

A Termodinâmica e o Efeito Montesquieu * — as utilizações do conceito de entropia fora do campo da termodinâmica

Alain Fuchs ^a

Um dos objectivos mais importantes (da escola) poderia ser o de inculcar o espírito crítico que as ciências da natureza e as ciências humanas nos ensinam. (...) Esta orientação pedagógica teria por finalidade desenvolver um respeito não idólatra pela ciência como forma realizada da actividade racional e, simultaneamente, desenvolver uma vigilância consciente contra determinadas utilizações da actividade científica e dos seus produtos.

«Propostas para o ensino do futuro», Professores do Collège de France, 1985, pg. 13

Em matéria de cultura a privação absoluta exclui a consciência da privação

Pierre Bourdieu, «La Réproduction», Editions de Minuit, 1970, pg. 253

INTRODUÇÃO

Este documento apresenta uma análise da utilização que é feita do conceito de entropia fora do domínio em que ele originalmente surgiu (a termodinâmica), e isto particularmente no contexto das ciências sociais e humanas.

Aquilo que em última análise se aborda através deste estudo é o problema das relações entre a ciência e a sócio-cultura na qual ela se insere. Com efeito a ciência produz modelos que, através de certos processos de metaforização, contribuem para modelar a nossa cultura*. Esta, por sua vez, não deixa de influenciar a forma como a ciência se constrói (sobre este assunto a bibliografia é abundante e entre outras coisas podem consultar-se as obras de Pierre Thuillier [1]). Para além da análise crítica pontual que aqui se apresenta, este artigo tem por objectivo fornecer aos professores de ciências físico-químicas elementos que lhes permitam completar o seu ensino através de uma esclarecedora abordagem epistemológica.

O postulado subjacente a este projecto é que a ciência ensinada deve conduzir a uma cultura. Segundo os termos do relatório do Collège de France atrás citado, uma das missões do ensino deveria ser a *de fornecer antídotos contra as antigas e novas formas de irracionalismo ou de fanatismo da razão*. É pois necessário formar estudantes não apenas instruídos mas também um pouco menos incultos, corrigindo os efeitos secundários induzidos pelo ensino con-

ceptual que muitas vezes apresenta o discurso científico como um dogma sagrado. Só assim poderemos ter esperança que o grande público possa algum dia desmascarar determinadas imposturas intelectuais que, por serem socialmente aceitáveis, assumem a aparência de discurso científico. Nas linhas que se seguem começaremos por constatar a utilização extensiva que, em diferentes disciplinas, se faz do conceito de entropia. Em seguida levaremos a cabo uma análise da forma como funciona a transferência do conceito da termodinâmica para os outros ramos do saber considerados.

AS UTILIZAÇÕES DO CONCEITO DE ENTROPIA FORA DO SEU CONTEXTO ORIGINAL

A palavra entropia foi inventada no século XIX pelo termodinâmico Rudolf Clausius. Em anexo poderá encontrar-se um resumo breve da sua definição. Contrariamente a outros conceitos, como calor e energia, utilizados em termodinâmica, a entropia não é uma palavra de uso corrente. Só progressivamente se tornará (em parte) palavra de uso corrente ao longo do século XX como mostra a antologia de citações reproduzidas em anexo.

Analisaremos mais tarde o processo através do qual esta palavra inventada num contexto científico preciso, e portanto perfeitamente denotada, adquiriu uma polissemia característica das expressões do vocabulário corrente.

A nossa análise incidirá sobre três casos significativos, escolhidos entre o grande número de exemplos que a literatura em ciências humanas nos oferece, acerca das utilizações do conceito de entropia.

Estudaremos em primeiro lugar a forma como o conceito de entropia é utilizado na obra do antropólogo Levi-Strauss. Mostraremos que a termodinâmica só intervém, como referência explícita, quando o autor entende situar o seu trabalho no campo da história e da sociologia comparada, e não nas suas descobertas fundamentais. O conceito de entropia é quase sempre invocado em referência à teoria da informação de Shannon. Este aspecto, que parece ter escapado aos comentadores de Levi-Strauss, será analisado em pormenor.

Estudaremos em seguida um caso em que o segundo princípio da termodinâmica é explicitamente utilizado para construir uma teoria: o caso do economista Georgescu-Roegen e com ele o dos adeptos da “teoria entrópica” dos processos económicos.

* Exemplos não faltam. Entre os mais evidentes podemos citar o modelo darwiniano da evolução das espécies que, numa das metamorfoses mais recentes, é aplicado no contexto do discurso sobre a competitividade industrial e a adaptabilidade das empresas. Noutro contexto, o modelo cosmológico do “Big-Bang” alimenta actualmente numerosas especulações metafísicas.

^a Chargé de Recherches, CNRS, (U.A. 1104) Université Paris-Sud, Orsay.

^{*} Publicação do SESDIC (Service Enseignements Supérieurs — Didactique de la Chimie), 1988. Traduzido por Joaquim Moura Ramos com o consentimento do SESDIC.

Num terceiro tempo examinaremos a contribuição dos biólogos moleculares (Monod, Jacob, Danchin) para o problema filosófico da contradição entre o “devir imposto” pelo segundo princípio da termodinâmica e a “evolução revelada” pela paleontologia e o darwinismo.

Mostraremos que, nos dois primeiros casos, os autores se referem a uma interpretação errada do segundo princípio da termodinâmica, interpretação que, na linguagem de Ullmo [2], constitui o *protótipo de extrapolação ilegítima, contrária ao método científico*.

Primeiro caso: a entropia na obra de Levi-Strauss

Pai da antropologia estrutural, Claude Levi-Strauss é sem dúvida o maior antropólogo vivo. O seu trabalho mais importante relaciona-se com o estudo das estruturas de parentesco e dos mitos nas sociedades ditas primitivas. Para abordar a sua obra podem utilizar-se os elementos que constam do notável *dossier* que o *Magazine Littéraire* lhe consagrou em 1985 [3].

Neste *dossier* sublinharemos as seguintes formulações produzidas por Levi-Strauss a propósito da ciência:

A reflexão científica, tal como se manifesta em toda a sua grandeza na biologia e na física, é para mim como que um guia.

É neste contexto que encontraremos nas suas obras, de forma dispersa mas insistente, alusões ao segundo princípio da termodinâmica. A citação mais conhecida encontra-se nas últimas páginas de “Tristes Trópicos” [4]:

Desde o momento em que começou a respirar e a alimentar-se até à invenção dos engenhos atômicos e termonucleares, passando pela descoberta do fogo — e excepto quando se reproduz a si próprio — o homem não fez mais do que dissociar candidamente milhões de estruturas para as reduzir a um estado em que elas já não são susceptíveis de ser integradas. É certo que ele construiu cidades e cultivou os campos; mas quando pensamos nisso, essas realizações surgem como máquinas destinadas a produzir inércia a um ritmo e numa proporção infinitamente mais elevada do que a quantidade de organização que implicam. Quanto às criações de espírito humano, o seu sentido só existe em relação com ele próprio e confundir-se-ão com a desordem quando ele desaparecer. De tal modo que a civilização, no seu conjunto, pode ser descrita como um mecanismo extremamente complexo em que o nosso universo poderia sobreviver não fosse sua função a de fabricar aquilo que os físicos chamam de entropia, isto é, inércia. Cada palavra trocada, cada linha impressa estabelece uma comunicação entre dois interlocutores, conduzindo pois a uma maior organização, aniquilando um nível que antes se caracterizava por uma falta de informação. Em vez de antropologia dever-se-ia escrever “entropologia”, uma disciplina destinada a estudar este processo de desintegração nas suas mais elevadas manifestações.

A entropia aqui invocada remete para a noção de desordem (inércia, desintegração) e esta aumentaria inevitavelmente com o tempo. Isto não nos deve surpreender dado que o texto referido foi escrito em 1954; no anexo consagrado ao segundo princípio da Termodinâmica mostramos que esta visão, que era a dominante até há pouco tempo (e ainda hoje ensinada) resulta de uma interpretação incompleta ou mesmo incorrecta do segundo princípio. Em determinadas condições, a irreversibilidade (que conduz à produção de

entropia) pode ser fonte de organização ao contrário do que a citação precedente sugere. O paralelo que o autor estabelece entre informação e entropia já nos parece mais interessante. Esta alusão à teoria da informação de Shannon abre-nos uma via para melhor delimitarmos o lugar da termodinâmica na obra de Levi-Strauss e superar assim as interpretações demasiado superficiais da célebre citação de “Tristes Trópicos”* (com efeito esta obra é a mais lida mas a menos fundamental do trabalho de Levi-Strauss).

Na sua análise dos sistemas de parentesco [6] das sociedades ditas primitivas, Levi-Strauss inspira-se na linguística estrutural. Ele mostra que os sistemas de parentesco são formalmente idênticos aos sistemas fonológicos e evidencia o papel central da troca matrimonial nas regras de parentesco e de aliança. A importância da noção de troca conduzirá Levi-Strauss a definir a vida social como uma combinação de três sistemas: troca de bens (economia), troca de palavras (linguagem), troca de mulheres (casamento e parentesco) [7]. Para Levi-Strauss, *o problema etnológico é pois, em última análise, um problema de comunicação* [8]. A partir desta análise magistral que constitui um dos aspectos fundamentais da sua obra, Levi-Strauss será incitado e conduzido a alargar a sua perspectiva de etnólogo situando o seu trabalho no plano mais geral da relação para com a ciência histórica ou da comparação entre as nossas sociedades e as ditas primitivas [9-11]. É neste contexto que as suas reflexões se inspirarão na teoria da informação de Shannon e, através desta, na termodinâmica (isto surge várias vezes de forma muito clara na sua obra “Antropologia estrutural” [12]. Shannon definiu com efeito o conteúdo de informação de uma mensagem recorrendo a uma grandeza formalmente análoga à entropia estatística de Boltzmann (ver Anexo 3). Mais tarde Brillouin prosseguiu a analogia entre estas duas teorias e enunciou o “princípio negentrópico da informação”, o que conduziu Levi-Strauss a estabelecer o paralelo entre a uniformização dos níveis de informação e o aumento de entropia.

Nos escritos de Levi-Strauss a termodinâmica surge pois por via da teoria da informação, considerada pelo autor em sentido estrito como uma teoria geral da comunicação; a noção de comunicação é considerada como *o conceito unificador* da antropologia social [12]. Ora a teoria de Shannon apenas se interessa pelos processos físicos que intervêm na transferência de uma mensagem entre máquinas (o ruído por exemplo). Ela não pretende descrever os efeitos de significação que uma mensagem produz no receptor e não está portanto adaptada à descrição da comunicação entre seres humanos. Como faz notar Emmanuel Ferray [7], não podemos com efeito ignorar o facto de que, *no domínio cultural, qualquer empréstimo é simultaneamente reinterpretação, qualquer imitação é rearranjo, transformação*.

A mesma inspiração conduz Levi-Strauss [10] a descrever as nossas sociedades (ditas *quentes* por oposição às sociedades primitivas ou sem história que são ditas *frias*) como: *utilizando para o seu funcionamento uma diferença de potencial, a qual se realiza através de diferentes formas de hierarquia social, hierarquia esta que se torna necessário renovar permanentemente (isso chama-se a escravatura, a servidão, a divisão em classes, o colonialismo) pois os afastamentos diferenciais tendem a igualizar-se*.

Em “Raça e história” [9] Levi-Strauss escrevia também: *Podemos conceber que uma diversificação, que se renova*

* Ver H. Reeves, “L’heure de s’enivrer” [5].

permanentemente noutra local, permita manter indefinidamente, através de formas variáveis | ... |, esse estado de desequilíbrio de que depende a sobrevivência biológica e cultural da humanidade.

André Lapidus [13] mostrou claramente que uma tal extrapolação de segundo princípio da termodinâmica conduzia a colocar a existência de desigualdades como condição necessária para a actividade económica e social (tal como um fluxo de calor implica a existência de uma diferença de temperatura!). Esta *termodinâmica do social* surge como pouco pertinente em múltiplos aspectos e particularmente, como acabamos de ver, na sua construção teórica. Pode espantar que ela venha de um espírito tão brilhante como Levi-Strauss, mas resulta de um modo de funcionamento analógico e metafórico muito corrente. Mais adiante retomaremos a análise deste aspecto.

Segundo caso: a “teoria entrópica” em economia

Vários economistas tentaram aproximações entre a termodinâmica e a economia analítica. O caso mais célebre é talvez o de Samuelson [14] que utilizou o princípio de Le Chatelier para descrever os efeitos de estabilização do mercado. O caso que escolhemos para tratar aqui é o de Georgescu-Roegen e dos seus discípulos, defensores de uma teoria económica directamente inspirada no segundo princípio da termodinâmica.

Georgescu-Roegen considera a economia como um processo físico-químico ao qual se aplica o segundo princípio da termodinâmica [15]: *a natureza fundamental do processo económico é entrópica, e a lei da entropia reina sobre este processo e a sua evolução* [15,16]. Consistindo a actividade económica na transformação pelo homem dos recursos naturais, daí resulta que: *os recursos naturais de todos os tipos devem ocupar um lugar preponderante no estudo dos fenómenos económicos*. Na maior parte dos modelos económicos o conjunto dos recursos naturais (terras cultiváveis, reservas mineiras,...) é considerado como constante. Segundo Georgescu-Roegen isto é um erro; com efeito: *o nosso meio acessível é continuamente submetido a uma degradação entrópica e qualquer produção implica um certo esgotamento irrevogável dos recursos* [17].

É evidente que a biosfera não é um sistema isolado e que o segundo princípio não obriga neste caso a entropia a aumentar irrevogavelmente; mas Georgescu-Roegen não se perturba com tal objecção. Argumentando que *a termodinâmica tradicional ignora completamente as transformações irrevogáveis sofridas pela matéria* [18], (voltaremos mais tarde a esta afirmação!), ele inventa uma *quarta lei da termodinâmica* que enuncia da seguinte maneira: *em todo o sistema fechado a matéria utilizável degrada-se irrevogavelmente em matéria não utilizável* [18]. Deste modo a entropia (generalizada?) aumenta irrevogavelmente, mesmo num sistema fechado não isolado.

Orgulhoso desta análise, Georgescu-Roegen propõe ao mundo um *programa bio-económico* que consiste em linhas gerais em utilizar o mais possível os recursos renováveis, ditos de *baixa entropia*. Pessimista, Georgescu-Roegen considera que se o homem é capaz de compreender aquilo que deve fazer para a sua sobrevivência ecológica, já a sua natureza o impede de seguir tal conselho que é o da sabedoria [18]. Estes argumentos foram retomados, sob formas semelhantes, por diferentes autores: Rifkin nos Estados Unidos [19], e em França por Montbrial, Gitton e, sob uma forma vulgarizada, por J. de Rosnay [20] do qual se encontrará uma citação em anexo.

Uma análise pormenorizada de cada um dos argumentos entropo-económicos de Georgescu-Roegen seria longa e fastidiosa (ver a sua produção abundante citada nas referências [17] e [18]. Poder-se-á encontrar em M. Gutsatz [21] uma primeira crítica (severa) das hipóteses socio-económicas subentendidas na abordagem de Georgescu-Roegen. Contentar-nos-emos em voltar aos argumentos que motivaram o enunciado de uma quarta lei da termodinâmica. De acordo com Georgescu-Roegen, à termodinâmica só lhe interessam as trocas de energia e não reconhece que a *matéria, tal como a energia* está submetida ao segundo princípio (*o facto incontestável é que no mundo macroscópico a matéria também sofre continuamente transformações irreversíveis* [18]).

Este facto é incontestável e não é aliás contestado pela termodinâmica! Recordemos mesmo assim que qualquer transformação físico-química (reação química, mudança de estado, ...) é susceptível de contribuir para a produção de entropia! (através dos termos $\mu_i dn_i$ ou $Ad\zeta$ segundo o formalismo escolhido). Não insistiremos mais sobre este assunto por termos aborrecer o leitor.

A entropia de um sistema físico-químico está contida na matéria que o compõe, e qualquer transformação irreversível desta matéria é contabilizada pelo segundo princípio. Não existe pois qualquer necessidade de uma lei suplementar para a matéria, a não ser que se insista a todo o preço em querer que “tudo se degrada”, mesmo num sistema não isolado!

Se bem que aparentemente marginal no campo da economia, Georgescu-Roegen adquiriu uma importante audiência nos anos 1975-80, como testemunha a sua participação em diversos colóquios como o de 1976 organizado pelo CNRS sobre Sadi Carnot. É espantoso que nessa altura não tenha havido, pelo menos que nós saibamos, um termodinâmico prestigiado que tenha denunciado essa enorme postura que é a chamada quarta lei. Pode certamente dizer-se, mas isso não desculpa nada, que a argumentação do autor se apoiava largamente no senso comum e em constatações elementares como a do esgotamento dos recursos em petróleo e carvão, e que ia ao encontro da má consciência ecológica dos cientistas da época. Retomaremos esta análise no capítulo “discussão”

Terceiro caso: a contribuição dos biólogos moleculares para o debate filosófico “segundo princípio contra evolução”

O segundo princípio da termodinâmica foi frequentemente invocado por filósofos (Lalande, Meyerson, Brunschvicg, Bergson e, mais perto de nós, Serres). Um dos problemas essenciais dizia respeito à aparente contradição entre irreversibilidade termodinâmica, que deveria conduzir o mundo à sua desintegração, e a evolução darwiniana que sugere a existência de uma flecha de tempo dirigida para a organização e não para o caos. *Será possível que Carnot e Darwin tenham simultaneamente razão?* escrevia Roger Caillois. Após os trabalhos da Escola de Bruxelas, entre outros, (ver Anexo 2), existe actualmente consenso sobre o facto de a auto-organização espontânea da matéria ser um fenómeno corrente na natureza e de ela não constituir um privilégio da matéria viva desde que as condições de afastamento ao equilíbrio termodinâmico sejam satisfeitas. O debate segundo princípio contra evolução deixou pois de ter objecto. Decidimos debruçar-nos brevemente sobre um dos últimos episódios deste debate. Nos anos 70, os biólogos Jacob e Monod foram levados, nos seus ensaios célebres (“A Ló-

gica da vida" [22] e "O acaso e a necessidade" [23]), a confrontar o segundo princípio com os modelos da evolução extraídos da biologia molecular. A conclusão é idêntica: *Dado que apenas formula uma predição estatística, o segundo princípio não exclui obviamente que um dado sistema macroscópico possa, num movimento de muito fraca amplitude (...) contrariar a barreira da entropia (...) escrevia Monod [23]. Para Jacob: A termodinâmica (...) não impede que alguns elementos possam subir a contra-corrente à custa dos seus vizinhos [22].*

Para Monod e Jacob não há pois contradição entre segundo princípio e evolução: a entropia pode localmente (e por acaso) diminuir, desde que globalmente a entropia do universo aumente. Nesta época eles ignoravam claramente os trabalhos da Escola de Bruxelas, à data já bem avançados mas que só seriam de facto amplamente divulgados depois de o prémio Nobel ter sido atribuído a Prigogine em 1977. No entanto Jacob e Monod tinham a intuição essencial de que a flecha do tempo era a mesma para a matéria viva ou inerte:

Para Jacob [22]: *Quer se trate do mundo orgânico quer do mundo físico, as sequências do filme que descreve a evolução não podem ser projectadas ao invés* (página 216). E para Monod [23]: *A evolução da biosfera é um processo necessariamente irreversível que define uma direcção no tempo; direcção que é a mesma que a que é imposta (...) pelo segundo princípio da termodinâmica* (página 160). Como se explica então que não tenham transposto o degrau e contestado a validade do enunciado cosmológico de Clausius? A resposta é dada talvez por Ullmo [2] que escreve: (...) *sem dúvida porque lisonjeava o pendor metafísico do espírito humano, o segundo princípio foi imediatamente generalizado a todo o Universo.*

Este salto perigoso dá, no fim do século XIX, origem a toda uma mitologia: o mito da morte térmica do mundo por degradação total da energia nele contida (...).

Nada garante que uma tal mitologia não tenha deixado marcas na consciência pública, e mesmo entre alguns cientistas. Voltaremos mais tarde a esta observação penetrante de Ullmo.

Para terminar esta evocação das relações entre termodinâmica e biologia poderá encontrar-se no Anexo 4 uma discussão de um erro conceptual em que os biólogos frequentemente incorrem quando utilizam o segundo princípio.

DISCUSSÃO

Contribuição para a análise do modo de transferência de um conceito das ciências físicas para as ciências sociais

O ar frio retrai as extremidades das fibras exteriores do corpo; isso aumenta a sua força e favorece o retorno do sangue das extremidades para o coração. Diminui o comprimento dessas mesmas fibras; também por isso aumenta ainda mais a sua força. O ar quente, pelo contrário, torna mais frouxas as extremidades das fibras e alonga-as diminuindo ainda a sua força e a sua tensão (XIV,2).

Já dissemos que o calor intenso debilitava a força e a coragem dos homens e que, nos climas frios havia uma certa força do corpo e do espírito que tornava os homens capazes de acções longas, penosas, grandiosas e intrépidas (...). Não é pois de espantar que a moleza dos povos dos climas quentes os tenha quase sempre tornado escravos e que a coragem dos povos dos climas frios os tenha mantido livres (XVII,2).

Montesquieu, "O Espírito das Leis, Gêneve 1748, Classiques Garnier, 1973. Citado por Pierre Bourdieu, "Ce que parler veut dire", Paris, Fayard, 1982, pages 229-233.

Como vimos atrás, e como testemunham também as citações do Anexo 1, as metáforas termodinâmicas são utilizadas em debates de conteúdo muito afastado do objecto de estudo original desta ciência. Quanto a nós só existirá outro exemplo de tal obstinação em querer dar uma resposta unitária e total a qualquer questão filosófica ou social a partir de um conceito científico; esse será o dos adeptos do "biologismo", cujo exemplo mais conhecido é o da sociobiologia [24]. A vantagem da metáfora termodinâmica é a de ter uma marca ideológica menos explícita. Por isso possibilita uma análise mais desapassionada.

De uma maneira geral, as construções teóricas baseiam-se num dos três enunciados seguintes (e frequentemente numa combinação implícita deles):

- 1) A entropia do Universo aumenta
- 2) A entropia é uma medida física da desordem
- 3) A troca de informação equivale a um aumento de entropia

Estes enunciados têm em comum o facto de terem a sua origem numa vulgarização dos trabalhos fundamentais da termodinâmica macroscópica, da termodinâmica estatística e da teoria da informação (ver Anexos 2, 3); nunca são as formas originais destes enunciados que são utilizadas. Ora esta vulgarização não é apenas uma simplificação dos enunciados formais originais mas também opera por extrapolação. Mostraremos que esta dupla operação conduz a um efeito de ambiguidade semântica de que se servem directamente os nossos autores.

É sabido que a extrapolação (neste caso do sistema isolado para o universo) de um conceito, de uma teoria é uma operação extremamente delicada que quando mal conduzida rapidamente se torna ilegítima (H. Alfvén escrevia: *escrever um grande drama cósmico conduz obrigatoriamente ao mito* [25]). A generalização do segundo princípio a qualquer sistema necessita de um trabalho aprofundado de identificação e caracterização das variáveis pertinentes necessárias para o definir. Assim, por exemplo, num sistema em que ocorre um processo económico será que a entropia depende apenas das variáveis definidoras desse processo? Se, como fazia notar A. Jaumotte [26], a entropia do sistema depender também de variáveis não directamente económicas (por exemplo o metabolismo dos seres vivos), então nada nos permite afastar a possibilidade de uma variação não monótona da contribuição económica e nada poderemos pois extrair de significativo da aplicação do segundo princípio. Uma vez alargado a um sistema complexo, o segundo princípio já não permite aceder a um nível autónomo de descrição de cada processo (social, económico, político, biológico, ...).

Para além disso a operação de simplificação (intrínseca a toda a vulgarização) conduz a associar um conceito perfeitamente denotado (a entropia) com termos fortemente conotados da linguagem corrente (a ordem, a informação). Este efeito é ainda agravado pela operação de extrapolação: com efeito, as noções de desordem e de informação encontram-se bem definidas no quadro dos sistemas simplificados que são o objecto das teorias de Boltzmann e Shannon: quando se generaliza o segundo princípio a qualquer sistema estas noções tornam-se extremamente vagas (como definir desordem numa sociedade?) e abrem caminho às mais arbitrárias interpretações. Os pressupostos culturais do autor (assim como os do domínio do saber para o

qual ele extrapola o segundo princípio) introduzem-se então facilmente na ambiguidade semântica que rodeia o conceito de entropia, e a sua utilização passa a servir apenas para conferir uma pseudo-legitimidade científica às noções vagas do seu utilizador. Esta operação, maravilhosamente ilustrada pelos extractos citados a abrir este capítulo, foi baptizada de **efeito Montesquieu** por Pierre Bordieu [27] que dá dela a seguinte definição:

Efeito de imposição simbólica (...) que se produz sobrepondo às projecções do fantasma social ou às pré-construções do preconceito a aparência de ciência que se obtém através da transferência de métodos ou de operações de uma ciência mais realizada ou simplesmente mais prestigiada.

É assim que o fantasma da decadência ("tudo se degrada") encontra a sua legitimação no segundo princípio e permite confortar uma filosofia social para a qual a existência de desigualdades surge como necessária para a actividade económica e social. A referência à termodinâmica permite estabelecer uma conexão entre factos *a priori* independentes, economizando assim uma verdadeira análise racional do objecto estudado [13].

Em homenagem a Levi-Strauss, e como caso particular do efeito Montesquieu, sugerimos que se chame "entropomorfismo" à utilização que é feita da termodinâmica fora do seu domínio original.

Através do exemplo da entropia vemos bem, de uma forma mais geral, o perigo em que incorre uma disciplina, seja ela qual for, ao copiar o seu desenvolvimento de um movimento criativo importado de um outro campo do saber. Por um lado os pressupostos culturais não são menos abundantes nas ciências físicas do que nas ciências humanas e, por outro lado, uma inversão de paradigma como a que ocorreu em termodinâmica (ver Anexo 2) obrigaria esta disciplina a mudar de modelo ao sabor das interpretações variáveis dos conceitos importados. Será que a pluridisciplinaridade estará então condenada? É sem dúvida útil que exista comunicação entre investigadores de diversos horizontes, mas com a condição de cada um criar os seus próprios conceitos. Assim será possível, como escrevia Gilles Deleuze [28], instaurar relações de ressonância mútuas entre campos criativos, *como espécies de linhas melódicas estranhas umas às outras e que interferem permanentemente. Organizar ressonâncias, traçar imperturbavelmente caminhos possíveis*, tal é a missão a que se devem entregar os investigadores. Para este trabalho permanentemente renovado a comunidade científica (em sentido lato) precisa de intercessores e não de "gurus" pluridisciplinares que acumulam incompetências em várias disciplinas e dão respostas definitivas a questões mal formuladas.

Numa época em que os saberes irracionais avançam disfarçados sob as aparências de discursos científicos (ver a obra notável de Pracontal [29]), os professores devem, a todos os níveis, fazer prova de vigilância epistemológica. Isso deve traduzir-se explicitamente no ensino das ciências de forma que o estudante possa assimilar completamente (e transmitir junto de um público mais vasto) o modo de funcionamento dos saberes, dos modelos que, *hic et nunc*, permitem ler o mundo de que fazemos parte.

ANEXO 1: FLORILÉGIO *

Nos anos cinquenta eu ocupava dois lugares no ensino. Dava por um lado aulas a estudantes em psiquiatria (...) e por outro lado a jovens *beatniks* da Academia de Belas-Artes (...) Aos psiquiatras eu propunha um pequeno exame escrito (...). A primeira pergunta consistia em pedir uma breve definição das palavras "sacramento" e "entropia".

A maior parte dos jovens psiquiatras dos anos cinquenta não eram capazes de responder a nenhuma destas questões.

G. Bateson, "La nature de la pensée", Paris, Seuil, 1984, página 14

(...) graças à lei da entropia descoberta por R. Clausius, demo-nos conta de que os processos espontâneos da natureza são sempre acompanhados de uma diminuição da energia livre e utilizável: o que, num sistema material fechado, deve conduzir à cessação dos processos à escala macroscópica. Este destino fatal, (...) que resulta da experiência científica positiva, postula eloquentemente a existência de um ser necessário.

Pio XII, Comunicação à Academia Pontifical das Ciências, 1952. Citado por H. Alfven, La Recherche, n.º 69, Julho de 1975, página 612

— Você sabe, certamente, o que é a entropia?

— Sim, diz ela tentando sem sucesso lembrar-se da fórmula

— Pois bem, a entropia, isto é, a usura, a decadência da energia espreita o erotismo como aliás todo o universo

Emmanuelle Arsan, "Emmanuelle", Paris, U.G.E., Presses Pocket, 1983, página 184

É (...) em minha opinião, o melhor filme de Woody Allen desde há muito. Um "pequeno" filme se se quiser, mas que vai ao sítio, sem entropia (...)

S. Daney, Libération, 11 de Outubro de 1984

Ver (um filme de) Zulawski é sempre uma prova (...) Há muita entropia, gritos, desregramento físico, (...).

L. Skorecki, Libération, 27 de Fevereiro de 1985

Ambivalência da corda, diz Oliveira. Sua função natural minada por uma misteriosa tendência para a neutralidade. Creio que a isto se chama entropia.

Júlio Cortazar, "Marele", Gallimard, L'imaginaire, 1979, página 259

Para mim, por exemplo, (a entropia) é a quantidade de energia não utilizável, é a degradação... Sei muito bem que isto não satisfaz nenhum homem de ciência, mas não é tanto o conceito que importa, é a lei — a lei do aumento desta grandeza — que é significativa para o filósofo.

J. Grinevald, Entropie, número fora de série, "Termodinâmica e ciências do homem", 1982, página 32

Como revela a lei implacável da entropia, quando criamos ordem num sistema, há necessariamente uma desordem suplementar criada algures.

J. de Rosnay, "Les chemins de la vie", Paris, Seuil, 1983, página 90

A minha opinião é a de que cometemos um erro fundamental ao tomar em consideração uma grandeza, a entropia, que tem as dimensões de uma energia.

J. Tonnelat, Entropia, n.º fora de série, 1982, página 32

* As traduções destes extratos foram realizadas a partir dos textos apresentados pelo autor, sem consulta das obras originais.

A frequência crescente das violações ao segundo princípio da termodinâmica e o acréscimo potencial da energia coerente deverão conduzir a uma mutação de singularidade semelhante às seis catástrofes de René Thom. (...) Posso ver o universo dobrar em dois sobre si mesmo tal um "black hole" único em forma de arco parabólico, como uma apoteose da negentropia (...).

Salvador Dali, 10 de Maio de 1985, citado por J.F. Fogel, Libération, 15 de Janeiro de 1985

Desde que o Tao de Duyvendak não seja imutável mas variável e destinado à entropia, (...)

Etiemble, Filósofos Taoístas, Prefácio, (LI), Paris, Gallimard, La Pleiade

ANEXO 2: O SEGUNDO PRINCÍPIO DA TERMODINÂMICA

A termodinâmica nasceu no começo do século XIX da vontade de compreender o funcionamento das máquinas a vapor inventadas algum tempo antes (J. Watt, 1769).

O trabalho de Sadi Carnot, em 1824, constitui a primeira etapa importante de um conjunto de investigações que conduzirão em 1865 à formalização do segundo princípio com a invenção, por Rudolph Clausius, do conceito de entropia. Eis um resumo sucinto.

Determinadas grandezas físicas (ditas "extensivas") são objecto de um balanço. Escreve-se então:

(a variação de uma grandeza X no objecto estudado X com o destruição de — sistema — durante um da- meio exterior X no siste- do intervalo de tempo) ao sistema) ma)

o que, no formalismo do cálculo diferencial, se escreve:

$$\frac{dX}{dt} = \left(\frac{dX}{dt}\right)_{\text{troca}} + \left(\frac{dX}{dt}\right)_{\text{interno}}$$

ou

$$\frac{dX}{dt} = \frac{dX}{dt} + \frac{d_i X}{dt}$$

Uma grandeza X para a qual $d_i X$ é nulo diz-se "conservativa": toda a variação de X no sistema estudado só pode ser devida a uma troca (ganho ou perda) com o meio exterior. É este o caso da massa e da energia no quadro da física clássica (não relativista e não quântica) sendo essa a situação nos sistemas geralmente estudados em termodinâmica.

As transformações físico-químicas ocorrem espontaneamente num dado sentido e não no sentido contrário. Dizem-se "irreversíveis". Eis um exemplo: quando se põem em contacto dois corpos a temperaturas inicialmente diferentes, a evolução espontânea, na ausência de qualquer acção exterior, tem como efeito a tendência para a igualização das temperaturas através de trocas de calor. Uma vez atingida a igualdade das temperaturas os corpos não voltarão espontaneamente às suas temperaturas iniciais. É no entanto possível actuar do exterior para repôr o sistema no seu estado original. A transformação é "inversível" mas não "reversível", isto é não se pode voltar ao estado inicial seguindo o mesmo "caminho" termodinâmico.

No quadro da equação de balanço atrás escrita podemos descrever esta assimetria do fenómeno relativamente ao tempo dizendo que "algo" foi criado (ou destruído) ao longo da transformação. É pois necessário inventar uma grandeza

na não conservativa para descrever a irreversibilidade dos fenómenos naturais. Essa grandeza pertinente é a **entropia**. Clausius escreveu então:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{d_e S}{dt} + \frac{d_i S}{dt}$$

com $\frac{d_e S}{dt} = \frac{dQ}{Tdt}$ (dQ é a troca de calor com o meio exterior, T a temperatura do sistema)

e $\frac{d_i S}{dt} \geq 0$ para qualquer transformação. (na ausência de transformação, isto é no equilíbrio, $d_i S/dt = 0$)

Isto é o segundo princípio da termodinâmica.

Sublinhamos que o sinal (neste caso positivo) da parte interna da variação de entropia resulta de uma convenção. O que interessa é que $d_i S/dt$ seja não nulo e tenha sempre o mesmo sinal.

Num sistema isolado, isto é em que não há trocas nem de matéria nem de energia com o meio exterior, o termo $d_e S/dt$ é nulo e assim a entropia só pode aumentar, até atingir um máximo no equilíbrio. Em qualquer outro sistema, o termo de troca de entropia poderá, segundo o sinal de dQ (considera-se como negativo o calor que sai do sistema), ser positivo ou negativo. **Para uma transformação que ocorre num sistema não isolado, o sinal da variação total de entropia não pode pois ser definido a priori.** Um ser vivo, o planeta Terra, são exemplos de sistemas não isolados.

Podemos naturalmente imaginar um sistema fictício que englobe o objecto de estudo e para o qual a variação total de entropia seja sempre positiva em todos os casos. Na prática a escolha deste sistema é no entanto extremamente delicada. Que sistema isolado escolher, por exemplo, para englobar o nosso planeta? O sistema solar, a galáxia, o agregado ou o super-agregado de galáxias, o universo? É sabido que nestas escalas de espaço, de tempo e de energia a descrição física muda não só de natureza como de ponto de vista. As forças que se exercem entre os elementos constituintes do sistema são essencialmente de natureza gravítica (de longo alcance) e já não de curto alcance como na física "terrestre" que é aquela em que a termodinâmica se interessa. É preciso renunciar à extensão ingénua da termodinâmica clássica para a escala cosmológica. (Notemos de passagem que a imagem do universo que a astrofísica hoje nos fornece é mais a de uma fase de ordenação do que o inverso).

Sabemos para além disso que os sistemas físico-químicos simples (não biológicos) são susceptíveis de apresentar espontaneamente estruturas espaço-temporais. Os exemplos mais conhecidos são as reacções químicas oscilantes e o fenómeno de convecção de Rayleigh-Bénard [30]. A termodinâmica contemporânea (sobretudo a Escola de Bruxelas [31] e a de Bordéus [32] no que diz respeito às reacções oscilantes) mostrou que essas auto-organizações se produzem quando os respectivos sistemas são levados e mantidos em situações afastadas do equilíbrio termodinâmico, isto é em situações de forte produção entrópica. Nestes exemplos a irreversibilidade é fonte de ordenação. Pensar que estes fenómenos longe do equilíbrio poderiam ter participado no aparecimento da vida na Terra é actualmente uma hipótese séria de trabalho.

O conceito de irreversibilidade evoluiu pois desde o século XIX. Originalmente ele estava associado à imperfeição das transformações físico-químicas que ocorriam numa máquina térmica. Se o rendimento dos motores é fraco isso deve-se em parte aos atritos e outros geradores de entropia. A irreversibilidade já não é hoje em dia concebida apenas como a perda do reversível (ideal), mas pode ser também fonte de auto-organização e não apenas de degradação. Esta mudança de estatuto (inversão de paradigma) constitui sem dúvida uma das mais importantes revoluções científicas do nosso século*.

ANEXO 3: ENTROPIA, DESORDEM E INFORMAÇÃO

Entropia e desordem, a relação de Boltzmann

A analogia entre desordem molecular e entropia tem a sua origem nos trabalhos de Ludwig Boltzmann [33], no fim do século XIX. Depois de Dalton ter enunciado a hipótese atômica (por volta de 1850), Boltzmann procurou estabelecer a ligação entre as propriedades microscópicas de um conjunto de partículas (átomos ou moléculas) e as leis da termodinâmica macroscópica. Ele estabeleceu assim os fundamentos de uma **termodinâmica estatística** que, após os trabalhos de Gibbs, se desenvolveu ao longo de todo o século vinte.

A expressão mais célebre dos trabalhos de Boltzmann: $S = k \ln \Omega(E)$ foi objecto de numerosos comentários; daremos dela aqui apenas uma interpretação elementar mas que será suficiente para mostrar como é que a noção de desordem foi associada à de entropia.

A título de preâmbulo (e de aviso) vamos dar a definição exacta da grandeza $\Omega(E)$. A descrição mais completa de um sistema formado por N partículas exige o conhecimento do hamiltoniano quântico total do sistema. Os valores próprios deste hamiltoniano são as energias E_j que o sistema pode assumir. Os níveis de energia podem ser degenerados: existem $\Omega(E_j)$ estados possíveis com a mesma energia E_j . No formalismo dos conjuntos estatísticos de Gibbs considera-se o caso de um conjunto de A sistemas equivalentes (com $A \rightarrow \infty$), cada sistema sendo isolado e tendo energia E . Uma estatística efectuada sobre este conjunto (chamado micro-canónico) conduz à expressão $S = k \ln \Omega(E)$ que só é portanto estritamente válida para um sistema isolado [34]. É no entanto possível mostrar que, quando N for grande, os diferentes conjuntos estatísticos são virtualmente equivalentes e que então a expressão de Boltzmann é válida para qualquer sistema.

O cálculo explícito completo de $\Omega(E)$ está longe de ser imediato. A situação mais comum é sermos levados a fazer aproximações (separabilidade do hamiltoniano, aproximação do limite clássico, ...), e só em casos muito simples é que $\Omega(E)$ adquire um significado físico claro. Daremos em seguida um exemplo de um desses casos.

Consideremos a repartição de N partículas por um sistema isolado formado por dois compartimentos de igual tamanho e comunicando entre si. Consideraremos que as partículas são idênticas mas discerníveis.

O número de maneiras de obter uma dada repartição $\{N_1, N_2\}$ das N partículas, sendo N_1 o número delas no primeiro compartimento e $N_1 + N_2 = N$, pode escrever-se:

$$W(N_1, N_2) = \frac{N!}{N_1! N_2!}$$

Existem $W_{\text{tot}} = \sum_{j=0}^N W(j, N-j)$ repartições possíveis destas N partículas pelos dois compartimentos. A probabilidade de observar uma destas repartições escreve-se:

$$P_j = \frac{W(j, N-j)}{W_{\text{tot}}}$$

$W(j, N-j)$ assume um valor máximo para $j = N/2$, e este máximo é tanto mais acentuado quanto maior for N . (Para $N = 10^{23}$, por exemplo, a repartição central, $j = N/2$, é cerca de $10^{10^{23}}$ vezes mais provável do que a repartição extrema, $j = 0$).

A partir destes argumentos podemos interpretar a experiência da expansão espontânea e irreversível de um gás perfeito desde uma repartição $\{0, N\}$ até uma repartição $\{N/2, N/2\}$ como correspondendo à passagem de um estado infinitamente pouco provável para o estado mais provável. Dado que, de acordo com o segundo princípio, a entropia do gás aumenta no decorrer desta evolução irreversível de um sistema isolado, existe a tentação de relacionar a entropia com P_j , a probabilidade de observar um dado estado (ou repartição), ou ainda a de relacionar a entropia com W . Com efeito neste exemplo W é proporcional a $\Omega(E)$ e a relação escreve-se $S = k' \ln W$ (o logaritmo intervém aqui de forma não trivial — ver [34] — e é possível compreender a sua necessidade se nos lembrarmos que a entropia é uma propriedade extensiva).

Neste exemplo extremamente simplificado tratámos um caso em que a evolução do sistema apenas tem a ver com as configurações das partículas entre si e não com a energia. Na generalidade Ω é função da energia e a sua interpretação é muito menos evidente.

No caso aqui tratado vemos que a entropia é máxima para a repartição mais provável, e que esta é mais “dispersa”, “homogênea”, “desordenada” do que a repartição na situação inicial. É neste sentido, **extremamente restrito**, que a entropia é uma medida da “desordem”.

Informação, entropia e negentropia

Em 1948, Claude Shannon, engenheiro na “Bell Telephone”, publicou um artigo sobre a transmissão das mensagens telegráficas e particularmente sobre os efeitos de ruído no canal de transmissão. Vários dos seus artigos serão retomados em 1949 e publicados sob o título “Teoria matemática da comunicação” [35]. A expressão central do trabalho de Shannon é a seguinte:

$$H = - \sum_i P_i \log_2 P_i$$

em que H é a quantidade de informação contida numa mensagem que circula num canal discreto e sem ruído, entre um emissor e um receptor. P_i é a probabilidade de emissão da mensagem i .

Consideremos um exemplo para esclarecer o significado desta expressão. Suponhamos que o emissor só dispõe de duas mensagens e que a probabilidade de emissão é $P_1 = P_2 = 1/2$. A informação contida em cada mensagem será então máxima, e valerá 1 bit (unidade de conteúdo de informação). Se as probabilidades forem $P_1 = 0$ $P_2 = 1$, en-

* Os leitores interessados nesta problemática poderão encontrar no n.º 20 do Boletim (Junho de 1985) alguns textos que constituem um aprofundamento destas ideias.

tão o conteúdo de informação da única mensagem que circulará será nulo. O conteúdo de informação de uma mensagem será importante se a sua probabilidade de emissão for $1/2$. Pelo contrário, se já se sabe à partida que uma dada mensagem vai ser emitida ($P_i=1$), tal não nos trará nenhuma informação.

Segundo Shannon e Weaver a situação em que as probabilidades de emissão são idênticas é a da "liberdade de escolha", a da "incerteza". A situação em que uma das mensagens tem probabilidade unitária (e em que a informação é portanto nula) é a da "ordem", da "escolha limitada". Por analogia com a expressão de Boltzmann, e na sequência das interpretações atrás referidas, Shannon dará o nome de "entropia da mensagem" à quantidade H atrás definida.

Esta analogia entre informação e entropia fez correr muita tinta. Em 1956, Léon Brillouin [36] retoma este problema do ponto de vista da teoria da medida em física. O seu raciocínio é, esquematicamente, o seguinte: um observador de um fenómeno físico vai registar um acontecimento que é um dos W_0 acontecimentos possíveis. Se considerarmos que os W_0 acontecimentos são equiprováveis, a informação contida em cada um desses acontecimentos será $H=K \ln W_0$ em que K é uma constante. Esta formulação está de acordo com a teoria de Shannon: se só um acontecimento for possível a informação que ao acontecer ele transmite ao observador é nula. Consideremos de novo o exemplo atrás evocado para comentar a expressão de Boltzmann. Quando o gás perfeito se encontra na repartição $\{0, N\}$ (ou $\{N, 0\}$), o número de maneiras de realizar esta repartição é $W(0, N)=1$. Em cada medida o observador encontrará as N moléculas no mesmo compartimento sendo nula a informação transmitida por esta medida. Poder-se-á dizer que o observador possui sobre o sistema uma informação máxima ("todas as partículas estão no compartimento 2"). Pelo contrário quando a repartição for $\{N/2, N/2\}$, $W(N/2, N/2)$ será muito grande e a informação transmitida por cada observação é grande (não esqueçamos que as partículas são discerníveis e que o estado do sistema ficará então completamente definido se se conhecer a posição de cada partícula). Relativamente à situação precedente o observador **perdeu** informação acerca do sistema (ele já não sabe exactamente em que compartimento se encontra cada molécula). O aumento de entropia que resulta da evolução espontânea da primeira para a segunda situação conduz pois, para o observador, a uma perda de informação. É o *princípio negentrópico da informação* enunciado por Brillouin. Vemos pois agora até que ponto é restritivo o paralelo entre ordem e informação. A ordem remete para o arranjo geométrico da disposição relativa das partículas e a informação para o conhecimento que um observador exterior tem desse arranjo. Estamos muito longe da comunicação entre dois interlocutores e da sua eventual contribuição para o processo de desintegração do mundo! (ver a citação de Levi-Strauss extraída de "Tristes Trópicos" e atrás referida). Notemos finalmente que a teoria de Shannon não é uma teoria geral de comunicação. Um acontecimento, uma mensagem só contém informação como resultado da sua probabilidade de ocorrência e não pelo significado que o receptor lhe atribui. Shannon e sobretudo Brillouin insistiram bem no facto de as considerações semânticas estarem ausentes da sua teoria (*ignoramos totalmente o valor humano de uma informação*, referência [36], página 9). Brillouin distinguia claramente a informação em sentido lato que ele designava por *informação livre* e cujo significado físico não é necessariamente especificável, da *informação*

ligada que está relacionada com a noção de arranjo (de repartição) num sistema físico e que constituía, essa sim, o objecto do seu trabalho. A maior parte dos utilizadores destas teorias esqueceram-se depressa destas restrições.

ANEXO 4: ACERCA DE UM ERRO FREQUENTE DOS BIOLÓGICOS

Fracois Jacob escreveu [22]: *Qualquer sistema físico se deteriora se não receber energia do exterior e mais à frente: Dado que recebeu energia proveniente do meio sob a forma de alimentos, os seres vivos são capazes de preservar (...) o seu fraco nível de entropia* (página 213).

Ora, se é certo que qualquer ser vivo se tem que alimentar para sobreviver, a termodinâmica acrescenta que, para que a entropia de um sistema diminua ou se mantenha constante, é necessário que ele dissipe entropia o que, na maior parte dos casos, implica que ele tem que ceder ao meio exterior mais energia do que aquela que recebeu. Aparantemente este facto nem sempre foi bem compreendido pelos biólogos. Com efeito A. Danchin escrevia [37]:

Os biólogos sabem que sem fornecimento de energia, basta muitas vezes misturar RNA e proteínas de capsídeos em proporções convenientes para se obter um vírus (...) e que se obtêm portanto, por evolução espontânea para o estado de equilíbrio, formas macroscópicas organizadas a partir de uma aparente desordem inicial.

Estes factos são evocados para concluir que *não existe identidade entre aumento de entropia e desordem num sistema fechado.*

O erro conceptual aqui cometido é o mesmo que aquele que tínhamos acabado de descrever. A reacção bioquímica ocorre espontaneamente e as condições cinéticas e termodinâmicas não impõem aparentemente um fornecimento de energia a partir do meio exterior. Isso não significa que o sistema seja isolado. A entropia do sistema diminui e a energia de Gibbs tende para um mínimo, para o que basta que a entalpia de reacção seja negativa ou, por outras palavras, que a reacção seja exotérmica (com $\Delta H > T\Delta S$ em valor absoluto). O argumento de Danchin não é convincente porque parece confundir sistema isolado com ausência de fornecimento de energia. Para que a entropia de um sistema diminua é sobretudo preciso que ele a dissipe, o que a maior parte das vezes acontece quando ele cede globalmente mais energia ao meio exterior do que a que recebeu.

Referências

- [1] Pierre THUILLER. "Les savoirs ventriloques", Paris, Seuil, 1983. "Les petit savant illustré", Paris, Seuil, 1980
- [2] Jean ULLMO. "Le principe de Carnot et la philosophie", in "Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique", Ed. du C.N.R.S., 1976, pág. 399
- [2b] "Sadi Carnot et l'essor de la thermodynamique", Ed. du C.N.R.S., 1976
- [3] Magazine Littéraire n.º 223, Outubro 1985 (dossier Levi-Strauss) 40, rue des Saints-Pères, 75007 Paris
- [4] Claude LEVI-STRAUSS. "Tristes Tropiques", Paris, Plon, 1955, nouvelle édition, Press Pocket, 1984, página 496. Edição portuguesa, Edições 70, col. Perspectivas do Homem, 1986
- [5] Hubert REEVES. "L'heure de s'enivrer", Paris, Seuil, 1986. Edição portuguesa, Gradiva, 1987.
- [6] Claude LEVI-STRAUSS. "Les structures élémentaires de la parenté", Paris, PUF, 1949, reedição La Haye, Mouton, 1967. Para uma introdução a este trabalho ler os artigos de J. Pouillon e S. de Beauvoir no dossier da Magazine Littéraire (referência 3, páginas 31-37)
- [7] Emmanuel TERRAY, in Magazine Littéraire, referência 3 página 55
- [8] Claude LEVI-STRAUSS. Introdução à obra de Marcel Mauss. Prefácio a: Marcel Mauss, "Sociologie et anthropologie", Paris, PUF, Quadrige, 1983) (reedição), página XXXII

- [9] Claude LEVI-STRAUSS. "Race et histoire", Unesco, 1952, reedição, Paris, Denoël, bibliothèque Médiations, 1987. Edição portuguesa, Presença, 3.^a edição, 1980
- [10] Georges CHARBONNIER. "Entretiens avec Claude Levi-Strauss", Paris, Plon, Julliard, 1961, reedição U.G.E. 10/18, 1969 (esgotado)
- [11] Claude LEVI-STRAUSS. Lição inaugural no Collège de France, 1960, retomado em "Anthropologie structurale deux", Paris, Plon, 1973
- [12] Claude LEVI-STRAUSS. "Anthropologie Structurale", Paris, Plon, 1958, reedição Plon, Press Pocket (Agora), 1985. As referências aos trabalhos de Wiener, Shannon e à termodinâmica encontram-se nas páginas: 70, 341, 356, 377 e 427
- [13] André LAPIDUS. "Une thermodynamique du social?". *Cahiers Internationaux de Sociologie*, LXX, 1981. "Une méthodologie pour les sciences sociales: la thermodynamique?" *Entropie*, n.º fora de série "Thermodynamique et sciences de l'homme", 1982
- [14] Paul SAMUELSON. "An extension of the Le Chatelier principle", *Econometrica*, 1960. Citado por T. de Montbrial, referência 2 bis, página 327
- [15] Thierry de MONTBRIAL. Referência 2 bis, página 321
- [16] Nicholas GEORGESCU-ROEGEN. "The entropy law and the economic process", Harvard University Press, 1971
- [17] Nicholas GEORGESCU-ROEGEN. Referência 2 bis, página 351-353
- [18] Nicholas GEORGESCU-ROEGEN. "La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine", *Entropie*, n.º fora de série "Thermodynamique et sciences de l'homme", 1982, página 76
- [19] Jeremy RIFKIN. "Entropy: a new world view", New-York, Viking Press, 1981
- [20] Joel de ROSNAY. "Les chemins de la vie", Paris, Seuil, 1983, páginas 88-91
- [21] Michel GUTSATZ. "Au-delà du second principe de la thermodynamique, ou l'entropie et ses analogies", C.E.R.S., Aix, ronéo, 1981
- [22] François JACOB. "La logique du vivant, une histoire de l'hérédité", Paris, Gallimard, 1970, reedição Tel, Gallimard, 1976. Edição portuguesa, Dom Quixote, 1985
- [23] Jacques MONOD. "Le hasard et la nécessité, essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne", Paris, Seuil, 1960. Reedição Points Seuil, 1973. Edição portuguesa, Europa-América, 2.^a edição, 1986
- [24] Pierre THUILLIER. "Les biologistes vont-ils prendre le pouvoir?" "Darwin & Co". Paris, Editions Complexes, 1981
- [25] Hannes ALFVEN. "La cosmologie: mythe ou science?", *La Recherche*, n.º 69, Julho 1975, página 610
- [26] Alain JAUMOTTE. Referência 2 bis, página 325
- [27] Pierre BOURDIEU. "Ce que parler veut dire", Paris, Fayard, 1984
- [28] Gilles DELEUZE. Conversa com A. Delaure e C. Parnet, *L'autre Journal*, n.º 8, Outubro 1985
- [29] Michel de PRACONTAL. "L'impotisme scientifique en dix leçons", Paris, Editions de la Découverte, 1986
- [30] Pierre BERGE, Yves POMEAU e Christian VIDAL. "L'ordre dans le chaos", Paris, Hermann, 1984
- [31] Ilya PRIGOGINE e Isabelle STENGERS. "La nouvelle alliance", Paris, Gallimard, Folio (2.^a edição), 1986. Edição portuguesa, Gradiva, 1987
- Ilya PRIGOGINE. "Physique, temps et devenir", Paris, Masson, 1982
- [32] Adolphe PACAULT e Christian VIDAL. "Structures chimiques spatiales, ondes chimiques - Mise au point", *Journal de Chimie Physique* 79 (1982) 691
- Christian VIDAL. "Etude expérimentale du comportement des systèmes chimiques loin de l'équilibre", *Journal de Chimie Physique* 84 (1987) 1279
- [33] Ludwig BOLTZMANN. "Leçons sur la théorie des gaz", Paris, Gauthier Villars, 1905. Reedição Paris, J. Gabay, 1987
- [34] Donald A. McQUARRIE. "Statistical Mechanics", New-York, Harper and Row, 1976
- [35] Warren WEAVER e Claude SHANNON. "Théorie mathématique de la communication" Edição francesa: C.E.P.L., 1975. Edição original: University of Illinois Press, 1949
- [36] Léon BRILLOUIN. "Science and information theory", New-York, Academic Press, 1956
- [37] Antoine DANCHIN. *La recherche*, n.º 92, Setembro 1978



LAVOISIER, Antoine (1743-1794)

Ilustre químico francês criador da Química moderna.

Temas: nomenclatura química; composição do ar; oxigênio e combustões; lei da conservação da matéria; propriedades dos gases; calor e calorimetria; o sistema métrico.

Foi decapitado no tempo da Revolução Francesa.

1789

Publicação do livro «*Traité Élémentaire de Chimie dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*» (Tratado Elementar de Química com nova sistematização e contendo as descobertas modernas). Este trabalho é calssificado, a par de «*Origin of Species*» de Darwin e «*Principia Mathematica*» de Newton, de obra revolucionária científica. A Química como Ciência tem a data da sua publicação.

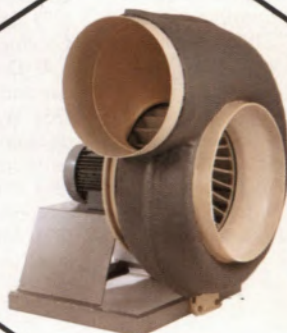
ventiladores centrifugos

PARA FLUIDOS CORROSIVOS

- Corpo e turbina em PVC/PPH
- Motor trifásico blindado IP 55
- Especialmente concebido para movimentação de fluidos com características corrosivas.

- Aplicação:

- indústria química
- indústria farmacêutica
- petroquímica
- laboratórios químicos
- etc.



com
motor eléctrico EFACEC



EFACEC, Empresa Fabril de Máquinas Eléctricas, S.A.

Capital Social 1 500 000 contos

CRC Porto — n.º 13 298

Contribuinte n.º 500091480

C. A. E. 383 100

Divisão VENTILADORES

NORTE: Av. Eng.º Frederico Ulrich — Apartado 31 — Guardelinas — 4470 MAIA
Tel. 9482210 — Telex 25491 EFAMA P

SUL: R. Rodrigo da Fonseca, 76 - 3.º — 1200 LISBOA
Tels. 530161-563351 — Telex 12124 EFALIS P