

Carlos Fiolhais

## A AUTO-ORGANIZAÇÃO DOS SISTEMAS NATURAIS \*

Começo com um esclarecimento prévio e com uma congratulação. O esclarecimento é sobre o meu ofício: sou físico e é-me difícil, senão mesmo impossível, falar fora dessa condição. Acrescento ainda que sou, por formação, físico nuclear, o que significa espectador de um sistema, o núcleo atómico, onde interacções complicadas entre muitas partículas podem originar tanto estabilidade como instabilidade, tanto coerência como incoerência. A experiência ensinou os físicos do núcleo que o comportamento do objecto estudado muda conforme o ângulo e o modo de observação, como num caleidoscópio infantil. A física nuclear é, bem pode dizer-se, uma ciência da complexidade, da complexidade subatómica, tal como a química é a ciência da complexidade atómica e molecular.

A congratulação tem a ver com o facto de estarmos aqui todos hoje, filósofos, sociólogos, físicos, à volta de um pensador — Edgar Morin — que se interessa pelas múltiplas formas do saber contemporâneo. Parece-me sinal de um interesse crescente pelo cruzamento de saberes. Vivemos hoje o tempo de Bachelard, que de

---

\* Comunicação apresentada em Coimbra, no dia 24 de Novembro de 1988, durante o seminário **Projecto de uma epistemologia complexa**, consagrado à obra de Edgar Morin e organizado pela Associação de Professores de Filosofia.

professor de físico-química passou a filósofo, de Popper, que estudou matemática antes de enveredar pela epistemologia, de Holton, um físico que pensa os fundamentos da ciência. Morin, por sua vez, vindo da antropologia, descobriu a biologia, a química e a física. Os vocabulários próprios das várias disciplinas são diferentes mas esse não deve ser um obstáculo essencial à comunicabilidade. Pela parte que me toca, vou procurar adoptar uma linguagem expurgada tanto quanto possível de termos demasiado técnicos. Se o não conseguir, a culpa será exclusivamente das minhas limitações.

O tema que escolhi, a auto-organização dos sistemas naturais, tão caro a Morin, parece-me convidar a uma participação das várias disciplinas. O cientista natural não é espectador exclusivo nem privilegiado dos fenómenos da complexidade, do qual a auto-organização é um dos mais sintomáticos. O cientista social encontra fenómenos de auto-organização que se assemelham, pelo menos em parte, aos do mundo físico. Por vezes, os vários espectadores não se entendem: lembro aqui a controvérsia havida entre Morin e um físico português num encontro interdisciplinar sobre complexidade, e lamento que não tenha sido possível chegarem a acordo. Os físicos, sociólogos e filósofos só têm a lucrar se conseguirem pontes de diálogo com as comunidades de outros saberes. Ganharão se reconhecerem que o saber é múltiplo e divisível e que todos têm a aprender com todos.

Falar de auto-organização dos sistemas naturais contém em si uma certa redundância. Todos os sistemas naturais são, pelo simples facto de serem naturais, auto-organizados. Os físicos acreditam que tudo o que existe e

professor de físico-química passou a filósofo, de Popper, que estudou matemática antes de enveredar pela epistemologia, de Holton, um físico que pensa os fundamentos da ciência. Morin, por sua vez, vindo da antropologia, descobriu a biologia, a química e a física. Os vocabulários próprios das várias disciplinas são diferentes mas esse não deve ser um obstáculo essencial à comunicabilidade. Pela parte que me toca, vou procurar adoptar uma linguagem expurgada tanto quanto possível de termos demasiado técnicos. Se o não conseguir, a culpa será exclusivamente das minhas limitações.

O tema que escolhi, a auto-organização dos sistemas naturais, tão caro a Morin, parece-me convidar a uma participação das várias disciplinas. O cientista natural não é espectador exclusivo nem privilegiado dos fenómenos da complexidade, do qual a auto-organização é um dos mais sintomáticos. O cientista social encontra fenómenos de auto-organização que se assemelham, pelo menos em parte, aos do mundo físico. Por vezes, os vários espectadores não se entendem: lembro aqui a controvérsia havida entre Morin e um físico português num encontro interdisciplinar sobre complexidade, e lamento que não tenha sido possível chegarem a acordo. Os físicos, sociólogos e filósofos só têm a lucrar se conseguirem pontes de diálogo com as comunidades de outros saberes. Ganharão se reconhecerem que o saber é múltiplo e divisível e que todos têm a aprender com todos.

Falar de auto-organização dos sistemas naturais contém em si uma certa redundância. Todos os sistemas naturais são, pelo simples facto de serem naturais, auto-organizados. Os físicos acreditam que tudo o que existe e

## A auto-Organização dos sistemas naturais

é observado resultou de um processo de auto-organização. De outra maneira, seria admitir a inutilidade da sua profissão. O ofício dos físicos consiste em compreender os mecanismos internos da organização da natureza.

Vou rever sucintamente o modo como se exprime a auto-organização em sistemas tão diversos como o universo, um fluido macroscópico e um ser vivo. Trata-se, tão só, de exemplos de organização em diferentes escalas de espaço e de tempo, que evidenciam similaridades importantes. Importa desde já por a ênfase na palavra "sistema", um todo feito de partes. A ideia de comportamento conjunto, sistémico, surgiu em física com a termodinâmica (que renunciou de forma conseqüente à atitude reducionista da mecânica de Newton) e é fulcral na ciência contemporânea. Consideremos pois vários sistemas:

1- o primeiro sistema natural de que me vou ocupar é o maior de todos, o sistema de todos os sistemas: o universo todo. A meio do século XIX, quando introduziu a entropia, Clausius cometeu a ousadia de aplicar a lei da entropia ao universo todo. Apresentou o seu enunciado com a maior generalidade possível: "A energia do mundo é constante. A entropia do mundo tende para um máximo". E como a entropia era interpretada como uma medida de desordem, a afirmação de Clausius deu lugar ao mito do caos final. Esse mito atingiu proporções desmesuradas, levando a que intelectuais chegassem a desesperar perante a perspectiva, ainda que longínqua, do apocalipse entrópico, da morte pelos gelos cósmicos. Segundo o pensamento vigente em fins do século passado, o universo acabaria irremediavelmente por uniformizar a sua temperatura, no valor mais baixo possível.

Mas será legítimo aplicar a segunda lei da termodinâmica ao metassistema que é o universo todo? De facto, é preciso ter cuidado com as formulações muito gerais. A entropia só aumenta necessariamente em sistemas isolados. Uma análise cuidadosa conduz à conclusão que a termodinâmica não se pode aplicar simplisticamente ao universo todo e que a tremenda eficácia das suas proposições se perde quando se extrapola dos sistemas isolados macroscópicos, com o observador de fora, para esse metassistema que é tudo mas que, afinal, não se sabe muito bem o que é. Quando se diz que o universo é um sistema isolado, pode-se com pertinência perguntar de que é que está isolado. É que nem as galáxias estão isoladas, uma vez que a força gravitacional se estende indefinidamente no espaço.

A força universal de Newton, porque atractiva, deveria conduzir ao colapso do universo, para um grande número de condições iniciais dos corpos celestes. A solução para este problema surgiu com a observação, efectuada por E. Hubble nos anos vinte, do afastamento das galáxias (afastamento esse contrário à força ) e consistiu na necessidade de supor uma condição inicial muito particular. O universo começou assim com uma grande explosão, que pôs tudo em movimento. Já alguém disse que de todos os acontecimentos do mundo, esse foi o único "verdadeiramente interessante".....

A moderna astrofísica, ao contrário do que a termodinâmica supunha, revelou que o arrefecimento progressivo depois da grande explosão tem originado mais ordem do que desordem. A energia primordial condensou em matéria. O caldo inicial de quarks, electrões e neutri-

## A auto-Organização dos sistemas naturais

nos deu lugar a partículas compostas. Os prótons e neutrões uniram-se para formar núcleos, os núcleos para formar átomos, os átomos para formar estrelas e as estrelas as maravilhosas galáxias em espiral que observamos nos telescópios. Trata-se de um processo de organização espontânea, que se manifesta em diferentes níveis do espaço-tempo e em diferentes escalas de complexidade.

Pode-se aqui colocar desde já a questão, que considero essencial, dos problemas e dos limites do conhecimento do universo. O homem não estava lá para ver a grande explosão, estavam apenas os seus átomos, os seus núcleos, os seus quarks, sob a forma de energia. Um pouco como Sherlock Holmes não presenciámos o acontecimento mas temos de o reconstituir por ténues impressões digitais e pistas avulsas. O nosso conhecimento da complexidade que emergiu da grande explosão é portanto apenas fragmentário: hoje, por exemplo, tenta-se repetir no laboratório o desconfinamento do plasma de quarks, tenta-se compreender no computador a origem das galáxias, etc....Um bom detective só compreende o crime se efectuar uma reconstituição verídica.

Não se pense porém que a nossa ignorância, apesar de grande, nos impede de falar da história do cosmo. Os físicos têm muitas dúvidas mas algumas certezas, uma das quais fundamental: o universo tem uma história, embora não sejam conhecidos todos os acidentes e circunstâncias dessa história.

A certeza de que o universo não está em equilíbrio é corroborada por um facto banal: o facto de à noite ser noite. Se as estrelas são numerosas e estão uniformemente distribuídas, não deveriam elas iluminar e portanto

eliminar a nossa noite? O que acontece é que as estrelas se estão a afastar de nós, ou melhor umas das outras, e o grande "desvio para o vermelho" das que estão mais longe torna-as invisíveis. Além disso, algumas delas já estão apagadas, porque as estrelas nascem e morrem.

Sabemos também que os núcleos pesados, indispensáveis à vida, foram cozinhados nas estrelas. Os nossos núcleos de carbono, em particular, foram feitos numa estrela antecessora do sol e do sistema solar e a recente explosão de uma supernova numa das Nuvens de Magalhães veio recordar-nos a supernova ancestral da qual todos somos descendentes.

Os físicos, embora conheçam alguns trechos da história do cosmo, não deviam falar de tudo o que existe desde sempre, mas tão só daquilo que sabem, do pouco que viram, directa ou indirectamente, e do muito que imaginam. A imaginação dos físicos é, com efeito, componente essencial do seu método de descoberta, um pouco como a imaginação do personagem de Conan Doyle é um instrumento mais poderoso do que a sua lupa. A imaginação permite-lhes ver o que lhes falta ver.

Quando falo do que falta ver, devo acrescentar que há impossibilidades irremediáveis. Pretendo discutir aqui, embora de uma forma não exaustiva, os limites das ciências naturais. Trata-se de limites no tempo e de limites no espaço. Primeiro que tudo, o "Big Bang" inicial, essa concentração prodigiosa de energia, impede qualquer observação do tempo anterior e impossibilita que se fale de um "antes". Depois do "Big Bang" houve um instante em que se passou a barreira de Planck para a energia, barreira essa relacionada com o princípio de

## A auto-Organização dos sistemas naturais

incerteza de Heisenberg: só então emergiu o espaço-tempo a quatro dimensões que conhecemos hoje. Dificilmente teremos acesso a indícios observáveis do hiperespaço anterior que lhe serviu de matriz. Em seguida, existem vários obstáculos à observação relacionados com as sucessivas transições de fase que se deram no universo primitivo, por quebra espontânea de simetria, e que conduziram ao acordar das forças e à formação de estruturas. Por exemplo, antes da formação dos átomos o universo não era transparente, isto é, a luz não atravessava o espaço com facilidade. Foi no momento feliz em que se consumou o "casamento" entre núcleos e electrões, no momento em que se formaram os átomos, que o universo passou a ser transparente para a luz e a "radiação de fundo", então formada, se espalhou pelos confins do cosmo. Sem transparência para a luz, torna-se impossível ver directamente os acontecimentos ocorridos na era anterior aos átomos.

Existem por outro lado limites espaciais para a observação. Quando fala de universo, o físico quer dizer universo observável e este tem limites bem precisos: o horizonte cosmológico, do qual estamos prisioneiros, corresponde às maiores distâncias passíveis de serem observadas. As galáxias mais longínquas são contemporâneas do universo primitivo ( a luz que nos vem delas foi emitida muito antes de os dinossauros se passearem sobre a terra e muito antes de a supernova ancestral do sol ter explodido), mas, impulsionadas pela grande explosão, fogem de nós a uma velocidade próxima da da luz, impedindo-nos de conhecer o que está para "além" delas. O nosso passado foge vertiginoso à nossa frente e o "além"

do horizonte cosmológico é, tal como o "antes" da explosão inicial, indizível para o físico.

Os limites do conhecimento do mundo têm a ver portanto com as duas constantes mais fundamentais da física deste século. Não se pode recuar demais no tempo porque se encontra uma grande densidade de energia e a energia está limitada pelo quantum de acção. Não se pode avançar demais no espaço porque as galáxias fogem à maior velocidade possível, a velocidade da luz. As duas teorias que suportam o saber da física moderna, a teoria quântica e a teoria da relatividade, impõem restrições fundamentais ao conhecimento humano. Não existe para o físico nem infinito no tempo nem infinito no espaço, pelo que a noção de infinito fica para os matemáticos e para os filósofos.

Em resumo e descontadas todas as impossibilidades, o facto mais relevante da história do universo parece ser a sucessão temporal de estruturas, cada vez mais ordenadas, determinada por um gradiente de temperatura ou, em última análise, pela condição inicial no momento da grande explosão. Em ciência, as contradições essenciais são por vezes fonte de conhecimento novo. E a confrontação entre a cosmologia deste século e a termodinâmica do século passado conduziu ao importante resultado de que o não equilíbrio é necessário à formação de estruturas. Vivemos num universo aberto à inovação e à surpresa;

2- se o universo todo nos pode parecer demasiado grande, é melhor voltar a nossa atenção para sistemas macroscópios, como por exemplo um fluido, com uma certa viscosidade, e examinar como se desenrolam aí os

## A auto-Organização dos sistemas naturais

processos longe do equilíbrio. Num fluido, as condições de observação são de facto mais bem estabelecidas e reguláveis.

Consideremos pois um sistema tão simples como uma camada de água, que mais não é do que um conjunto imenso de moléculas em movimento irregular, e suponhamos que aquecemos por baixo essa camada de água. O sistema assim definido tem o nome de sistema de Rayleigh-Bénard e aparece representado logo no início do primeiro tomo de **O Método** de Morin. Se o gradiente espacial de temperatura (note-se que o gradiente de temperatura há pouco referido para o cosmo é temporal) ultrapassar um certo limiar, formam-se espontaneamente pequenas correntes de convecção, quais pequenos cilindros em rotação incessante. Temos pois que a desordem do movimento molecular dá lugar a uma situação intermédia entre ordem e desordem, caracterizada por correntes macroscópicas. Surge um padrão de ordem macroscópica, como que em resposta à autoridade exterior do gradiente de temperatura. Em sistemas dissipativos (o fluido é chamado dissipativo porque parte da energia que nele entra se "perde" em movimentos incoerentes) podem-se, portanto, formar padrões de ordem, uma ordem muito especial e localizada. Repare-se que o sistema não está isolado — está submetido a um fluxo de calor — e que não se lhe pode por isso aplicar a segunda lei da termodinâmica, que refere expressamente sistemas isolados. Nada impede que no sistema de Rayleigh-Bénard a entropia baixe.

O comportamento do nosso fluido pode ser descrito por equações não-lineares (a não linearidade significa aqui que a soma de duas soluções não é uma solução). Na

Carlos Fiolhais

década de sessenta, o incremento dos meios informáticos permitiu resolver essas equações, ainda que em modelos simplificados. Foi o meteorologista norte-americano E. Lorenz quem verificou num computador que o facto de o sistema ser não-linear implica uma perda de previsibilidade. Constatou com espanto que a evolução temporal do sistema a partir de condições iniciais muito próximas era muito diferente. Assim, pontos de partida infinitesimalmente vizinhos conduziam a resultados exponencialmente afastados, ao contrário do que o determinismo subjacente à mecânica clássica pretendia. Aliás, a mecânica clássica ficou no século passado impotente para resolver problemas importantes da mecânica celeste: desde logo o problema de três corpos, por exemplo uma estrela dupla e um planeta, não tinha uma solução analítica; hoje sabe-se que também nesse caso a dinâmica depende fortemente das condições iniciais e é necessário recorrer ao computador, ao mesmo tempo microscópio e macroscópio dos sistemas complexos, para estudar a evolução dos sistemas planetários.

A ciência moderna está confrontada com fenómenos quase-caóticos, caracterizados por uma sensibilidade extrema às condições iniciais. Contudo, uma vez que são ainda possíveis situações de coerência, como a existência no sistema de Rayleigh-Bénard em certas circunstâncias de correntes de convecção, é claro que o caos pode coabitar com a ordem. A coabitação do caos com a ordem é dos espectáculos mais interessantes de uma natureza que se compraz na metamorfose, na variedade e na surpresa.

É oportuno colocar agora a seguinte questão. Já se sabe que em sistemas abertos tudo pode acontecer. Mas

## A auto-Organização dos sistemas naturais

em que condições é que a evolução se dá no sentido da ordem? Em que situações o contingente se torna necessário? Quando é que um determinismo, ainda que temporal e espacialmente limitado, funciona? As previsões meteorológicas que todos os dias vemos na televisão são um exemplo de uma análise de um sistema não linear — a atmosfera terrestre — que apresenta um comportamento intermédio entre ordem e caos. Trata-se de ordem quando os meteorologistas acertam e caos quando erram... A complexidade dos fenómenos (complexidade essa relacionada com a hipersensibilidade às condições iniciais, com a falta de regulação das condições subsidiárias, com o grande número de elementos em jogo) é particularmente evidente nos sistemas dissipativos. A atmosfera é um sistema dissipativo, uma vez que a energia transportada pelos raios do Sol e absorvida pelo planeta é a grande responsável pela complexidade biológica, geológica, etc. à nossa volta.

Voltamos aqui ao problema dos limites ao conhecimento. Na natureza, a constante de Planck limita as nossas observações no espaço. Em modelos matemáticos de sistemas dissipativos, foram introduzidos os chamados "atractores estranhos". Neles, as partes aparecem metidas umas dentro das outras, sendo elas mesmas cópias do todo. Existe portanto o fenómeno de auto-semelhança (que se pode descrever usando as palavras de Paracelso: "o que está em cima é semelhante ao que está em baixo"). Mas essa hierarquia de imbricações não pode ir até ao infinitamente pequeno. O princípio da incerteza de Heisenberg, onde aparece a constante de Planck, impede-nos de observar as "bonecas russas" mais pequenas. O

mundo microscópico é o reino da mecânica quântica: aí governa a probabilidade e as regras são radicalmente diferentes. Por outro lado, as nossas observações também estão limitadas no tempo. A nossa paciência, o nosso tempo de vida limitam as observações. Não se sabe, por exemplo, se o sistema solar é estável, pois o registo de efemérides efectuado até hoje é demasiado curto para permitir previsões seguras. Os limites dos computadores (como a velocidade máxima de transmissão de sinais) são também limites ao conhecimento: nunca se conhecerão com segurança absoluta as posições astronómicas a muito longo prazo, pois isso exigiria um supercomputador com capacidade e velocidade prodigiosas. Mesmo esse computador não poderia levar em conta a aparição súbita de um cometa errante vindo de fora do sistema solar. É sempre possível uma aberração.

A crescer a estes limites da observação, existem outros problemas fundamentais relacionados com o significado. A distinção entre ordem e caos não é bem definida. Que significa, em rigor, dizer que isto é ordem e aquilo é desordem? A identificação de uma estrutura ordenada é, com efeito, efectuada rapidamente pelo nosso cérebro, mas esse processo é condicionado pelo funcionamento e treino do cérebro humano. Os padrões de ordem dependem acima de tudo dos modos e hábitos de observação. A sequência de dígitos 3141592654...pode parecer aleatória mas sabe-se desde há muito que se refere à razão universal do perímetro para o diâmetro de qualquer circunferência. A definição de caos, devida a Chaitin e Kolmogorov, que Morin tanto gosta de citar, é de algum modo ilustrativa de algumas dificuldades da

compreensão do caos. Um número é aleatório se o algoritmo mais pequeno para o produzir tiver de incluir o próprio número. O número 3, 14159... não é aleatório, porque há uma regra simples que o especifica. Considerando um número qualquer, não se pode provar que é aleatório, embora exista uma grande probabilidade de ter essa propriedade. O caos existe por todo o lado no mundo dos números mas não se deixa reconhecer. O caos absoluto permanece imperscrutável para o homem;

3- o terceiro exemplo de auto-organização ocorre nos sistemas vivos. Já dissemos que num sistema aberto, num sistema para onde flui energia do exterior, podem ocorrer fenómenos tanto de ordem como de desordem. Interessa agora saber se a evolução para uma ordem altamente organizada que aconteceu e acontece ainda nos sistemas biológicos é uma necessidade, i. e. no fim de contas se a vida, se o homem, é contingente ou necessário. Esta é uma questão central da existência, uma questão que tem dilacerado muitos pensadores. Há quem pense, como Monod, que a vida é contingente. Há quem pense, como Prigogine, que a vida é necessária.

Os avanços prodigiosos da biologia molecular desde os anos cinquenta, dos quais a pedra angular foi a descoberta do ADN por J. Watson, F. Crick e colaboradores, forneceram uma chave unificadora para os fenómenos da vida, conduzindo à conclusão de que a vida não é mais que o resultado de complicados processos físico-químicos. Todo o reportório de funções biológicas se encontra codificado na molécula de ADN, sendo admirável que apenas quatro "letras" sejam suficientes para descrever tanto uma minúscula bactéria como o maior

dos mamíferos. Mas os processos físico-químicos que possibilitam a vida só têm lugar em condições longe do equilíbrio, no interior de sistemas dissipativos. A característica principal da vida é a ocorrência de metabolismo, que se traduz pela entrada de energia e a sua transformação no interior do organismo vivo. A morfogénese e a especialização celular não são mais do que a repetição a nível macromolecular e celular do fenómeno da auto-organização patente nas correntes de convecção no sistema de Rayleigh-Bénard. O princípio é no fundo o mesmo, embora a complexidade seja maior no caso dos sistemas orgânicos. Não há nada de especial com a matéria viva, a não ser o facto de ser feita de meia dúzia de átomos que podem produzir uma miríade fantástica de combinações.

Com a teoria de Darwin, a evolução dos seres vivos e do homem integrou-se na evolução do mundo. A emergência do homem é parte do longo processo de auto-organização do cosmo e essa posição, ao contrário do que pensam alguns, não deixa de ser consoladora. O homem faz parte do universo e não é um estranho num universo estranho. As investigações sobre a origem da vida, depois da descoberta dos ácidos nucleicos e do seu papel, permitiram concluir que os primeiros jogos da vida consistiram em processos químicos não lineares de acção e retroacção, que combinam a aleatoriedade de condições iniciais e de fronteira com o determinismo de regras bem definidas. Os primeiros acontecimentos da vida amplificaram-se, acabando por ser seleccionados. Repete-se assim à escala molecular o conceito de evolução proposto por Darwin, com tanto êxito, para a escala macrobio-

## A auto-Organização dos sistemas naturais

lógica. O jogo dos átomos deu origem ao jogo das moléculas, estas ao jogo das células e estas últimas ao jogo polimorfo das plantas e animais que povoam pelo menos um planeta.

A auto-organização das células no cérebro humano é, sem dúvida, o coroar do processo evolutivo. O universo, por esse instrumento maravilhoso que é o cérebro humano, pensa-se a si próprio. Convém lembrar que o cérebro mais não é que um pedaço de universo, um pedaço muito particular porque extremamente organizado para um dado fim. E pode-se especular que o desenvolvimento das ideias, dos saberes, da ciência, pelo cérebro humano não é mais do que a continuação do jogo da evolução, do jogo da auto-organização. Os nossos pensamentos e ideias auto-organizam-se um pouco como as células e os átomos se auto-organizam. O registo do pensamento científico, a ser utilizado pelas gerações seguintes, assemelha-se de algum modo ao registo genético, de onde sai a descendência de um ser vivo. De vez em quando há mutações no conhecimento científico, surgem novos paradigmas, um pouco como surgem modificações na transmissão do património hereditário na biologia. E, em qualquer dos casos, só os "bons mutantes", os mais aptos, são seleccionados e sobrevivem.

A evolução previsível da investigação em neurobiologia e do estudo dos circuitos neuronais vai permitir penetrar nos mistérios de como o pensamento surge e funciona. O cérebro hoje está a descobrir-se a si próprio.

Quando falamos do cérebro e pensamento, tocamos de perto nos problemas dos limites da lógica e do

raciocínio matemático. Um dos méritos de Morin é o de chamar a atenção para o teorema de Goedel, que estabelece o mais importante desses limites. A descoberta de Goedel da impossibilidade de um sistema lógico completo e auto-consistente é uma das maiores da ciência deste século, apenas comparável às duas grandes restrições características da física moderna: as restrições impostas pela teoria da relatividade e pela teoria quântica.

A história do universo, da atmosfera e da biosfera são portanto histórias que se imbricam e se sucedem. Tal como a sociedade humana tem uma história, assim também o nosso cosmo, o nosso ecossistema, o nosso corpo têm uma história. Uma história de auto-organização. E assim como os historiadores discutem a história com paixão, os físicos (organizados em várias escolas, Prigogine, Eigen, Haken, entre outros) discutem acaloradamente o significado do tempo. Julgo que devemos pôr a ênfase mais nas convergências do que nas divergências, naquilo que aproxima os diversos espectadores da complexidade e não naquilo que os afasta. Os físicos, que estudam as "regularidades" ou "concordâncias" na natureza deleitam-se por vezes, em contraste com a vocação do seu ofício, nas discordâncias entre si.

"A ciência redescobre o tempo". Esta afirmação de Prigogine parece conter uma grande fecundidade, já que não apenas encerra um projecto de unidade para os cientistas naturais como oferece uma possibilidade de reconciliação com os saberes humanos que sempre trataram do tempo. Permite um diálogo com a antropologia, com a sociologia, com a história. Morin, logo na introdução do volume I de *O Método* resume o seu programa

## A auto-Organização dos sistemas naturais

da seguinte maneira: "Estou cada vez mais convencido de que a ciência antropossocial tem de se articular na ciência da natureza e que esta articulação requer uma reorganização da própria estrutura do saber". E mais adiante: "Todá a realidade antropossocial depende, de certo modo (qual?) da ciência física, mas toda a ciência física depende de certo modo (qual?) da realidade antropossocial". Por muito difícil que essa articulação entre antropossocial e físico seja, ou possa parecer, por muito difícil que seja a explicitação dos modos de dependência recíproca, trata-se de um projecto, na minha opinião, altamente motivador.

Embora de acordo com os propósitos do Método de Morin, nem sempre estou porém de acordo com as proposições. Convém colocar uma reserva e chamar a atenção para um perigo.

Devo, em primeiro lugar, manifestar a reserva que consiste em dizer que as analogias nunca substituem equivalências. Morin realça por vezes demasiado, na minha opinião, o valor das analogias. Ora as analogias, como as metáforas, são tão úteis como enganadoras. A identidade das designações leva muitas vezes a supor identificação dos conteúdos: por exemplo, a "desordem" dos físicos pode não ser a "desordem" dos sociólogos ou a "desordem" dos juristas. A auto-organização dos sistemas naturais pode não se revestir exactamente dos mesmos aspectos que a auto-organização dos sistemas sociais. A utilização de palavras, sem a definição inambígua do sentido e a delimitação do seu domínio de aplicabilidade, pode cair facilmente no jogo de palavras. E é bom lembrar que os cientistas praticantes, habituados por

formação à economia das palavras e ao imperativo dos factos, se costumam sentir incomodados, ou mesmo frustrados, com jogos de palavras.

Há, em segundo lugar, o perigo de se transportar imediatamente para o domínio humano os fenómenos das ciências naturais. Há o perigo de levar para o mundo das ideias — o "Mundo 3" de Popper — aquilo que se conhece do mundo dos objectos materiais. Não quer isto dizer que o homem não possa estudar o homem com metodologias decalcadas das das ciências naturais. Pode até ser, por exemplo, que os fenómenos psicológicos se acabem por reduzir à fenomenologia físico-química, não apenas em princípio mas de facto e em pormenor. Mas é conveniente acentuar que o cérebro humano é um sistema com um grau de complexidade bastante superior ao da complexidade dos órgãos biológicos mais elementares. Temos de reconhecer que sabemos pouco sobre o cérebro e a inteligência natural. Contudo, do pouco que sabemos parece claro que é ainda longo o caminho do mundo interior das ideias para o mundo dos objectos exteriores. Parece, por exemplo, não haver uma ética nem muito menos uma estética derivável das ciências naturais. Existe a tendência, à qual não é certamente estranho o facto de filósofos como Descartes e Leibniz terem sido simultaneamente praticantes de ciências exactas, das ciências humanas serem feitas à imagem e semelhança das ciências matemáticas e físicas. Essa modelização tem manifestas vantagens e óbvios inconvenientes. As ciências exactas e naturais não são necessariamente modelares e têm a aprender com as ciências humanas: fazem-no, por exemplo, os físico-químicos que estão a redescobrir o tempo.

## A auto-Organização dos sistemas naturais

Morin, ao ensaiar um "discurso sobre o método" (digo propositadamente "discurso sobre" e não "discurso do") sabe que a sua tarefa é ciclópica e, talvez mesmo, impossível de ser completada. O melhor método não é dado por nenhuma definição mágica (seja a de Galileu, seja a de Descartes ou a de Popper), que escancara as portas de todos os mistérios: depende do problema em causa. O melhor método é aquele que se revela a *posteriori* como mais eficaz, fornecendo respostas mais rápidas e mais facilmente comprováveis para a comunidade humana que se confronta com um dado problema. Não existe um método mas vários métodos, com eventualmente um ou outro traço comum. E como muitas questões, quicá as mais interessantes, ainda nem sequer foram formuladas, os métodos para as resolver terão ainda de ser desenvolvidos e experimentados. É na prática que os métodos se descobrem e consolidam.

Em última análise, e isso os físicos devem reconhecer por muito que lhes custe, o chamado método científico, embora se tenha revelado extremamente profícuo, não é sagrado. Tem apenas sido o mais adequado para o homem resolver um certo número de problemas. Todas as ciências, porque feitas pelo e para o homem, são afinal humanas. Hoje em dia, embora as suas fronteiras pareçam estar na descrição do macrocosmo e do microcosmo e portanto afastadas do homem, a ciência está cada vez mais próxima do homem: este é, no fim de contas, origem e destinatário da ciência. Este facto, se outros não houvesse, pode tornar oportuna a revisão do método e o aprofundar de um projecto de epistemologia complexa.

Partilho com outras pessoas o convencimento de que nos encontramos no limiar de uma era de um saber diferente, de que estamos na transição para aquilo que, à falta de melhor, podemos chamar "saber da complexidade". Nessa mudança, as fronteiras da ciência natural poderão passar do macrocosmo e do microcosmo, remotos e em parte inacessíveis, para o cosmo complexo, não linear, temporal, de que o antropocosmo é exemplo. O meu convencimento, no entanto, não é científico, pois ninguém sabe qual será a física de amanhã, nem qual será o universo de amanhã, qual vai ser o tempo de amanhã ou qual vai ser o futuro da vida. Ignoramos quais vão ser os saberes de amanhã, ou quais os métodos que os vão possibilitar. Que eco terão, por exemplo, as propostas de Morin? Para já, e apesar das possíveis e normais divergências em aspectos particulares, há que realçar a importância profética do estudo da complexidade como um tema transversal da ciência e uma ponte de diálogo entre aquilo que convencionámos chamar ciências do homem e da natureza. E uma ponte serve para aproximar as margens.

Antes de terminar, queria deixar algumas interrogações. Trata-se de questões sugeridas pelos três exemplos de auto-organização que discuti antes e para as quais os físicos não conhecem as respostas:

1- não sabemos se o universo é finito ou infinito e talvez nunca o saberemos. Mas o conhecimento do universo será finito ou infinito? O físico R. Feynman afirmou em *The character of the physical law* que não acredita que o conhecimento do universo, isto é as leis da física, sejam em número infinito, pois isso seria

## A auto-Organização dos sistemas naturais

admitir que o projecto da física, o projecto da racionalização do mundo, ficaria sempre inacabado. Será que podemos ter um universo infinito mas regulado por um código de regras finitas?

2- falei a propósito de um fluido sobre não-linearidade e caos. Disse que o caos aparece mesclado com a ordem e que o caos absoluto parece ser indecível. A física tem-se preocupado, cada vez mais, com as situações intermediárias entre ordem e caos, que surgem nos fenómenos de auto-organização. No entanto, que sentido faz incluir na física, que basicamente estuda as regularidades, aquilo que é parcial ou completamente desregulado? Será que a física pode, de todo, discutir o caos?

3- já houve uma altura em que alguns físicos, como Niels Bohr, duvidavam que a vida pudesse ser explicada pela física conhecida. A biologia molecular mostrou que não são precisas novas leis da física para descrever os fenómenos biológicos vulgares. No entanto, um físico da escola de Copenhaga, como R. Peierls, continua a dizer que a física não pode esclarecer todos os fenómenos da vida. Por exemplo, um observador humano dispõe de uma propriedade à qual geralmente se dá o nome de consciência. É a consciência que define um observador e que possibilita de todo a observação. Morin fala da necessidade de uma "ciência com consciência" mas não há uma "ciência da consciência". A consciência, individual ou colectiva, estará definitivamente fora do domínio da física?

Não sei as respostas. Mas é sintomático o facto de filósofos, sociólogos, físicos estarmos aqui hoje reunidos

a fazer e a ouvir perguntas. As nossas disciplinas estão a organizar-se ou, talvez mesmo, a auto-organizar-se.

5- O método de um filósofo

Para além das obras de E. Morin, entre as quais **O Método-1. A natureza da natureza, O Método-2. A vida da vida, Ciência com consciência e O problema epistemológico da complexidade**, todas editadas pelas Publicações Europa-América, Mem Martins, s. d., foi-me particularmente útil a leitura dos três livros seguintes, sobre os exemplos discutidos:

1- S. Weinberg, **Os três primeiros minutos**, Gradiva, Lisboa, 1987;

2- I. Prigogine e I Stengers, **A Nova Aliança**, Gradiva, Lisboa, s.d.;

3- M. Eigen e R. Winkler, **O Jogo**, Gradiva, Lisboa, 1988.

O livro de R. Feynman, **The character of the physical law**, MIT Press, 1967, foi já traduzido e editado: **O que é uma lei física?**, Gradiva, Lisboa, 1989.