que ser "*bootstrapped*", derivados da autocoerência geral. Neles podemos incluir nossa concepção de espaço-tempo macroscópico e, talvez, até nossa concepção de consciência humana. O uso crescente da abordagem *bootstrap* abre a possibilidade sem precedentes de sermos forçados a incluir o estudo da consciência humana, explicitamente, em futuras teorias da matéria. A questão da consciência já foi suscitada na teoria quântica em relação ao problema da observação e medição, mas a formulação pragmática da teoria que os cientistas usam em suas pesquisas não se refere explicitamente à consciência. Alguns físicos argumentam que a consciência pode ser um aspecto essencial do universo e que poderá haver obstáculos a um conhecimento mais amplo dos fenômenos naturais se insistirmos em excluí-la.

Existem hoje, em física, duas abordagens, que se avizinham muito de um tratamento explícito da consciência. Uma envolve a noção de ordem na teoria da matriz S de Chew; a outra é uma teoria desenvolvida por David Bohm, que propõe uma abordagem muito mais geral e ambiciosa²⁸. O ponto de partida de Bohm é a noção de "totalidade ininterrupta", e seu objetivo é explorar a ordem que ele acredita ser inerente à teia cósmica de relações em um nível mais profundo, "não manifesto". Ele chama a essa ordem "implícada" ou "envolvida", e descreve-a em analogia com um holograma, em que cada parte, num certo sentido, contém o todo²⁹. Se qualquer parte de um holograma é iluminada, toda a imagem será reconstruída, embora mostre menos detalhes do que a imagem obtida do holograma completo. Na opinião de Bohm, o mundo real está estruturado de acordo com os mesmos princípios gerais, estando o todo "envolvido" em cada uma de suas partes.

Bohm está cômico de que o holograma é demasiado estático para ser usado como modelo científico para a ordem implicada no nível subatômico. Para expressar a natureza essencialmente dinâmica da realidade nesse nível, ele criou o termo "holomovimento". De acordo com seu ponto de vista, o holomovimento é um fenômeno dinâmico do qual fluem todas as formas do universo material. A finalidade dessa abordagem é estudar a ordem envolvida nesse holomovimento, lidando não com a estrutura dos objetos, mas com a estrutura do movimento, levando assim em consideração tanto a unidade quanto a natureza dinâmica do universo. A fim de se entender a ordem "implícada", Bohm achou necessário considerar a consciência uma característica essencial do holomovimento e levá-la explicitamente em conta na sua teoria. Ele vê a mente e a matéria como sendo interdependentes e correlacionadas, mas não causalmen-

te ligadas. São projeções mutuamente envolventes de uma realidade superior que não é matéria nem consciência.

A teoria de Bohm ainda é conjectural, mas parece haver um intrigante parentesco, mesmo nesse estágio preliminar, entre a sua teoria da ordem implicada e a teoria da matriz de Chew. Ambas as abordagens se baseiam numa visão do mundo como uma teia dinâmica de relações; ambas atribuem um papel central à noção de ordem; ambas usam matrizes para representar mudança e transformação, e a topologia para classificar categorias de ordem. Finalmente, ambas as teorias reconhecem que a consciência pode muito bem ser um aspecto essencial do universo que terá de ser incluído numa futura teoria dos fenômenos físicos. Essa futura teoria poderá surgir da fusão das teorias de Bohm e Chew, as quais representam duas das mais imaginativas e filosoficamente profundas abordagens contemporâneas da realidade física.

A apresentação da física moderna neste capítulo foi influenciada por minhas convicções e escolhas pessoais. Enfatizei certos conceitos e teorias que ainda não são aceitos pela maioria dos físicos, mas que considero filosoficamente significativos, de grande importância para as outras ciências e para nossa cultura como um todo. Entretanto, todos os físicos contemporâneos aceitarão o tema principal dessa apresentação: o de que a física moderna transcendeu a visão cartesiana mecanicista do mundo e está nos conduzindo para uma concepção holística e intrinsecamente dinâmica do universo.

Essa visão de mundo da física moderna é uma visão sistêmica, e é compatível com as abordagens sistêmicas que estão agora surgindo em outros campos, embora os fenômenos estudados por essas disciplinas sejam, de modo geral, de uma natureza diferente e requeiram conceitos diferentes. Ao transcendermos a metáfora do mundo como uma máquina, também abandonamos a idéia de que a física é a base de toda a ciência. De acordo com as visões sistêmica ou *bootstrap* do mundo, conceitos diferentes mas mutuamente coerentes podem ser usados para descrever diferentes aspectos e níveis da realidade, sem que seja necessário reduzir os fenômenos de qualquer nível ao de um outro.

Antes de descrevermos a estrutura conceitual para tal abordagem holística, multidisciplinar, da realidade, talvez seja proveitoso vermos como as outras ciências adotaram a visão cartesiana de mundo e tomaram a física clássica como modelo ao formular seus conceitos e teorias. Podemos também trazer à luz as limitações do paradigma cartesiano nas ciências naturais e sociais; essa exposição visa ajudar cientistas e não-cientistas a mudarem sua filosofia, a fim de participarem da atual transformação cultural.

IV

A nova visão da realidade

A nova visão da realidade, de que vimos falando, baseia-se na consciência do estado de inter-relação e interdependência essencial de todos os fenômenos — físicos, biológicos, psicológicos, sociais e culturais. Essa visão transcende as atuais fronteiras disciplinares e conceituais e será explorada no âmbito de novas instituições. Não existe, no presente momento, uma estrutura bem estabelecida, conceitual ou institucional, que acomode a formulação do novo paradigma, mas as linhas mestras de tal estrutura já estão sendo formuladas por muitos indivíduos, comunidades e organizações que estão desenvolvendo novas formas de pensamentos e que se estabelecem de acordo com novos princípios.

Nessa situação, parece-nos extremamente fecundo que se desenvolva uma abordagem *bootstrap*, semelhante àquela que a física contemporânea desenvolveu. Isso significará a formulação gradual de uma rede de conceitos e modelos interligados e, ao mesmo tempo, o desenvolvimento de organizações sociais correspondentes. Nenhuma teoria ou modelo será mais fundamental do que o outro, e todos eles terão que ser compatíveis. Eles ultrapassarão as distinções disciplinares convencionais, qualquer que seja a linguagem comprovadamente adequada para descrever diferentes aspectos da estrutura inter-relacionada e de múltiplos níveis da realidade. Do mesmo modo, nenhuma das novas instituições sociais será superior ou mais importante do que qualquer uma das outras, e todas elas terão que estar conscientes umas das outras e se comunicar e cooperar entre si.

Nos capítulos seguintes, analisarei alguns conceitos, modelos e organizações desse tipo que surgiram recentemente, e tentarei mostrar como seus conceitos se ajustam. Quero concentrar-me especialmente nas abordagens pertinentes à saúde individual e social. Como o próprio conceito de saúde depende fundamentalmente da concepção que se tenha dos organismos vivos e de suas relações com o meio ambiente, esta apresentação do novo paradigma começará com um exame da natureza dos organismos vivos.

A maior parte da biologia e da medicina contemporâneas tem uma visão mecanicista da vida e tenta reduzir o funcionamento dos

organismos vivos a mecanismos celulares e moleculares bem definidos. A concepção mecanicista é justificada, em certa medida, pelo fato de os organismos vivos agirem, em parte, como máquinas. Eles desenvolveram uma grande variedade de peças e mecanismos semelhantes a máquinas — ossos, músculos, circulação sanguínea, etc. —, provavelmente porque o funcionamento mecânico era vantajoso para sua evolução. Isso não significa, porém, que os organismos vivos *sejam* máquinas. Os mecanismos biológicos são apenas exemplos especiais de princípios muito mais amplos de organização; de fato, nenhuma operação de qualquer organismo consiste inteiramente em tais mecanismos. A ciência biomédica, na esteira de Descartes, concentrou-se excessivamente nas propriedades mecânicas da matéria viva e negligenciou o estudo de sua natureza de organismo, ou sistêmica. Embora o conhecimento dos aspectos celulares e moleculares das estruturas biológicas continue sendo importante, só chegaremos a uma compreensão mais completa da vida mediante a elaboração de uma “biologia de sistemas”, uma biologia que veja um organismo como um sistema vivo e não como uma máquina.

A concepção sistêmica vê o mundo em termos de relações e de integração¹. Os sistemas são totalidades integradas, cujas propriedades não podem ser reduzidas às de unidades menores. Em vez de se concentrar nos elementos ou substâncias básicas, a abordagem sistêmica enfatiza princípios básicos de organização. Os exemplos de sistemas são abundantes na natureza. Todo e qualquer organismo — desde a menor bactéria até os seres humanos, passando pela imensa variedade de plantas e animais — é uma totalidade integrada e, portanto, um sistema vivo. As células são sistemas vivos, assim como os vários tecidos e órgãos do corpo, sendo o cérebro humano o exemplo mais complexo. Mas os sistemas não estão limitados a organismos individuais e suas partes. Os mesmos aspectos de totalidade são exibidos por sistemas sociais — como o formigueiro, a colmeia ou uma família humana — e por ecossistemas que consistem numa variedade de organismos e matéria inanimada em interação mútua. O que se preserva numa região selvagem não são árvores ou organismos individuais, mas a teia complexa de relações entre eles.

Todos esses sistemas naturais são totalidades cujas estruturas específicas resultam das interações e interdependência de suas partes. A atividade dos sistemas envolve um processo conhecido como transação — a interação simultânea e mutuamente interdependente entre componentes múltiplos². As propriedades sistêmicas são destruídas quando um sistema é dissecado, física ou teoricamente, em elementos isolados. Embora possamos discernir partes individuais em qualquer sistema, a natureza do todo é sempre diferente da mera soma de suas partes.

Um outro aspecto importante dos sistemas é sua natureza intrinsecamente dinâmica. Suas formas não são estruturas rígidas, mas manifestações flexíveis, embora estáveis, de processos subjacentes. Nas palavras de Paul Weiss,

“As características de ordem, manifestadas na forma particular de uma estrutura e na organização e distribuição regular de suas subestruturas, nada mais são do que o indicador visível de regularidades da dinâmica subjacente que operam no seu domínio. (...) A forma viva deve ser vista, essencialmente, como um indicador manifesto da (ou uma pista para) a dinâmica dos processos formativos subjacentes”³.

Esta descrição de abordagem sistêmica soa de um modo muito semelhante à descrição da física moderna num capítulo anterior. Com efeito, a “nova física”, especialmente sua abordagem *bootstrap*, está muito próxima da teoria geral dos sistemas. Ela enfatiza mais as relações do que as entidades isoladas e, tal como a perspectiva sistêmica, percebe que essas relações são inerentemente dinâmicas. O pensamento sistêmico é pensamento de processo; a forma torna-se associada ao processo, a inter-relação à interação, e os opostos são unificados através da oscilação.

O surgimento de padrões orgânicos é fundamentalmente diferente do empilhamento de blocos de construção, ou da fabricação de um produto mecânico em etapas precisamente programadas. Não obstante, cumpre entender que também essas operações ocorrem em sistemas vivos. Embora sejam de uma natureza mais especializada e secundária, as operações do tipo mecânico ocorrem em todo o mundo vivo. A descrição reducionista de organismos pode, portanto, ser útil e, em alguns casos, necessária. Ela só é perigosa quando interpretada como se fosse a explicação completa. Reducionismo e holismo, análise e síntese, são enfoques complementares que, usados em equilíbrio adequado, nos ajudam a chegar a um conhecimento mais profundo da vida.

Isso posto, podemos agora abordar a questão da natureza dos organismos vivos, e nesse ponto será útil examinar as diferenças essenciais entre um organismo e uma máquina. Começemos por especificar de que espécie de máquina estamos falando. As modernas máquinas cibernéticas* exibem várias propriedades características dos organismos, de modo que a distinção entre máquina e organismo torna-se muito sutil. Mas não foram essas as máquinas que serviram de modelo para a filosofia mecanicista da ciência do

* Cibernética, do grego “kybernan”, “governar”, é o estudo do controle e da auto-regulação de máquinas e organismos vivos. (N. do A.)

século XVII. Na concepção de Descartes e de Newton, o mundo era uma máquina do século XVII, essencialmente um mecanismo de relógio. É esse o tipo de máquina que temos em mente quando comparamos seu funcionamento com o de organismos vivos.

A primeira diferença óbvia entre máquinas e organismos é o fato de que as máquinas são construídas, ao passo que os organismos crescem. Essa diferença fundamental significa que a compreensão de organismos deve ser orientada para o processo. Por exemplo, é impossível transmitir uma imagem acurada de uma célula por meio de desenhos estáticos ou descrevendo a célula em termos de formas estáticas. As células, como todos os sistemas vivos, têm que ser entendidas em termos de processos que refletem a organização dinâmica do sistema. Se as atividades de uma máquina são determinadas por sua estrutura, a relação inverte-se nos organismos — a estrutura orgânica é determinada por processos.

As máquinas são construídas reunindo-se e montando-se um número bem definido de peças de modo preciso e previamente estabelecido. Os organismos, por outro lado, mostram um elevado grau de flexibilidade e plasticidade internas. O formato de seus componentes pode variar dentro de certos limites, e não há dois organismos que tenham peças rigorosamente idênticas. Embora o organismo como um todo exiba regularidades e tipos de comportamento bem definidos, as relações entre suas partes não são rigidamente determinadas. Como Weiss mostrou em exemplos variados e impressionantes, o comportamento das partes individuais pode, de fato, ser tão singular e irregular que não apresenta qualquer sinal de relevância no que se refere à ordem de todo o sistema⁴. Essa ordem resulta de atividades coordenadoras que não constroem rigidamente as partes, mas deixam margem para variação e flexibilidade, e é essa flexibilidade que habilita os organismos vivos a adaptarem-se a novas circunstâncias.

As máquinas funcionam de acordo com cadeias lineares de causa e efeito, e quando sofrem uma avaria pode ser usualmente identificada uma causa única para tal defeito. Em contrapartida, o funcionamento dos organismos é guiado por modelos cíclicos de fluxo de informação, conhecidos por laços de realimentação (*feedback loops*). Por exemplo, o componente A pode afetar o componente B; B pode afetar C; e C pode “realimentar” A e assim fechar o circuito. Quando tal sistema sofre uma avaria, esta é usualmente causada por múltiplos fatores que podem ampliar-se reciprocamente através de laços interdependentes de realimentação. De modo geral, é irrelevante saber qual desses fatores foi a causa inicial do colapso.

Esse estado de interligação não-linear dos organismos vivos indica que as tentativas convencionais da ciência biomédica de associar doenças a causas únicas são muito problemáticas. Além disso,

mostra a falácia do “determinismo genético”, a crença em que as várias características físicas ou mentais de um organismo individual são “controladas” ou “ditadas” por sua constituição genética. A perspectiva sistêmica deixa bem claro que os genes não são os determinantes exclusivos do funcionamento de um organismo, tal como os dentes e as rodas determinam o funcionamento de um relógio. Os genes são, outrossim, partes integrantes de um todo ordenado e, portanto, adaptam-se à sua organização sistêmica.

A plasticidade e flexibilidade internas dos sistemas vivos, cujo funcionamento é controlado mais por relações dinâmicas do que por rígidas estruturas mecânicas, dão origem a numerosas propriedades características que podem ser vistas como aspectos diferentes do mesmo princípio dinâmico — o princípio de auto-organização⁵. Um organismo vivo é um sistema auto-organizador, o que significa que sua ordem em estrutura e função não é imposta pelo meio ambiente, mas estabelecida pelo próprio sistema. Os sistemas auto-organizadores exibem um certo grau de autonomia; por exemplo, eles tendem a estabelecer seu tamanho de acordo com princípios internos de organização, independentemente de influências ambientais. Isso não significa que os sistemas vivos estejam isolados do seu meio ambiente; pelo contrário, interagem continuamente com ele, mas essa interação não determina sua organização. Os dois principais fenômenos dinâmicos da auto-organização são a auto-renovação — a capacidade dos sistemas vivos de renovar e reciclar continuamente seus componentes, sem deixar de manter a integridade de sua estrutura global — e a autotranscendência — a capacidade de se dirigir criativamente para além das fronteiras físicas e mentais nos processos de aprendizagem, desenvolvimento e evolução.

A relativa autonomia dos sistemas auto-organizadores projeta nova luz sobre a velha questão filosófica do livre-arbítrio. Do ponto de vista sistêmico, determinismo e liberdade são conceitos relativos. Na medida em que um sistema é autônomo em relação ao seu meio ambiente, ele é livre; na medida em que depender dele, através de interação contínua, sua atividade será modelada por influências ambientais. A relativa autonomia dos organismos geralmente aumenta com sua complexidade, e atinge o auge nos seres humanos.

Esse conceito relativo de livre-arbítrio parece ser compatível com os pontos de vista das tradições místicas que exortam seus adeptos a transcender a noção de um “eu” isolado e a tomar consciência de que somos partes inseparáveis do cosmo em que estamos inseridos. O objetivo dessas tradições é o completo desprendimento de todas as sensações do ego e, em experiência mística, a obtenção da fusão com a totalidade do cosmo. Uma vez alcançado esse estado, a questão do livre-arbítrio parece perder todo o seu

significado. Se eu *sou* o universo, não pode haver influências “exteriores” e todas as minhas ações são espontâneas e livres. Portanto, do ponto de vista dos místicos, a noção de livre-arbítrio é relativa, limitada e — como eles diriam — ilusória, como todos os outros conceitos que usamos em nossas descrições racionais da realidade.

Para manterem sua auto-organização, os organismos vivos têm que permanecer num estado especial difícil de ser descrito em termos convencionais. A comparação com máquinas ajudará de novo. Um mecanismo de relógio, por exemplo, é um sistema relativamente isolado que exige energia para funcionar, mas que não precisa necessariamente interagir com seu meio ambiente para manter-se em funcionamento. Como todos os sistemas isolados, continuará a funcionar de acordo com a segunda lei da termodinâmica, da ordem para a desordem, até atingir um estado de equilíbrio em que todos os processos — movimento, troca de calor, etc. — cessarão. Os organismos vivos funcionam de um modo muito diferente. São sistemas abertos, o que significa que têm de manter uma contínua troca de energia e matéria com seu meio ambiente a fim de permanecerem vivos. Essa troca envolve a assimilação de estruturas ordenadas, como o alimento, decompondo-as e usando alguns de seus componentes para manter ou mesmo aumentar a ordem do organismo. Esse processo é conhecido como metabolismo. Permite que o sistema permaneça num estado de não-equilíbrio, no qual está sempre “em atividade”. Um alto grau de não-equilíbrio é absolutamente necessário para a auto-organização; os organismos vivos são sistemas abertos que operam continuamente sem qualquer equilíbrio.

Ao mesmo tempo, esses sistemas auto-organizadores possuem um alto grau de estabilidade, e é aí que esbarramos em dificuldades com a linguagem convencional. Os significados que o dicionário dá para a palavra “estável” incluem “fixo”, “não flutuante”, “inalterável” e “permanente”, todos adjetivos inadequados para se descrever os organismos. A estabilidade de sistemas auto-organizadores é profundamente dinâmica e não deve ser confundida com equilíbrio. Consiste em manter a mesma estrutura global apesar de mudanças e substituições contínuas de seus componentes. Uma célula, por exemplo, segundo Weiss, “retém sua identidade de um modo muito mais conservador e permanece muito mais semelhante a si mesma de momento para momento, assim como a qualquer outra célula da mesma estirpe, do que jamais poderíamos prever pelo conhecimento exclusivo do seu inventário de moléculas, macromoléculas e organelas, o qual está sujeito a uma incessante mudança, recombinação e fragmentação de sua população”⁶. Pode-se dizer o mesmo a respeito de organismos humanos. Substituímos todas as nossas células,

exceto as do cérebro, num prazo de poucos anos; e, no entanto, não temos dificuldade em reconhecer nossos amigos mesmo depois de longos períodos de separação. Tal é a estabilidade dinâmica dos sistemas auto-organizadores.

O fenômeno de auto-organização não está limitado à matéria viva, mas ocorre também em certos sistemas químicos amplamente estudados pelo físico-químico Iliá Prigogin, laureado com o prêmio Nobel, e que desenvolveu uma detalhada teoria dinâmica para descrever o comportamento desses sistemas⁷. Prigogin chamou a esses sistemas “estruturas dissipativas”, para expressar o fato de que mantêm e desenvolvem uma estrutura mediante a decomposição de outras estruturas no processo de metabolismo, criando assim entropia — desordem — subsequentemente dissipada na forma de produtos residuais degradados. As estruturas químicas dissipativas exibem a dinâmica da auto-organização em sua forma mais simples, manifestando a maioria dos fenômenos característicos da vida — auto-renovação, adaptação, evolução e até formas primitivas de processos “mentais”. A única razão pela qual não são consideradas vivas é que não se reproduzem nem formam células. Assim, esses intrigantes sistemas representam um elo entre matéria animada e inanimada. Se são chamados ou não organismos vivos é, em última análise, uma questão de convenção.

A auto-renovação é um aspecto essencial dos sistemas auto-organizadores. Enquanto uma máquina é construída para produzir um produto específico ou executar uma tarefa específica determinada por aquele que a construiu, um organismo está empenhado primordialmente em renovar-se; as células dividem-se e constroem estruturas, e os tecidos e órgãos substituem suas células em ciclos contínuos. Assim, o pâncreas substitui a maioria de suas células de 24 em 24 horas; o revestimento do estômago é substituído de três em três dias; nossos leucócitos são renovados em dez dias, e 98 por cento da proteína do cérebro é refeita em menos de um mês. Todos esses processos são regulados de modo a que o padrão geral do organismo seja preservado, e essa notável capacidade de automanutenção persiste em uma grande variedade de circunstâncias, incluindo a mudança de condições ambientais e muitas espécies de interferência. Uma máquina enguiçará se suas peças não funcionarem da maneira rigorosamente predeterminada, mas um organismo manterá seu funcionamento num ambiente variável, mantendo-se em condição operacional e regenerando-se através da cura e da regeneração. O poder de regeneração das estruturas orgânicas diminui com a crescente complexidade do organismo. Planárias, pólipos e estrelas-do-mar podem regenerar seu corpo quase inteiramente, a partir de um pequeno fragmento; lagartos, salamandras, caranguejos, lagostas e muitos insetos são capazes de renovar um

órgão ou membro perdido; e animais superiores, incluindo os humanos, podem renovar tecidos e assim curar ferimentos.

Ainda que sejam capazes de se manter e se regenerar, os organismos complexos não podem funcionar indefinidamente. Eles se deterioram gradualmente no processo de envelhecimento e, finalmente, sucumbem por exaustão, mesmo quando relativamente pouco afetados. Para sobreviver, essas espécies desenvolveram como que uma "superoficina"⁸. Em vez de substituírem as partes danificadas ou gastas, substituem o organismo todo. Esse, evidentemente, é o fenômeno da reprodução, característico de toda vida.

As flutuações desempenham um papel central na dinâmica da automanutenção. Qualquer sistema vivo pode ser descrito em termos de variáveis interdependentes, cada uma das quais pode variar numa ampla faixa entre um limite superior e um inferior. Todas as variáveis oscilam entre esses limites, de modo que o sistema encontra-se em estado de contínua flutuação, mesmo quando não existe qualquer perturbação. Tal estado é conhecido como homeostase. É um estado de equilíbrio dinâmico, transacional, em que existe grande flexibilidade; em outras palavras, o sistema tem um grande número de opções para interagir com seu meio ambiente. Quando ocorre alguma perturbação, o organismo tende a regressar ao seu estado original, e o faz adaptando-se de várias maneiras às mudanças ambientais. Os mecanismos de realimentação entram em ação e tendem a reduzir qualquer desvio do estado de equilíbrio. Por causa desses mecanismos reguladores, também conhecidos como de realimentação negativa (*negative feedback*), a temperatura do corpo, a pressão sanguínea e muitas outras condições importantes dos organismos superiores permanecem relativamente constantes mesmo quando o meio ambiente muda de forma considerável. Entretanto, a realimentação negativa é apenas um aspecto de auto-organização através de flutuações. O outro aspecto é a realimentação positiva (*positive feedback*), que consiste em ampliar certos desvios em vez de os amortecer. Veremos que esse fenômeno tem um papel crucial nos processos de desenvolvimento, aprendizagem e evolução.

A capacidade de adaptação a um meio ambiente variável é uma característica essencial dos organismos vivos e dos sistemas sociais. Os organismos superiores são usualmente capazes de três tipos de adaptação, que entram sucessivamente em ação durante prolongadas mudanças ambientais⁹. Uma pessoa que sobe do nível do mar para uma grande altitude pode começar a arquejar e seu coração pode se acelerar. Essas mudanças são rapidamente reversíveis; a descida no mesmo dia fará com que desapareçam imediatamente. Mudanças adaptativas desse gênero são parte do fenômeno do estresse, que consiste em deslocar uma ou muitas variáveis do organismo aos seus valores extremos. Por conseguinte, o sistema como um todo será

rígido com relação a essas variáveis e, assim, incapaz de adaptar-se ao estresse adicional. Por exemplo, a grande altitude a pessoa não será capaz de subir uma escada correndo. Além disso, como todas as variáveis no sistema estão interligadas, a rigidez em uma delas afetará também as outras, e a perda de flexibilidade propagar-se-á por todo o sistema.

Se a mudança ambiental persiste, o organismo passa por um processo adicional de adaptação. Complexas mudanças fisiológicas têm lugar entre os componentes mais estáveis do sistema para absorver o impacto ambiental e restabelecer a flexibilidade. Assim, a grande altitude, a pessoa estará de novo apta a respirar normalmente após um certo período de tempo e a usar seu mecanismo de arquejo para se ajustar a outras emergências que, caso contrário, poderiam ser fatais. Essa forma de adaptação é conhecida como mudança somática*. Aclimação, formação de hábitos e gostos constituem aspectos especiais desse processo.

Através das mudanças somáticas, o organismo recupera parte de sua flexibilidade ao substituir uma mudança mais profunda e mais duradoura por outra mais superficial e reversível. Tal adaptação será realizada de um modo relativamente lento e sua reversão será mais vagarosa. Entretanto, mudanças somáticas são ainda reversíveis. Isso significa que vários circuitos do sistema biológico devem estar disponíveis para tal reversão, durante todo o tempo em que a mudança é mantida. Tal carga prolongada dos circuitos limitará a liberdade do organismo para controlar outras funções, reduzindo, portanto, sua flexibilidade. Embora o sistema seja mais flexível depois da mudança somática do que era antes, quando estava sob tensão, ele ainda é menos flexível do que antes de ter ocorrido a tensão original. A mudança somática, portanto, interioriza a tensão ou o estresse, e sua acumulação interiorizada poderá, finalmente, levar à doença.

A terceira espécie de adaptação possível dos organismos vivos consiste na adaptação das espécies ao processo de evolução. As mudanças ocasionadas por mutação, também conhecidas como mudanças genotípicas**, são totalmente diferentes das mudanças somáticas. Através da mudança genotípica, uma espécie adapta-se ao meio ambiente alterando a faixa de variação de algumas de suas variáveis, notadamente daquelas que resultam nas mudanças mais econômicas. Por exemplo, quando o clima fica mais frio, crescem pêlos mais espessos nos animais; desse modo, eles não têm mais

* *Somático* significa "corporal", do grego "soma", "corpo". (N. do A.)

** *Genótipo* é um termo técnico referente à constituição genética de um organismo; mudanças genotípicas são mudanças na constituição genética. (N. do A.)

que ficar simplesmente correndo de um lado para outro a fim de se manter aquecidos. A mudança genotípica propicia mais flexibilidade do que a mudança somática. Como cada célula contém uma cópia da nova informação genética, ela se comportará da maneira modificada sem precisar de quaisquer mensagens dos tecidos e órgãos circundantes. Assim, mais circuitos do sistema permanecerão abertos e a flexibilidade global será aumentada. Por outro lado, a mudança genotípica é irreversível dentro do tempo de vida de um indivíduo.

Os três modos de adaptação caracterizam-se por uma crescente flexibilidade e uma decrescente reversibilidade. A reação rapidamente reversível ao estresse será substituída por uma mudança somática a fim de aumentar a flexibilidade sob estresse contínuo, e a adaptação evolutiva será induzida a fim de aumentar ainda mais a flexibilidade quando o organismo acumulou tantas mudanças somáticas que se torna rígido demais para sobreviver. Assim, maneiras sucessivas de adaptação restabelecem tanto quanto possível a flexibilidade que o organismo perdeu sob a tensão ambiental. A flexibilidade de um organismo individual dependerá de quantas de suas variáveis forem mantidas em flutuação dentro de seus limites de tolerância; quanto mais flutuações houver, maior será a estabilidade do organismo. Para populações de organismos, o critério correspondente à flexibilidade é a variabilidade. A máxima variação genética dentro de uma população fornece o número máximo de possibilidades para a adaptação evolutiva.

A capacidade da espécie de se adaptar a mudanças ambientais através de mutações genéticas foi estudada amplamente e com muito êxito em nosso século, assim como os mecanismos de reprodução e hereditariedade. Entretanto, esses aspectos representam somente uma parte do fenômeno da evolução. A outra parte é o desenvolvimento criativo de novas estruturas e funções, independentemente de qualquer pressão ambiental, o que constitui uma manifestação do potencial de autotranscendência inerente a todos os organismos vivos. Portanto, os conceitos darwinianos expressam somente uma de duas perspectivas complementares, sendo ambas necessárias para se compreender a evolução. O exame do ponto de vista evolutivo como manifestação essencial de sistemas auto-organizadores será mais fácil se estudarmos primeiro mais minuciosamente a relação entre organismos e seu meio ambiente.

Assim como a noção de uma entidade física independente tornou-se problemática na física subatômica, o mesmo ocorreu em biologia com a noção de organismos independentes. Os organismos vivos, sendo sistemas abertos, mantêm-se vivos e em funcionamento

através de intensas transações com seu meio ambiente, que também consiste, parcialmente, em organismos. Assim, a totalidade da biosfera — nosso ecossistema planetário — é uma teia dinâmica e altamente integrada de formas vivas e não-vivas. Embora essa teia possua múltiplos níveis, as transações e interdependências existem em todos os seus níveis.

A grande maioria dos organismos estão não só inseridos em ecossistemas, mas são eles próprios ecossistemas complexos, contendo uma infinidade de organismos menores que possuem considerável autonomia e, no entanto, integram-se harmoniosamente no funcionamento do todo. Os menores desses componentes vivos mostram uma surpreendente uniformidade, sendo muito semelhantes uns aos outros em todo o mundo vivo, como foi brilhantemente descrito por Lewis Thomas:

“Aí estão eles, movimentando-se de um lado para outro no meu citoplasma. (...) Seu parentesco é muito menor comigo do que entre si e com as bactérias que vivem livremente lá fora, à sombra da colina. Sinto-os como se fossem seres estranhos, mas acode-me o pensamento de que as mesmas criaturas, precisamente as mesmas, estão também nas células das gaivotas e baleias, e na erva das dunas, e nas algas marinhas, e nos bernardos-eremitas, e, mais para o lado da terra, nas folhas da faia no quintal de minha casa, e na família de jaritacacas sob o muro dos fundos, e até naquela mosca pousada na vidraça da janela. Através deles, estou ligado a todos os seres vivos: sim, tenho parentes próximos, parentes em segundo grau, espalhados por toda parte”¹⁰.

Embora todos os organismos vivos apresentem respeitável individualidade e sejam relativamente autônomos em seu funcionamento, as fronteiras entre organismo e meio ambiente são, com frequência, difíceis de determinar. Alguns organismos podem ser considerados vivos somente quando estão num certo meio ambiente; outros pertencem a sistemas maiores que se comportam mais como um organismo autônomo do que os seus membros individuais; ainda outros colaboram para a construção de grandes estruturas que se convertem em ecossistemas que sustentam centenas de espécies.

No mundo dos microrganismos, os vírus estão entre as criaturas mais intrigantes, existindo na fronteira entre a matéria viva e a não-viva. São auto-suficientes, somente em parte, estão vivos apenas numa acepção limitada. Os vírus são incapazes de funcionar e multiplicar-se fora das células vivas. São imensamente mais simples do que qualquer microrganismo, e os mais simples dentre eles consistem em apenas um ácido nucléico, ADN ou ARN. De fato, fora das células os vírus não mostram sinais aparentes de vida. São sim-

plesmente substâncias químicas e exibem estruturas moleculares altamente complexas mas completamente regulares¹¹. Em alguns casos, é até possível isolar os vírus, decompô-los, purificar seus componentes e depois compô-los de novo, sem destruir sua capacidade de funcionamento.

Embora as partículas isoladas dos vírus sejam apenas aglomerados de substâncias químicas, eles consistem, porém, em substâncias químicas de um tipo muito especial — as proteínas e os ácidos nucleicos, que são os constituintes essenciais da matéria viva¹². Nos vírus, essas substâncias podem ser estudadas isoladamente, e foram tais estudos que levaram os biólogos moleculares a algumas de suas maiores descobertas nas décadas de 50 e 60. Os ácidos nucleicos são macromoléculas semelhantes a cadeias que transportam informação para a auto-reprodução e a síntese proteínica. Quando um vírus penetra numa célula viva, ele é capaz de usar a maquinaria bioquímica da célula para construir novas partículas viróticas, de acordo com as instruções codificadas em seu ADN ou ARN. Portanto, um vírus não é um parasita vulgar que tira alimento de seu hospedeiro para viver e se reproduzir. Sendo essencialmente uma mensagem química, não provê ao seu próprio metabolismo nem pode executar muitas outras funções características dos organismos vivos. Sua única função é apossar-se da maquinaria de reprodução da célula e usá-la para reproduzir novas partículas viróticas. Essa atividade ocorre num ritmo frenético. No prazo de uma hora, uma célula contaminada pode produzir milhares de novos vírus, e em muitos casos a célula será destruída durante esse processo. Como várias partículas viróticas são produzidas por uma única célula, uma infecção por vírus num organismo multicelular pode destruir logo um grande número de células e causar, portanto, uma doença.

Embora a estrutura e o funcionamento dos vírus sejam hoje bem conhecidos, sua natureza básica continua a ser uma incógnita. Quando está fora das células vivas, a partícula virótica não pode ser chamada de organismo vivo; dentro de uma célula, ela forma um sistema vivo em conjunto com a célula, mas de um gênero muito especial. Esse sistema é auto-organizador, mas a finalidade de sua organização não é a estabilidade ou a sobrevivência de todo o sistema vírus-célula. Seu único objetivo é a produção de novos vírus, que passarão depois a formar sistemas vivos desse gênero especial no meio ambiente fornecido por outras células.

O modo especial como os vírus exploram seu meio ambiente é uma exceção no mundo vivo. A maioria dos organismos integram-se harmoniosamente em seu meio circundante, e alguns deles remodelam seu meio ambiente de tal forma que este se converte num ecossistema capaz de sustentar grande quantidade de animais e plantas. O mais notável exemplo de tais organismos construtores

de ecossistemas são os corais, que por muito tempo se pensou serem plantas, mas que são mais apropriadamente classificados como animais. Os pólipos do coral são minúsculos organismos multicelulares que se juntam para formar grandes colônias e que, como tal, podem construir esqueletos maciços de calcário. Ao longo de imensos períodos geológicos, muitas dessas colônias converteram-se em gigantescos recifes de coral, os quais representam, de longe, as maiores estruturas criadas por organismos vivos na terra. Essas estruturas maciças sustentam inúmeras bactérias, plantas e animais: organismos que vivem incrustados sobre o exosqueleto coralino, peixes e invertebrados que se escondem em suas fendas e recessos, e várias outras criaturas que cobrem virtualmente todo o espaço disponível sobre o recife¹³. Para construir esses ecossistemas densamente povoados, os pólipos de coral funcionam de um modo altamente coordenado, compartilhando redes nervosas e capacidades reprodutivas em tão alto grau que fica difícil, com frequência, considerá-los organismos individuais.

Modelos semelhantes de coordenação existem em compactas sociedades animais de maior complexidade. Exemplo marcante é o dos insetos sociais — abelhas, vespas, formigas, térmitas e outros —, que formam colônias cujos membros são tão interdependentes e estão em contato tão estreito que todo o sistema parece ser um grande organismo de muitas criaturas¹⁴. Abelhas e formigas são incapazes de sobreviver em isolamento, mas, em grande número, atuam quase como as células de um organismo complexo dotado de inteligência coletiva e capacidade de adaptação muito superiores às de seus membros individuais. Esse fenômeno da reunião de animais para formar sistemas de organismos maiores não está limitado aos insetos, podendo ser observado também em muitas outras espécies, inclusive, é claro, a espécie humana.

A estreita coordenação de atividades existe não só entre indivíduos da mesma espécie, mas também entre seres diferentes, e os sistemas de vida resultantes possuem, uma vez mais, as características de organismos singulares. Muitos tipos de organismos que se pensava representarem espécies biológicas bem definidas consistem de fato, após metódico exame, em duas ou mais espécies diferentes mas em íntima associação biológica. Esse fenômeno, conhecido como simbiose, está tão difundido por todo o mundo vivo que tem de ser considerado um aspecto central da vida. As relações simbióticas são mutuamente vantajosas para os parceiros associados, e envolvem animais, plantas e microrganismos em quase todas as combinações possíveis e imagináveis¹⁵. Muitas dessas espécies podem ter-se unido num passado distante e evoluído para uma interdependência cada vez maior e para uma requintada adaptação recíproca.

As bactérias vivem frequentemente em tal simbiose com outros

organismos, que sua própria vida e a de seus hospedeiros torna-se dependente da relação simbiótica. As bactérias do solo, por exemplo, alteram as configurações de moléculas orgânicas de modo a torná-las utilizáveis para as necessidades energéticas das plantas. Para tanto, as bactérias incorporam-se tão intimamente às raízes das plantas que ambas são quase indistinguíveis. Outras bactérias vivem em relações simbióticas nos tecidos de organismos superiores, especialmente no trato intestinal de animais e seres humanos. Alguns desses microrganismos intestinais são altamente benéficos para seus hospedeiros, contribuindo para a sua nutrição e aumentando sua resistência às doenças.

Numa escala ainda menor, a simbiose tem lugar dentro das células de todos os organismos superiores e é crucial para a organização de atividades celulares. A maioria das células contém um certo número de organelas, que executam funções específicas, e até data recente pensava-se serem estruturas moleculares construídas pela célula. Mas hoje está provado que algumas organelas são organismos *per se*¹⁶. Os mitocôndrios, por exemplo, a que freqüentemente se dá o nome de casas de força da célula, porque alimentam quase todos os sistemas de energia celular, contêm seu próprio material genético e podem se reproduzir independentemente da reprodução da célula. Eles residem permanentemente em todos os organismos superiores, passando de geração em geração e vivendo em íntima simbiose dentro de cada célula. Analogamente, os cloroplastos das plantas verdes, que contêm a clorofila e o aparelho para a fotossíntese, são habitantes independentes, auto-reprodutores, das células das plantas.

Quanto mais estudamos o mundo vivo, mais nos apercebemos de que a tendência para a associação, para o estabelecimento de vínculos, para viver uns dentro de outros e cooperar, é uma característica essencial dos organismos vivos. Lewis Thomas observou: “Não temos seres solitários. Cada criatura está, de alguma forma, ligada ao resto e dele depende”¹⁷. As maiores redes de organismos formam ecossistemas, em conjunto com vários componentes inanimados ligados aos animais, plantas e microrganismos, através de uma intrincada rede de relações que envolvem a troca de matéria e energia em ciclos contínuos. Tal como os organismos individuais, os ecossistemas são sistemas auto-organizadores e auto-reguladores nos quais determinadas populações de organismos sofrem flutuações periódicas. Em virtude da natureza não-linear dos percursos e interligações dentro de um ecossistema, qualquer perturbação séria não estará limitada a um único efeito, mas poderá propagar-se a todo o sistema e até ser ampliada por seus mecanismos internos de realimentação.

Num ecossistema equilibrado, animais e plantas convivem numa

combinação de competição e mútua dependência. Cada espécie tem potencial suficiente para realizar um crescimento exponencial de sua população, mas essas tendências são refreadas por vários controles e interações. Quando o sistema é perturbado, começam a aparecer “fujões” exponenciais. Esse descontrole faz com que algumas plantas se convertam em “ervas daninhas”, alguns animais, em “pragas” e outras espécies sejam exterminadas. O equilíbrio, ou saúde, de todo o sistema estará então ameaçado. O crescimento explosivo desse tipo não está limitado aos ecossistemas, mas ocorre também em organismos individuais. O câncer e outros tumores são exemplos impressionantes de crescimento patológico.

O estudo detalhado dos ecossistemas nestas últimas décadas mostrou com muita clareza que a maioria das relações entre organismos vivos são essencialmente cooperativas, caracterizadas pela coexistência e a interdependência, e simbióticas em vários graus. Embora haja competição, esta ocorre usualmente num contexto mais amplo de cooperação, de modo que o sistema maior é mantido em equilíbrio. Até mesmo as relações predador-presa, destrutivas para a presa imediata, são geralmente benéficas para ambas as espécies. Esse *insight* está em profundo contraste com os pontos de vista dos darwinistas sociais, que viam a vida exclusivamente em termos de competição, luta e destruição. A concepção que eles tinham da natureza ajudou a criar uma filosofia que legitima a exploração e o impacto desastroso de nossa tecnologia sobre o meio ambiente natural. Mas tal concepção não possui qualquer justificação científica, porque não leva em conta os princípios integrativos e cooperativos que são os aspectos essenciais do modo como os sistemas vivos se organizam em todos os níveis.

Como enfatizou Thomas, mesmo nos casos em que tem de haver vencedores e perdedores, a transação não é necessariamente um combate. Por exemplo, quando dois indivíduos de uma certa espécie de coral se encontram num lugar onde existe espaço apenas para um, o menor dos dois se desintegrará sempre, e o fará por meio de seus próprios mecanismos autônomos. “Ele não é expulso, nem derrotado, nem abatido; ele simplesmente escolhe desaparecer cortesmente de cena”¹⁸. A agressão excessiva, a competição e o comportamento destrutivo são aspectos predominantes apenas dentro da espécie humana; eles têm que ser tratados em termos de valores culturais, em vez de se procurar “explicá-los” pseudocientificamente como fenômenos intrinsecamente naturais.

Muitos aspectos das relações entre os organismos e seu meio ambiente podem ser descritos de maneira muito coerente com a ajuda do conceito sistêmico de ordem estratificada a que já fizemos

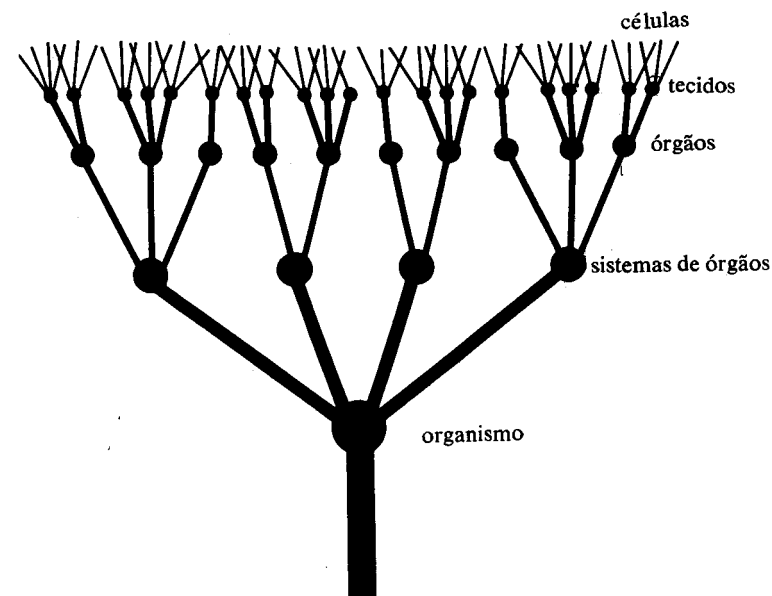
antes breve referência¹⁹. A tendência dos sistemas vivos para formar estruturas de múltiplos níveis, que diferem em sua complexidade, é comum a toda a natureza e tem que ser vista como um princípio básico de auto-organização. Em cada nível de complexidade encontramos sistemas integrados, todos auto-organizadores, que consistem em partes menores e, ao mesmo tempo, atuam como partes de totalidades maiores. Por exemplo, o organismo humano contém sistemas compostos de vários órgãos, sendo cada órgão constituído de tecidos e cada tecido composto de células. As relações entre esses níveis sistêmicos podem ser representadas por uma “árvore sistêmica”.

Tal como numa árvore real, existem interligações e interdependências entre todos os níveis sistêmicos; cada nível interage e comunica-se com seu meio ambiente total. O tronco da árvore sistêmica indica que o organismo individual está ligado a sistemas sociais e ecológicos mais vastos, que, por sua vez, têm a mesma estrutura da árvore (ver p. 275).

Em cada nível, o sistema que está sendo considerado pode constituir um organismo individual. Uma célula pode ser parte de um tecido, mas pode também ser um microrganismo, que por sua vez é parte de um ecossistema; e quase sempre é impossível traçar uma distinção nítida entre essas descrições. Todo subsistema é um organismo relativamente autônomo, mas também, ao mesmo tempo, um componente de um organismo maior; é um “*holon*”, no termo de Arthur Koestler, manifestando ambas as propriedades independentes dos todos e as propriedades dependentes das partes. Assim, o predomínio total de ordem no universo assume um novo significado: a ordem em um nível sistêmico é a consequência da auto-organização em um nível maior.

De um ponto de vista evolutivo, é fácil entender por que os sistemas estratificados, ou de múltiplos níveis, estão tão difundidos na natureza²⁰. Eles evoluem muito mais rapidamente e têm uma probabilidade muito maior de sobrevivência do que os sistemas não-estratificados, porque em casos de graves perturbações podem decompor-se em seus vários subsistemas sem ser completamente destruídos. Os sistemas não-estratificados, por outro lado, desapareceriam totalmente e teriam que começar a evoluir de novo a partir da estaca zero. Como os sistemas vivos se defrontaram com muitas perturbações durante sua longa evolução, a natureza favoreceu sensivelmente aqueles que exibem uma ordem estratificada. De fato, parece não haver notícia alguma de sobrevivência de quaisquer outros.

A estrutura em múltiplos níveis dos organismos vivos, tal como qualquer outra estrutura biológica, é uma manifestação visível dos processos subjacentes de auto-organização. Em cada nível existe um



Árvore sistêmica representando vários níveis de complexidade dentro de um organismo vivo individual.

equilíbrio dinâmico entre tendências auto-afirmativas e integrativas, e todos os *holons* atuam como interfaces e postos de revezamento entre os vários níveis sistêmicos. Os teóricos de sistemas chamam, por vezes, “hierárquico” a esse padrão de organização, mas essa denominação pode ser um tanto equívoca em referência à ordem estratificada que se observa na natureza. A palavra “hierarquia” * referia-se originalmente ao governo da Igreja. Como todas as hierarquias humanas, esse corpo governante estava organizado numa série de escalões de acordo com níveis de poder, estando cada escalão subordinado a um outro em nível superior. No passado, a ordem estratificada da natureza foi freqüentemente mal interpretada com o propósito de justificar as estruturas sociais e políticas autoritárias²¹.

Para evitar confusão, podemos reservar o termo “hierarquia” para os sistemas de dominação e controle bastante rígidos em que

* Do grego “hieros”, “sagrado”, e “arkhia”, “regra”. (N. do A.)

as ordens são transmitidas de cima para baixo. O símbolo tradicional para essas estruturas é a pirâmide. Em contraste, a maioria dos sistemas vivos exibem modelos de organização em múltiplos níveis, caracterizados por muitos e intrincados percursos não-lineares, ao longo dos quais se propagam sinais de informação e transação entre todos os níveis, tanto ascendentes quanto descendentes. Foi por isso que inverti a pirâmide e a transformei numa árvore, símbolo mais apropriado para a natureza ecológica da estratificação nos sistemas vivos. Assim como uma árvore real extrai seu alimento tanto através das raízes como das folhas, também a energia numa árvore sistêmica flui em ambas as direções, sem que uma extremidade domine a outra, sendo que todos os níveis interagem em harmonia, interdependentes, para sustentar o funcionamento do todo.

O aspecto importante da ordem estratificada na natureza não é a transferência de controle, mas a organização da complexidade. Os vários níveis sistêmicos são níveis estáveis de diferentes complexidades, o que possibilita o uso de descrições diferentes para cada nível. Entretanto, como Weiss acentuou, qualquer “nível” que estiver sendo considerado é realmente o nível de atenção do observador²². O novo *insight* da física subatômica parece valer também para o estudo da matéria viva: os padrões observados de matéria são reflexos de padrões da mente.

O conceito de ordem estratificada também fornece a perspectiva apropriada para o fenômeno da morte. Vimos que a auto-renovação — o colapso e a construção de estruturas em ciclos contínuos — é um aspecto essencial dos sistemas vivos. Mas as estruturas que vão continuamente sendo substituídas são, elas mesmas, organismos vivos. Do ponto de vista deles, a auto-renovação do sistema maior consiste no seu próprio ciclo de nascimento e morte. Portanto, nascimento e morte apresentam-se agora como um aspecto central de auto-organização, a própria essência da vida. Com efeito, todos os seres vivos que nos cercam renovam-se o tempo todo, o que também significa que tudo à nossa volta morre o tempo todo. Escreve Thomas: “Se nos colocarmos numa campina, à beira de uma encosta, e espraíarmos a vista cuidadosamente por toda a pradaria circundante, quase tudo o que nossos olhos captarem estará em processo de morrer”²³. Mas para cada organismo que morre um outro nasce. A morte, portanto, não é o oposto da vida, mas um aspecto essencial dela.

Embora a morte seja um aspecto central da vida, nem todos os organismos morrem. Os organismos simples unicelulares, como as bactérias e as amebas, reproduzem-se por divisão celular e, ao fazê-lo, vivem simplesmente em sua progênie. As bactérias hoje existentes são essencialmente as mesmas que povoaram a Terra há bilhões de anos, ramificadas em inúmeros organismos. Essa

espécie de vida sem morte foi a única a existir nos primeiros dois terços da história da evolução. Durante esse imenso período de tempo não havia envelhecimento nem morte, nem tampouco muita variedade — nenhuma forma de vida superior e nenhuma auto-consciência. Então, há cerca de 1 bilhão de anos, a evolução da vida passou por uma extraordinária aceleração e produziu uma grande variedade de formas. Para tanto, “a vida teve que inventar o sexo e a morte”, como disse Leonard Shlain. “Sem sexo não poderia haver variedade, sem morte não haveria individualidade²⁴”. Daí em diante, os organismos superiores envelheceriam e morreriam, e indivíduos emparelhariam seus cromossomos na reprodução sexual, gerando assim uma enorme variedade genética, que fez a evolução avançar muitos milhares de vezes mais depressa.

Os sistemas estratificados evoluíram a par dessas formas superiores de vida, renovando-se em todos os níveis e assim mantendo os ciclos contínuos de nascimento e morte para todos os organismos, de uma extremidade a outra da estrutura da árvore. E esse desenvolvimento leva-nos a indagações sobre o lugar dos seres humanos no mundo vivo. Como nós também nascemos e estamos destinados a morrer, isso significa que somos partes integrantes de sistemas maiores que continuamente se renovam? Com efeito, parece ser esse o caso. A semelhança de todas as outras criaturas vivas, pertencemos a ecossistemas e também formamos nossos próprios sistemas sociais. Finalmente, em nível ainda maior, há a biosfera, o ecossistema do planeta inteiro, do qual nossa sobrevivência é profundamente dependente. Não consideramos usualmente esses sistemas mais extensos organismos individuais — à semelhança de plantas, animais ou pessoas —, mas uma nova hipótese científica faz precisamente isso no mais amplo nível acessível. Estudos detalhados do modo como a biosfera parece regular a composição química do ar, a temperatura na superfície da Terra e muitos outros aspectos do meio ambiente planetário levaram o químico James Lovelock e a microbióloga Lynn Margulis a sugerir que tais fenômenos só podem ser entendidos se o planeta, como um todo, for considerado um único organismo vivo. Reconhecendo que sua hipótese representa o renascimento de um poderoso mito antigo, os dois cientistas chamaram-lhe a hipótese de Gaia, do nome da deusa grega da Terra²⁵.

A percepção consciente da Terra como algo vivo, que desempenhou um papel importante em nosso passado cultural, foi dramaticamente revivida quando os astronautas puderam, pela primeira vez na história humana, ver nosso planeta a partir do espaço exterior. A visão que eles tiveram do planeta em toda a sua refulgente beleza — um globo azul e branco flutuando na profunda escuridão do espaço — impressionou-os e comoveu-os profundamente; como muitos deles têm declarado desde então, foi uma imensa experiência

espiritual que mudou para sempre suas relações com a Terra. As magníficas fotos da “Terra inteira” que esses astronautas trouxeram ao voltar tornaram-se um novo e poderoso símbolo para o movimento ecológico e podem muito bem ser o resultado mais significativo de todo o programa espacial.

O que os astronautas, e inúmeros homens e mulheres na Terra antes deles, perceberam intuitivamente está sendo agora confirmado por investigações científicas, conforme é descrito em detalhes no livro de Lovelock. O planeta está não só palpitante de vida, mas parece ser ele próprio um ser vivo e independente. Toda a matéria viva da Terra, juntamente com a atmosfera, os oceanos e o solo, forma um sistema complexo com todas as características de auto-organização. Permanece num estado notável de não-equilíbrio químico e termodinâmico, e é capaz, através de uma gigantesca variedade de processos, de regular o meio ambiente planetário a fim de que sejam mantidas condições ótimas para a evolução da vida.

Por exemplo, o clima da Terra nunca foi totalmente desfavorável à vida desde que apareceram as primeiras formas de vida, há cerca de 4 bilhões de anos. Durante esse longo período de tempo, a radiação proveniente do sol aumentou, pelo menos, 30 por cento. Se a Terra fosse simplesmente um objeto sólido inanimado, a temperatura de sua superfície acompanharia a produção de energia solar, o que significa que a Terra inteira seria uma esfera gelada durante mais de 1 bilhão de anos. Sabemos, pelas informações geológicas, que essas condições adversas nunca existiram. O planeta manteve uma temperatura razoavelmente constante em sua superfície durante toda a evolução da vida, tal como um organismo humano mantém constante a temperatura do corpo, apesar de condições ambientais variáveis.

Exemplos semelhantes de auto-regulação podem ser observados com relação a outras propriedades ambientais, como a composição química da atmosfera, o conteúdo salino dos oceanos e a distribuição de vestígios de elementos entre plantas e animais. Tudo isso é regulado por intrincadas redes cooperativas que exibem as propriedades dos sistemas auto-organizadores. A Terra é, pois, um sistema vivo; ela funciona não apenas *como* um organismo, mas, na realidade, parece *ser* um organismo Gaia, um ser planetário vivo. Suas propriedades e atividades não podem ser previstas com base na soma de suas partes; cada um de seus tecidos está ligado aos demais, todos eles interdependentes; suas muitas vias de comunicação são altamente complexas e não-lineares; sua forma evoluiu durante bilhões de anos e continua evoluindo. Essas observações foram feitas num contexto científico, porém transcendem largamente o âmbito da ciência. A semelhança de muitos outros aspectos do novo

paradigma, elas refletem uma profunda consciência ecológica, que é, em última instância, espiritual.

A visão sistêmica dos organismos vivos é difícil de ser apreendida a partir da perspectiva da ciência clássica, porque requer modificações significativas de muitos conceitos e idéias clássicos. A situação não difere muito daquela que os físicos defrontaram nas primeiras três décadas deste século, quando foram forçados a fazer revisões drásticas em seus conceitos básicos de realidade, a fim de compreenderem os fenômenos atômicos. Esse paralelo é ainda corroborado pelo fato de que a noção de complementaridade, tão crucial no desenvolvimento da física atômica, também parece desempenhar um importante papel na nova biologia sistêmica.

Além da complementaridade das tendências auto-afirmativas e integrativas, que pode ser observada em todos os níveis dos sistemas estratificados da natureza, os organismos vivos apresentam um outro par de fenômenos dinâmicos complementares que são aspectos essenciais de auto-organização. Um deles, que pode ser descrito em termos gerais como autoconservação, inclui os processos de auto-renovação, cura, homeostase e adaptação. O outro, que parece representar uma tendência oposta mas complementar, é o processo de autotransformação e autotranscendência, um fenômeno que se expressa nos processos de aprendizagem, desenvolvimento e evolução. Os organismos vivos têm um potencial inerente para se superar a si mesmos a fim de criar novas estruturas e novos tipos de comportamento. Essa superação criativa em busca da novidade, a qual, no devido tempo, leva a um desdobramento ordenado da complexidade, parece ser uma propriedade fundamental da vida, uma característica básica do universo que — pelo menos por ora — não possui maior explicação. Podemos, entretanto, explorar a dinâmica e os mecanismos da autotranscendência na evolução de indivíduos, espécies, ecossistemas, sociedades e culturas.

As duas tendências complementares dos sistemas auto-organizadores estão em contínua interação dinâmica e ambas contribuem para o fenômeno da adaptação evolucionista. Para compreender esse fenômeno, portanto, serão necessárias duas descrições complementares. Uma terá que incluir muitos aspectos da teoria neodarwiniana, como a mutação, a estrutura do ADN e os mecanismos de reprodução e hereditariedade. A outra descrição deve ocupar-se não dos mecanismos genéticos, mas da dinâmica subjacente da evolução, cuja característica central não é a adaptação, e sim a criatividade. Se a adaptação fosse, ela só, o núcleo da evolução, seria difícil explicar por que as formas vivas evoluíram além das algas azuis, que estão perfeitamente adaptadas a seu meio ambiente, são inexcedíveis em

sua capacidade reprodutiva e têm provado, há bilhões de anos, sua aptidão para a sobrevivência.

O desenrolar criativo de vida em direção a formas de complexidade cada vez maior continuou sendo um mistério insolúvel por mais de um século depois de Darwin; no entanto, estudos recentes delinearam os contornos de uma teoria da evolução que promete elucidar essa impressionante característica dos organismos vivos. Trata-se de uma teoria sistêmica que se concentra na dinâmica da autotranscendência e se baseia na obra de numerosos cientistas de várias disciplinas. Entre os principais contribuintes estão os químicos Iliá Prigogin e Manfred Eigen, os biólogos Conrad Waddington e Paul Weiss, o antropólogo Gregory Bateson e os teóricos de sistemas Erich Jantsch e Ervin Laszlo. Uma síntese abrangente da teoria foi recentemente publicada por Erich Jantsch, que considera a evolução um aspecto essencial da dinâmica da auto-organização²⁶. Essa visão nos permite começar a entender a evolução biológica, social, cultural e cósmica em termos do mesmo modelo de dinâmica sistêmica, muito embora as diferentes espécies de evolução envolvam mecanismos muito diferentes. Uma complementaridade básica de descrições, ainda longe de ser compreendida, é manifestada em toda a teoria, como, por exemplo, na interação entre adaptação e criação, a ação simultânea de acaso e necessidade e a sutil interação entre macroevolução e microevolução.

A dinâmica básica da evolução, de acordo com a nova visão sistêmica, principia com um sistema em homeostase — um estado de equilíbrio dinâmico caracterizado por flutuações múltiplas e interdependentes. Quando o sistema é perturbado, tem a tendência para manter sua estabilidade por meio de mecanismos de realimentação negativa, os quais tendem a reduzir o desvio do estado equilibrado. Contudo, essa não é a única possibilidade. Os desvios também podem ser internamente reforçados através da realimentação positiva, em resposta a mudanças ambientais ou espontaneamente, sem qualquer influência externa. A estabilidade de um sistema vivo é continuamente testada por suas flutuações, e, em certos momentos, uma ou várias delas podem tornar-se tão fortes que impelem o sistema a passar por uma instabilidade rumo a uma estrutura inteiramente nova, a qual será de novo flutuante e relativamente estável. A estabilidade dos sistemas vivos nunca é absoluta. Ela persistirá enquanto as flutuações se mantiverem abaixo de um nível crítico, mas qualquer sistema está sempre pronto a transformar-se, sempre pronto a evoluir. Esse modelo básico de evolução, desenvolvido por Prigogine e seus colaboradores tendo em vista estruturas químicas dissipativas, tem sido aplicado com êxito para descrever a evolução de vários sistemas biológicos, sociais e ecológicos.

Há numerosas diferenças fundamentais entre a nova teoria sis-

têmica da evolução e a teoria neodarwiniana clássica. Na teoria clássica, a evolução avança para um estado de equilíbrio, com os organismos adaptando-se cada vez mais perfeitamente ao seu meio ambiente. De acordo com a visão sistêmica, a evolução se opera longe do equilíbrio e desenrola-se através de uma interação de adaptação e criação. Além disso, a teoria dos sistemas considera que o meio ambiente é, em si mesmo, um sistema vivo capaz de adaptação e evolução. Assim, o foco transfere-se da evolução de um organismo para a co-evolução de organismo mais meio ambiente. A consideração dessa mútua adaptação e co-evolução foi negligenciada na visão clássica, que tendia a concentrar-se em processos lineares, seqüenciais, e a ignorar fenômenos transacionais que são mutuamente condicionantes e transcorrem simultaneamente.

Jacques Monod viu a evolução como uma seqüência estrita de acaso e necessidade, o acaso de mutações randômicas e a necessidade de sobrevivência²⁷. Acaso e necessidade são também aspectos da nova teoria, mas seus papéis são muito diferentes. O reforço interno de flutuações e o modo como o sistema atinge um ponto crítico podem ocorrer aleatoriamente e são imprevisíveis, mas, uma vez atingido tal ponto crítico, o sistema é forçado a evoluir para uma nova estrutura. Assim, acaso e necessidade entram em jogo simultaneamente e atuam como princípios complementares. Além disso, a imprevisibilidade do processo todo não está limitada à origem da instabilidade. Quando um sistema se torna instável, há sempre pelo menos duas novas estruturas possíveis para as quais ele pode evoluir. Quanto mais o sistema se distanciar do equilíbrio, mais opções existirão. É impossível prever qual dessas opções será escolhida; existe uma real liberdade de escolha. Quando o sistema se aproxima do ponto crítico, ele mesmo “decide” que caminho seguir, e essa decisão determinará sua evolução. A totalidade de possíveis vias evolutivas pode ser imaginada como um gráfico de múltiplas encruzilhadas com decisões livres em cada bifurcação²⁸.

Esse quadro mostra que a evolução é basicamente aberta e indeterminada. Não existe meta ou finalidade nela e, no entanto, há um padrão reconhecível de desenvolvimento. Os detalhes desse padrão são imprevisíveis por causa da autonomia que os sistemas vivos possuem em sua evolução, assim como em outros aspectos de sua organização²⁹. Na visão sistêmica, o processo de evolução não é dominado pelo “acaso cego”, mas representa um desdobramento de ordem e complexidade que pode ser visto como uma espécie de processo de aprendizagem, envolvendo autonomia e liberdade de escolha.

Desde os dias de Darwin, as concepções científica e religiosa acerca da evolução têm estado freqüentemente em oposição, supondo a última que houve algum plano básico geral, uma espécie de

projeto idealizado por um criador divino, enquanto a primeira reduz a evolução a um jogo de dados cósmico. A nova teoria dos sistemas não aceita nenhuma dessas concepções. Embora não negue a espiritualidade e possa até ser usada para formular o conceito de uma deidade, como veremos adiante, não admite um plano evolutivo previamente estabelecido. A evolução é uma aventura contínua e aberta que cria ininterruptamente sua própria finalidade, num processo cujo desfecho detalhado é inerentemente imprevisível. Não obstante, o modelo geral de evolução pode ser reconhecido e é muito compreensível. Suas características incluem o aumento progressivo de complexidade, coordenação e interdependência; a integração de indivíduos em sistemas de múltiplos níveis; e o refinamento contínuo de certas funções e tipos de comportamento. Como resumiu Ervin Laszlo: "Há uma progressão da multiplicidade e do caos para a unicidade e a ordem"³⁰.

Na ciência clássica, a natureza era vista como um sistema mecânico composto de elementos básicos. De acordo com essa visão, Darwin propôs uma teoria da evolução em que a unidade de sobrevivência era a espécie, a subespécie ou algum outro componente básico da estrutura do mundo biológico. Mas, um século mais tarde, ficou bem claro que a unidade de sobrevivência não é qualquer uma dessas entidades. O que sobrevive é o organismo-em-seu-meio-ambiente³¹. Um organismo que pense unicamente em termos de sua própria sobrevivência destruirá invariavelmente seu meio ambiente e, como estamos aprendendo por amarga experiência, acabará por destruir a si mesmo. Do ponto de vista sistêmico, a unidade de sobrevivência não é absolutamente uma entidade, mas um modelo de organização adotado por um organismo em suas interações com o meio ambiente; ou, como o neurologista Robert Livingston expressou, o processo de seleção evolutiva atua na base do comportamento³².

Na história da vida na Terra, a co-evolução de microcosmo e macrocosmo é de especial importância. Os relatos convencionais sobre a origem da vida descrevem usualmente o desenvolvimento das formas superiores de vida dentro da microevolução e desprezam os aspectos macroevolutivos. Mas esses são dois aspectos complementares do mesmo processo evolutivo, como enfatizou Jantsch³³. A partir de uma perspectiva microscópica, a vida cria as condições macroscópicas para sua evolução subsequente; a partir da outra perspectiva, a biosfera macroscópica cria sua própria vida microscópica. O desenrolar da complexidade não resulta da adaptação dos organismos a um dado meio ambiente, mas, antes, da co-evolução de organismo e meio ambiente em todos os níveis sistêmicos.

Quando as formas primitivas de vida apareceram na Terra, há cerca de 4 bilhões de anos — meio bilhão de anos após a formação do planeta —, elas eram organismos unicelulares sem um núcleo celular e se pareciam com algumas das bactérias de hoje. Esses assim chamados procariotos viviam sem oxigênio, porquanto havia pouco ou nenhum oxigênio livre na atmosfera. Mas tão logo os microrganismos se originaram, eles começaram a modificar seu meio ambiente e a criar condições macroscópicas para a evolução subsequente da vida. Nos dois bilhões de anos seguintes, alguns procariotos produziram oxigênio através da fotossíntese, até atingir seus atuais níveis de concentração na atmosfera terrestre. Assim ficou montado o palco para o surgimento de células mais complexas, que passariam a respirar oxigênio e seriam capazes de formar tecidos celulares e organismos multicelulares.

A etapa importante evolutiva que se seguiu foi o aparecimento dos eucariotos, organismos unicelulares cujo núcleo contém em seus cromossomos o material genético do organismo. Foram essas células que, mais tarde, formaram organismos multicelulares. De acordo com Lynn Margulis, co-autor da hipótese de Gaia, as células eucarióticas originaram-se a partir de uma simbiose entre numerosos procariotos que continuaram vivendo como organelas dentro do novo tipo de célula³⁴. Mencionamos os dois tipos de organelas — mitocôndrios e cloroplastos — que regulam os mecanismos da respiração complementar de animais e plantas. Eles nada mais são do que os antigos procariotos, os quais continuam gerindo a casa de força que abastece de energia o sistema planetário Gaia, como fizeram nos quatro bilhões de anos passados.

Na evolução subsequente da vida, duas novas etapas aceleraram grandemente o processo evolutivo e produziram uma abundância de novas formas. A primeira delas foi o desenvolvimento da reprodução sexual, a qual introduziu uma extraordinária variedade genética. A segunda etapa foi o surgimento da consciência, que tornou possível substituir os mecanismos genéticos da evolução por mecanismos sociais, mais eficientes, baseados no pensamento conceitual e na linguagem simbólica.

A fim de ampliarmos nossa visão sistêmica de vida a uma descrição da evolução social e cultural, ocupar-nos-emos em primeiro lugar dos fenômenos da mente e da consciência. Gregory Bateson propôs que a mente fosse definida como um fenômeno sistêmico característico de organismos vivos, sociedades e ecossistemas, e enumerou uma série de critérios que os sistemas têm que satisfazer para que a mente ocorra³⁵. Qualquer sistema que satisfaça esses critérios estará apto a processar informação e a desenvolver os fenômenos que associamos à mente: pensamento, aprendizagem, memória, por exemplo. Na concepção de Bateson, a mente é uma

consequência necessária e inevitável de uma certa complexidade que começa muito antes de os organismos desenvolverem um cérebro e um sistema nervoso superior.

Ocorre que os critérios de Bateson para a mente estão intimamente relacionados com aquelas características dos sistemas auto-organizadores que indiquei antes como sendo as diferentes críticas entre máquinas e organismos vivos. Com efeito, a mente é uma propriedade essencial dos sistemas vivos. Como disse Bateson, “A mente é a essência do estar vivo”³⁶. Do ponto de vista sistêmico, a vida não é uma substância ou uma força, e a mente não é uma entidade que interage com a matéria. Vida e mente são manifestações do mesmo conjunto de propriedades sistêmicas, um conjunto de processos que representam a dinâmica da auto-organização. Esse novo conceito será de grande valor em nossas tentativas para superar a divisão cartesiana. A descrição da mente como um modelo de organização, ou um conjunto de relações dinâmicas, está relacionada com a descrição de matéria na física moderna. Mente e matéria já não parecem pertencer a duas categorias fundamentalmente distintas, como acreditava Descartes; pode-se considerar que apenas representem aspectos diferentes do mesmo processo universal.

O conceito de mente de Bateson será útil durante toda a nossa exposição, mas, para permanecer mais perto da linguagem convencional, reservarei o termo “mente” para organismos de alta complexidade e usarei “mentação”, um termo que significa atividade mental, para descrever a dinâmica de auto-organização em níveis inferiores. Essa terminologia foi sugerida há alguns anos pelo biólogo George Coghill, que desenvolveu uma bela concepção sistêmica dos organismos vivos e da mente, muito antes do advento da teoria geral dos sistemas³⁷. Coghill distinguiu três modelos essenciais e estreitamente inter-relacionados de organização em organismos vivos: estrutura, função e mentação. Definiu a estrutura como organização no espaço; a função, como organização no tempo; e a mentação, como uma espécie de organização que está intimamente inter-relacionada com a estrutura e a função em níveis baixos de complexidade, mas que vai além do espaço e do tempo em níveis superiores. A partir da moderna perspectiva sistêmica, podemos dizer que a mentação, sendo a dinâmica da auto-organização, representa a organização de todas as funções e é, pois, uma metafunção. Em níveis inferiores, terá freqüentemente o aspecto de comportamento, o qual pode ser definido como a totalidade das funções; assim, a abordagem behaviorista é freqüentemente bem sucedida nesses níveis. Mas, em níveis superiores de complexidade, a mentação não pode continuar limitada ao comportamento, uma vez que assume uma qualidade distintamente não-espacial e não-temporal que associamos à mente.

No conceito sistêmico de mente, a mentação é característica não só de organismos individuais, mas também de sistemas sociais e ecológicos. Como enfatizou Bateson, a mente é imanente não só no corpo, mas também nos caminhos e nas mensagens fora do corpo. Existem manifestações mais amplas da mente, das quais nossas mentes individuais são apenas subsistemas. Esse reconhecimento tem implicações bastante radicais para nossas interações com o meio ambiente natural. Se separarmos os fenômenos mentais dos sistemas maiores em que eles são imanentes e os confinarmos a indivíduos humanos, veremos o meio ambiente como desprovido de mente e seremos propensos a explorá-lo. Nossas atitudes serão muito diferentes quando nos apercebermos de que o meio ambiente não só está vivo como também é dotado de mente, como nós.

O fato de o mundo vivo estar organizado em estruturas de múltiplos níveis significa que também existem níveis da mente. No organismo, por exemplo, há vários níveis de mentação “metabólica” envolvendo células, tecidos e órgãos, e há depois a mentação “neural” do cérebro, que consiste em múltiplos níveis correspondentes a diferentes estágios da evolução humana. A totalidade dessas mentações constitui o que chamariamos de mente humana. Tal noção de mente como fenômeno de múltiplos níveis, do qual só em parte temos conhecimento nos estados ordinários de consciência, está muito difundida em numerosas culturas não-ocidentais e tem sido recentemente estudada em profundidade por alguns psicólogos ocidentais³⁸.

Na ordem estratificada da natureza, as mentes humanas individuais estão inseridas nas mentes mais vastas dos sistemas sociais e ecológicos, e estes, por sua vez, estão integrados no sistema mental planetário — a mente de Gaia —, o qual deve participar, finalmente, de alguma espécie de mente universal ou cósmica. Essa estrutura conceitual da nova abordagem sistêmica não é restringida, em absoluto, pela associação dessa mente cósmica à idéia tradicional de Deus. Nas palavras de Jantsch: “Deus não é o criador, mas a mente do universo”³⁹. Nessa perspectiva, a deidade não é, evidentemente, masculina ou feminina, nem se manifesta em qualquer forma pessoal, mas representa nada menos do que a dinâmica auto-organizadora do cosmo inteiro.

O órgão da mentação neural — o cérebro e seu sistema nervoso — é um sistema vivo altamente complexo, multidimensional e de múltiplos níveis, que se tem mantido profundamente misterioso em muitos de seus aspectos, apesar de várias décadas de intensa pesquisa em neurociência⁴⁰. O cérebro humano é um sistema vivo por excelência. Após o primeiro ano de crescimento, não são pro-

duzidos novos neurônios; no entanto, mudanças plásticas continuam ocorrendo pelo resto da vida. Na medida em que o meio ambiente muda, o cérebro amolda-se em resposta a essas mudanças; e se a qualquer momento ele é danificado, em consequência de ferimento ou lesão, o sistema realiza ajustamentos muito rápidos. Ele nunca se desgasta ou exaure; pelo contrário, quanto mais é usado, mais poderoso se torna.

A principal função dos neurônios é comunicar-se entre si, recebendo e transmitindo impulsos elétricos e químicos. Para tanto, cada neurônio desenvolveu numerosos e finos filamentos que se ramificam para estabelecer conexões com outras células, formando assim uma intrincada e vasta rede de comunicação que se entrelaça firmemente com os sistemas muscular e ósseo. A maioria dos neurônios está em contínua atividade espontânea, enviando alguns impulsos por segundo e modulando os padrões de sua atividade de várias maneiras, a fim de transmitir informação. O cérebro está sempre, todo ele, ativo e vivo, com bilhões de impulsos nervosos percorrendo seus trajetos a cada segundo.

Os sistemas nervosos de animais superiores e seres humanos são tão complexos e exibem uma variedade tão rica de fenômenos que qualquer tentativa para compreender seu funcionamento em termos puramente reducionistas parece irrealizável. Com efeito, os neurocientistas puderam mapear a estrutura do cérebro em detalhes e esclareceram muitos de seus processos eletroquímicos, mas permanecem quase completamente ignorantes acerca de suas atividades integrativas. Tal como no caso da evolução, dir-se-ia que são necessárias duas abordagens complementares: uma abordagem reducionista, para se entender os mecanismos neurais em detalhes, e uma abordagem holística, para se entender a integração desses mecanismos no funcionamento do sistema como um todo. Até agora, têm sido muito raras as tentativas de aplicação da dinâmica de sistemas auto-organizadores aos fenômenos neurais, mas aquelas que estão sendo atualmente realizadas apresentaram alguns resultados encorajadores⁴¹. Em especial, recebeu considerável atenção o significado das flutuações regulares no processo de percepção, na forma de modelos de frequência.

Outro trabalho interessante foi a descoberta de que os dois tipos complementares de descrição que parecem ser requeridos para se compreender a natureza dos sistemas vivos estão refletidos na própria estrutura e funcionamento de nosso cérebro. As pesquisas feitas nestes últimos vinte anos têm demonstrado sistematicamente que os dois hemisférios cerebrais tendem a estar envolvidos em funções opostas mas complementares. O hemisfério esquerdo, que controla o lado direito do corpo, parece ser mais especializado no

pensamento analítico, linear, o que envolve o processamento seqüencial da informação; o hemisfério direito, que controla o lado esquerdo do corpo, parece funcionar predominantemente de um modo holístico, apropriado à síntese, e tende a processar a informação de maneira mais difusa e simultânea.

Os dois tipos complementares de funcionamento foram demonstrados dramaticamente num certo número de experimentos de “cérebro dividido”, envolvendo pacientes epiléticos cujo corpo caloso, a faixa de fibras que normalmente ligam os dois hemisférios, tinha sido cortado. Esses pacientes mostraram algumas anomalias impressionantes. Por exemplo, com os olhos fechados eles podiam descrever um objeto que seguravam na mão direita, mas podiam fazer apenas vagas conjecturas se o objeto fosse segurado pela mão esquerda. Do mesmo modo, a mão direita ainda podia escrever, mas já não era capaz de fazer desenhos, enquanto, com a mão esquerda, acontecia o oposto. Outros experimentos indicaram que as diferentes especializações dos dois lados do cérebro representavam mais preferências do que distinções absolutas, mas o quadro geral foi confirmado⁴².

No passado, os pesquisadores do cérebro referiam-se frequentemente ao hemisfério esquerdo como o principal e ao direito, como o secundário, expressando assim a predisposição cartesiana de nossa cultura em favor do pensamento racional, da quantificação e da análise. Na realidade, a preferência pelos valores e atividades do “cérebro esquerdo” ou do “cérebro direito” é muito mais antiga do que a visão de mundo cartesiana. Na maioria das línguas européias, o lado direito está associado ao bom, ao justo e ao virtuoso, e o lado esquerdo, ao mal, ao perigo e à suspeição. A própria palavra “direito” também significa “correto”, “apropriado”, “justo”, ao passo que “sinistro”, que é a palavra latina para “esquerda”, transmite a idéia de algo perverso e ameaçador. A palavra alemã para “lei” é “*Recht*”, e a palavra francesa para “lei” é “*droit*”, e ambas também significam “direito”. Exemplos desse tipo podem ser encontrados em virtualmente todas as línguas ocidentais e, provavelmente, em muitas outras também. A preferência, profundamente enraizada, pelo lado direito — que é controlado pelo lado esquerdo do cérebro — em tantas culturas faz-nos pensar se isso não estará relacionado com o sistema patriarcal de valores. Seja qual for sua origem, houve recentemente algumas tentativas de se divulgarem pontos de vista mais equilibrados sobre o funcionamento do cérebro e de se desenvolverem métodos para aumentar as faculdades mentais do indivíduo mediante a estimulação e a integração do funcionamento de ambos os lados do cérebro⁴³.

As atividades mentais dos organismos vivos, das bactérias aos primatas, podem ser estudadas de uma forma bastante sistemática em termos de modelos de auto-organização, sem necessidade de se modificar muito a linguagem, enquanto se sobe na escala da evolução em direção à complexidade crescente. Mas no caso dos organismos humanos as coisas tornam-se muito diferentes. A mente humana é capaz de criar um mundo interior que espelha a realidade exterior, mas possui uma existência própria e pode levar um indivíduo ou uma sociedade a agir sobre o mundo exterior. Em seres humanos, esse mundo interior — o domínio psicológico — desenrola-se como um nível inteiramente novo e envolve um certo número de fenômenos que são característicos da natureza humana⁴⁴. Eles incluem a autoconsciência, a experiência consciente, o pensamento conceitual, a linguagem simbólica, os sonhos, a arte, a criação de cultura, senso de valores, interesse no passado remoto e preocupação com o futuro distante. A maior parte dessas características existe em forma rudimentar em várias espécies animais. De fato, parece não haver um critério único que nos permita distinguir os humanos de outros animais. O que é extraordinário na natureza humana é a combinação de características prenunciadas em formas inferiores de evolução, mas integradas e desenvolvidas num alto nível de refinamento unicamente na espécie humana⁴⁵.

Em nossas interações com o meio ambiente há uma contínua permuta e influência mútua entre o mundo exterior e o nosso mundo interior. Os modelos que percebemos à nossa volta baseiam-se de um modo muito fundamental nos modelos interiores. Os modelos de matéria espelham modelos da mente, coloridos por sentimentos e valores subjetivos. Na concepção cartesiana tradicional supunha-se que todo indivíduo tinha basicamente o mesmo aparelho biológico e que cada um de nós, portanto, tinha acesso à mesma “tela” de percepção sensorial. Pressupunha-se que as diferenças decorriam da interpretação subjetiva dos dados sensoriais; elas eram devidas, na célebre metáfora cartesiana, ao “homenzinho que olhava para a tela”. Recentes estudos neurofisiológicos desmentiram tudo isso. A modificação da percepção sensorial por experiências passadas, expectativas e propósitos ocorre não só na interpretação, mas começa, logo de saída, nas “portas da percepção”. Numerosos experimentos indicaram que o registro de dados pelos órgãos sensoriais será diferente para indivíduos diferentes *antes* de a percepção ser experimentada⁴⁶. Esses estudos mostram que os aspectos fisiológicos da percepção não podem ser separados dos aspectos psicológicos da interpretação. Além disso, o novo conceito de percepção também apaga a distinção convencional entre percepção sensorial e extra-sensorial — um outro vestígio do pensamento cartesiano — ao mostrar que toda percepção é, em certa medida, extra-sensorial.

Nossas respostas ao meio ambiente são, portanto, determinadas não tanto pelo efeito direto de estímulos externos sobre o nosso sistema biológico, mas, antes, por nossa experiência passada, nossas expectativas, nossos propósitos e a interpretação simbólica individual de nossa experiência perceptiva. A tênue fragrância de um perfume pode evocar alegria ou mágoa, prazer ou dor, através de suas associações com a experiência passada, e nossas respostas variarão de acordo com isso. Assim, os mundos interior e exterior estão sempre interligados no funcionamento de um organismo humano; eles interagem e evoluem juntos.

Como seres humanos, amoldamos nosso meio ambiente com muita eficácia porque somos capazes de representar o mundo exterior simbolicamente, pensar conceitualmente e comunicar nossos símbolos, conceitos e idéias. Fazemo-lo com a ajuda da linguagem abstrata, mas também de modo não-verbal, através da pintura, música e outras formas de arte. Ao pensarmos e nos comunicarmos, tanto lidamos com o presente como nos referimos ao passado e antevemos o futuro, o que nos dá um grau de autonomia muito superior a tudo o que se observa em outras espécies. O desenvolvimento do pensamento abstrato, da linguagem simbólica e de várias outras capacidades humanas depende crucialmente de um fenômeno que é característico da mente humana. Os seres humanos possuem consciência; estamos conscientes de nossas sensações tanto quanto de nós próprios como indivíduos pensantes e experientes.

A natureza da consciência é uma questão existencial fundamental que tem fascinado homens e mulheres ao longo dos tempos, tendo ressurgido como tópico de discussões intensas entre especialistas de várias disciplinas, incluindo psicólogos, físicos, filósofos, neurocientistas, artistas e representantes de tradições místicas. Essas discussões foram, com frequência, muito estimulantes, mas também suscitaram considerável confusão, pois o termo “consciência” está sendo usado em diferentes acepções por diferentes pessoas. Pode significar consciência subjetiva, por exemplo, quando atividades conscientes e inconscientes são comparadas, mas também pode significar autoconsciência, que é a consciência de estar consciente. O termo também é usado por muitos no sentido da totalidade da mente, com seus muitos níveis conscientes e inconscientes. E a discussão é ainda mais complicada pelo recente e forte interesse pelas “psicologias” orientais, que desenvolveram mapas elaborados do domínio interior e usam uma dúzia de termos ou mais para descrever seus vários aspectos, todos eles usualmente traduzidos como “mente” ou “consciência”.

Em vista dessa situação, precisamos especificar cuidadosamente o sentido em que é usado o termo “consciência”. A mente humana é um modelo integrado, em múltiplos níveis, de processos que

representam a dinâmica da auto-organização humana. A mente é um modelo de organização, e a consciência é uma propriedade da mentação em qualquer nível, das simples células aos seres humanos, embora, evidentemente, difira imensamente em amplitude. A auto-consciência, por outro lado, parece manifestar-se unicamente em animais superiores, estando totalmente desenvolvida na mente humana, e essa é a propriedade da mente a que chamo consciência. A totalidade da mente humana, com suas esferas consciente e inconsciente, chamarei, como Jung, de psique.

Como a concepção sistêmica da mente não está limitada a organismos individuais, podendo ser estendida a sistemas sociais e ecológicos, podemos dizer que grupos de pessoas, sociedades e culturas têm uma mente coletiva e, portanto, possuem igualmente uma consciência coletiva. Podemos também acompanhar Jung no pressuposto de que a mente coletiva, ou psique coletiva, inclui um inconsciente coletivo⁴⁷. Como indivíduos, participamos desses modelos mentais coletivos, somos influenciados por eles e, por outro lado, os moldamos. Além disso, os conceitos de uma mente planetária e de uma mente cósmica podem ser associados a níveis planetários e cósmicos da consciência.

A maioria das teorias acerca da natureza da consciência parecem ser variações em torno de duas concepções opostas que podem, não obstante, ser complementares e se reconciliar na abordagem sistêmica. Uma dessas concepções pode ser chamada de concepção científica ocidental. Considera a matéria primária e a consciência uma propriedade de complexos modelos materiais que surge num certo estágio da evolução biológica. A maioria dos neurocientistas subscreve hoje esse ponto de vista⁴⁸. A outra concepção da consciência pode ser chamada de visão mística, uma vez que está geralmente assentada nas tradições místicas. Considera a consciência a realidade primária e a base de todo o ser. Em sua mais pura forma, a consciência, de acordo com essa visão, é imaterial, informe e vazia de conteúdo; freqüentemente, ela é descrita como “consciência pura”, “realidade última”, “qüididade”*, etc.⁴⁹ Essa manifestação da consciência pura está associada ao Divino em muitas tradições espirituais. Afirma-se que é a essência do universo e que se manifesta em todas as coisas; todas as formas de matéria e todos os seres vivos são vistos como modelos da consciência divina.

A visão mística da consciência baseia-se na experiência da realidade em formas não-ordinárias de consciência, as quais são tradicionalmente alcançadas através da meditação; podem também ocorrer

* Em inglês, “suchness”, palavra com que se costuma traduzir o importante conceito budista de “tathata”, o estado em que uma coisa é o que ela é. (N. do T.)

espontaneamente no processo de criação artística e em vários outros contextos. Os modernos psicólogos passaram a chamar de “transpessoais” as experiências incomuns dessa espécie, porque parecem permitir à mente individual estabelecer contato com modelos mentais coletivos e até cósmicos. De acordo com numerosos testemunhos, as experiências transpessoais envolvem uma relação forte, pessoal e consciente com a realidade, superando amplamente a atual estrutura científica. Não devemos esperar, portanto, que a ciência, em seu atual estágio, confirme ou contradiga a concepção mística da consciência⁵⁰. Não obstante, a concepção sistêmica da mente parece perfeitamente compatível com as concepções científica e mística da consciência e fornece, portanto, a estrutura ideal para unificar as duas.

A concepção sistêmica concorda com a concepção científica convencional quanto à noção de que a consciência é uma manifestação de complexos modelos materiais. Para sermos mais precisos, é uma manifestação de sistemas vivos de uma certa complexidade. Por outro lado, as estruturas biológicas desses sistemas são expressões de processos subjacentes que representam a auto-organização do sistema e, por conseguinte, na mente. Nesse sentido, as estruturas materiais deixaram de ser consideradas a realidade primária. Ampliando esse modo de pensar o universo como um todo, não é exagero supor que todas as suas estruturas — das partículas subatômicas até as galáxias, e das bactérias aos seres humanos — são manifestações da dinâmica auto-organizadora do universo, a qual identificamos com a mente cósmica. Mas essa é quase a concepção mística, com a única diferença de que os místicos enfatizam a experiência direta da consciência cósmica, que vai muito além da abordagem científica. Entretanto, as duas abordagens parecem muito compatíveis. A concepção sistêmica da natureza, por último, parece fornecer uma significativa estrutura científica para abordar as velhas questões da natureza da vida, da mente, da consciência e da matéria.

Para entender a natureza humana, estudamos não só suas dimensões físicas e psicológicas, mas também suas manifestações sociais e culturais. Os seres humanos evoluíram como animais e seres sociais e não podem conservar-se física ou mentalmente bem se não permanecerem em contato com outros seres humanos. Mais do que qualquer outra espécie social, dedicamo-nos ao pensamento coletivo e, assim procedendo, criamos um mundo de cultura e de valores que é parte integrante do nosso meio ambiente natural. Assim, as características biológicas e culturais da natureza humana não podem ser separadas. A humanidade surgiu através do próprio

processo de criar cultura, e necessita dessa cultura para a sua sobrevivência e ulterior evolução.

A evolução humana, portanto, progride através de uma interação dos mundos interno e externo, dos indivíduos e das sociedades, da natureza e da cultura. Todos esses domínios são sistemas vivos em interação, apresentando modelos semelhantes de auto-organização. As instituições sociais evoluem no sentido de uma complexidade e diferenciação crescentes, à semelhança das estruturas orgânicas, e os modelos mentais apresentam a criatividade e o ímpeto de autotranscendência característicos de toda vida. “É da natureza da mente ser criativa”, observa o pintor Gordon Onslow-Ford. “Quanto mais as profundezas da mente são sondadas, mais abundante é a sua produção”⁵¹.

De acordo com os dados antropológicos geralmente aceitos, a evolução anatômica da natureza humana estava virtualmente concluída há uns 50 000 anos. Desde então, o corpo e o cérebro humanos mantiveram-se essencialmente os mesmos em estrutura e dimensões. Por outro lado, as condições de vida mudaram profundamente durante esse período e continuam mudando em ritmo rápido. A fim de se adaptar a essas mudanças, a espécie humana usou a consciência, o pensamento conceitual e a linguagem simbólica de que dispõe para transferir-se da evolução genética para a evolução social, esta muito mais acelerada do que a primeira e propiciando uma variedade muito maior. Contudo, essa nova espécie de adaptação não é perfeita, em absoluto. Ainda carregamos conosco o equipamento biológico proveniente dos estágios iniciais de nossa evolução, o qual, com frequência, nos dificulta a tarefa de enfrentar os desafios do meio ambiente atual. O cérebro humano, de acordo com a teoria de Paul MacLean, consiste em três partes estruturalmente diferentes, cada uma delas com sua própria inteligência e subjetividade, sendo que todas derivam de períodos diferentes do nosso passado evolutivo⁵². Embora as três partes estejam intimamente ligadas, as atividades de cada uma são freqüentemente contraditórias e dificilmente se integram às das demais, como MacLean mostra numa pitoresca metáfora: “Falando alegoricamente desses três cérebros dentro do cérebro, poderíamos imaginar que, quando o psiquiatra convida o paciente a se deitar no divã, ele está pedindo que se deitem lado a lado um cavalo e um crocodilo”⁵³.

A parte mais profunda do cérebro, conhecida como o tronco cerebral, está ligada aos modelos de comportamento instintivo já exibidos pelos répteis. Ela é responsável pelos impulsos biológicos e por muitas espécies de comportamento compulsivo. Envolvendo essa parte está o sistema límbico*, bem desenvolvido em todos os

mamíferos e associado, no cérebro humano, à experiência e à expressão emocionais. As duas partes mais internas do cérebro, também conhecidas como subcórtex, estão fortemente interligadas e expressam-se não-verbalmente através de um rico espectro de linguagem corporal. A parte mais externa, finalmente, é o neocórtex*, que facilita as funções abstratas de ordem superior, como o pensamento e a linguagem. O neocórtex originou-se na mais antiga fase evolutiva dos mamíferos e expandiu-se na espécie humana num ritmo explosivo, sem precedente na história da evolução, até se estabilizar há cerca de 50 000 anos.

Ao desenvolvermos nossa capacidade de pensamento abstrato num ritmo tão rápido, parece que perdemos a importante aptidão para ritualizar conflitos sociais. Em todo o mundo animal, a agressão raramente se desenvolve a ponto de levar um dos adversários à morte. Pelo contrário, a luta é ritualizada e termina usualmente com o perdedor aceitando a derrota, mas permanecendo relativamente indene. Essa sabedoria desapareceu ou, pelo menos, ficou profundamente submersa na espécie humana nascente. No processo de criação de um mundo interior abstrato, parece que perdemos o contato com as realidades da vida e passamos a ser as únicas criaturas que, com frequência, não são capazes de cooperar, e que chegam a matar indivíduos de sua própria espécie. A evolução da consciência deu-nos não só a pirâmide de Quéops, os *Concertos de Brandemburgo* e a teoria da relatividade, mas também a queima de bruxas, o Holocausto e a bomba de Hiroxima. Mas essa mesma evolução da consciência deu-nos o potencial para vivermos pacificamente e em harmonia com o mundo natural no futuro. Nossa evolução continua a oferecer-nos liberdade de escolha. Podemos deliberadamente alterar nosso comportamento mudando nossas atitudes e nossos valores, a fim de readquirirmos a espiritualidade e a consciência ecológica que perdemos.

Na elaboração futura da nova visão de mundo holística, a noção de ritmo provavelmente desempenhará um papel verdadeiramente fundamental. A abordagem sistêmica mostrou que os organismos vivos são intrinsecamente dinâmicos, sendo suas formas visíveis manifestações estáveis de processos subjacentes. Processo e estabilidade, entretanto, são compatíveis somente se os processos formam modelos rítmicos — flutuações, oscilações, vibrações, ondas. A nova biologia sistêmica mostra que as flutuações são decisivas na dinâmica da auto-organização. Elas constituem a base da ordem no mundo vivo: as estruturas ordenadas resultam de modelos rítmicos.

* Do latim “limbus”, “fronteira”, “orla”. (N. do A.)

* Do latim “cortex”, “casca”, “cortiça”. (N. do A.)

A mudança conceitual de estrutura para ritmo pode ser extremamente útil em nossas tentativas para encontrar uma descrição unificadora da natureza. Os modelos rítmicos parecem manifestar-se em todos os níveis. Os átomos são modelos de ondas probabilísticas, as moléculas são estruturas vibratórias e os organismos são modelos multidimensionais e interdependentes de flutuações. Plantas, animais e seres humanos passam por ciclos de atividade e repouso, e todas as suas funções fisiológicas oscilam em ritmos de várias periodicidades. Os componentes dos ecossistemas estão interligados através de trocas cíclicas de matéria e energia; as civilizações ascendem e caem em ciclos evolutivos, e o planeta como um todo tem seus ritmos e recorrências enquanto gira em torno do seu eixo e se move em redor do Sol.

Os modelos rítmicos são, portanto, um fenômeno universal, mas, ao mesmo tempo, permitem que os indivíduos expressem suas diferentes personalidades. A manifestação de uma identidade pessoal única é uma importante característica dos seres humanos, e parece que essa identidade pode ser, essencialmente, uma identidade de ritmo. Os indivíduos humanos podem ser reconhecidos por seus tipos de fala característicos, movimentos corporais, gestos, respiração, que representam, todos eles, diferentes tipos de modelos rítmicos. Além disso, existem muitos ritmos “fixos”, como as impressões digitais e a caligrafia, associados a um único indivíduo. Essas observações indicam que os modelos rítmicos que caracterizam um ser humano individual são diferentes manifestações do mesmo ritmo pessoal, uma “pulsção interior” que é a essência da identidade pessoal⁵⁴.

O papel crucial do ritmo não está limitado à auto-organização e à auto-expressão, mas estende-se à percepção sensorial e à comunicação. Quando enxergamos, nosso cérebro transforma as vibrações da luz em pulsações rítmicas dos seus neurônios. Transformações semelhantes de modelos rítmicos ocorrem no processo auditivo, e até a percepção do odor parece estar baseada em “frequências ósmicas”. A noção cartesiana de objetos separados e nossa experiência com máquinas fotográficas levaram-nos a supor que nossos sentidos criam alguma espécie de imagem interna que é uma reprodução fiel da realidade. Mas não é assim que a percepção sensorial funciona. As imagens de objetos separados somente existem em nosso mundo interior de símbolos, conceitos e idéias. A realidade à nossa volta é uma contínua dança rítmica, e nossos sentidos traduzem algumas de suas vibrações para modelos de frequência que podem ser processados pelo cérebro.

A importância das frequências na percepção foi destacada especialmente pelo neuropsicólogo Karl Pribram, que desenvolveu um

modelo holográfico * do cérebro, no qual a percepção visual é obtida através de uma análise de modelos de frequência e a memória visual é organizada como um holograma⁵⁵. Pribram acredita que isso explica por que a memória visual não pode ser localizada com precisão dentro do cérebro. Tal como num holograma, o todo está codificado em cada parte. De momento, a validade do holograma como modelo para a percepção visual não está firmemente estabelecida, mas é útil, pelo menos como metáfora. Sua principal importância reside talvez na ênfase dada ao fato de que o cérebro não armazena localmente informação mas a distribui amplamente, e, de um ponto de vista mais amplo, no deslocamento conceitual das estruturas para as frequências.

Um outro aspecto intrigante da metáfora holográfica é uma possível relação com duas idéias da física moderna. Uma delas é a idéia de Geoffrey Shew de que as partículas subatômicas são dinamicamente compostas umas das outras, de tal modo que cada uma delas envolve todas as demais⁵⁶; a outra idéia é a noção de David Bohm de ordem implicada, de acordo com a qual toda a realidade está envolvida em cada uma de suas partes⁵⁷. O que todas essas idéias têm em comum é a noção de que a holonomia — o ser total contido, de algum modo, em cada uma de suas partes — pode ser uma propriedade universal da natureza. Essa idéia também foi expressa em muitas tradições místicas e parece desempenhar um importante papel nas visões místicas da realidade⁵⁸. A metáfora do holograma inspirou recentemente numerosos pesquisadores e foi aplicada a vários fenômenos físicos e psicológicos⁵⁹. Lamentavelmente, isso nem sempre é feito com a necessária cautela, e as diferenças entre uma metáfora, um modelo e o mundo real são esquecidas, por vezes, na onda de entusiasmo geral. O universo *não* é, definitivamente, um holograma, pois exibe uma multidão de vibrações de diferentes frequências; assim, o holograma pode frequentemente ser útil como analogia para descrever fenômenos associados a esses modelos vibratórios.

Tal como no processo de percepção, o ritmo desempenha um importante papel nas várias maneiras como os organismos vivos interagem e se comunicam entre si. A comunicação humana, por exemplo, tem lugar, em grau significativo, através da sincronização e da interligação de ritmos individuais. Recentes análises de filmes mostraram que toda conversação envolve uma dança sutil, e em sua maior parte invisível, em que a sequência detalhada de tipos de fala é precisamente sincronizada tanto com movimentos ínfimos do corpo do locutor como com os movimentos correspondentes do

* A holografia é uma técnica de fotografia sem lentes; ver pp. 90 e 91 e nota de referência 29, do capítulo 3. (N. do A.)

ouvinte⁶⁰. Ambos os parceiros estão enlaçados numa sequência intrincada e precisamente sincronizada de movimentos rítmicos que dura enquanto eles permanecerem atentos e envolvidos em sua conversa. Um entrelaçamento semelhante de ritmos parece ser responsável pela forte vinculação entre os bebês e suas mães e, muito provavelmente, entre as pessoas apaixonadas. Por outro lado a oposição, a antipatia e a desarmonia surgem quando os ritmos de dois indivíduos não estão em sincronia.

Em raros momentos de nossas vidas, podemos sentir que estamos sincronizados com o universo inteiro. Esses momentos podem ocorrer sob muitas circunstâncias — acertar um golpe perfeito no tênis ou encontrar a descida perfeita numa pista de esqui, em meio a uma experiência sexual plenamente satisfatória, na contemplação de uma obra de arte ou na meditação profunda. Esses momentos de ritmo perfeito, quando tudo parece estar exatamente certo e as coisas são feitas com grande facilidade, são elevadas experiências espirituais em que todo tipo de separação ou fragmentação é transcendido.

Neste exame da natureza dos organismos vivos, vimos que a concepção sistêmica de vida é espiritual em sua essência mais profunda e, portanto, compatível com muitas idéias sustentadas nas tradições místicas. Os paralelos entre ciência e misticismo não se restringem à física moderna, mas podem ser estendidos agora com igual justificação à nova biologia sistêmica. Dois temas básicos se destacam repetidamente ao estudarmos a matéria viva e não-viva, sendo também amiúde enfatizados nos ensinamentos dos místicos: a interligação e a interdependência universais de todos os fenômenos e a natureza intrinsecamente dinâmica da realidade. Nas tradições místicas encontramos também um certo número de idéias, menos relevantes ou pouco significativas para a física moderna, mas cruciais para a visão sistêmica dos organismos vivos.

O conceito de ordem estratificada desempenha um papel preponderante em muitas tradições. Tal como na ciência moderna, envolve a noção de múltiplos níveis de realidade, os quais diferem em sua complexidade e são interagentes e interdependentes. Esses níveis incluem, em especial, os da mente, os quais são considerados diferentes manifestações da consciência cósmica. Embora as concepções místicas da consciência ultrapassem largamente o âmbito da ciência contemporânea, elas não são, de maneira alguma, incompatíveis com os modernos conceitos sistêmicos de mente e matéria. Considerações semelhantes aplicam-se ao conceito de livre-arbítrio, que é inteiramente compatível com as concepções místicas quando associadas à relativa autonomia dos sistemas auto-organizadores.

Os conceitos de processo, mudança e flutuação, que desempenham um papel fundamental na visão sistêmica dos organismos vivos, são enfatizados nas tradições místicas orientais, especialmente no taoísmo. A idéia de flutuações como base da ordem, que Prigogin introduziu na ciência moderna, é um dos principais temas em todos os textos taoístas. Uma vez que os sábios taoístas reconheceram a importância das flutuações em suas observações do mundo vivo, eles também não puderam deixar de enfatizar as tendências opostas mas complementares que parecem ser um aspecto essencial da vida. Entre as tradições orientais, o taoísmo é a que possui a mais explícita perspectiva ecológica, mas a interdependência de todos os aspectos da realidade e a natureza não-linear de suas interconexões são enfatizadas em todo o misticismo oriental. Por exemplo, são essas as idéias subentendidas no conceito indiano de carma.

Tal como na visão sistêmica, nascimento e morte são vistos por numerosas tradições como estágios de ciclos infundáveis que representam a auto-renovação contínua característica da dança da vida. Outras tradições enfatizam os modelos vibratórios, frequentemente associados a “energias sutis”, e muitas delas desprezaram a natureza holonômica da realidade — a existência do “todo na parte e da parte no todo” — em parábolas, metáforas e imagens poéticas.

Entre os místicos ocidentais, aquele cujo pensamento mais se aproxima do da nova biologia sistêmica é, provavelmente, Pierre Teilhard de Chardin. Teilhard, além de sacerdote jesuíta, era também um eminente cientista, e ofereceu importantes contribuições para a geologia e a paleontologia*. Ele tentou integrar seus *insights* científicos, suas experiências místicas e doutrinas teológicas numa cosmovisão coerente, que foi dominada pelo pensamento de processo e centrada no fenômeno da evolução⁶¹. A teoria da evolução de Teilhard de Chardin está em acentuado contraste com a teoria neodarwiniana, mas apresenta algumas notáveis semelhanças com a nova teoria geral dos sistemas. Seu conceito fundamental, que ele chamou de “lei da complexidade e consciência”, enuncia que a evolução se desenrola na direção de uma crescente complexidade, e que esse aumento de complexidade é acompanhado por uma correspondente elevação do nível de consciência, culminando na espiritualidade humana. Teilhard usa o termo “consciência” no sentido de percepção consciente, definindo-a como “o efeito específico da complexidade organizada”, perfeitamente compatível com a concepção sistêmica da mente.

* A paleontologia, do grego “palaios”, “antigo”, e “onta”, “coisas”, é o estudo de períodos geológicos passados com a ajuda de remanescentes fósseis. (N. do A.)

Teilhard também postulou a manifestação da mente em sistemas mais vastos, dizendo que, na evolução humana, o planeta está coberto por uma teia de idéias, para a qual forjou o termo “camada mental” ou “noosfera” *. Finalmente, ele viu Deus como a fonte de todo ser e, em particular, como a fonte de força da evolução. Levando em conta o conceito sistêmico de Deus como a dinâmica universal da auto-organização, podemos realmente dizer que, entre as numerosas imagens que os místicos têm usado para descrever o Divino, em Teilhard de Chardin o conceito de Deus, se despojado de suas conotações patriarcais, pode muito bem ser o que mais se aproxima das concepções da ciência moderna.

Teilhard de Chardin tem sido freqüentemente ignorado, desdenhado ou atacado por cientistas incapazes de ver além da estrutura cartesiana e reducionista de suas disciplinas. Entretanto, com a nova abordagem sistêmica para o estudo de organismos vivos, suas idéias aparecerão sob uma nova luz, podendo contribuir de um modo altamente significativo para o reconhecimento geral da harmonia entre as concepções dos cientistas e as dos místicos.

* Do grego “nóos”, “mente”. (N. do A.)