

ILYA PRIGOGINE

Ciência, razão e paixão

2ª edição revisada e ampliada

Organização
Edgard de Assis Carvalho
Maria da Conceição de Almeida

Livraria
da
Física

Editora

originais e o crivo técnico requerido pela revisão; a Carlos Aldemir Farias, pela preparação e formatação dos textos na primeira edição e, também, nesta que agora chega às mãos do leitor. Só poderíamos encerrar este prefácio com as próprias palavras de Ilya Prigogine que fazemos nossas, porque acreditamos no reencantamento da ciência e do mundo. Nosso tempo, diz Prigogine, é um tempo de expectativas, de ansiedade e bifurcações. Daí decorre a necessidade de uma nova ciência capaz de englobar a flecha do tempo e a criatividade do universo.

Edgard de Assis Carvalho
Maria da Conceição Xavier de Almeida
Cidade do Natal, dezembro de 2008.

Carta para as futuras gerações¹

Escrevo esta carta na mais completa humildade. Meu trabalho é no domínio da ciência. Não me dá qualquer qualificação especial para falar sobre o futuro da humanidade. As moléculas obedecem a “leis”. As decisões humanas dependem das lembranças do passado e das expectativas para o futuro. A perspectiva sob a qual vejo o problema da transição da cultura da guerra para uma cultura de paz – para usar a expressão de Federico Mayor – se obscureceu nos últimos anos, mas continuo otimista.

De qualquer forma, como poderia um homem da minha geração – nasci em 1917 – não ser otimista? Não vimos o fim de monstros como Hitler e Stálin? Não testemunhamos a miraculosa vitória das democracias na Segunda Guerra Mundial? No final da guerra, todos nós acreditávamos que a História recomeçaria do zero, e os acontecimentos justificaram esse otimismo.

Os marcos desse período incluem a fundação da Organização das Nações Unidas e da Unesco, a declaração dos direitos do homem e a descolonização. Em termos mais gerais, houve o reconhecimento das culturas não européias, que produziu uma queda do eurocentrismo e da suposta desigualdade entre os povos “ci-

¹ Esta carta foi publicada na Folha de São Paulo – Caderno MAIS! p. 4-7. Edição: Nacional, 30 jan. 2000.

vilizados” e os “não-civilizados”. Houve também uma redução na distância entre as classes sociais, pelo menos nos países ocidentais.

Esse progresso foi conquistado sob a ameaça da Guerra Fria. Após a queda do Muro de Berlim, começamos a acreditar que, enfim, ocorreria a transição da cultura da guerra para a cultura da paz. No entanto a década que se seguiu não tomou esse rumo. Testemunhamos a persistência, e até mesmo a ampliação, dos conflitos locais, sejam na África ou nos Bálcãs. Isso pode ser considerado, ainda, como um resultado da sobrevivência do passado no presente. No entanto, além da ameaça nuclear sempre presente, novas sombras apareceram: o progresso tecnológico agora torna possível guerras travadas mediante o acionamento de dispositivos que, de alguma forma, se assemelham a jogos eletrônicos.

Sou uma das pessoas que ajudaram a formular as políticas científicas da União Européia. A ciência une os povos. Cria uma linguagem universal. Muitas outras disciplinas, como a economia e a ecologia, também requerem cooperação internacional. Por isso, fico ainda mais atônito quando percebo que os governos estão tentando criar um exército europeu como expressão da unidade da Europa. Um exército contra quem? Onde está o inimigo? Por que esse crescimento constante nos orçamentos militares, quer na Europa, quer nos Estados Unidos? Cabe às futuras gerações tomar uma posição sobre isso. Nos tempos atuais, e isso será cada vez mais verdade no futuro, as coisas estão mudando a uma velocidade jamais vista. Vou usar um exemplo científico.

Quarenta anos atrás, o número de cientistas interessados na física de estado sólido e na tecnologia da informação não passava de umas poucas centenas. Era uma “flutuação”, quando comparada às ciências como um todo. Essas disciplinas hoje se tornaram tão importantes que têm conseqüências decisivas para a história da humanidade.

Crescimento exponencial foi registrado no número de pesquisadores envolvidos nesse setor da ciência. É um fenômeno de proporções sem precedentes, que deixou muito para trás o cresci-

mento do budismo e do cristianismo.

Em minha mensagem às futuras gerações, gostaria de propor argumentos com o objetivo de lutar contra os sentimentos de resignação ou impotência. **As recentes ciências da complexidade negam o determinismo; insistem na criatividade em todos os níveis da natureza. O futuro não está dado.**

O grande historiador francês Fernand Braudel escreveu: “Eventos são como poeira”. Isso é verdade? O que é um evento? Uma analogia com “bifurcações”, como são estudadas na física do não-equilíbrio, surge imediatamente. Essas bifurcações aparecem em pontos especiais nos quais a trajetória seguida por um sistema se subdivide em “ramos”. Todos os ramos são possíveis, mas só um deles será seguido. No geral não se vê apenas uma bifurcação. Elas tendem a surgir em sucessão. Isso significa que, até mesmo nas ciências fundamentais, há um elemento temporal, narrativo, e isso constitui “o fim das certezas”, o título do meu último livro. O mundo está em construção, e todos podemos participar dela.

Metáforas úteis

Como escreveu Immanuel Wallerstein: “É possível – possível, mas não é certo – criar ou construir um mundo mais humano e igualitário, melhor ancorado no racionalismo material”. Flutuações do nível microscópico decidem que ramo emergirá em cada ponto de bifurcação e, portanto, que evento acontecerá. O apelo às ciências da complexidade não significa que estejamos sugerindo que as ciências humanas sejam “reduzidas” à física. Nossa empreitada não é de redução, mas de reconciliação. Conceitos introduzidos das ciências da complexidade podem servir como metáforas muito mais úteis do que o tradicional apelo a metáforas newtonianas.

As ciências da complexidade conduzem a uma metáfora que pode ser aplicada à sociedade: um evento implica um aparecimento de uma nova estrutura social depois de uma bifurcação; flutuações são o resultado de ações individuais.

Todo evento tem uma “microestrutura”. Tomemos como exemplo histórico a Revolução Russa de 1917. O fim do regime czarista poderia ter tomado diferentes formas, e a ramificação que se seguiu a ele resultou de diversos fatores, tais como a falta de previsão do czar, a impopularidade de sua mulher, a debilidade de Kerensky, a violência de Lênin. Foi essa microestrutura, essa flutuação, que determinou o desfecho da crise e os eventos que a ela se seguiram.

Desse ponto de vista, a história é uma sucessão de bifurcações. Um exemplo fascinante de como isso transcorre é a transição da era paleolítica para a neolítica, que aconteceu praticamente no mesmo período em todo o mundo (esse fato é ainda mais surpreendente dada a longa duração da era paleolítica). A transição parece ter sido uma bifurcação ligada a uma exploração mais sistemática dos recursos minerais e vegetais. Muitos ramos emergiram dessa bifurcação: o período neolítico chinês, com sua visão cósmica, por exemplo, o neolítico egípcio, com sua confiança nos deuses, ou o ansioso período neolítico do mundo pré-colombiano.

Toda bifurcação tem beneficiários e vítimas. A transição para a era neolítica trouxe a ascensão de sociedades hierárquicas. A divisão do trabalho provocou desigualdades. A escravidão foi estabelecida e continuou a existir até o século 19. Ainda que o faraó tivesse uma pirâmide como tumba, seu povo era enterrado em valas comuns.

Da mesma forma que o século 20, o século 19 apresentou uma série de bifurcações. A cada vez que novos materiais eram descobertos – carvão, petróleo ou novas formas de energia utilizável – a sociedade se transformava. Será que não se poderia afirmar que, o conjunto de todas essas bifurcações conduziu a uma maior participação da população na cultura, e que, daí em diante, as desigualdades entre as classes sociais nascidas na era neolítica começaram a diminuir?

Homem e natureza

De modo geral, bifurcações são, simultaneamente, um sinal de instabilidade e um sinal de vitalidade em uma dada sociedade.

Expressam, também, o desejo por uma sociedade mais justa. Mesmo fora das ciências sociais, o Ocidente preserva um espetáculo surpreendente de bifurcações sucessivas. A música e a arte, por exemplo, mudam a cada 50 anos. O homem continuamente explora novas possibilidades, concebe utopias que podem conduzi-lo a uma relação mais harmoniosa entre homem e homem e homem e natureza. Esses são temas que ressurgem constantemente nas pesquisas de opinião sobre o caráter do século 21.

A que ponto chegamos? Estou convencido de que estamos nos aproximando de uma bifurcação conectada ao progresso da tecnologia da informação e a tudo que a ela se associa, como a multimídia, a robótica e a inteligência artificial. Essa é a “sociedade de rede”, com seus sonhos de aldeia global.

Qual será o resultado dessa bifurcação? Em qual de suas ramificações nos encontraremos? A palavra “globalização” cobre uma grande variedade de situações diferentes? É possível que os imperadores romanos já estivessem sonhando com globalização, uma cultura única que dominasse o mundo. A preservação do pluralismo cultural e o respeito pelo outro exigirá toda a atenção das gerações futuras. Mas há outros riscos no horizonte.

Cerca de 12 mil espécies de formigas são conhecidas hoje. Suas colônias variam de algumas centenas a muitos milhões de indivíduos. É interessante observar que o comportamento das formigas depende do tamanho da colônia. Em colônias pequenas, a formiga se comporta de forma individualista, procurando comida e levando-a de volta ao ninho. Quando a colônia é grande, porém, a situação muda e a coordenação de atividades se torna essencial.

Estruturas coletivas surgem espontaneamente como resultado de reações autocatalíticas entre formigas que produzem trocas de informação medidas quimicamente. Não é por acaso que, nas grandes colônias de formigas ou térmitas os insetos individuais se tornem cegos. O crescimento populacional transfere a iniciativa do indivíduo para a coletividade.

Por analogia, podemos nos perguntar qual será o efeito da sociedade da informação sobre nossa criatividade individual. Há vantagens óbvias nesse tipo de sociedade – basta pensar na medicina ou na economia. Existe, porém, informação e desinformação. Como diferenciá-las? É claro que isso requer cada vez mais conhecimentos e senso crítico desenvolvido. O verdadeiro precisa ser distinguido do falso, o possível do impossível. O desenvolvimento da informação significa que estamos legando uma tarefa pesada às futuras gerações. Não devemos permitir que surjam novas divisões resultantes da “sociedade de redes” baseada na tecnologia da informação. É preciso, porém, igualmente, examinar questões mais fundamentais.

Em sentido amplo, será que a bifurcação reduzirá a distância entre países ricos e pobres? A globalização será caracterizada pela paz e democracia ou pela violência, aberta ou disfarçada? Cabe às futuras gerações criar as flutuações que determinarão o rumo do evento correspondente à chegada da sociedade da informação.

Minha mensagem às futuras gerações, portanto, é de que os dados não foram lançados e que o caminho a ser percorrido depois das bifurcações ainda não foi escolhido. Estamos em um período de flutuação no qual as ações individuais continuam a ser essenciais.

Quanto mais a ciência avança, mais nos espantamos com ela. Saímos da idéia geocêntrica de um sistema solar para a heliocêntrica, e de lá para a idéia das galáxias, e, por fim, para a dos múltiplos universos. Todos já ouviram falar do Big Bang. Para a ciência, não existe um evento único, esse fato conduz à idéia de que múltiplos universos podem existir. Por outro lado, o homem é até agora a única criatura viva consciente do espantoso universo que o criou e que ele, por sua vez, pode alterar. A condição humana consiste em aprender a lidar com essa ambigüidade. Minha esperança é de que as gerações futuras aprendam a conviver com o espanto e com a ambigüidade.

A cada ano, nossos químicos produzem milhares de novas substâncias, muitas das quais derivadas de produtos naturais. Tra-

ta-se de um exemplo da criatividade humana no seio da criatividade natural como um todo. Esse espanto nos leva a respeitar os outros. Ninguém é dono da verdade absoluta, se é que essa expressão significa alguma coisa. Acredito que Richard Tarnes esteja certo: “A paixão mais profunda da alma ocidental é redescobrir a unidade com as raízes de seu ser”.

Essa paixão leva à afirmação prometéica do poder da razão, mas a razão pode também conduzir à alienação, a uma negação daquilo que dá valor e significado à vida. Cabe às futuras gerações construir uma nova coerência que incorpore tanto os valores humanos; cabe à ciência construir algo que ponha fim às profecias referentes ao “fim da ciência”, ao “fim da história” ou até quanto ao advento da “pós-humanidade”.

Estamos apenas no começo da ciência, e muito distantes do tempo em que se acreditava possível descrever todo o universo em termos de algumas poucas leis fundamentais. Identificamos o complexo e o irreversível no domínio microscópico (associado às partículas elementares), no domínio macroscópico que nos cerca e no domínio da astrofísica. Cabe às futuras gerações construir uma nova ciência que incorpore todos esses aspectos, porque, por enquanto, a ciência continua em sua infância.

Da mesma forma, o fim da história poderia ser o fim das bifurcações e a realização das visões de pesadelo de Orwell ou Huxley quanto a uma sociedade atemporal que perdeu sua memória. Cabe às futuras gerações manterem-se vigilantes para garantir que isso jamais aconteça. Um sinal de esperança é o de que o interesse pela natureza e o desejo de participar da vida cultural jamais foi tão intenso quanto agora. Não precisamos de nenhum tipo de pós-humanidade. Cabe ao homem dos dias atuais, com seus problemas, dores e alegrias, garantir sua sobrevivência no futuro. A tarefa é encontrar a estreita via entre a globalização e a preservação do pluralismo cultural, entre a violência e a política, entre a cultura da guerra e a cultura da razão. São responsabilidades pesadas.

Uma carta às gerações futuras é sempre e necessariamente escrita a partir de uma posição de incerteza, de uma extrapolação arriscada do passado. No entanto, continuo otimista. O papel dos pilotos britânicos foi crucial para decidir o desfecho da Segunda Guerra Mundial. Para repetir uma palavra que usei com frequência nesse texto, constitui uma “flutuação”. Confio em que flutuações como essa surgirão sempre, para que possamos navegar seguros entre os perigos que hoje percebemos. É com essa mensagem de otimismo que eu gostaria de encerrar esta carta.

A redescoberta do valor e a abertura da economia²

I

Somente no século 19 encontramos a disciplina chamada de economia. Nessa época, o mundo ocidental estava dominado pelo dualismo cartesiano. De um lado, a matéria, “res extensa”, descrita por leis determinísticas, do outro, a “res cogitans”, associada com a mente humana. A distinção fundamental entre mundo físico e mundo espiritual, o mundo dos valores humanos era, então, aceita. Quando Thomas Hooke redigiu os estatutos da *Royal Society* em 1663, afirmou que o objetivo da Sociedade consistia em “melhorar o conhecimento das coisas naturais, de todas as Artes utilitárias, manufaturas...” agregou a frase, “sem mexer com a Divindade, a Metafísica, a Moralidade, a Política, a Gramática, a Retórica e a Lógica”. Esses estatutos já encarnavam a divisão dos modos de conhecimento, que C. P. Snow chamaria mais tarde as “duas culturas”³. Essa separação rapidamente assumiu o tom de uma hie-

² Tradução Lois Martin Garda. Este texto faz parte do livro: “*Os princípios evolucionários da economia*”

³ Charles Snow. *As Duas Culturas e uma segunda leitura: uma visão ampliada das Duas Culturas e a revolução científica*. Tradução Geraldo Gerson de Souza e Renato de Azevedo Rezende Neto. São Paulo: EDUSP, 1995.

Referências

- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *La nuova alleanza*. [A nova aliança]. Turin: Einaudi, 1981.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *Order out of Chaos*. [Ordem a partir do Caos]. New York: Bantam Books; London: William Heinemann, 1982/1984.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *Tra il tempo e l'eternità*. [Entre o tempo e a eternidade]. Turin: Bollati Boringheiri, 1989.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *Time, Chaos and the Quantum: Towards the Resolution of the Time Paradox*. [Tempo, caos e o quantum: em direção a resolução do paradoxo do tempo]. New York: Harmony Books, Crown Publishing, 1993.
- PRIGOGINE, I.; STENGERS, I. *Das Paradox der Zeit, Chaos e Quanten*. [O paradoxo do tempo, o caos e o quantum]. Munich: Piper, 1993.

O futuro está dado?⁴⁷

A senhora Sabine Urban⁴⁸ pediu-me que escrevesse uma introdução ao ensaio de Immanuel Wallerstein, *Unthinking Social Sciences: the limits of paradigms of the 19th century* [Repensando as ciências sociais: os limites dos paradigmas do século 19], publicado pela editora Polity Press em 1991. É com grande modéstia que atendo a seu pedido. Admiro os economistas e os sociólogos que se defrontam com problemas de uma complexidade cada vez mais crescente. Há, porém, um aspecto que sempre me interessou: a relação entre cultura e natureza. A partir da tradição judaico-cristã existe uma dualidade entre esses dois termos. A cultura domina. Reflete a posição privilegiada do homem. Em contrapartida, a natureza é objeto, e objeto a ser dominado. Essa dualidade se expressa na linguagem das ciências humanas quando comparada à da física. Em contrapartida, o ideal das ciências físicas é a certeza e a reversibilidade do tempo. Futuro e passado desempenham aí o mesmo papel. A natureza se assemelharia a um autômato. Apesar dessa dualidade, os economistas e sociólogos

47 Tradução Edgard de Assis Carvalho.

48 Sabine Urban é professora emérita da Universidade Schuman em Estrasburgo. Com Marina Ricciardelli e Kostas Nanopoulos co-editou o livro *Mondialisation et sociétés multiculturelles* [Mundialização e sociedades multiculturais]. Indiana: The University of Notre Dame Press, 2003. (N.T.).

sempre foram atraídos pela visão newtoniana. Como escreveu Randall⁴⁹, que aparece citado no próprio texto de Wallerstein: “As duas principais idéias do século dezoito, natureza e razão, retiram seu significado das ciências naturais; ao voltarem as costas para o homem, tentam descobrir uma física social... Recentemente inventadas, as ciências sociais foram inteiramente assimiladas às ciências físicas... Como foi expressa no sistema newtoniano da natureza, no método e nos ideais científicos, a ordem racional do mundo... foi aplicada em uma ciência compreensiva da natureza humana que envolveu uma ciência racional da mente, da sociedade, do mundo dos negócios, do governo, da ética e das relações internacionais”.

Durante mais de três séculos, acrescenta Wallerstein, vivemos nessa perspectiva. A evolução recente da física e das matemáticas permite, porém, visualizar uma outra perspectiva na qual a física se aproxima da imagem que fazemos da natureza humana. É nesse contexto que meus trabalhos se situam.

Enumeremos algumas características da descrição adotada pelas ciências humanas. Inicialmente, são ciências que descrevem o comportamento ao nível de populações e não de indivíduos. Mesmo se analisarmos o comportamento de uma pessoa em particular, devemos introduzir nesse tipo de análise o meio em que ela viveu. Por definição, na história humana há uma quebra de simetria entre passado e futuro. Mesmo modificada pela mecânica quântica ou pela relatividade, a física newtoniana sempre se caracterizou pela reversibilidade, pela simetria entre passado e futuro. Fernand Braudel⁵⁰ refere-se à questão da longa duração e também da história dos acontecimentos. Ambas pressupõem um tempo orientado. A importância do acontecimento permanece uma questão controversa.

49 Lisa Randall (1962-). Importante física teórica. Seu papel nas pesquisas da Física das partículas é considerado de extrema relevância. (N.T.).

50 Fernand Braudel (1902-1985). Inspirado pelas idéias da “Escola dos Anais” revolucionou a maneira de se conceber e escrever a história. Seu estilo transdisciplinar vê na história total uma possibilidade universal para o entendimento de processos históricos. Seus livros *A dinâmica do capitalismo* e *A identidade da França* (3 volumes) são considerados como obras clássicas das ciências humanas. (N.T.).

Trata-se de algo sem importância, um grão de areia, como anteriormente escreveu Braudel? Há saltos? A história se realiza por meio da mistura de um determinismo entrecortado por acontecimentos.

Esses acontecimentos correspondem a reorganizações da vida social. Acredito que a característica essencial do acontecimento reside no fato de que ele introduz uma diferença entre aquilo que é previsível e o que não o é. A posição da lua daqui a um milhão de anos não constitui um acontecimento. Mesmo hoje, ela pode ser deduzida das leis de Newton, e isso com grande precisão. Em contrapartida, a queda do muro de Berlim, para citar apenas um exemplo, foi um acontecimento. Poucas pessoas previam a possibilidade desse fato ocorrer. O acontecimento é associado ao incerto. A existência de acontecimentos na escala humana deixa claro que nela as estruturas sociais escapam do determinismo. Interessante observar, também, que o acontecimento decorre de inúmeras circunstâncias. Um cientista que concordasse com isso afirmaria que o acontecimento é precedido por flutuações. A revolução russa foi um acontecimento, mas ela só foi possível por uma série de circunstâncias. A fraqueza do czar, o ódio em torno da imperatriz, a fraqueza de Kerenski⁵¹, a violência de Lênin e de Trotski. Claro que o regime czarista deveria cair, mas a maneira como isso ocorreu correspondeu a apenas uma dentre muitas possibilidades. O acontecimento possui uma microestrutura. De certo modo, é o acontecimento que permite distinguir o passado do futuro. Podemos até explicar os acontecimentos do passado. Pode-se quase considerá-los como produto de determinismo latente. O que não se pode é prever os acontecimentos do futuro.

É interessante poder aproximar a idéia de acontecimento da idéia de bifurcação utilizada nas ciências físicas e matemáticas. As bifurcações se colocam na perspectiva da evolução descritas por meio de leis não lineares. Em sistemas como esses, pode-se descrever uma

51 Alexander Kerenski (1881-1970). Revolucionário, governou a Rússia logo após a deposição do czar em 1917. Em decorrências de constantes disputas políticas, exilou-se nos Estados Unidos em 1940 e faleceu em New York. (N.T.).

variável econômica, ou mesmo qualquer outra variável por meio de uma trajetória, mas, em geral, essa trajetória conduz a pontos singulares que são as bifurcações de onde emergem várias ramificações das quais uma delas pode ser a continuação do regime anterior.

Para um físico, há uma outra condição a respeito da qual voltaremos a nos referir com mais detalhe. Trata-se daquela que se situa longe do equilíbrio. A palavra trajetória tem um sentido muito simples quando aplicada à sociedade humana. Refere-se ao fluxo de energia que uma sociedade utiliza numa dada situação. A passagem das cidades aos Estados foi um acontecimento que correspondeu a um fluxo reforçado de energia devido à agricultura e à metalurgia. Bem entendido, a história não se realiza apenas em termos econômicos. O número de variáveis a ser considerado e o das relações entre elas constituem um problema para sociólogos e economistas. Não tenho ousadia para abordá-los.

Em física, fala-se de auto-organização. Em outras palavras, isso que dizer que para as mesmas condições exteriores várias soluções do sistema não linear da evolução são possíveis. Dentre elas uma será realizada, precisamente a que corresponde a uma ramificação que ocorre após um ponto de bifurcação. Provavelmente, no nível de escala milenar, pode-se falar de auto-organização ao nos referirmos ao antigo Egito. Mesmo que existissem influências externas, a própria evolução do Egito até a época romana constituiu, essencialmente, uma evolução interna. A auto-organização é um conceito que pode ser aplicado em escalas variadas. Mesmo ao universo como um todo. O que pode dirigir a evolução que observamos no universo, se não o próprio universo? Esse questionamento envolve uma difícil questão filosófica. De qualquer modo, o não-equilíbrio, o fluxo de energia encontram-se na base dos fenômenos evolutivos.

A mais importante e, talvez, a mais evidente das características da vida seja a preocupação com o futuro. Esse fato já pode ser encontrado entre os organismos monocelulares que devem apreciar o valor nutritivo do meio e mudar de meio quando esse valor decresce. A preocupação com o futuro atinge seu ápice com o homem. Em suas decisões,

a previsão do futuro desempenha um papel essencial. Gosto sempre de citar as palavras de Le Pichon⁵²: “O homem tem a capacidade de se projetar no tempo e esta capacidade constitui, de fato, a fonte de sua angústia existencial. Esse olhar reflexivo e essa capacidade de projeção no tempo constituem, penso eu, a verdadeira originalidade do homem. Talvez mesmo a única verdadeira originalidade do homem”.

Na vida social, a memória do passado, a antecipação do futuro e o presente se entrecruzam do mesmo modo que determinismo e acontecimentos cuja resolução é sempre aleatória. É curioso que muitos economistas defendem a idéia de um mundo linear e determinista, o que é contrário a tudo o que observamos. A sociedade é inteiramente não linear pois aquilo que eu faço influencia o que os outros fazem e vice-versa. Na verdade, produzir modelos não lineares é, porém, algo mais difícil do que modelizar supondo-se uma evolução linear. A emergência da não-linearidade fica bastante clara no momento das crises. As crises são um efeito da não-linearidade. Quanto mais complexa for a sociedade, mais importantes são os efeitos não-lineares, mais numerosos os pontos de bifurcação.

De tudo isso, podemos concluir que leis deterministas não são suficientes quando procuramos conhecer o futuro. Elas devem ser substituídas por leis que implicam probabilidades. Devem incluir uma nítida dissimetria entre passado e futuro e descrever populações e não comportamentos individuais. Em física e química, já temos condições de formular leis que satisfaçam a essas condições. Talvez venham a ser fonte de inspiração para as ciências humanas. O matemático adoraria qualificar essas probabilidades de irreduzíveis no sentido de que elas não podem reduzir-se a uma decomposição em comportamentos individuais, uma vez que as interações devem sempre desempenhar um importante papel nesses comportamentos.

52 *Le Nouvel observateur*, Hors-série, n° 31, La quête des origines [A busca das origens], p. 68-69. François Le Pichon (1938-). Geofísico. Tornou-se mundialmente conhecido por suas contribuições para a construção de um modelo compreensivo do movimento das placas tectônicas da Terra. (N.T.).

Retornemos à física. Durante três séculos, ela foi dominada pelas leis de Newton. Desde o início do século 19, apareceram transformações radicais como a mecânica quântica e a relatividade, mas os aspectos que ambos problematizaram não modificaram radicalmente as idéias de Newton. O objeto central da física newtoniana era a trajetória percorrida por um ponto. Na relatividade, uma linha do espaço-tempo. Na mecânica quântica, uma função de onda. Em todos esses casos, trata-se de uma descrição determinista e reversível no tempo. Na física moderna, aspectos geométricos desempenham um papel fundamental, enquanto que nas ciências humanas, são os aspectos históricos e narrativos que assumem papel principal. Os trabalhos de nosso grupo de Bruxelas e Austin foram orientados pela perspectiva da narrativa.

É bom lembrar que, desde Gibbs, cujos trabalhos se situam historicamente no início do século vinte, os físicos descrevem a natureza de duas maneiras. Simplifiquemos um pouco o argumento. Há a descrição individual – que acabo de mencionar – e há a descrição em termos de conjuntos que descrevem uma população de pontos ou de funções de onda. Esses conjuntos não foram, porém, introduzidos a não ser para expressar nossa ignorância acerca das condições iniciais, por exemplo, em um sistema termodinâmico que compreende um imenso número de partículas. Daí decorre a idéia freqüentemente defendida de que tudo o que se deduz dos conjuntos, pode também ser deduzido na escala de partículas individuais e que a descrição reversível temporal subsistiria se conhecêssemos as condições individuais. Nossas aproximações é que determinariam a evolução da natureza.

Em descrições como essa, não há espaço para o acontecimento. Trata-se de uma concepção que eu sempre considerei um pouco ingênua. Imaginar que nós, os homens, determinamos por meio de nossas aproximações a flecha do tempo é algo absurdo. A flecha do tempo não é apenas um fenômeno humano mas se encontra em todas as escalas na natureza. A natureza tanto quanto a história conhece novidades. Trata-se de um curioso problema de natureza psicológica, que atraiu o interesse dos pesquisadores. Gostaria de citar uma passagem do texto

de Isabelle Stengers publicado nas *Cosmopolitiques*⁵³: “Em decorrência disso, já seria bastante suficiente lembrar que as famosas leis da física que afirmam a equivalência entre um antes e um depois não são mais possíveis – referimo-nos aqui tanto à história humana quanto à prática dos físicos – a não ser por meio das operações de medida e que mesmo o instrumento de medida o mais insignificante nega essa equivalência”.

Por isso, há muito tempo, fixei meu interesse na reconciliação do mundo newtoniano com a realidade humana. O sociobiólogo Edward Wilson escreveu em seu ensaio *Consilience*⁵⁴ [Consiliência]: “não existe nada mais urgente do que reaproximar a cultura científica da cultura das humanidades”. De minha parte, espero que o século 21 seja o século dessa reconciliação.

Como já indiquei anteriormente, costumava-se concluir que o estudo dos conjuntos seria equivalente ao das trajetórias. Não é bem assim, como o estudo da termodinâmica do equilíbrio já demonstrou. Todo mundo constatou que os diagramas de estados físicos de matéria, assim como a pressão em função do volume com suas descontinuidades correspondiam à passagem de um gás a um líquido e, depois, de um líquido a um sólido. Essas descontinuidades só existem na teoria dos conjuntos e, mais que isso, numa teoria dos conjuntos na qual, em circunstâncias extremas, se ultrapassou um número de partículas e um volume infinitos enquanto que a relação entre os dois, ou seja, a concentração, permanece finita. Apenas ultrapassando o limite termodinâmico é que nos deparamos com os estados físicos da matéria. A teoria das trajetórias não pode nos dizer se um corpo encontra-se em um dado estado físico. É a teoria dos conjuntos que pode fazer isso.

Essa é a razão básica pela qual em nossos trabalhos procuramos estender esse pressuposto aos sistemas de não-equilíbrio e formular as leis da física em termos dessas probabilidades irreduzíveis evocadas anteriormente. Evidentemente, é forçoso reconhecer que

53 Stengers, I. *Cosmopolitiques* [Cosmopolíticas], tomo 1. Paris, La Découverte, 1996.

54 Wilson, E. Ed. Bras.: *Consilience, a unidade do conhecimento*. (1998). Tradução Ivo Korytowski. Rio de Janeiro, Campus, 1999. (N.T.).

se trata de um projeto ambicioso, dada a necessidade de formular uma extensão das leis fundamentais – sejam elas as de Newton, de Schrödinger ou de Einstein – formulando-as em termos de probabilidades irreduzíveis que remetem à quebra da simetria temporal. Esse projeto não nasceu de uma ambição pessoal, ele é decorrência de uma necessidade. Não concebo outra maneira de reaproximar a física da observação da natureza. Foi demonstrado recentemente que é possível fazer isso de uma maneira matemática rigorosa. Bem entendido, uma generalização desse tipo não é sempre necessária. Os problemas de dois corpos e de um pêndulo reversível são regidos pelas leis de Newton e não há nada a mudar quanto a isso.

O caos corresponde, porém, a sistemas instáveis sensíveis às condições iniciais; mais ainda, nos sistemas termodinâmicos não ocorre isso. Neles pode-se demonstrar a existência de probabilidades irreduzíveis que permitem generalizar as leis fundamentais. Por meio desses conjuntos, obtemos uma física das populações. Ocorre o mesmo em qualquer modelo social ou econômico. Se há probabilidades irreduzíveis, essa noção se aplica de maneira diferente tanto para a previsão como para a retrovisão. Na verdade, demonstra-se, de maneira matemática exata, que a evolução dessas probabilidades quebra a simetria temporal.

Essa nova teoria no campo da física exige matemáticas apropriadas. Nesse caso, é a teoria dos operadores e de suas representações que se torna a ferramenta analítica adequada a tal propósito. Todos já ouviram falar de fractais. Temos agora matemáticas do tempo. Não posso entrar em detalhes sobre isso, mas já o fiz em muitos de meus trabalhos.

A realidade é mais complexa do que se podia imaginar anteriormente. A matéria é bem diferente daquilo que, incessantemente, constituiu sua representação. Gostaria de insistir sobre esse ponto, passando agora à descrição termodinâmica. O século 19 nos legou uma herança contraditória. De um lado, leis estáticas, reversíveis da dinâmica e, de outro, a descrição evolutiva da termodinâmica baseada no crescimento da entropia. É esse o sentido do segundo princípio da termodinâmica. Fenômenos irreversíveis, quer dizer, com simetria temporal rompida,

produzem entropia. Lembremos o enunciado de Clausius⁵⁵; “A evolução do universo ocorreu por meio do aumento da entropia”.

A entropia é a flecha do tempo. Ao lado das leis reversíveis da dinâmica, há leis que envolvem a flecha do tempo. Elas são encontradas por toda parte: na propagação do calor, nos fenômenos de transferência de calor e massa, na química, na física, na biologia. Na verdade, as leis reversíveis de Newton não se aplicam senão a uma pequena fração do mundo em que vivemos. Pensemos no sistema planetário. As leis de Newton fornecem uma descrição adequada do movimento dos planetas. O que, porém, se passa na superfície dos planetas, assim como na geologia, no clima e na própria vida, tudo isso requer a introdução de leis que incluem fenômenos irreversíveis.

Mesmo no nível microscópico descobrimos por toda parte fenômenos irreversíveis. Pensemos na radioatividade e nas partículas elementares instáveis. Como já indiquei anteriormente, o dilema com o qual os físicos se defrontam é o seguinte: os fenômenos irreversíveis decorrem de nossas aproximações da introdução da teoria dos conjuntos e que, portanto, constituem conceitos probabilísticos tendo em vista nossa ignorância a respeito do tema, ou é mesmo necessário rever as leis da dinâmica? Já vimos que a termodinâmica do equilíbrio exige a introdução de conjuntos e, portanto, de conceitos probabilísticos.

Essa posição que exige uma ampliação da dinâmica torna-se ainda mais forte em consequência dos resultados imprevistos da termodinâmica longe do equilíbrio. Façamos um resumo da descrição que a termodinâmica faz da natureza. Perto do equilíbrio, a termodinâmica descreve um mundo estável. Se há flutuações, o sistema responde a elas retornando a seu estado de equilíbrio caracterizado pelo extremo da entropia ou de qualquer outro potencial termodinâmico. O fato novo que ocorre é, porém, que essa situação muda radicalmente quando nos colocamos longe do equilíbrio. As flutuações podem, então, gerar estruturas espaciais e temporais novas. Para isso, é necessário que as leis

⁵⁵ Rudolph Clausius (1822-1888). Físico e matemático, é considerado como um dos principais fundadores da ciência da termodinâmica. Em 1886, introduziu o conceito de entropia. (N.T.).

da evolução sejam não lineares. Chegamos agora às estruturas dissipativas que correspondem a novas organizações supramoleculares.

Em laboratório, reproduzimos facilmente essas estruturas. Por exemplo, reações químicas oscilantes nas quais milhões de partículas químicas oscilantes mudam simultaneamente de cor, ou as famosas estruturas de Turing⁵⁶ nas quais compostos químicos se organizam em conjuntos espaciais, ou ainda, fenômenos ditos caóticos nos quais duas trajetórias vizinhas se afastam exponencialmente do curso do tempo. Todas essas novas estruturas produzem pontos de bifurcação. Neles a antiga estrutura torna-se instável e novas estruturas nascem. Observemos que é principalmente graças ao fluxo de energia proveniente do sol que vivemos num mundo longe do equilíbrio.

Somos rodeados de estruturas que se formaram no curso da história da Terra, seja isso no plano da química, da física ou biologia. Devemos buscar sua origem nas bifurcações sucessivas. Com efeito, já observamos que as bifurcações introduzem um elemento aleatório. Estamos diante do fim das certezas e do aparecimento de uma pluralidade de futuros. Isso nos fornece uma visão bem diferente da matéria daquela da matéria em estado de equilíbrio. Escrevi várias vezes sobre isso afirmando que “em estado de equilíbrio a matéria é cega, longe dele ela começa a enxergar”. Temos geralmente uma sucessão de bifurcações. Essa assertiva conduz a uma visão histórica da natureza. A geometria era o modelo da física clássica, modelo esse cujo exemplo supremo reside na relatividade geral de Einstein. Mesmo nas ciências duras vemos agora aparecer um elemento histórico narrativo.

Isso só é possível na medida em que introduzimos uma visão probabilística. Longe do equilíbrio, reencontramos as noções que

⁵⁶ Alan Turing (1912-1954). Matemático. É considerado como o criador da ciência da computação. Homossexual confesso, foi constantemente chantageado pela polícia e perseguido pelas instituições em que trabalhou. Foi submetido a um tratamento hormonal que supostamente o curaria das tendências homossexuais. O tratamento desfigurou seu corpo de modo radical. Suicidou-se em 7 de junho de 1954, comendo uma maçã que havia sido mergulhada numa solução de cianeto. Não constitui mero acaso o fato de que os computadores Macintosh trazem como marca uma maçã mordida. (N.T.).

háviamos enumerado a respeito das ciências humanas: a flecha do tempo, os pontos de bifurcação e os acontecimentos. Assiste-se, agora, a uma reaproximação significativa das duas culturas.

É hora de concluir. A flecha do tempo me parece a propriedade mais universal que existe. Envelhecemos todos na mesma direção, assim como os rochedos e as estrelas. A flecha do tempo não corresponde, porém, apenas ao envelhecimento. Implica também o aparecimento de acontecimentos, de novas manifestações que atestam a criatividade da natureza. Encontramo-nos apenas no começo de tudo isso. Já compreendemos bastante bem o mecanismo dos acontecimentos que propiciam o surgimento de novas estruturas no campo da física e da química. O que é novo, são as novas noções de pontos de bifurcação, de auto-organização. Elas podem servir de metáfora para as ciências humanas. De qualquer modo, trata-se de uma metáfora bem mais adequada do que aquela que foi expressa pelo mundo newtoniano.

Estamos ainda bem longe de compreender as flutuações que conduziram a transição da vida pré-quântica para o universo em que vivemos, ou ainda as flutuações da matéria que ocorreram na origem da vida. De qualquer modo, começamos a nos reaproximar mais da realidade que nos rodeia. A história da vida e das sociedades escapa a qualquer forma de determinismo. Redescobrimos o tempo que era apanágio das ciências humanas e que, agora, se estende ao conjunto das ciências.

A descoberta da flecha do tempo coincide com uma tomada de consciência da transição para a sociedade da informação. Não estaríamos nos aproximando de um ponto de bifurcação que seria capaz de desvendar aspectos fundamentais de nossas sociedades? Essa tomada de consciência da realidade atual diz respeito, em particular, à flecha do tempo que vivemos de modo intenso no começo deste novo século. A incerteza da globalização é inevitável, mas o que é necessário não esquecer são as flutuações que determinaram a ramificação que surgirá desse ponto de bifurcação. Esse pressuposto requer um apelo à ação individual que, em nosso tempo mais do que nunca, não está necessariamente condenada à insignificância.