

Energia e Mitos Econômicos*

Georgescu-Roegen, Nicholas

Agora, todos podem voltar para casa e dormir tranquilamente, convencidos de que - consoante a sóbria e ponderada opinião do último catedrático da segunda mais antiga das Cadeiras de Economia Política deste país - embora a vida na Terra esteja muito longe da perfeição, inexistiu motivo para supor que o contínuo crescimento econômico possa torná-la pior.

Wilfredo Beckerman

I - Introdução

Há uma apreciável dose de verdade na observação de Percy Bridgman, quando assevera que a profissão do economista é a mais oportunista de todas. Com efeito, a atenção dos economistas desviou-se continuamente de um problema para outro, embora esses problemas – como aconteceu com frequência – deixassem de estar relacionados. Revendo, por exemplo, os artigos publicados em revistas editadas no mundo de fala inglesa, divulgados antes de 1950, dificilmente se encontrará qualquer alusão a “desenvolvimento econômico”. Por isso mesmo, é curioso que os economistas se hajam teimosamente apegado, nos últimos cem anos, a uma orientação específica, a saber a da epistemologia mecanicista, que dominou as idéias dos fundadores

* O presente artigo encerra, em suma, o que foi dito em uma conferência pronunciada no dia 8 de novembro de 1972, na School of Forestry and Environmental Studies, da Yale University – parte da série de palestras subordinadas ao título “Os limites do crescimento: o estado de equilíbrio e a sociedade humana”. Essa conferência foi repetida, posteriormente, em diversos outros locais. Dela se preparou, em julho de 1973, uma versão que seria incluída em livro planejado para divulgar aquele ciclo de palestras. Essa versão foi distribuída, na condição de “documento de trabalho”, aos membros da Comissão on Natural Resources e do Committee on Mineral Resources and the Environment (National Research Council). A presente versão difere da anterior por conter alguns adendos recentes.

N.E. Traduzido, por Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Motta, do original, “Energy and Economic Myths”, *Southern Economic Journal* 41 (January 1975), pp. 347-81 - Reprinted by courtesy of the Southern Economic Association and the University of North Carolina. Publicado em português como capítulo seis de “Alguns Problemas de Orientação em Economia”, *Edições Multiplic 1* (Agosto 1981): 337-89, editado por Antonio Maria da Silveira e por ele agora revisto em homenagem à “Turma do Milênio”, julho de 2001, do Curso de Ciências Econômicas do Instituto de Economia da Universidade Federal de Uberlândia.

da Escola Neoclássica. Segundo os próprios pioneiros admitem – e orgulhosamente proclamam – a sua maior ambição era a de construir uma ciência econômica nos moldes da mecânica ou (nas palavras de W. Stanley Jevons) uma ciência econômica vista como “a mecânica da utilidade e do auto-interesse” [48, 23]. Esses fundadores, como, de resto, quase todos os filósofos e estudiosos da primeira metade do século dezenove, estavam fascinados pelos espetaculares êxitos daquela ciência no campo da astronomia, aceitando a famosa divinização que Laplace fazia da mecânica [53, 4], vista como o evangelho do mais alto saber científico. Os pioneiros da Escola Neoclássica podem, pois, ver perdoados os seus exageros, dadas as condições em que suas idéias germinaram. As circunstâncias atenuantes, todavia, não se estendem aos economistas de tempos subsequentes, cujas teses surgiram muito depois de o dogma mecanicista ver-se banido até mesmo da física [23, 69-122; 5].

Os economistas de épocas recentes, deixando de dar ao problema a devida atenção, mostraram-se aparentemente satisfeitos com a idéia de desenvolver a sua disciplina ao longo das trilhas mecanicistas estabelecidas pelos seus predecessores, combatendo sem tréguas quaisquer sugestões no sentido de que a economia poderia ser concebida de outra forma que não como a ciência irmã da mecânica. O encanto de tal posição é óbvio. No espírito de quase todos os economistas que defendem as teorias comuns está a lembrança do extraordinário feito de Urbain Leverrier e John Couch Adams – que descobriram o planeta Netuno sem investigar o firmamento, mas “na ponta do lápis, correndo sobre o papel”. Sonho maravilhoso: estar em condições de prever, usando apenas as operações de lápis-e-papel, onde, no céu da Bolsa de Valores, há de situar-se uma particular ação no dia de amanhã – ou melhor ainda, no ano vindouro!

Em decorrência dessa indiscriminada adesão ao dogma do mecanicismo, explícita ou tacitamente acolhido, o processo econômico passa a ser encarado em termos analógicos e é entendido – o que, aliás, acontece com todos os análogos mecânicos – como algo que consiste de um princípio de conservação (transformação) e de uma regra de maximização. A própria ciência da economia se reduz, dessa maneira, a uma cinemática *atemporal*. Esse enfoque permitiu a proliferação de exercícios de lápis-e-papel, conduzindo a modelos econométricos de crescente complexidade – que muitas vezes só se prestam para ocultar as questões econômicas fundamentais. Tudo, agora, se transforma em simples movimento pendular. Um “ciclo” econômico sucede a outro. O ponto de apoio da teoria do equilíbrio se resume nisto: se os eventos alteram as propensões de demanda e de oferta, o mundo econômico sempre retorna às condições anteriores no momento em que tais eventos se esvaecem. Uma inflação, uma estiagem catastrófica ou uma crise da Bolsa de Valores não deixam qualquer marca na economia. Tal como acontece na mecânica, a regra geral é a da completa reversibilidade.¹

Nada ilustra melhor a epistemologia básica da economia comum do que o costumeiro gráfico (presente em quase todos os manuais elementares) utilizado para retratar o processo econômico, visto como fluxo circular, que se auto-preserva,

¹ Alguns economistas têm insistido em que, ao contrário, a irreversibilidade caracteriza o mundo econômico [p. ex., 60, 461, 808; e 25]. A idéia, porém, ainda não refutada, foi simplesmente arquivada. Parece vã a tentativa de alguns, tentando afirmar, agora, que a análise padronizada do equilíbrio sempre teve em conta as realimentações negativas [4, 334]. As únicas realimentações, na teoria comum, são as responsáveis pela manutenção do equilíbrio – não as responsáveis por alterações evolucionárias.

entre a “produção” e o “consumo”.² Todavia, nem mesmo o dinheiro circula nesse vai-e-vem, no seio do processo econômico, pois moedas e papel se gastam, tornando-se necessária a sua substituição, a partir de fontes externas [31]. Eis o ponto relevante: o processo econômico não é um processo que se auto-preserva. O processo não tem seguimento sem continuadas trocas que alteram, cumulativamente, o meio e sem que ele próprio, por seu turno, deixe de sofrer a influência de tais alterações. Economistas clássicos – e Malthus, em particular – ressaltaram a relevância econômica desse fato. Todavia, os economistas que acolheram as teorias comuns e as teorias marxistas desejam ignorar por completo o problema dos recursos naturais; ignoram-no tão acentuadamente que um famoso e versátil economista chegou a confessar, recentemente, haver decidido que “precisava verificar o que a teoria econômica tem a dizer “acerca daquele problema [75, 1 e s.].

Uma idéia básica dominou a orientação das duas citadas escolas. A. C. Pigou formulou-a de maneira explícita: “Em um estado estacionário, os fatores de produção são estoques, em quantidade invariável, de que brota um contínuo fluxo de renda real, igualmente invariável, no que concerne à quantidade” [68, 19]. A mesma idéia – ou seja, a de que um fluxo contínuo pode ser decorrência de uma estrutura imutável – está nos alicerces do diagrama da reprodução simples, devido a Marx [61, II, cap. XX]. Com o seu diagrama da reprodução ampliada [61, II, cap. XXI], Marx antecipa, em verdade, os modelos modernos (entre os quais, digamos, o de W. W. Leontief, a eliminar os fundamentos da profissão), que ignoram o problema da fonte primária do fluxo, até mesmo no caso de uma economia em crescimento. A única diferença é esta: Marx dizia, de modo explícito, que a natureza tudo nos dá, gratuitamente, ao passo que os economistas da escola comum aceitavam essa tese de maneira tácita. As duas escolas de pensamento acolhiam, pois, a idéia de Pigou – de um estado estacionário em que um fluxo material emerge de fonte invariável. Há, nessa idéia, o embrião de um mito econômico – um mito que, vê-lo-emos na seção VIII, é hoje pregado por muitos ecologistas e por alguns economistas. O mito é o de que em um mundo estacionário, uma população de crescimento-zero acabará pondo fim no conflito ecológico da humanidade. Os homens não mais precisam preocupar-se com a escassez ou com a poluição, pois surgirá um miraculoso programa capaz de trazer a Nova Jerusalém à terrena vida humana.

Os mitos sempre ocuparam um posto de relevo na vida dos homens. Agir em consonância com um mito é, por certo, característica marcante, a distinguir o homem dos demais seres vivos. Vários mitos permitem entrever a maior loucura do homem: a sua obsessão interior em crer que ele está acima de tudo, neste mundo real, e de que suas capacidades não têm limites. No Gênesis se proclama que o homem foi feito à imagem de Deus. Houve época em que o homem sustentou girar todo o universo em volta de sua pequena moradia; e houve tempo em que sustentou estar apenas o Sol a girar em torno da Terra. Os homens acreditaram poder movimentar as coisas sem dispêndio de energia – o mito do movimento perpétuo de primeira espécie, que é, por certo, um mito essencialmente econômico. O mito do movimento perpétuo de segunda espécie – o de que podemos empregar, repetidamente, a mesma energia – ainda vive conosco, sob veladas formas.

² Exemplo muito significativo acha-se em G. L. Bach, *Economics*, 2ª. ed., Englewood Cliffs, N. J., Prentice-Hall, 1957, p. 60; em A. Samuelson, *Economics*, 8ª. ed., Nova York, McGraw-Hill, 1970, p. 72; e em Robert Heilbroner, *The Economic Problem*, 3ª. ed., Englewood Cliffs, N.J., Prentice-Hall, 1972, p. 177.

Outro mito econômico – de que o homem sempre estará em condições de encontrar novas fontes de energia e de inventar novas maneiras de dominá-las, para seu benefício – vem sendo apregoado por vários cientistas, mas particularmente por economistas das duas correntes lembradas, isto é, marxistas e adeptos da teoria comum (ver seção VI). Haja o que houver, “nós [sempre] encontraremos uma saída” [4, 338]. Eis a idéia dominante: embora o indivíduo seja mortal, pelo menos a espécie é imortal. Aparentemente, não há dignidade em aceitar o veredicto de uma autoridade em biologia como J. B. S. Haldane, para quem o destino mais certo da humanidade é o mesmo destino de todas as demais espécies – a extinção. Apenas ignoramos quando e como ocorrerá o aniquilamento da espécie. Esse desaparecimento poderá dar-se mais cedo do que os otimistas admitem ou muito mais tarde do que os pessimistas temem. As conseqüências da acumulação da deterioração ambiental podem provocar a extinção; mas esta também pode sobrevir em decorrência da ação de algum vírus ou de algum mutante do gene da infertilidade.

A verdade é que pouco sabemos a respeito das razões que conduziram, no passado, ao desaparecimento de algumas espécies e pouco sabemos a respeito das causas que parecem provocar, na atualidade, diante de nossos olhos, a extinção de outras. Se estamos em condições de prever, aproximadamente, quanto tempo um cão poderá viver e o que, provavelmente, provocará o seu passamento, isso se deve apenas ao fato de termos tido repetidas ocasiões de observar que a vida dos cães, do nascimento até a morte. A dificuldade do biologista é a de que jamais pôde observar outra espécie humana, contemplando nascimento, envelhecimento e extinção [29, 91; 32, 208-210]. Entretanto, uma espécie atinge o final de sua existência por um processo que se assemelha ao do envelhecimento de qualquer organismo individual. Embora o envelhecimento ainda esteja cercado por mistérios [32, 205], sabemos que as causas determinantes do desaparecimento de uma espécie atuam vagarosamente, mas *persistente e cumulativamente*, desde o primeiro dia de sua vida. O ponto a enfatizar: envelhecemos a cada minuto, ou antes, a cada instante, embora não sejamos capazes de perceber as diferenças que se manifestam de um para o outro desses instantes.

Não tem o menor cabimento afirmar – como alguns economistas afirmam, implicitamente – que a humanidade, por não ter enfrentado quaisquer dificuldades ecológicas desde o tempo de Péricles, jamais enfrentará essas dificuldades [seção VI]. Mantendo-nos alertas, porém, estaremos aptos, com o passar do tempo, a identificar sintomas suficientemente claros que nos permitam formular idéias gerais a propósito das prováveis causas do envelhecimento e, talvez, da morte. É verdade que as necessidades do homem (e os tipos de recursos exigidos para a sua satisfação) têm muito maior grau de complexidade do que as necessidades (e correspondentes recursos) de indivíduos de quaisquer outras espécies. Em compensação, nosso conhecimento de tais fatores e de suas interligações, é naturalmente, muito mais amplo. Em resumo: uma análise, ainda que superficial, dos aspectos da vida humana que dizem respeito à energia será capaz de ajudar-nos a traçar um quadro geral dos problemas ecológicos e a atingir algumas poucas, mas relevantes conclusões. Isso – e nada mais – foi o que procurei registrar no presente comentário.

II - Mecânica versus Termodinâmica

Nenhuma análise de certo processo material, seja nas ciências naturais, seja na economia, tem possibilidade de mostrar-se judiciosa na ausência de claro e amplo retrato analítico desse processo. Esse retrato precisa incluir, antes de mais nada, a fronteira (elemento vazio e abstrato, capaz de separar o processo do seu “ambiente”) e a duração do processo. Descreve-se, em seguida, analiticamente, aquilo de que o processo necessita e aquilo que faz, utilizando completa programação temporal de todos os inputs e outputs – ou seja, indicando os instantes exatos em que os elementos em tela cruzam a fronteira, de fora para dentro ou de dentro para fora. Todavia, dependem, de modo específico, dos propósitos do estudioso e, de modo genérico, da ciência considerada, a fixação da abstrata fronteira, a determinação da duração e a escolha do espectro qualitativo que será utilizado para efetuar a classificação dos elementos do processo.³

A mecânica vale-se tão-somente da massa, da velocidade e da posição, introduzindo, a partir desses elementos, os conceitos de energia potencial e de energia cinética. Resulta que a mecânica reduz qualquer processo à locomoção e à variação nas distribuições de energia. A constância da energia mecânica total (cinética mais potencial) e a constância da massa figuram entre os mais antigos princípios de conservação acolhidos pela ciência. Alguns economistas meticulosos, como, digamos, Marshall [60, 63], observaram, de fato, que o homem não cria matéria nem energia. Assim procedendo, contudo, só levaram em conta, aparentemente, os princípios *mecânicos* de conservação – pois insistiram em acrescentar, de imediato, que o homem está em condições de produzir utilidades movimentando e reagrupando a matéria. Esse modo de ver despreza uma questão fundamental: de que modo poderia o homem efetuar a movimentação? Quem permanece no domínio dos fenômenos mecânicos deve admitir que cada porção de matéria e cada porção de energia mecânica, entrando em um processo, dele devem sair em porções exatamente iguais, *quantitativa e qualitativamente*. A locomoção não pode alterar quantidade e qualidade.

Equiparar o processo econômico a um análogo mecânico implica, pois, em um mito – o mito de que o processo econômico é um carrossel, um processo circular que não está em condições de afetar, seja como for, o ambiente de matéria e energia em que se acha imerso. A conclusão óbvia foi a de que se tornava desnecessário considerar o ambiente ao traçar o quadro analítico do processo.⁴ A velha tese de Sir Willian Petty – o sagaz investigador das ações humanas que insistia ter a riqueza o trabalho por pai e a natureza por mãe – foi, há muito, relegada ao status de peça de museu [29, 96; 31, 280]. Nem mesmo a acumulação de provas claras, atestando o papel preponderante dos recursos naturais na história da humanidade, chegou a impressionar os economistas da escola comum. Recordemos, por exemplo, a Grande Migração, no primeiro milênio, que foi a reação final à exaustão do solo da Ásia Central, provocada por longo período de persistente pastagem. Civilizações notáveis (a dos Maias é apenas um exemplo) desapareceram do cenário da história porque seus elementos

³ Discussão pormenorizada da representação analítica de um processo acha-se em Georgescu-Roegen [32, cap. ix].

⁴ Se “terra” aparece como variável, em algumas funções como de produção, representa terra ricardiana, isto é, mero espaço. Não dar atenção à real natureza do processo econômico é o que torna inadequada, por outros prismas, igualmente relevantes, a função comum de produção. Ver, a propósito, Georgescu-Roegen [27; 30; 33].

não tinham condições de migrar ou de combater, usando adequados procedimentos técnicos, a deterioração do ambiente em que viviam. Acima de tudo, entretanto, está o fato irretorquível de que todas as lutas entre as Grandes Potências não se travaram em virtude de fúteis motivos ideológicos ou de prestígio, mas em decorrência do desejo de controlar os recursos naturais. O que, aliás, ainda hoje se constata.

Uma vez que a mecânica não admite alterações qualitativas, reconhecendo apenas a alteração de lugar, qualquer processo mecânico pode ser invertido – exatamente como acontece, por exemplo, no caso do pêndulo. Nenhuma lei da mecânica estaria violada se a Terra tivesse sido posta em movimento descrevendo sua órbita em sentido contrário. Um espectador, contemplando um filme em que se registra o movimento mecânico de um pêndulo, não dispõe de qualquer meio para saber se o filme está sendo projetado no sentido em que as tomadas foram feitas ou no sentido oposto. Os fenômenos reais, porém, não acompanham, em todos os seus aspectos, a historieta dos famosos vizinhos de “Mamãe Gansa”, em que o bravo Duque de York mantinha suas tropas em marcha, colina acima e colina abaixo, evitando a batalha. Fenômenos reais movimentam-se em um sentido definido e envolvem alterações qualitativas. Essa é a lição que nos deixou a termodinâmica, um ramo peculiar da física – tão peculiar, aliás, que os puristas preferem destacá-lo da física, dada a sua tessitura antropomórfica. Ainda que seja difícil imaginar como a tessitura básica de qualquer ciência poderia deixar de ser antropomórfica, o caso da termodinâmica é singular.

A termodinâmica nasceu de um trabalho escrito pelo engenheiro francês Nicolas Sadi Carnot, em que estudava a eficiência das máquinas a vapor (1824). Entre os fatos que o artigo de Carnot trouxe à baila estava o de que o homem só tem condições de utilizar uma forma particular de energia. A energia foi dividida, então, em *disponível*, ou *livre*, – que se pode transformar em trabalho – e *não-disponível*, ou *ligada* – que não se transforma em trabalho.⁵ A divisão, nesses moldes, reflete uma distinção antropomórfica – distinção que não encontra paralelo na ciência.

A distinção está intimamente associada ao conceito de entropia, conceito específico da termodinâmica. Esse conceito envolve tantas complexidades que um especialista chegou a afirmar “não ser ele facilmente entendido nem mesmo pelos físicos” [40, 37].⁶ Todavia, para os nossos propósitos imediatos podemos contentar-nos com uma caracterização simples: a entropia é *indicador* da quantidade de energia não-disponível existente em um dado sistema termodinâmico, num particular instante de sua evolução.

A energia, independentemente de sua qualidade,⁷ está sujeita a uma lei estrita de conservação, a Primeira Lei da Termodinâmica – formalmente idêntica ao princípio

⁵ A definição de energia disponível (ou não-disponível) não coincide com a definição de energia livre (ou ligada). Todavia, a diferença pode ser ignorada, na presente discussão.

⁶ Essa afirmação é justificada pela discussão da Lei da Entropia, tal como em [44, 17]. A própria noção usual de calor levanta algumas questões delicadas, provocando enganos, cometidos até mesmo por físicos. Ver *Journal of Economic Literature*, X (Dezembro, 1972), p. 1.268.

⁷ Notemos que até mesmo a noção de energia não se condensa em uma definição formal simples. A noção habitual - de que energia é a capacidade de um sistema produzir trabalho - conflita com a definição de energia não-disponível. É preciso, então, explicar que qualquer energia pode, em tese, transformar-se em trabalho - desde que o correspondente sistema se ponha em contato com outro, cuja temperatura esteja no zero absoluto. A explicação, porém, só tem valor de mera extrapolação, já que, segundo a Terceira-Lei da Termodinâmica, o zero absoluto é temperatura jamais alcançada.

de conservação da energia mecânica, já mencionado acima. Recordando que trabalho é uma das múltiplas formas de energia, a lei expõe o mito do movimento perpétuo de primeira espécie. Não leva em conta, porém, a distinção entre energia disponível e energia não-disponível: *por si mesma, a lei não impede a possibilidade de que uma quantidade de trabalho se veja transformada em calor e que esse calor volte a converter-se na quantidade original de trabalho*. A Primeira Lei da Termodinâmica abre margem, pois, para que qualquer processo se desenvolva num sentido e no sentido oposto, para frente e para trás, de modo que tudo volte a ser o que era de início, sem que o acontecimento deixe indícios das transformações ocorridas. Dispondo apenas dessa Primeira Lei, ainda nos movemos no âmbito da mecânica e não no âmbito dos fenômenos reais em que, por certo, hão de situar-se os processos econômicos.

A irreduzível oposição entre mecânica e termodinâmica deriva da Segunda Lei, ou seja, da lei da Entropia. A mais antiga de suas formulações é, ainda, a mais inteligível, para os leigos: “O calor só flui do corpo mais quente para o mais frio – nunca do mais frio para o mais quente”. Formulação equivalente, embora mais complexa, afirmaria que a entropia de um sistema *fechado* cresce continuamente (e irrevocavelmente), tendendo para um máximo; dito de outro modo, a energia disponível se transforma, continuamente, em energia não-disponível, até desaparecer por completo.⁸

Em suas linhas genéricas, a história é relativamente simples: *todos os tipos de energia se transformam, gradualmente, em calor e este se dissipa de tal modo que, afinal, o homem não está em condições de utilizá-lo*. Em verdade – ponto que o próprio Carnot já havia frisado – a máquina a vapor não produz trabalho se a caldeira e o radiador se mantêm com a mesma temperatura, por mais elevada que seja.⁹ Para tornar-se disponível, a energia precisa estar distribuída de modo não uniforme; a energia completamente dissipada não está mais disponível. Exemplo clássico é o do imenso calor dissipado nas águas dos mares, que nenhum navio pode utilizar. Embora as embarcações naveguem sobre o mar, elas necessitam de energia disponível, a energia cinética reunida no vento ou a energia química e nuclear, concentrada em algum tipo de combustível. Percebe-se porque a entropia passou a ser encarada como um indicador de desordem (de dissipação), não só da energia, mas da *matéria*; e porque a Lei da Entropia, em sua formulação atual, assevera que *também a matéria está sujeita a uma irrevocável dissipação*. Conseqüentemente, o destino último do universo não é a Morte pelo Calor, como se acreditava, mas algo ainda mais sombrio: o Caos. Não há dúvida de que esse pensamento não é intelectualmente satisfatório.¹⁰ O que nos importa, contudo, é isto: de acordo com

⁸ Um sistema se diz fechado quando não troca energia ou matéria com o seu “ambiente”. Em tal sistema, naturalmente, a quantidade de energia-matéria permanece constante. Todavia, a constância dessa quantidade não assegura, por si só, o aumento da entropia. Se há trocas, a entropia pode até diminuir.

⁹ Não é correta, portanto, a idéia de Holdren [44, 17], segundo a qual a temperatura mediria “a utilidade” do calor. O máximo que se poderia afirmar é que a *diferença* de temperaturas nos dá um índice aproximado da utilidade do calor maior.

¹⁰ Uma alternativa, com apoio na termodinâmica estatística (seção VI), é a de que a entropia pode diminuir em certas partes do universo, de modo que este envelhece e, ao mesmo tempo, rejuvenesce. Não há, porém, evidência digna de nota para sustentar essa possibilidade. Outra hipótese, apresentada por um grupo de astrônomos ingleses, seria a de que o universo é um estado de equilíbrio permanente, onde as galáxias individuais nascem e perecem continuamente. Os fatos, contudo, também não se ajustam a esta hipótese. A questão da verdadeira natureza do universo está longe de ter encontrado solução [32, 201 e ss, 210].

a evidência, a nossa vizinhança imediata, o sistema solar, caminha para o perecimento termodinâmico¹¹ – pelo menos no que diz respeito às estruturas portadoras de vida.

III - A Lei da Entropia e a Economia

Nenhuma outra lei ocupa, talvez, posição tão singular, na ciência, quanto a Lei da Entropia. Trata-se da única lei natural a reconhecer que até o universo material está sujeito a uma alteração qualitativa irreversível, ou seja, a um processo evolucionário.¹² Esse fato levou alguns cientistas e filósofos, preocupados com a ciência natural, a perceber que existe certa afinidade entre essa lei e os fenômenos vitais. Atualmente, poucos negariam que a economia de qualquer processo vital está governada não por leis da mecânica, mas pela Lei da Entropia [32, xiii, 191-194]. Esse ponto, como agora veremos, põe-se claro no caso do processo econômico.

Notando que vários cientistas invadem os terrenos da economia embora pouco saibam da matéria, os economistas sustentaram, ocasionalmente, que também lhes seria lícito falar da ciência, a despeito de sua ignorância em tais domínios [4, 328 e s.]. O pensamento reflete um erro que, infelizmente, é muito comum entre economistas. Seja qual for a perícia que outros cientistas revelem, em seus conhecimentos econômicos, cumpre notar que os economistas não poderão atuar adequadamente em seus próprios campos se não dispuserem de sólida compreensão da Lei da Entropia e de suas consequências.¹³ De acordo com o que afirmei há alguns anos, a termodinâmica – tal como Carnot, inadvertidamente, a colocou – é, fundamentalmente, uma física do valor econômico; e a Lei da Entropia, por natureza, é, de todas as leis naturais, a que apresenta maior caráter econômico [29, 92-94; 32, 276-283].

O processo econômico, assim como qualquer outro processo vital, é irreversível (e irrevocavelmente irreversível). Por conseguinte, não é passível de ver-se explanado em termos exclusivamente mecânicos. Através da lei da Entropia, é a termodinâmica, precisamente, que reconhece a distinção qualitativa – cuja presença deveria ter sido asseverada, desde o início, pelos economistas – entre os inputs de recursos valiosos (baixa entropia) e os outputs finais de resíduos sem valor (alta entropia). O paradoxo que o pensamento coloca – o de que os processos econômicos se limitam a transformar a matéria valiosa e a energia valiosa em resíduos, ou detritos – é um paradoxo que se resolve de modo simples e esclarecedor. Compele-nos a reconhecer que o output real do processo econômico (ou, na verdade, de qualquer processo vital) não é o *fluxo material* de resíduos, mas um ainda misterioso *fluxo imaterial* de prazer de viver.¹⁴ Sem compreender esse fato, não estamos no âmbito dos fenômenos vitais.

¹¹ A fim de evitar algum erro, cabe enfatizar o seguinte ponto: reversão dessa tendência mostrar-se-ia igualmente perigosa para a preservação da vida na Terra.

¹² Rudolf Clausius criou a palavra “entropia” a partir de uma palavra grega que significa “transformação”, ou “evolução”. Ver [32, 130].

¹³ Como veremos adiante, alguns interessantes exemplos são dados por Harry G. Johnson [49] e, de maneira categórica e pouco cerimoniosa, por Robert A. Solow [73]. Quanto a Robert M. Solow, que se havia recusado, anteriormente, a afastar-se um milímetro da posição comum [74], ele achou oportuno, recentemente, admitir que “a economia e a lei da entropia” são necessárias para focalizar o problema dos recursos [75, 11]. Em última análise, no entanto, Solow continuou preso ao antigo credo.

¹⁴ Parece inútil, portanto, indagar, como o fez Boulding [8, 10], se bem-estar é um fluxo ou um estoque.

As atuais leis da física e da química não explicam, inteiramente, a vida. Entretanto, não tem lugar na ciência a idéia de que a vida poderia violar algumas leis naturais. Ainda assim, como já se observou há muito – e mais recentemente, na admirável exposição de Erwin Schrödinger [71, 69-72] – a vida parece escapar à degradação entrópica a que se submete a matéria inerte. Em verdade, qualquer organismo vivo luta, simplesmente, a cada instante, para compensar a sua própria degradação entrópica absorvendo baixa entropia (negentropia) e eliminando alta entropia. A Lei da Entropia, como é claro, não impede a manifestação desse fenômeno, pois requer, apenas, que a entropia de todo o sistema (o ambiente e o organismo) seja crescente. Tudo está em ordem se a entropia do ambiente aumenta, compensando a diminuição da entropia do organismo.

Igualmente importante é o fato de a Lei da Entropia ser a única lei natural que não faz previsões quantitativas. Deixa de especificar quão grande há de ser, num instante futuro, o aumento da entropia e qual há de ser o padrão entrópico resultante. Em vista desse fato, há uma indeterminação entrópica no mundo real, abrindo margem não apenas para que a vida adquira incontáveis formas, mas ainda, para que a maior parte das ações dos organismos vivos disponham de certo grau de liberdade [32, 12]. Sem essa liberdade, não teríamos como escolher entre carne ou feijão, entre comer agora ou mais tarde; e não poderíamos tentar implementar (em quaisquer níveis) planos econômicos de nossa própria escolha.

Em vista desta indeterminação, a vida adquire relevo no processo entrópico. Não se trata de vitalismo de cunho místico; trata-se de uma questão de fatos elementares. Alguns organismos retardam a degradação entrópica. Plantas verdes armazenam *parte* da radiação solar – que se dissiparia, de imediato, transformada em calor, em alta entropia, se faltassem aquelas plantas. Essa é a razão pela qual estamos em condições, hoje, de queimar a energia solar resguardada da degradação, há milhões de anos, na forma de carvão, ou há alguns anos, na forma de uma árvore. Todos os demais organismos, ao contrário, aceleram a marcha da entropia. O homem ocupa o mais elevado posto, numa escala de aceleração da entropia – e esse é o ponto que se debate, ao discutir questões relativas ao ambiente.

De importância, para o estudioso de economia, é o fato de que a Lei da Entropia se transforma no cerne da escassez econômica. Se essa lei não vigisse, poder-se-ia utilizar, repetidas vezes, a energia de um pedaço de carvão – transformando-a em calor, transformando esse calor em trabalho e, de novo, o trabalho em calor. Da mesma forma, as máquinas, as casas e até os organismos vivos (se pudessem existir) jamais se desgastariam. Inexistiria diferença econômica entre bens materiais e terras ricardianas. Em um mundo imaginário desse gênero, inteiramente mecânico, não haveria escassez de energia e de materiais. Uma população tão grande quanto a permitida pelo espaço existente em nosso globo estaria em condições de aí viver eternamente. Um aumento na renda real *per capita* seria suportada, em parte, por maior velocidade de uso (tal qual se dá no caso da circulação da moeda) e, em parte, por mineração renovada. Não haveria, porém, motivos para que conflitos reais se manifestassem, intra-espécies ou entre as espécies.

Os economistas têm afirmado que “não há refeição gratuita”, insistindo, assim, que o preço de qualquer coisa deve ser igual ao seu custo. Se assim não fosse, poderíamos ganhar algo em troca de nada. Acreditar, no entanto, que essa igualdade também se manifesta em termos de entropia é um dos mais perigosos mitos econômicos. *No contexto da entropia, cada ação, do homem ou de qualquer organismo – e,*

em verdade, qualquer processo da natureza – redundante em déficit do sistema global. Não só a entropia do ambiente aumenta um pouco, sempre que se coloca um litro de gasolina no tanque do carro, mas, a par disso, uma parte significativa da energia livre contida naquela porção de combustível deixa de mover o automóvel, contribuindo, diretamente, para que haja novo aumento da entropia. Enquanto existem recursos abundantes, de fácil acesso, não precisamos, na realidade, nos importar com a magnitude dessa perda adicional. Quando produzimos uma barra de cobre, a partir de um pedaço de minério, diminuímos a entropia (a desordem) do minério, mas à custa de um muito maior aumento da entropia do resto do universo. Inexistisse um tal déficit entrópico, seria viável transformar trabalho em calor e, invertendo o processo, recuperar toda a quantidade inicial de trabalho – exatamente como no mundo imaginário de que falávamos no parágrafo anterior. Em um mundo desse tipo, justamente por não valer a lei da Entropia, a economia comum poderia reinar suprema.

IV - Energia Acessível e Matéria Acessível

Como vimos, a distinção entre energia disponível e não-disponível (que generalizada, nos dá a distinção entre entropia alta e baixa) foi introduzida com o propósito de fazer com que a termodinâmica levasse em conta o fato de o homem só estar em condições de utilizar um particular estado de energia. A distinção, no entanto, não estabelece que o homem possa, *realmente*, utilizar qualquer energia disponível, independente do local e da forma em que se encontre. A fim de que a energia disponível tenha algum valor para a humanidade, ela também deve ser *acessível*. A energia solar e seus sub-produtos são acessíveis, praticamente sem esforço e sem que haja consumo adicional de energia disponível. Em todos os demais casos, porém, é preciso realizar um trabalho e utilizar materiais, se pretendemos ter à mão certa reserva de energia disponível. Eis o ponto a destacar: embora possamos chegar a Marte e ali encontrar alguns depósitos de gás, a energia disponível correspondente não nos será acessível se, para trazer até nós um metro cúbico de gás daquele planeta, for preciso empregar energia que supere a de um metro cúbico de gás *acessível na Terra*. Existem, por certo, vários lençóis de onde se tornaria viável extrair uma tonelada de óleo, utilizando, porém, mais de uma tonelada de óleo. O óleo desse lençol ainda representaria energia disponível – mas não-acessível. Tem-se repetido, *ad nauseam*, que as reservas reais de combustível fóssil são, sem dúvida, maiores do que o conhecido ou o previsto [p. ex., 58, 331]. Mas é igualmente certo que uma parte substancial das reservas reais não constitui energia acessível.

A citada distinção diz respeito à eficiência em termos de energia, mas não em termos de economia. A eficiência econômica implica em eficiência energética, mas a recíproca não é verdadeira. O uso de gás, por exemplo, é mais eficaz, pelo prisma da energia, do que o emprego da eletricidade; entretanto, a eletricidade é, de fato, mais barata em várias situações [79, 152]. Analogamente, embora possamos fabricar o gás a partir do carvão, é menos dispendioso obtê-lo em depósitos naturais. Caso as fontes naturais de gás venham a desaparecer antes de se extinguirem as fontes de carvão, passaremos, naturalmente, a valer-nos do método que hoje se considera economicamente ineficaz. A mesma idéia deve estar em nosso espírito ao discutirmos o futuro dos empregos diretos da radiação solar.

Os economistas, contudo, insistem em que “os recursos são medidos adequadamente em termos econômicos, não em termos físicos” [51, 663; também 3,

247]. A frase reflete um dos mais duradouros mitos defendidos por aqueles profissionais – e por outros também. Trata-se do mito de que o mecanismo de preços está em condições de contornar quaisquer dificuldades, estejam elas associadas à Terra, à energia ou aos materiais.¹⁵ Esse mito será devidamente analisado em seção posterior. Neste momento, bastará enfatizar o seguinte: a fim de estabelecer a acessibilidade, pelo prisma do que acontece a longos prazos, importa apenas a eficiência em termos de energia. Não se poderá negar que a eficiência real, em qualquer instante especificado, depende do “estado geral das artes”, ou seja, das circunstâncias em que vivamos. Todavia, como sabemos desde Carnot, existe, em qualquer situação particular, *um limite* – natureza teórica, independentemente do estado das artes – *que jamais se atinge efetivamente*. Na verdade, ficamos, via de regra, bem abaixo desse limite.

A acessibilidade, como aqui entendida, diz respeito ao fato de que embora a nave da humanidade flutue em um reservatório fantástico de energia disponível, tão-somente uma parte infinitesimal desse reservatório é acessível ao homem. Mesmo que atravessássemos o espaço com a maior velocidade – a da luz – não deixaríamos de estar confinados a um ponto do cosmos. Nessa velocidade, uma jornada exploratória até o sol mais próximo, fora do sistema em que vivemos, em busca de possíveis mas incertos satélites semelhantes à Terra, levaria nove anos! Se o pouso da Lua nos deixou uma lição, foi a de que não há promessa de recursos nas viagens interplanetárias, e muito menos, nas viagens intersiderais.

Restrições ainda mais drásticas, no que concerne à energia acessível, são impostas pela nossa própria natureza biológica – a impedir a sobrevivência quando as temperaturas são demasiado altas, ou demasiado baixas, ou quando ficamos expostos a radiações de certos tipos. Essa é a razão pela qual a busca e o emprego de combustível nuclear, em larga escala, dividem, na atualidade, os leigos e as autoridades que se debruçam sobre o tema (Seção IX). Existem, a par disso, restrições colocadas por alguns obstáculos puramente físicos. O Sol, por exemplo, não pode ser vasculhado, nem mesmo por um robô. A rigor, de toda a imensa energia radiante do Sol, apenas conta a pequena porção que atinge a Terra (Seção IX). Também não estamos em condições de dominar toda a imensa energia das tempestades que aqui ocorrem. Obstáculos físicos peculiares também se colocam, inevitavelmente, diante de quem cogita do uso pacífico da energia termonuclear. A fusão do deutério exige a incrível temperatura de 0,2 bilhões de graus Fahrenheit – uma ordem de magnitude maior do que a da temperatura do interior do Sol. A dificuldade em tela é a de obter um recipiente material em que realizar tal reação. Como já foi explicado, em termos não técnicos, a solução agora procurada assemelha-se à do problema de manter a água no interior de uma rede formada por elásticos de borracha. A propósito, cabe lembrar que a energia química obtida com a dinamite e a pólvora, embora estejam em uso há muitos anos, não pode ser controlada para ver-se utilizada em uma turbina ou em um motor. É possível que a utilização da energia termonuclear também se limite às “bombas”.¹⁶ Seja como for, com ou sem a energia termonuclear, a quantidade de baixa entropia energética é finita (Seção IV).

¹⁵ A evidência é ampla: [3, 240 e s.; 4, 337 e s.; 49; 51, 663, 665; 74, 46 e s.; 80, 69, 9 e s., 14 e s]. O encanto desse mito se torna claro ao notar-se que autores com idéias opostas também o acolhem [58; 62, 65; 6, 10, 12; e Frank Notestein, citado em 62, 130].

¹⁶ As dificuldades técnicas, hoje existentes, são examinadas em [63]. De outro lado, cabe lembrar que Ernest Rutherford, em 1933, duvidava da possibilidade de controlar-se a energia atômica [82, 27].

Considerações similares permitem concluir que também é finita a quantidade de baixa entropia material acessível. Embora o que importe, nos dois casos, seja apenas a quantidade de baixa entropia, convém deixar separadas as duas explicações ao discutir-se o problema do ambiente. Como sabemos, a energia disponível e as estruturas materiais ordenadas desempenham papéis diversos na vida humana. Entretanto, essa distinção, de caráter antropomórfico, não é, a rigor, compulsória.

Há, em primeiro lugar, o fato físico de que – apesar da equivalência entre massa e energia, estabelecida por Einstein – não há razões para supor viável a conversão de energia em matéria, salvo numa escala atômica, em laboratórios e tão-somente com respeito a certos elementos especiais.¹⁷ Não podemos produzir uma lâmina de cobre, digamos, partindo apenas da energia. O cobre da lâmina já deve existir, previamente, como cobre (em forma pura ou em algum composto químico). Sem, portanto, as devidas restrições, tende a ser desorientadora a afirmação de que “A energia é conversível, transformando-se na maior parte dos demais requisitos da vida” [83, 412]. Em segundo lugar, não há macroestrutura material (seja um prego, seja um avião a jato) capaz de manter para sempre a sua forma original, se a sua entropia é menor do que a entropia do ambiente em que se encontre. Também não pode perdurar a singular organização – típica das estruturas portadoras de vida – caracterizada pela tendência de escapar à degradação entrópica. Assim, os artefatos, que são, hoje, parte essencial de nossas vidas, precisam ver-se renovados continuamente, a partir de algumas fontes. O último ponto a ressaltar seria o de que a Terra é um sistema termodinâmico, aberto apenas com respeito à energia. A quantidade de matéria dos meteoritos, ainda que não desprezível, já aparece dissipada.

Conseqüentemente, só podemos contar com os recursos minerais – que, no entanto, são insubstituíveis e exauríveis. Aliás, alguns tipos específicos de minerais já se esgotaram em certos países [56, 120 e s].¹⁸ Presentemente, alguns minerais importantes (mercúrio, zinco, estanho, chumbo, metais preciosos) escasseiam em todo o mundo [17, 72-77; 56]. Peritos em geologia [17, 85-87] têm afirmado que não passa de hipérbole a disseminada idéia de que os oceanos seriam fonte quase inesgotável de minerais e poderiam transformar-se em elo de um sistema natural e perpétuo de reciclagem [3, 239; 69, 7 e s].¹⁹

O único modo de substituir baixa entropia material por energia é a manipulação físico-química. Empregando quantidades cada vez maiores de energia disponível, é viável extrair cobre de minas sucessivamente mais pobres e progressivamente mais profundas. Todavia, o custo de mineração de minas pobres cresce muito rapidamente [56, 122 e s]. Também é possível reciclar o “refugo”. Há, porém, alguns elementos que se mostram altamente dissipativos, em virtude de sua natureza e do modo pelo qual participam nos processos naturais e nos processos conduzidos pelo homem. A reciclagem, em tais casos, pouco ajuda. A situação é particularmente desalentadora nos casos de elementos que, paralelamente, só se encontram em porções

¹⁷ Eis o ponto de interesse: até a formação de um átomo de carbono, a partir de três átomos de hélio, por exemplo, requer fixação minuciosíssima de intervalos de tempo, tornando-se astronomicamente diminuída a probabilidade de que se venha a formar aquele átomo; assim, o evento poderá ocorrer, em larga escala, apenas na presença de massas extraordinariamente grandes.

¹⁸ Ver a interessante história de “Mesabi Range”, em [14, 11 e s.].

¹⁹ Também se mostra ilusória a idéia de que os oceanos poderão transformar-se em ricos mananciais de alimentos.

muito reduzidas no ambiente. O fósforo, elemento crítico em processos biológicos, parece colocar-se nessa categoria. O mesmo acontece com o hélio, outro elemento que tem um papel estritamente específico [17, 81; 38].

Ponto importante – aparentemente ignorado pelos economistas [49, 8; 69, 16, 42] – é o de que a reciclagem não pode ser completa.²⁰ Embora estejamos em condições de recolher todas as pérolas que hajam caído ao solo, reconstruindo o colar partido, nenhum processo real torna viável a coleta de todas as moléculas de uma dada moeda, após o seu desgaste.

Essa impossibilidade não é decorrência direta da Lei da Entropia, como Solow admite [75, 2]. Também não é inteiramente correto afirmar, com Boulding [8, 7], que “felizmente, inexiste lei de entropia material crescente”. A Lei da Entropia não estabelece distinção entre matéria e energia. A lei não exclui (pelo menos em tese) a possibilidade de um cabal “desembaralhar” de uma estrutura material *parcial*, contando que haja quantidade suficiente de energia livre para executar a tarefa. E se dispusermos de energia bastante, estaremos habilitados a isolar as moléculas frias existentes em um copo de água, para reuni-las em blocos de gelo. Se, todavia, operações desse gênero são impossíveis, no dia-a-dia, isso acontece apenas porque elas demandariam tempo que, para efeitos práticos, seria infinito.²¹

V - Resíduos Alienáveis

Uma vez que Malthus não percebeu que os resíduos também colocam alguns problemas econômicos, normal foi que as escolas de economia, ignorando o input dos recursos naturais, deixassem de dar atenção ao output dos resíduos. Em decorrência disso, o resíduo – exatamente como as fontes naturais de recursos – não aparece representado, sob qualquer forma, nas funções comuns de produção. A única vez em que se menciona a poluição é para referir, em ocasional exemplo, fornecido em livro-texto, o caso da lavanderia que enfrentava perdas em virtude da presença, nas vizinhanças, de uma chaminé. Os economistas devem ter ficado surpresos, por conseguinte, quando a poluição passou a ser um tema obrigatório. Entretanto, a surpresa não tem fundamento. Dada a natureza entrópica do processo econômico, o resíduo é um *output* – e tão inevitável quanto o input dos recursos naturais [27, 514 e s., 519, 523 e s]. Automóveis, motocicletas, aviões a jato, “maiores e melhores”, provocam, obrigatoriamente, não apenas “maiores e melhores” esvaziamentos de recursos naturais, como ainda, “maior e melhor” poluição [31; 32, 19 e s., 305 e s]. Presentemente, os economistas não podem mais ignorar a existência da poluição. Descobriram, inclusive, de súbito, que “têm, na verdade, algo importante a dizer ao mundo”, a saber, que mantendo corretos os preços, desaparece a poluição [74, 49 e s.; ver, também, 10, 12, 17; 49, 11 e s; 80, 120 e s]²² – que é outra face do mito em torno dos preços, acolhido pelos economistas (Seções IV e XI).

²⁰ Dados acerca da reciclagem são poucos e inadequados; alguns desses dados acham-se em [12, 205; 16, 14]. Com respeito ao aço, ver [14].

²¹ Tudo isso comprova que a Lei da Entropia, embora pareça extremamente simples, exige muita atenção para ver-se adequadamente interpretada.

²² A par disso, Harry Johnson acabou concluindo que uma representação completa de um processo de produção deve incluir, obrigatoriamente, o output dos detritos [49, 10].

O resíduo é um fenômeno físico, geralmente pernicioso para esta ou aquela forma de vida e, direta ou indiretamente, prejudicial para a vida humana. O resíduo contribui para que, sob muitos aspectos, o ambiente se deteriore. Quimicamente, como ocorre no caso da poluição pelo mercúrio ou pelos ácidos; nuclearmente, como ocorre no caso do lixo radioativo; fisicamente, como acontece no caso da acumulação do dióxido de carbono na atmosfera ou no caso da mineração despojante. Há umas poucas instâncias em que substancial parte do resíduo – e o dióxido de carbono apresenta-se como exemplo de maior destaque – se vê reciclado por algum processo “natural” do ambiente. A maior parte do resíduo possivelmente nefasto – o lixo, os cadáveres, os excrementos – também se reduz, gradualmente, por ação de processos naturais. Esses resíduos requerem apenas um local em que possam permanecer isolados, até que a redução se complete. Há, por certo, perturbadores problemas de higiene a debater, mas o importante ponto a sublinhar é o de que tais resíduos não causam danos permanentes e irreparáveis ao ambiente.

Alguns resíduos são *alienáveis* tão-somente no sentido de que são conversíveis em outros resíduos menos nocivos, na dependência de ações que tomemos. Isso acontece, p. ex., no caso do monóxido de carbono que se transforma em dióxido de carbono e calor, graças a uma combustão aperfeiçoada. Grande parte da poluição provocada pelo dióxido de enxofre, para citar novo exemplo, será evitada empregando certos equipamentos especiais. Entretanto, há resíduos que não são atenuados dessa maneira. Exemplo específico é o lixo nuclear, cuja muito perigosa radioatividade não estamos em condições de reduzir [46, 233]. A atividade radioativa do lixo nuclear diminui com o tempo, mas de modo lento. No caso do plutônio-239, a redução a 50 por cento leva aproximadamente 25 mil anos! Contudo, os malefícios provocados pela concentração radioativa podem afetar a vida de maneira irreparável.

A dificuldade que se apresenta no exemplo do plutônio e que se estende aos casos de acumulação de quaisquer tipos de resíduos – desde os mais variados refugos até o calor – é decorrência da finitude do espaço acessível. A humanidade compara-se a uma dona de casa que consome limitado número de artigos da despensa, atirando as sobras inevitáveis em uma finita lata-de-lixo – o espaço que nos cerca. O próprio lixo ordinário constitui ameaça; nos tempos antigos, quando a sua remoção era difícil, algumas cidades magníficas ficaram soterradas pelos detritos acumulados. Possuímos, hoje, meios adequados para dispor dos detritos, mas a sua continuada produção requer, uma após outra, várias novas áreas em que depositá-lo. Nos Estados Unidos da América, a quantia global de lixo quase atinge a casa das duas toneladas por habitante – e tende a crescer [14, 11n]. Não podemos olvidar, além disso, que a cada barril de óleo de xisto se associa mais de uma tonelada de cinzas; ou que a obtenção de alguns gramas de urânio requer um metro cúbico de pedra britada. O problema do destino a dar a tais resíduos “neutros” é vivamente ilustrado pelas conseqüências da mineração despojante. Em escalas amplas e contínuas, não seria compensatória a remessa de resíduos para o espaço exterior.²³

²³ Muito instrutivas são a fotografia da capa da revista *Science* de 12 de abril de 1968 e as fotos que se encontram no *National Geographic* de dezembro de 1970. É possível (como Weinberg e Hammond [83, 415] sustentam) que só teríamos de britar pedras com o dobro da velocidade com a qual hoje se efetua a mineração do carvão, se a quantidade de energia necessária para 20 bilhões de pessoas atingisse, anualmente, o nível dos 600 milhões de BTU *per capita* (Unidade Térmica Britânica). Mesmo assim, o problema de saber o que fazer com as pedras britadas não desapareceria.

A finitude de nosso espaço torna mais perigosos os resíduos que têm vida longa, e, especialmente, aqueles que se mostram inteiramente irreduzíveis. Exemplo típico dessa última categoria é o da poluição térmica – de cujas consequências perigosas ainda não temos nítida imagem. O calor *adicional* em que toda a energia de origem terrestre se transforma, em última análise, ao ser utilizada pelo homem²⁴, pode afetar, de duas maneiras, o delicado equilíbrio termodinâmico do globo. Em primeiro lugar, as ilhas de calor, geradas pelas centrais elétricas, não só perturbam (como bem se sabe) a fauna e a flora dos rios, dos lagos e até mesmo das costas marítimas, como ainda, alteram os padrões climáticos das regiões em que foram instaladas. Uma única usina nuclear está em condições de alterar a temperatura do rio Hudson, elevando-a de quase 4 graus centígrados. Assim, torna-se assustador o problema de determinar os locais em que serão construídas as novas usinas, uma após outra. Em segundo lugar, o calor adicional total, nas regiões em que se implantam as usinas e nos locais em que a energia é utilizada, pode elevar a temperatura da Terra a ponto de fazer com que se derretam as calotas geladas dos pólos – provocando consequências cataclísmicas. Uma vez que a Lei da Entropia não dá margem para o resfriamento de um planeta que continuamente se aquece, a poluição térmica talvez se apresente como obstáculo mais sério, para o crescimento, do que a finitude dos recursos acessíveis [79, 160].²⁵

Segundo parece, imaginamos que, para contornar a poluição, é preciso agir diferentemente de como temos agido. Em verdade, porém, tal qual na situação da reciclagem, dispor da poluição é algo que não se faz sem enfrentar custos, em termos de energia. Além disso, na medida em que aumenta a porcentagem de redução da poluição, o custo aumenta ainda mais rapidamente do que no caso da reciclagem [62, 134 e s]. É preciso, pois, agir com cautela – segundo já se tem insistido [6, 9] – de modo a não substituir uma atual poluição localizada por uma futura poluição maior. Em princípio, pelo menos, um lago morto poderá ver-se revitalizado mediante bombeamento de oxigênio, de acordo com sugestão de Harry Johnson [49, 8 e s]. É certo, entretanto, que as operações adicionais, decorrentes de tal bombeamento, não apenas requerem apreciáveis novas quantidades de baixa entropia, mas ainda, geram poluições de outra ordem. Na prática, não se têm mostrado muito produtivos os esforços dos que objetivam a recuperação de solos e de leitões de água degradados pela mineração despojante [14, 12]. O pensamento linear – usando expressão que Bormann consagrou [7, 706] – está, possivelmente, “na moda”; ainda assim, na condição de economistas, precisamos recordar esta verdade: o que vale para um lago morto não precisa, obrigatoriamente, valer para todos os lagos mortos, particularmente se o número deles ultrapassa um dado limite. Sugerir, a par disso, que o homem dispõe de meios para construir, a certo preço, um ambiente novo, acomodado aos seus desejos, é ignorar por completo que o preço não se fixa em termos de moeda, mas essencialmente, em termos de baixa entropia e que ele está sujeito,

²⁴ A única exceção digna de nota (Seção IX) é a energia solar, em todas as múltiplas formas.

²⁵ A constante acumulação de dióxido de carbono na atmosfera tem um efeito-de-estufa que deverá agravar o aquecimento do globo. Há, no entanto, outros efeitos divergentes do aumento de partículas espalhadas na atmosfera: alterações da vegetação orientadas pela agricultura; a interferência sobre a distribuição normal da água, na superfície e em camadas subterrâneas; etc. [24; 57]. Embora os peritos não sejam capazes de determinar a tendência resultante, associada a esse complexo sistema, onde pequenas perturbações podem admitir efeitos consideráveis, o problema não é uma “velha ameaça” – como diz Beckerman [4, 340], para simplesmente ignorá-lo.

além disso, às limitações impostas por leis naturais.²⁶

Muitas vezes, os nossos argumentos brotam de crença em uma atividade industrial livre de poluição. Trata-se de mito – crença tão acalentadora quanto a da durabilidade eterna. A verdade crua é esta: apesar de nossos esforços, o acúmulo da poluição poderá deflagrar, sob certas circunstâncias, a primeira séria crise ecológica [62, 126 e s]. O que percebemos hoje não passa de clara premonição de uma tendência que, num futuro mais distante, poderá tornar-se ainda mais conspicuamente vivenciada.

VI - Mitos em torno do Problema Entrópico da Humanidade

Difícilmente, na atualidade, alguém se animaria a confessar, publicamente, uma crença na imortalidade da espécie humana. Apesar disso, muitos preferem não excluir essa possibilidade e, com tal objetivo em mente, tratam de impugnar qualquer fator capaz de limitar a vida humana. A mais natural das idéias confortantes seria a de que a humanidade dispõe de dotações entrópicas virtualmente inesgotáveis, podendo o homem vencer, desta ou daquela maneira, a Lei da Entropia.

De início, há um argumento simples: assim como já aconteceu com numerosas outras leis naturais, também as leis em que se apoia a finitude dos recursos acessíveis ver-se-á refutada um dia. Esse argumento de ordem histórica enfrenta, no entanto, um sério obstáculo, pois a história mostra, com força ainda maior, em primeiro lugar, que um espaço finito só pode conter uma quantidade finita de baixa entropia e, em segundo lugar, que a baixa entropia tende a desaparecer contínua e irrevocavelmente. A impossibilidade do movimento perpétuo (das duas espécies) está confirmada, na história, tão firmemente quanto a lei da gravitação.

Armas bem mais sofisticadas foram elaboradas pela interpretação estatística dos fenômenos termodinâmicos – tentativa de restabelecer a supremacia da mecânica, apoiada, agora, em uma *sui generis* noção de probabilidade. De acordo com essa interpretação, a reversibilidade de alta em baixa entropia não é um evento completamente impossível, mas tão somente um acontecimento altamente improvável. E como o evento é *possível*, deveríamos estar em condições (usando um artifício qualquer, engenhosamente concebido) de provocar o evento sempre o que desejássemos – exatamente como um exímio jogador de cartas está em condições de retirar um ás de ouros do baralho, sempre que isso lhe apraz. O argumento limita-se a trazer à tona as irreduzíveis falácias e contradições que os apreciadores da mecânica lançaram nos fundamentos da interpretação estatística [32, cap. VI]. As esperanças geradas por essa interpretação foram tão ardentes, em certo momento, que P. W. Bridgman, como autoridade em termodinâmica, se viu na obrigação de redigir um

²⁶ Solo [73, 517] afirma: “em virtude do desenvolvimento da tecnologia, a sociedade de nossos dias está habilitada, enfrentando custos toleráveis, a eliminar todos os tipos de poluição (excetuando, talvez, a provocada pelo refugo das radiações). Se não eliminarmos a poluição, isto se deve a alguma inversão de valores”. Estamos, inegavelmente, capacitados a dedicar maior atenção ao problema de como evitar a poluição. Acreditar, porém, que a adoção de apropriados valores nos dará condições de contornar as leis naturais é ter uma visão imprópria da realidade.

artigo para combater a idéia da possibilidade de encher os bolsos de dinheiro “contrabandeando entropia” [11].

De maneira ocasional e *sotto voce*, algumas pessoas expressam a esperança – enunciada, certa vez, por uma figura como John von Neumann – de que o homem acabará descobrindo uma forma de tornar a energia um bem gratuito, “exatamente como o ar que respiramos” [3, 32]. Outras pessoas imaginam um “catalisador” com o qual se decomporia a água do mar, separando oxigênio e hidrogênio, cuja combustão nos daria a quantidade de energia disponível que pudéssemos desejar. Mas a analogia, em termos de uma brasa que ateia fogo à pilha de troncos, não se aplica ao caso. A entropia da madeira e do oxigênio usado na combustão é mais baixa do que a entropia da fumaça e das cinzas resultantes, ao passo que a entropia da água é mais elevada do que a entropia do oxigênio e do hidrogênio produzidos pela decomposição. Assim sendo, o catalisador miraculoso também contrabandeia entropia.²⁷

Apoiada na idéia de que o reator criador (“breeder reactor”) produz mais energia do que consome – uma idéia hoje muito disseminada – a falácia do contrabando de entropia atingiu, ao que parece, a máxima aceitação, vendo-se acolhida em largos círculos de pessoas cultas, aí incluídos os economistas. Infelizmente, a ilusão se alimenta em errôneas concepções de conversa de vendedor, entre peritos em física nuclear, que exaltam os reatores capazes de transformar o material fértil, mas não desintegrável, em combustível fissil, imaginando que tais reatores “produzem mais energia do que a consumida” [81, 82]. A verdade, pura e simples, é esta: o reator não difere das fábricas que produzem martelos com a ajuda de outros martelos. Em consonância com o princípio de déficit da lei da Entropia (Seção III), até na criação de galinhas se consome uma quantidade de baixa entropia que é mais elevada do que a contida no produto.²⁸

Aparentemente, os economistas, defendendo concepções usuais relativas ao processo econômico, trouxeram à baila temas de seu interesse. Cabe lembrar, exemplificativamente, o argumento segundo o qual “a noção de um limite absoluto para a disponibilidade de recursos naturais é indefensável quando a definição de recursos se altera de maneira drástica e imprevisível ao longo do tempo... O limite pode existir, mas não será definido ou especificado em termos econômicos” [3, 7, 11]. Também vemos que não há limite para as terras cultiváveis, pois “cultivável é infinitamente indefinível” [55, 22]. Patentemente, esses argumentos não passam de sofismas. Ninguém nega, p. ex., que não podemos dizer, de modo exato, quanto carvão nos será acessível. Estimativas a propósito de recursos naturais têm-se mostrado, frequentemente, muito baixas. A afirmação de que a quantidade de metais existente no primeiro quilômetro da crosta terrestre pode perfeitamente ser um milhão de vezes maior do que a quantidade de metais já estimada, nas reservas conhecidas [4, 338; 58, 331], não prova que os recursos sejam inexauríveis; ao contrário, a afirmação ignora, de maneira típica, tanto a questão da acessibilidade quanto a da

²⁷ Sugestão típica, em que se faz presente o contrabando de entropia, foi a de Harry Johnson: contempla a possibilidade de recompor as reservas de carvão e óleo “com suficiente inventividade” [49, 8]. Se Johnson também quer dizer “com suficiente energia”, por que se perderia uma boa parte dessa energia na transformação?

²⁸ A exuberância do mito da geração de energia está claramente evidenciada em uma recente declaração de Roger Revelle [70, 169], a “lavoura pode ser vista como espécie de reator criador, em que mais energia é produzida do que consumida”. Em verdade, o desconhecimento das leis naturais é muito amplo...

disponibilidade.²⁹ Seja qual for a necessidade que possamos ter de recursos ou de terras cultiváveis, em certas épocas fixadas, ela consistirá de baixa entropia acessível e de terras acessíveis. *Recordando que todas as reservas, juntas, nos dão uma quantidade finita, nenhum artifício taxonômico eliminará essa finitude.*

A tese favorita da economia comum e da marxista, entretanto, é a de que a tecnologia não conhece limites [3; 4; 10; 49; 51; 74; 69]. Sempre estaremos em condições não só de encontrar um substituto para um recurso tornado escasso, como, ainda, de aumentar a *produtividade*, relativamente a qualquer tipo de material ou de energia. Se faltarem recursos, sempre haverá uma saída – como se constata desde os tempos de Péricles [4, 332-334]. Nada, portanto, há de impedir o acesso do homem a uma vida crescentemente mais feliz. É difícil imaginar outro modo de raciocínio tão linear quanto esse. Adotando a mesma lógica, nenhum jovem será acometido pelo reumatismo, ou por outros males da velhice, e nenhum jovem sadio perecerá. Os dinossauros, pouco antes de seu desaparecimento, neste mesmo planeta, haviam experimentado um próspera existência que durou não menos de cento e cinquenta milhões de anos (E eles não poluíram o ambiente com o lixo industrial!). Mas a lógica a ser saboreada é, na verdade, a de Solo [73, 516]. Se a degradação entrópica pode dobrar a humanidade em algum momento futuro, isso já deveria ter acontecido logo após o ano 1.000 da Era Cristã. A velha verdade do Senhor de La Palice nunca foi tão deliciosamente invertida.³⁰

Outros argumentos apoiam a mesma tese, ligando-se, porém, ao conteúdo. Em primeiro lugar, existe a asseveração de que apenas alguns poucos tipos de recursos são "impermeáveis ao avanço tecnológico a ponto de, ao cabo, não nos fornecerem produtos extrativos a custo constante ou decrescente" [3, 10].³¹ Recentemente, alguns estudiosos formularam uma lei específica – lei que, de certo modo, se apresenta como a contrária da lei de Malthus, relativa aos recursos. A idéia é a de que a tecnologia progride exponencialmente [4, 236; 51, 664; 74, 45]. A justificativa superficial está em que um avanço da tecnologia induz outros avanços. Isso é verdade, mas acontece que o avanço não é cumulativo, como se dá no caso do crescimento da população. E é completamente errado argüir, acompanhando Maddox [59, 21], que afirmar a existência de um limite para tecnologia significa negar a capacidade do homem de influenciar o progresso. Mesmo que a tecnologia continue a progredir, não é necessário que ultrapasse quaisquer limites: uma seqüência crescente pode admitir um limitante superior. No caso da tecnologia, esse limitante é fixado pelo coeficiente teórico de eficiência (Seção IV). Se o progresso fosse, de fato, exponencial, então o input i por unidade de output obedeceria, no tempo, à lei $i = i_0(1+r)^{-t}$, tendendo, pois, para o valor zero. A produção tornar-se-ia etérea e a Terra transformar-se-ia em um novo Jardim do Éden.

²⁹ Economistas da linha marxista participam desse coro. Uma resenha de [32], escrita na România, p. ex., afirma que apenas começamos a arranhar a crosta da Terra.

³⁰ Lembremos, a propósito, uma famosa quadrinha francesa, "Senhor de La Palice / tombou na guerra por Pavia. / Um quarto de hora antes de sua morte / ele ainda estava bem vivo". Ver *Grand Dictionnaire Universel du XIX-e Siècle*, Vol. X, p. 179.

³¹ Alguns cientistas que estudam fenômenos naturais, p. ex., [1], adotaram essa posição. Curiosamente, despreza-se o fato de que algumas civilizações "não foram capazes de inventar algo", observando que "estavam relativamente isoladas" [3, 6]. Entretanto, a própria humanidade não seria, também, uma comunidade inteiramente isolada – apartada de influências culturais externas – incapaz de migrar?

Enfim, cumpre citar a tese que poderia ser chamada de “tese da falácia da substituição interminável”. Ela-la: “Raros componentes da crosta terrestre se mostram tão específicos a ponto de desafiar a substituição econômica... a natureza nos impõe parcimonias específicas, mas não uma escassez generalizada e incontornável” [3, 10 e s].³² Em que pese o protesto de Bray [10, 8], aí está, efetivamente, ‘um artifício exorcizante dos economistas’. É verdade que apenas uns poucos elementos “vitamínicos” desempenham papéis específicos – tal como o do fósforo nos organismos vivos. Por outro lado, o alumínio substituiu o ferro e o cobre em muitas circunstâncias, ainda que não em todas.³³ Contudo, esta substituição não pode prolongar-se indefinidamente, *dispondo-se de um estoque finito de baixa entropia acessível*, cuja degradação irrevocável se acelera com o uso.

Nos trabalhos de Solow, a substituição transforma-se no fator-chave que apoia o progresso tecnológico, mesmo que os recursos venham a tornar-se crescentemente escassos. Haverá, em primeiro lugar, uma substituição dentre da gama de bens de consumo. Com os preços reagindo à escassez crescente, os consumidores adquirem “menor quantidade de bens intensivos em recursos e maior quantidade de produtos de outra ordem” [74, 47].³⁴ Recentemente, a mesma idéia também foi aplicada por Solow à produção. Podemos, diz ele, substituir “recursos naturais por outros fatores” [75, 11]. Adotamos, em verdade, uma errônea concepção do processo econômico, visto como um todo, se não percebemos que inexistem fatores materiais diversos dos recursos naturais. Sustentar, além disso, que “o mundo pode, efetivamente, sobreviver sem recursos naturais” é ignorar a diferença entre o mundo real e o Jardim do Éden.

São impressionantes os dados estatísticos apresentados em favor de algumas das teses precedentes. Os dados coligidos por Solow [74, 44 e s] mostram que diminuiu apreciavelmente, nos EUA, no período de 1950 a 1970, o consumo de uma série de elementos minerais, por unidade do Produto Nacional Bruto. As exceções foram atribuídas à substituição, esperando-se, contudo, que se ajustassem ao quadro geral, mais cedo ou mais tarde. Em termos de lógica estrita, os dados não comprovam que, nesse mesmo período, a tecnologia tenha obrigatoriamente progredido, para provocar maior economia de recursos. O PNB pode, perfeitamente, aumentar mais do que qualquer input de minerais, mesmo que a tecnologia permaneça constante ou se deteriore. Também sabemos, porém, que nesse mesmo período, ou seja, aproximadamente de 1947 a 1967, aumentou, nos EUA, o consumo per capita de materiais básicos. Em todo mundo, em apenas uma década, de 1957 a 1967, o consumo per capita de aço aumentou de 44 por cento [12, 198-200]. O que importa, afinal, não é apenas o impacto do progresso da tecnologia sobre o consumo de recursos por unidade de PNB, mas, especialmente, o aumento da taxa de depleção dos recursos, que se apresenta como efeito colateral daquele progresso.

³² Argumentos similares encontram-se em [4, 338 e s; 59, 102; 74, 45]. É interessante notar que Kaysen [51, 661] e Solow [74, 43], embora reconheçam a finitude das dotações entrópicas da humanidade, negligenciam o fato porque “não leva a quaisquer conclusões interessantes”. Economistas, em especial, deveriam saber que o criador de problemas extremamente interessantes é justamente o finito (e não o infinito). O presente artigo espera ter apresentado uma prova disso.

³³ Mesmo neste muito citado caso, a substituição ainda não obteve o êxito cabal que se imaginou. Descobriu-se, recentemente, que os cabos elétricos de alumínio apresentam o risco de incêndio.

³⁴ A pérola, porém, relativa a essa questão, nos é dada por Maddox [59, 104]: “Assim como a prosperidade, nos países hoje desenvolvidos, se fez acompanhar por um real decréscimo no consumo de pão, assim também cabe esperar que a afluência tornará as sociedades menos dependentes de metais como o aço”.

Mais impressionante, ainda, como se comprovou, são os dados utilizados por Barnett e Morse para mostrar que, de 1870 a 1957, decresceram apreciavelmente, na agricultura e na mineração – dois setores críticos no que concerne à depleção de recursos [3, 8 e s., 167-178] –, as relações de custos de trabalho e de capital por produto líquido. Apesar de algumas incongruências aritméticas³⁵, o quadro que emerge desses dados não pode ser repudiado. A sua interpretação é que precisa ver-se corrida.

Quanto ao problema ambiental, é indispensável compreender as formas típicas em que ocorre o progresso tecnológico. Um primeiro grupo incluiria as *inovações-econômicas*, que alcançam uma economia *líquida* de baixa entropia – seja através de combustão mais adequada, de atrito atenuado, de obtenção de luz mais intensa por meio de gás ou de eletricidade, seja através de substituição de materiais mais caros por outros mais baratos, em termos de energia, e assim por diante. Sob esse título, cabe incluir, ainda, a descoberta de como utilizar novos tipos de baixa entropia acessível. Um segundo grupo consiste de *inovações-por-substituição*, que simplesmente substituem a energia humana por energia físico-química. Bom exemplo é a invenção da pólvora – que possibilitou a eliminação da catapulta. Tais inovações permitem, em geral, não apenas que façamos melhor certas coisas, mas também (e especialmente), que executemos algo que antes não era possível executar – como, digamos, voar em aviões. Enfim, existem as *inovações-de-espectro*, que trazem novos bens de consumo, como o chapéu, a meia de náilon, etc. As inovações desse terceiro grupo são, também, quase sempre, *inovações-por-substituição*. De fato, quase todas as inovações pertencem a mais de uma das citadas categorias. Mas a classificação é útil para fins analíticos.

Ora, a história da economia corrobora um fato elementar: o fato de que grandes progressos tecnológicos foram em geral disparados pela descoberta de como usar um novo tipo de energia acessível. De outro lado, um apreciável avanço, no progresso tecnológico, não se materializa a menos que a correspondente inovação seja seguida por uma vasta expansão da mineração. Mesmo um substancial aumento da eficiência no uso da gasolina, como combustível, empalideceria diante da ampliação multiforme dos conhecidos e ricos leitos de óleo.

Esse tipo de expansão ocorreu durante os últimos cem anos. Descobrimos óleo e novos depósitos de carvão e de gás, com muito maior quantidade dessas substâncias do que a necessária para o uso, no mesmo período (A propósito, ver nota 38, abaixo). Ainda mais importante: todas as descobertas mineralógicas incluíram substancial proporção de recursos *facilmente* acessíveis. Essa invulgar riqueza bastou para reduzir o custo real da extração dos recursos minerais, com o objetivo de retirá-los das jazidas e colocá-los na superfície da terra. Tornando-se mais barata, dessa maneira, a energia da fonte mineral, as inovações por substituição provocaram declínio da relação entre o trabalho e o produto líquido. O capital, por sua vez, também, evoluiu, para adquirir formas que custam menos, empregando, porém, mais energia para alcançar o mesmo resultado. O que aconteceu nesse período foi a alteração da estrutura de custo, crescendo os fatores de fluxo e diminuindo os fa-

³⁵ A alusão se faz à adição de capital (medido em termos de *moeda*) e trabalho (medido em termos de *trabalhadores empregados*), assim como à computação do produto líquido (por subtração) a partir do produto físico bruto [3, 167 e s.].

tores de estoque.³⁶ Examinando, pois, apenas as variações relativas dos fatores de estoque, no período de excepcional fartura mineral, não é possível provar que o custo unitário total manterá tendência decrescente, nem que o progresso contínuo de tecnologia tornará quase inexauríveis os recursos acessíveis – segundo afirmam Barnett e Morse [3, 239].

Poucas são as dúvidas quanto ao fato de que as teses discutidas nesta seção se prendem a uma crença, profundamente enraizada, na imortalidade da espécie humana. Alguns advogados de tais teses nos convidam a ter fé na humanidade: essa fé superará todas as dificuldades.³⁷ Todavia, nem a fé nem a segurança com que se manifesta um catedrático [4] estão em condições de alterar o fato de que, segundo a lei básica da termodinâmica, as dotações dos homens são finitas. Ainda que nos inclinemos a crer na possível refutação futura desses princípios, não cabe, agora, agir em função da fé. É preciso ter em conta que a evolução não consiste de mera repetições, em seqüência linear, ainda que o exame do que acontece em pequenos intervalos nos possa fazer supor o contrário.

Muita confusão existe, no que diz respeito ao problema do ambiente, não apenas entre economistas (o que, aliás, ficou evidenciado pelas observações anteriores), mas também entre pessoas de altos círculos intelectuais; a confusão decorre do fato de ignorar-se, ou não se procurar entender, a mera natureza entrópica de todos os acontecimentos. Sir Macfarlane Burnet, vencedor de Prêmio Nobel, dizia, em uma conferência, que é compulsório “impedir a progressiva destruição dos insubstituíveis recursos da terra” [citado em 15, 1]. Uma instituição de prestígio como a ONU, em sua Declaração acerca do Ambiente (Estocolmo, 1972), insistiu, repetidas vezes, em que cabe, a cada um de nós, “melhorar o ambiente”. As duas exortações refletem a falácia de que o homem teria condições de inverter a marcha da entropia. A verdade, porém, não importa quão desagradável, é que nós podemos, no máximo, tentar evitar desnecessários esgotamentos de recursos e qualquer desnecessária deterioração do ambiente – sem, no entanto, pretender conhecer o significado preciso de “desnecessário”, nesse contexto.

VII - Crescimento: Mitos, Polêmicas e Falácias

Grande confusão rodeia os acalorados debates a propósito do “crescimento”, simplesmente porque o vocábulo é utilizado com vários significados. Uma das confusões, objeto de constantes advertências que Joseph Schumpeter dirigiu aos economistas, deve-se às diferenças entre *crescimento* e *desenvolvimento*. Há crescimento quando aumenta apenas a produção per capita de mercadorias – o que acarreta, naturalmente, esgotamento cada vez maior de recursos igualmente acessíveis. Desenvolvimento significa, porém, o surgimento de qualquer das inovações descritas na seção anterior. No passado, o desenvolvimento induziu, via de regra, o crescimento e este ocorria tão-somente associado àquele. O resultado foi uma peculiar combinação

³⁶ Com respeito a essa distinções, ver [27, 512-519; 30, 4; 32, 223-225].

³⁷ Examinar o diálogo entre Preston Cloud e Roger Revelle, citado em [66, 416]. O mesmo refrão aparece em trabalhos de Maddox [59, vi, 138, 280], quando se queixa dos que aludem às limitações da humanidade. Com respeito ao capítulo de Maddox, “Man-made Men”, ver [32, 348-359].

dialética a que se denominou “crescimento”, mas a que caberia dar outro nome, hoje comumente empregado, “crescimento econômico”. Os economistas medem o nível desse crescimento econômico em termos do PNB per capita, a preços constantes.

O crescimento econômico – é útil que se frise – associa-se a um estado dinâmico, análogo ao de um carro que se desloca numa curva. Para esse carro, não é possível que esteja na curva, num dado instante, e que não esteja na curva, no instante seguinte. Não têm fundamento os ensinamentos da economia comum, segundo os quais o crescimento econômico depende apenas da decisão, tomada em dado momento, de consumir quantidades maiores ou menores da produção [4, 342 e s.; 74, 41]. Em que pesem os soberbos modelos matemáticos elaborados por Arrow-Debreu-Hahn e os modelos pragmáticos de Leontief, nem todos os fatores de produção (af incluídos os bens em processamento) estão em condições de servir *diretamente* como bens de consumo. Apenas em uma sociedade agrícola primitiva, destituída de bens de capital, é que se poderia considerar verdadeira a afirmação de que a decisão de economizar grãos de uma safra produzirá aumento da colheita média do ano subsequente. Outras economias crescem hoje porque já cresceram ontem; e crescerão amanhã porque crescem hoje.

As raízes do crescimento econômico mergulham fundo no terreno da natureza humana. A curiosidade ociosa do homem e seus instintos veblenianos, que o levam ao trabalho, eis as razões pelas quais uma inovação leva a outras – o que constitui o desenvolvimento. Em virtude dos anelos do homem, que também anseia por conforto e se delicia com aparelhos e equipamentos, cada inovação produz crescimento. O desenvolvimento não é, por certo, um aspecto inevitável da história; depende de múltiplos fatores e, ainda, de acontecimentos acidentais. Isso explica porque o passado da humanidade consiste sobretudo de longos estados quase-estacionários e porque a era atual, efervescente, não passa de pequena exceção nesse quadro.³⁸

Em bases puramente lógicas, entretanto, não há ligação necessária entre desenvolvimento e crescimento. Pelo menos em tese, o desenvolvimento poderia manifestar-se na ausência de crescimento. A acusação dirigida contra os estudiosos do ambiente – acimados de pessoas que se opõem ao desenvolvimento – só se explica em função de ignorar-se, de maneira sistemática, as distinções acima traçadas.³⁹ Na realidade, a verdadeira posição ambientalista precisa focalizar *o índice total* de esgotamento de recursos (e o conseqüente índice de poluição). Tão-somente porque, no passado, o crescimento econômico redundou não só em maior índice de depleção, mas, ainda, em aumento de consumo per capita de recursos, é que o raciocínio se viu modificado, provocando inversão da diretriz dos economistas – o PNB per capita. Em conseqüência, a questão real acabou desaparecendo sob o manto dos sofismas relatados na seção anterior. Com efeito, mesmo que o crescimento econômico possa, em tese, manifestar-se na presença de uma redução do índice de depleção de re-

³⁸ Aqueles que não compreenderam quão excepcional (talvez anormal) é o presente interlúdio (*Journal of Economic Literature*, junho, 1972, pp. 459 e ss.), ignoram certos fatos: o de que a mineração do carvão teve início há 800 anos e o de que, por incrível que isso possa parecer, metade da quantidade total até hoje minerada foi extraída nos derradeiros 30 anos. Sublinhe-se, também, que a metade da produção total de óleo cru foi obtida nos últimos dez anos! [46, 166, 238; 56, 119 e s.; ver, ainda, 32, 228].

³⁹ Solow afirma que combater a poluição é combater o crescimento econômico [74, 49]. Entretanto, uma poluição prejudicial poderá ser mantida a baixos níveis se medidas apropriadas forem tomadas e o *puro* crescimento for desacelerado.

cursos, a verdade é que o crescimento não está em condições de superar um dado limite, embora desconhecido, sem que haja aumento daquele índice – a menos que haja diminuição da população.

Foi natural, para os economistas – que se apegaram, sem vacilações, aos seus quadros mecanicistas de referências – permanecerem indiferentes quando, em várias oportunidades, o Movimento Conservador, ou alguns escritores isolados, como Fairfield Osborn e Rachel Carson, chamaram a atenção para os danos ecológicos do crescimento e insistiram em sua desaceleração. Há alguns anos, porém, o movimento ambientalista ganhou força, sobretudo ao discutir-se o problema da população – *A bomba da população*, como Paul Ehrlich o denominou. Nessa ocasião, alguns economistas não-ordodoxos passaram a adotar uma posição fisiocrática embora lhe dessem formas variadas, ou tentaram incluir a ecologia na economia [p. ex., 8; 9; 19; 29; 32]. Alguns passaram a preocupar-se com a “boa” vida, e não apenas com a vida “comum” [8; 65]. Além disso, uma longa seqüência de incidentes provou que a poluição não era mero brinquedo de ecologistas. Conquanto o esgotamento de recursos caminhasse com velocidade crescente, ao longo dos tempos, cabe lembrar que se trata, ordinariamente, de um fenômeno de volume que ocorre sob a superfície da terra, onde ninguém verdadeiramente o percebe. A poluição, de outro lado, é um fenômeno de superfície, cuja existência não pode ser ignorada, muito menos negada. Os economistas que reagiram a tais incidentes procuraram, via de regra, reforçar a idéia de que a racionalidade econômica e um apropriado mecanismo de preços estariam em condições de resolver todos os problemas ecológicos.

Curiosamente, no entanto, a publicação da obra *The limits to growth* [62], relatório do clube de Roma, provocou inusitada reação entre os economistas profissionais. Com efeito, as críticas dirigidas contra o relatório foram elaboradas, na maioria das vezes, por economistas. Outro manifesto, “A blueprint for survival” [6], de teor semelhante, não teve a mesma glória – e isso não se deve, aparentemente, ao fato de ter sido elaborado por um grupo de eruditos de grande reputação. A diferença prende-se ao fato de que *The limits to growth* valeu-se dos modelos analíticos costumeiramente utilizados em econometria e em trabalhos de simulação. Até onde se torna possível ajuizar, foi o uso de tais modelos que irritou os economistas a ponto de encorajá-los a insultar, clara ou veladamente, o Cavalo de Tróia. Até mesmo o *The Economist* [55], esquecendo as proverbiais boas maneiras britânicas, publicou um editorial, “Limits to Misconception”, para dizer que o relatório do Clube de Roma não passava de “marca d’água de antiquados disparates”. Beckerman, abandonando os ares solenes que cercam as “aulas magnas”, atacou o relatório, afirmando que era, simplesmente, “atrevido e petulante absurdo (escrito por) uma equipe de jovens barulhentos do MIT” [4, 327].⁴⁰

Recordemos, em primeiro lugar, que os economistas, particularmente nos últimos trinta anos, propagaram, por todos os cantos, o pensamento de que apenas os modelos matemáticos estariam em condições de servir aos mais elevados obje-

⁴⁰ Posteriormente, ele indaga: “Quão tola deve ser uma pessoa, a fim de ver-se admitida no Clube de Roma?” [4, 339]. Kaysen [51] também se revela cáustico em algumas passagens. Solow [75, 1] apenas diz que, tal como os outros, “foi compelido a engolir *The Limits to Growth*”; Johnson, por seu turno [49, 1], considera, de saída, intelectualmente incapazes todos os ecologistas. Fora dos círculos econômicos, John Maddox é quem se destaca por desejar impressionar os leitores com “argumentos” similares.

tivos de sua ciência. Com o advento do computador, tornou-se rotineiro o uso de modelos econométricos e de simulação. A falácia da confiança nos modelos aritmomórficos, usados para prever a marcha da história, foi ocasionalmente denunciada – uma denúncia que se assentou em argumentos de caráter técnico.⁴¹ Tudo isso, porém, foi em vão. Os economistas criticam *The limits to growth* por cometer aquele mesmo pecado, buscando “uma aura de autoridade científica” através do emprego de computadores; alguns chegaram a impugnar a utilização da matemática na economia [4, 331-334; 10, 22 e s.; 51, 660; 52; 69, 15-17]. Observemos, em segundo lugar, que a agregação sempre foi encarada como procedimento mutilador, mas inevitável, na macroeconomia – que, por isso, ignora, de maneira ampla, a estrutura. Sem embargo, os economistas criticam, agora, o relatório, justamente porque se vale de um modelo agregativo [4, 338 e s.; 52; 69, 61 e s., 74]. Em terceiro lugar, notemos que um elemento da fé econômica, disseminado com o nome de princípio da aceleração, é a tese de que o produto é proporcional ao estoque de capital. E no entanto, alguns economistas condenaram os autores de *The limits to growth* pela simples razão de que admitiram (implicitamente) a legitimidade do mesmo princípio para a poluição – que não deixa de ser um produto! [4, 399 e s.; 52; 69, 47 e s.].⁴² Em quarto lugar, sublinhemos que o complexo de preços não impediu os economistas de elaborar e utilizar modelos cujos esquemas não aludem, explicitamente, a preços – figurando entre eles, para lembrar alguns dos mais famosos, os modelos estático e dinâmico de Leontief, o modelo de Harrod-Domar e o modelo de Solow. Apesar disso, alguns críticos (inclusive o próprio Solow) atacaram *The limits* porque o modelo aí esboçado não envolve preços [4, 337; 51, 665; 74, 46 e s.; 69, 14].

O derradeiro ponto – e o mais importante – é o fato irretorquível de que os economistas, com algumas raras exceções, nestes últimos anos, sempre sofreram de “crescimentomania” [65, cap. 1]. Sistemas econômicos e planos econômicos sempre foram avaliados apenas com respeito à capacidade que pudessem ter de fomentar um elevado índice de crescimento econômico. Os planos econômicos, sem uma única exceção, sempre se orientaram para o alvo do maior índice possível de crescimento econômico. A própria teoria do desenvolvimento econômico está solidamente ancorada nos modelos de crescimento exponencial. Todavia, quando os autores de *The limits to growth* também adotaram o pressuposto do crescimento exponencial, o coro dos economistas bradou “Abominável!” [4, 332 e s.; 10, 13; 51, 661; 52; 74, 42 e s.; 69, 58 e s.]. Isso não deixa de ser deveras curioso, particularmente se recordarmos que alguns desses mesmos críticos sustentaram, concomitantemente, que o crescimento da tecnologia também é exponencial (seção VI). Alguns desses críticos admitiram – enfim! – que o crescimento econômico não poderá manter, para sempre, o índice atual; sugeriram, porém, que prosseguiria, embora a índices mais baixos [74, 666].

Analisando essas críticas peculiares, tem-se a impressão de que os comentaristas da área econômica agiram em consonância com um adágio latino, *quod licet Jovi non licet bovi* – o que se permite a Zeus não se permite ao bovino. Seja como

⁴¹ Ver em especial, [26] e [28]; também [32, 339-341]. Mais recentemente - e por outro prisma - W. Leontief debateu a questão em sua “Conferência Presidencial”, na AEA [54]. É sintomático o fato de que o veredito franco de Ragnar Frisch, formulado em sua comunicação para o Primeiro Congresso Mundial da Sociedade de Econometria (1965), ainda aguarde publicação.

⁴² Algumas dessas objeções também receberam endosso de profissionais que não atuam na área da economia; p. ex., [1; 59, 284 e s].

for, a economia comum enfrentará sérias dificuldades para recuperar-se, depois de ter exibido as suas fraquezas, nesses esforços de auto-defesa.

Fora dos círculos econômicos, o relatório do Clube de Roma foi recebido com atenção – e, por certo, sem vitupérios.⁴³ Segundo um veredicto equilibrado, a obra, apesar de suas imperfeições, “não é frívola”.⁴⁴ A apresentação deixa em nós, é certo, a impressão de que as idéias não estão suficientemente amadurecidas – e de que houve certa pressa em divulgá-las [34]. Mas até alguns economistas reconheceram os seus méritos, dando atenção às variadas conseqüências da poluição [69, 58 e s.]. O estudo contribuiu, ainda, para trazer à tona a importância da duração, na seqüência real dos acontecimentos [62, 183] – um ponto freqüentemente enfatizado pelos cientistas que se ocupam de ciências naturais [43, 144; 56, 131], mas geralmente negligenciado pelos economistas [32, 273 e s.]. Há necessidade de um intervalo de tempo, não só para atingir um mais elevado nível de crescimento econômico, mas também para atingir um nível inferior.

Carece de base científica, no entanto, a muito propalada conclusão de que no máximo uma centena de anos separa a humanidade de um desastre ecológico [62, 23 e *passim*].

Não há espaço para discutir o padrão geral das relações aceitas em diversas simulações discutidas no relatório. Entretanto, as formas *quantitativas* dessas relações não foram submetidas a qualquer verificação fatural. A par disso, em virtude de sua natureza rígida, os modelos aritmomórficos empregados não estão em condições de prever as alterações evolucionárias que aquelas relações podem sofrer ao longo do tempo. A previsão – que se assemelha à de que o mundo atingiria seu fim no ano 1.000 da era cristã – conflita com tudo que sabemos acerca da evolução biológica. A espécie humana, entre as muitas espécies, não entrará, provavelmente, de súbito, em estado de coma. Seu fim nem sequer se vislumbra no futuro distante. E esse fim aparecerá depois de uma longa seqüência de crises, sub-reptícias e prolongadas. Apesar disso – como Silk ressaltou [72] – seria uma loucura ignorar as advertências gerais do relatório, relativas ao crescimento da população, à poluição e ao esgotamento dos recursos. Em verdade, qualquer desses fatores poderá provocar, na economia mundial, um estado de tensão.

Alguns críticos menosprezam *The limits* porque o livro emprega, um equipamento analítico simplesmente para enfatizar uma tautologia destituída de interesse: o fato claro de que, num ambiente finito, é impossível o crescimento exponencial contínuo [4, 333 e s.; 51, 661; 74, 42 e s.; 69, 55]. A crítica tem fundamento pelo menos a um primeiro olhar. Todavia, cumpre recordar que a tautologia foi enunciada numa daquelas ocasiões em que se torna preciso ressaltar o óbvio, de há muito olvidado. O maior pecado cometido pelos autores de *The limits*, porém, foi o de terem ocultado a parte mais importante da tautologia, dando realce apenas ao

⁴³ Exceção digna de nota é Maddox [59]. Sua incisiva resenha crítica de “A Blueprint for Survival” (“The Case Against Hysteria”, *Nature*, 14 de janeiro de 1972, pp. 63-65) provocou numerosos protestos; *Nature*, 21 de janeiro de 1972, p. 179, 18 de fevereiro de 1972, pp. 405 e s. Dada, porém, a posição dos economistas, nessa controvérsia, entende-se porque Beckerman [4, 341 e s.] é incapaz de imaginar que razão levaria os estudiosos de ciências naturais a não atacar o relatório – e até, aparentemente, a aceitar as suas teses.

⁴⁴ *Financial Times*, 3 de março de 1972, citado em [4, 337n.]. Denis Gabor, vencedor do prêmio Nobel, asseverou que “ignorando os pormenores, as conclusões principais são incontroversas” (citado em [4, 342]).

crescimento exponencial – como o haviam feito Malthus e quase todos os demais ambientalistas.

VIII - O Estado de Equilíbrio: Miragem da Moda

Malthus, como sabemos, foi criticado sobretudo por admitir que a população e os recursos aumentam em consonância com algumas leis matemáticas simples. Essa crítica, entretanto, não indicou o verdadeiro erro cometido por Malthus – um erro, que, aliás, passou despercebido. O engano de Malthus foi supor, implicitamente, que a população pode aumentar indefinidamente *contando que o crescimento não seja demasiado rápido*.⁴⁵ Equívoco essencialmente similar foi cometido pelos autores de *The limits*, pelos autores de “Blueprint for survival” (um trabalho que, embora não fosse matemático, se mostrou mais coerente do que *The limits*), assim como por diversos estudiosos que, antecipando as idéias contidas nessas duas obras, também se manifestaram a respeito das mesmas questões. Procurando demonstrar a impossibilidade do crescimento, os especialistas, tal qual Malthus, acolheram um silogismo elementar, muito disseminado nos dias de hoje, mas inteiramente falso: uma vez que o crescimento exponencial conduz, num mundo finito, a desastres de todos os tipos, a salvação ecológica depende do estado de equilíbrio [42; 47; 62, 156-184; 6, 3 e s., 8, 20]⁴⁶ H. Daly chega a dizer que “a economia do estado de equilíbrio é, portanto, uma necessidade” [21,5].

Essa idéia de um mundo de venturas, em que a população e o estoque de capital permanecem constantes, depois de apresentada por John Stuart Mill, com a sua proverbial perícia [64, livro 4, cap. 6], ficou no ostracismo até há pouco.⁴⁷ Tendo em conta a espetacular revivescência desse mito da salvação ecológica, parece oportuno ressaltar as falhas fatuais e lógicas. A deficiência fundamental está em deixar de perceber que não podem durar eternamente, em um ambiente finito, nem o crescimento, nem um estado de crescimento-zero – e nem mesmo um estado de declínio que deixe de convergir para o aniquilamento. A deficiência defluiu, talvez, de confundir estoque finito com índice finito de fluxo – o que se nota analisando a incongruência das dimensões, sugeridas em diversos gráficos [62, 62, 64 e s., 124 e ss.; 6, 6]. A par disso, contrariamente ao que alguns defensores do estado de equilíbrio têm proclamado [21, 15], esse estado não ocupa, diante das leis físicas, uma posição privilegiada.

A fim de atingir o núcleo do problema, imaginemos que S denota a quantia real de recursos acessíveis, existentes na crosta do nosso planeta. Sejam P_i e s_i a população e a quantidade de recursos esgotados por pessoa, num dado ano i . Seja a “quantia de vida total” – medida em anos de vida – caracterizada por $L = \sum P_i$ (com

⁴⁵ Joseph J. Spengler, reconhecido como autoridade nesse campo, disse-me que não conhece, de fato, uma só pessoa que haja feito essa observação. A fim de analisar algumas penetrantes discussões do problema de Malthus e da pressão hoje exercida pelo aumento da população, veja-se [76; 77].

⁴⁶ A essência da argumentação apresentada em *The Limits* - naquilo em que ultrapassa o pensamento de Mill - foi recolhida por Boulding e Daly [8; 9; 20; 21].

⁴⁷ Na *International Encyclopedia of the Social Sciences*, p. ex., a questão é apenas mencionada, *en passant*.

i variando de $i = 0$ até $i = \infty$). Isso posto, S fixa um limitante superior para L , através da óbvia restrição $\dot{O}P_i s_i \geq S$. Com efeito, embora s_i se apresente como variável histórica, ela não pode ser igual a zero e nem pode ser quantidade desprezível – a menos que a humanidade retorne, em alguma ocasião, a uma economia rudimentar, de simples “colheita de pequenos frutos”. Temos, pois, $P_i = 0$, quando i assume valores maiores do que um finito n e, caso contrário $P_i > 0$. Esse valor de n corresponde à máxima duração da espécie humana [31, 12 e s.; 32, 304].

A Terra admite, ainda, uma capacidade portadora, que depende de um grande número de fatores, entre os quais se conta a magnitude de s_i .⁴⁸ Essa capacidade determina um limite para cada particular P_i . Esse limite, porém, não torna supérfluos os demais limites, para L e para n . Consequentemente, é incorreto afirmar – como aparentemente afirma o grupo de Meadows [62, 91 e s.] – que o estado estacionário está em condições de perdurar eternamente, desde que P_i não ultrapasse aquela capacidade. Os defensores da salvação pelo estado estacionário devem admitir (como, aliás, é admitido pelos integrantes do grupo de Meadows [62, 172]) que tal estado só pode ter uma duração finita – a menos, naturalmente, que se juntem aos sócios do “Clube sem limites”, supondo S inexaurível, ou quase isso. Não o supondo, enfrentarão o problema de explicar de que maneira a economia, depois de uma longa fase de equilíbrio estacionário, chega, subitamente, a um fim.

Aparentemente, os defensores do estado estacionário equiparam esse estado a um estado estacionário aberto da *termodinâmica*. Este consiste de um macrosistema *aberto* que mantém constante a sua estrutura entrópica por meio de trocas materiais com seu “ambiente”. Percebe-se, de imediato, que o conceito é ferramenta extremamente útil para o estudo de organismos biológicos. Deve-se notar, porém, que o conceito está assentado em certas condições especiais, discutidas por L. Onsager [50, 89-97]. As condições (que formam o chamado princípio de equilíbrio *circunstanciado*) são de tal modo delicadas que só podem vigir, no mundo real, “com desvios da ordem de alguns percentos” [50, 140]. Em virtude disso, um estado de equilíbrio só existe, fatorialmente, em termos aproximados; e só tem, em termos de tempo real, uma duração finita. Assim como já se reconheceu a impossibilidade do movimento perpétuo, também se reconhecerá, algum dia, explicitamente, por meio de alguma nova lei termodinâmica, a impossibilidade de perpetuação de um macrosistema que não esteja em estado caótico. Os especialistas admitem que as atuais leis da termodinâmica não bastam para explicar todos os fenômenos não-reversíveis, aí incluídos, em especial, os processos vitais.

Mesmo ignorando, as dificuldades agora discutidas, existem algumas razões que nos impedem de acreditar que a humanidade possa viver em um estado estacionário perpétuo. A estrutura de um tal estado seria constante; não conteria o germe da morte inexorável – que se apresenta como destino de todos os macrosistemas abertos. De outra parte, um mundo que tivesse população estacionária estaria, ao contrário, permanentemente obrigado a alterar a sua tecnologia e o seu modo de vida, a fim de reagir contra o inevitável decréscimo de acessibilidade de recursos. Ainda que deixássemos de lado a questão de saber como o capital se alteraria quali-

⁴⁸ Obviamente, qualquer aumento de s_i provocará, em geral, uma diminuição de L e de n . A capacidade portadora, num ano qualquer, também poderá ser aumentada por meio de ampliação do uso dos recursos terrestres. Essas verdades elementares devem ser lembradas para uso futuro (Seção X).

tativamente, permanecendo, apesar disso, constante, seríamos obrigados a admitir que a imprezível diminuição da acessibilidade estaria miraculosamente compensada por adequadas inovações, introduzidas nos momentos precisos. Um mundo estacionário poderia concatenar-se, por algum tempo, com um ambiente mutável – através, digamos, de um sistema de realimentações compensadoras semelhantes às que ocorrem nos organismos vivos, durante certas fases de suas vidas. Bormann [7, 707] nos lembra, entretanto, que esse milagre não tem duração ilimitada: mais cedo ou mais tarde, o sistema de compensações entra em colapso. Nesse momento, o estado estacionário atravessará uma crise que destruirá seu alegado propósito e sua alegada natureza.

Devemos, a par disso, tomar cuidado para não incorrer no equívoco lógico de invocar o princípio de Prigogine para defender o estado estacionário. Esse princípio assevera que o nível mínimo de entropia – produzida por um sistema termodinâmico aberto do tipo de Onsager – é atingido quando o sistema se torna estável [50, cap. xvi]. Todavia, o princípio nada afirma a respeito da maneira pela qual essa entropia seria comparada com a produzida por outros sistemas abertos.⁴⁹

Os habituais argumentos aduzidos em favor do estado estacionário são, todavia, de natureza diversa, mais direta. Afirma-se, p. ex., que, em tal estado, há tempo disponível para reduzir a poluição, usando processos naturais, e para fazer com que a tecnologia se ajuste ao decréscimo da acessibilidade dos recursos [62, 166]. É óbvio que poderíamos utilizar, hoje, de maneira muito mais eficiente, o carvão que foi queimado em tempos idos. Não esqueçamos, todavia, que as técnicas eficientes da atualidade talvez não fossem alcançadas se deixássemos de queimar, de modo “ineficaz”, todo aquele carvão. A idéia de que, em estados estacionários, as pessoas não precisariam executar novos trabalhos a fim de provocar acúmulo de capital (idéia, aliás, não inteiramente legítima, em vista do exposto nos últimos parágrafos) associa-se à possibilidade, aventada por Mill, de maior dedicação às atividades intelectuais. Cessarão [64, 754] “os atropelos, as cotoveladas, os apertos e os pisões que trocamos”. A história, no entanto, apresenta-nos vários exemplos (o da Idade Média, digamos) de sociedades quase-estacionárias em que as artes e as ciências permaneceram praticamente estagnadas. Também ocorre que as pessoas, em um estado estacionário, se mantenham ocupadas o dia todo, nos campos ou nas lojas. Seja qual for o estado prevalecente, o tempo disponível para o progresso intelectual depende da intensidade das pressões da população sobre os recursos. Aí está, em síntese, a deficiência das concepções de Mill. Notemos – como Daly explicita-

⁴⁹ O ponto associa-se a uma idéia de Boulding: o fluxo “entrante” (por ele denominado “through-put”), que vai da natureza para o processo econômico, é um “fator que será minimizado, não maximizado”, cabendo permutar uma economia de fluxo por uma economia de estoque [8, 9 e s.; 9, 359 e s.]. A idéia é mais surpreendente do que esclarecedora. Os economistas, não se pode negar, sofrem de um “complexo de fluxo” [29, 55, 88]; a par disso, não compreenderam, via de regra, que a adequada descrição analítica de um processo deve incluir tanto os *estoques* quanto os *fluxos* [30; 32, 219 e s., 228-234]. Os empresários, no que respeita à idéia de Boulding, tentaram, em todas as épocas, minimizar o fluxo necessário para a manutenção de seus capitais. Se o atual fluxo entrante, a partir da natureza, se revela incomensurável com a segurança da nossa espécie, isto se deve apenas ao fato de que a população é demasiado grande e parte dela goza de excessivo conforto. As decisões econômicas sempre envolverão, obrigatoriamente, os fluxos e os estoques. Não é verdade que o problema do homem seria o de economizar S (um estoque) por um período tão longo quanto possível, acarretando isso a minimização de s (um fluxo) para ter, assim, uma “boa vida”? (Seção XI).

mente admite [21, 6-8] – que os escritos de Mill não indicam, nem mesmo em tese, a maneira de determinar os níveis ótimos de capital e de população. Isso traz à tona um ponto importante, raramente percebido: *os argumentos em favor daquela concepção conduzem à irretorquível conclusão de que o estado mais desejável não é o estacionário, mas o declinante.*

Indubitavelmente, o atual crescimento deve cessar, ou melhor, deve ser invertido. Mas quem acredita na possibilidade de traçar um esquema para a salvação ecológica do homem não entendeu a natureza da evolução ou da história – que é a da permanente luta em formas continuamente novas, não a dos processos físico-químicos, predizíveis e controláveis, como o da preparação de omeletes ou o do lançamento de foguetes para a Lua.

IX - Alguns Aspectos Fundamentais da Bioeconomia⁵⁰

Descontada a espécie humana e excluindo alguns casos de menor importância, todas as demais espécies valem-se apenas de instrumentos *endossomáticos* – nome com o qual Alfred Lotka designa aqueles instrumentos (como pernas, garras, asas e assim por diante) que pertencem aos organismos individuais *desde o nascimento*. Apenas o homem foi capaz de utilizar, depois de algum tempo, um cajado que não lhe pertencia de nascença, mas que ampliava o seu braço endossomático, aumentando-lhe o poder. Nesse instante do tempo, a evolução humana ultrapassou os limites biológicos para também incluir (e este é o aspecto de relevância) o desenvolvimento de instrumentos *exossomáticos* – ou seja, de instrumentos produzidos pelo homem e que não faziam parte de seu corpo.⁵¹ Essa é a razão pela qual o homem está, hoje, em condições de voar ou de percorrer o fundo dos mares, embora o seu corpo não possua asas, barbatanas ou guelras.

A evolução exossomática acarretou duas alterações fundamentais e irrevocáveis na espécie humana. A primeira seria o irreduzível conflito social que a caracteriza [29, 98-101; 32, 306-315, 348 e s.]. Existem, é verdade, outras espécies que também vivem em sociedades, mas estão livres desse conflito. O motivo de não enfrentarem o conflito está em que as suas “classes sociais” correspondem a certas claras divisões biológicas. A periódica morte de um grande número de zangãos, eliminados pelas abelhas, é um fenômeno biológico, natural, mas não uma guerra civil.

A segunda alteração fundamental seria o ter-se o homem habituado a valer-se dos instrumentos exossomáticos – fenômeno que se equipara ao do habituar-se o peixe voador à atmosfera, transformando-se, por mutações, em pássaro. Em virtude desse hábito, a sobrevivência da humanidade coloca um problema que difere inteiramente dos problemas relativos à sobrevivência de todas as demais espécies [31; 32, 302-305]. O problema, no caso do homem, nem é exclusivamente biológico, nem exclusivamente econômico. É bioeconômico. Em seus contornos amplos, depende das múltiplas assimetrias subsistentes entre as três fontes de baixa entropia que, juntas, constituem o dote da humanidade – de um lado, a energia livre recebida do

⁵⁰ Esse termo, ao que me consta, foi utilizado, pela primeira vez, em uma carta de Jiri Zeman.

⁵¹ A prática da escavidão, no passado, assim como a busca de órgãos para transplante, no futuro, são fenômenos que se assemelham ao da evolução exossomática.

sol; de outro, a energia livre e as estruturas materiais ordenadas, armazenadas nas entranhas da Terra.

A *primeira* assimetria diz respeito ao fato de que os componentes terrestres formam um *estoque*, enquanto que o componente solar é um *fluxo*. A diferença deve ser bem compreendida [32, 226 e s.]. O carvão, *in situ*, é um estoque, pois temos liberdade de usá-lo todo, em um dia (pelo menos em tese), ou ao longo de vários séculos. Não podemos, entretanto, numa ocasião qualquer, utilizar parte do *futuro* fluxo de radiação solar. Acresce que o índice de fluxo dessa radiação escapa inteiramente ao nosso controle, estando determinado por condições cosmológicas, em que se incluem as dimensões do nosso globo.⁵² Uma particular geração, faça o que fizer, não dispõe de poderes para alterar a porção de radiação solar destinada a gerações futuras. O que acontece com as reservas terrestres é exatamente o posto, tendo em conta a prioridade da geração atual sobre as gerações futuras e a irrevocabilidade da degradação entrópica. As reservas terrestres são afetadas pelo consumo das gerações passadas.

Em *segundo* lugar, o elemento crítico, pelo prisma bioeconômico, é a baixa entropia material acessível – pois não há procedimento prático, em escala humana, que permitia a transformação da energia em matéria (seção IV). É indiscutível que um pedaço de carvão, queimado por nossos antepassados, deixa de existir, como deixam de existir porções de prata ou de ferro mineradas em idos tempos. Todavia, as futuras gerações poderão dispor de sua inalienável dose de energia solar – que é enorme, como veremos a seguir. Essas gerações estarão em condições de pelo menos usar, a cada ano, uma quantidade de madeira equivalente à que corresponde ao crescimento vegetal anual. Mas para a prata e o ferro, dissipados pelas gerações anteriores, inexistente uma compensação similar. Por esse motivo é preciso enfatizar que cada automóvel e cada panela – sem falar nos diversos instrumentos de guerra – significam menos arados para alguma geração futura e, implicitamente, significam, ainda, diminuição do número de futuros seres humanos [31, 13; 32, 304].

Em *terceiro* lugar, há uma diferença astronômica entre a magnitude do fluxo de energia solar e a magnitude do estoque de energia livre da Terra. À custa de uma correspondente diminuição da massa, da ordem de 131×12^{12} toneladas, o sol irradia, por ano, $10^{14}Q$ – um só Q valendo $10^{18}BTU$! Desse fluxo fantástico, apenas $5.300Q$, aproximadamente, são interceptados nos limites da atmosfera terrestre, sublinhando-se que metade dessa quantia é refletida, voltando para o espaço exterior. Em escala humana, todavia, esses números são espantosos, especialmente se considerarmos que o consumo total de energia, na atualidade, não atinge a casa de $0,2Q$ por ano. Da energia solar que atinge o solo, a fotossíntese absorve cerca de $1,2Q$. Das quedas de água é possível obter, quando muito, $0,08Q$ – mas convém lembrar que estamos empregando apenas um décimo desse potencial. Ressaltemos, ainda, que o sol continuará a brilhar, praticamente com a mesma intensidade, por mais cinco bilhões de anos – antes de transformar-se em uma gigante estrela vermelha que elevará a temperatura da Terra para a casa dos mil graus Fahrenheit, ou quase 1.800 graus centígrados. Parece indiscutível que o homem não viverá o suficiente para aproveitar toda essa fartura.

⁵² Fato amplamente mal compreendido: as terras ricardianas têm o mesmo valor econômico das redes de pesca. A terra, na acepção de Ricardo, "captura" a energia mais valiosa de acordo, aproximadamente, com o seu tamanho total [27, 508; 32, 232].

Voltando às reservas terrenas, notamos, de acordo com as melhores estimativas, que a quantia inicial de combustível fóssil não superava a casa dos 215Q. As reservas recuperáveis dignas de nota (conhecidas e prováveis) atingem a casa dos 200Q; elas produziriam, pois, apenas a energia que o sol dá à Terra em duas semanas.⁵³ Se a depleção prosseguir com a velocidade atual, essas reservas só poderão suportar a atividade industrial do homem durante algumas poucas décadas. As reservas de urânio-235 não durarão mais do que isso, se empregadas nos reatores comuns, hoje existentes. As esperanças voltam-se, agora, para o reator-gerador, capaz de “retirar”, servindo-se do urânio-235, a energia de elementos férteis, mas não físséis, como o urânio-238 e o tório-232. Alguns peritos afirmam que essa fonte de energia é “essencialmente inexaurível” [83, 412]. Nos EUA, segundo se acredita, existem amplas áreas cobertas por granito e por argila preta xistosa que contém 60 gramas de tório ou urânio natural por tonelada métrica [46, 226 e s.]. Tomando essa informação como ponto de partida, Weiberg e Hammond [83, 415 e s.] elaboraram um “grande plano”. Empregando a mineração despojante e partindo os blocos de granito, seria viável obter combustível nuclear suficiente para alimentar cerca de 32.000 reatores-geradores, distribuídos em 4.000 parques estrategicamente colocados – o que abriria possibilidades de fornecer energia para uma população de 20 bilhões de pessoas, ao longo de milhões de anos, mesmo dobrando o índice de consumo per capita que é típico dos EUA nos dias de hoje. Esse grande plano é claro exemplo de raciocínio linear: para manter uma população, ainda que “supere consideravelmente a casa dos 20 bilhões de pessoas”, basta aumentar, proporcionalmente, todos os suprimentos.⁵⁴ Os dois autores não negam a existência de problemas alheios à esfera técnica; todavia, menosprezam tais questões, com notório zelo [83, 417 e s.]. Weinberg ignora, tachando-o de “transcientífico” [82], o problema fundamental, ou seja, o de saber se é possível alcançar uma organização social compatível com a densidade de população e a manipulação nuclear a tais grandes níveis.⁵⁵ Os técnicos tendem a esquecer, diante do êxito por eles mesmos obtidos, que parece mais fácil, presentemente, levar as montanhas a Maomé do que induzir Maomé a dirigir-se para as montanhas. Entrementes, a falha é palpável. De acordo com o explicitamente admitido por painéis de pessoas responsáveis, um único gerador representa consideráveis riscos de catástrofes nucleares; a par disso, ainda aguardam solução, até mesmo em escalas moderadas de operação, os problemas de transporte seguro de combustíveis nucleares e, sobretudo, de armazenamento seguro de lixo radioativo [35; 36; especialmente 39 e 67].

Resta o grande sonho dos físicos: reação termonuclear controlada. Para que se transforme em verdadeira inovação, ela deve ser uma reação deutério-deutério, a única em condições de criar uma formidável fonte de energia terrestre, capaz de

⁵³ Os números empregados nesta seção foram obtidos a partir de dados colhidos por Daniels [22] e Hubbert [46]. Os dados, sobretudo os que se referem às reservas, variam de autor para autor, mas as variações não atingem a amplitude que realmente importa. Contudo, é inteiramente fantasiosa a afirmação de que “as vastas camadas de óleo que serão encontradas em todo o globo durarão pelo menos 40 mil anos” [59, 99].

⁵⁴ Respondendo aos críticos, os mesmos autores provam (*American Scientist*, LVIII, n. 6, p. 619), mais uma vez de maneira linear, que os complexos agro-industriais do grande plano estariam facilmente em condições de prover alimentos para tal população.

⁵⁵ Discussão recente do impacto social do crescimento econômico, genericamente falando, e dos problemas sociais gerados por um amplo emprego da energia nuclear, de modo específico, aparece em [78], monografia elaborada por Harold e Margaret Sprout, pioneiros nessa área.

durar por longo tempo.⁵⁶ Tendo em conta, porém, as dificuldades já mencionadas acima (Seção IV), os próprios especialistas que estudam o assunto não encontram motivos para alimentar grandes esperanças.

A fim de completar a nossa discussão, cabe aludir à energia das marés e à energia de cinho geotérmico. Embora não desprezíveis (atingindo, juntas, a casa de 0,1Q por ano), elas só podem, contudo, ver-se aproveitadas em condições muito especiais.

O quadro geral apresenta-se claro. As energias com que podemos contar, de modo efetivo, existem em doses diminutas; além disso, o emprego dos tipos de energia que existem em quantidades mais apreciáveis está cercado por grandes riscos e formidáveis obstáculos de natureza técnica. De outro lado, há uma energia imensa que nos vem do sol. Seu uso direto ainda não atingiu níveis significativos – principalmente porque as alternativas são, hoje, muito mais eficientes, do ponto de vista econômico. Ainda assim, resultados promissores nos chegam de várias direções [37; 41]. Encarando a questão pelo prisma bioeconômico, o ponto importante é este: a possibilidade de utilização da energia solar não está cercada por dúvidas ou riscos – é um fato consumado.

A conclusão é a de que a reserva entrópica da humanidade se apresenta com mais uma importante escassez diferencial. Em termos de prazo longo extremado, a energia livre terrestre é muito menor do que a energia recebida do sol. Isso atesta quão tolo seria um grito de vitória, a proclamar a possibilidade de obtenção de proteínas a partir de combustíveis fósseis! Um raciocínio equilibrado nos conclama a caminhar em sentido oposto, para converter os vegetais em combustível de hidrocarbonetos – uma linha natural e óbvia, já perseguida, aliás, por diversos pesquisadores [22, 311-313].⁵⁷

Em *quarto* lugar, pelo prisma da utilização industrial, a energia solar apresenta uma enorme desvantagem, quando comparada com a energia de origem terrestre. Esta última se põe disponível em forma concentrada – e às vezes, em forma demasiado concentrada. Consequentemente, capacita-nos a obter, quase instantaneamente, uma apreciável quantidade de trabalho, boa parte do qual não se alcançaria por outros meios. Em contraste, o fluxo de energia solar chega até nós com intensidade extremamente reduzida, assemelhando-se a uma chuva fina, quase uma névoa microscópica. A importante diferença entre essa garoa e uma verdadeira chuva está em que as radiações não se juntam, de maneira natural, para formar regatos e, em seguida, arroios e rios que acabam gerando lagos, de onde é viável a obtenção de energia, em formas concentradas – tal como se dá no caso das cataratas. Basta pensar na dificuldade que teríamos de enfrentar se desejássemos usar *diretamente*, no instante em que caem, a energia cinética de alguns minúsculos pingos de chuva. A mesma dificuldade está presente quando se cogita do uso direto da energia solar,

⁵⁶ Apenas um por cento do deutério existente nos mares bastaria para fornecer, por essa reação, 10⁸Q - quantia perfeitamente suficiente para assegurar algumas centenas de milhões de anos de grande bem-estar industrial. A reação deutério-trício tem melhores oportunidades, já que requer temperaturas menores. Envolvendo, porém, o lítio-6, que só existe em porções diminutas, forneceria apenas cerca de 200Q.

⁵⁷ É de interesse notar que na Suécia, p. ex., durante a Segunda Grande Guerra, os automóveis eram movidos com o gás pobre que se obtém pela combustão do carvão vegetal - queimando gravetos em um tanque!

sem a intermediação da energia química das plantas ou da energia cinética dos ventos e das quedas d'água. Lembremos, porém, como se enfatizou nos parágrafos anteriores que dificuldade não equivale a impossibilidade.

Em *quinto* lugar, a energia solar possui, por outro lado, um aspecto vantajoso peculiar e incomensurável. O emprego de qualquer tipo de energia terrestre produz alguma poluição nociva que, a par disso, é irreduzível e, pois, cumulativa – ainda quando se apresente apenas sob forma de poluição térmica. Contrastando com esta situação, qualquer emprego de energia solar é *não-poluente*. Com efeito, o destino dessa energia é sempre o mesmo, quer seja usada, quer não: transforma-se em calor dissipado que mantém o equilíbrio termodinâmico entre o globo e o espaço exterior, deixando-o numa temperatura propícia.⁵⁸

A *sexta* assimetria refere-se ao fato elementar de que a sobrevivência de cada espécie, na Terra, depende, seja direta, seja indiretamente, da radiação solar (e, ao lado disso, de alguns elementos da camada superficial do ambiente). Somente o homem, em virtude de seus hábitos exossomáticos, também depende de recursos minerais. A valer-se de tais recursos, o homem não entra em competição com as demais espécies; ainda assim, o uso de minerais põe em perigo, via de regra, muitas formas de vida, inclusive o próprio homem. Em verdade, algumas espécies estão à beira da extinção, simplesmente porque os homens têm necessidades exossomáticas ou desejam coisas extravagantes. Nada, porém, no mundo natural, se compara, em termos de impetuosidade, à luta do homem para capturar a energia solar (tanto em suas formas primárias quanto em suas formas derivadas). O homem não se afastou um milímetro das leis da selva; se chegou a alterá-las, foi para torná-las ainda mais impiedosas, graças ao emprego de sofisticados instrumentos exossomáticos. O homem procurou, abertamente, exterminar as espécies que lhe roubam o alimento ou que dele se poderiam alimentar – lobos, coelhos, insetos, micróbios, etc.

Essa luta entre o homem e as outras espécies, na busca de alimento (e, em última análise, de energia solar), admite, porém, alguns aspectos favoráveis. Curiosamente, um desses aspectos leva a conseqüências de largo alcance, além de nos dar caso muito instrutivo de refutação da generalizada crença em que cada inovação da tecnologia se transforma em passo dado na direção certa, relativamente à economia de recursos. O caso apresenta-se quando se debate a economia das modernas técnicas da agricultura.

X - Agricultura Moderna: Esbanjamento de Energia

Conhecida, num momento qualquer, a gama de plantas verdes existentes e sua distribuição geográfica, determina-se a capacidade da terra como um "portador biológico". O cálculo dessa capacidade envolve dificuldades e o valor obtido é, naturalmente, aproximado. Mas é nos limites de tal capacidade que o homem luta por

⁵⁸ Uma indispensável restrição: até o emprego da energia solar poderá perturbar o clima, se a energia for utilizada em local diverso daquele em que se viu recolhida. O mesmo vale para uma diferença no tempo, variando o momento da coleta da energia e o momento de sua aplicação, embora este caso não tenha, presumivelmente, uma importância prática digna de nota.

alimentos, enfrentando outras estruturas dotadas de vida. O homem ocupa, todavia, uma posição peculiar entre as espécies, porquanto está em condições, dentro de certas fronteiras, de influenciar não apenas a sua parte de alimentos, como, ainda, a eficiência da transformação da energia solar em produtos comestíveis. Com o passar do tempo, o homem aprendeu a usar os arados, aprofundando a camada de terras de plantio, a fazer um uso rotativo do solo cultivado, a fertilizar os terrenos, e assim por diante. Em sua atividade agrícola, foi capaz, também, de valer-se dos animais domesticados, simplificando o seu trabalho.

Dois fatores evolucionários afetaram a tecnologia da lavoura com o passar dos anos. O mais antigo desses fatores foi a contínua pressão exercida pelas populações sobre as terras disponíveis para o cultivo. O aparecimento das pequenas vilas e, em seguida, a migração, contribuíram para que aquela pressão diminuísse. Formas de aumentar as colheitas também contribuíram para aliviar as tensões. A principal fonte de alívio, no entanto, foi a limpeza de vastas áreas de terras. O segundo fator, sub-produto da Revolução Industrial, foi a aplicação, na agricultura, de um processo que permitiu substituir a baixa entropia de natureza biológica por baixa entropia oriunda de fontes minerais. Esse processo, aliás, é claramente percebido na agricultura. Os tratores e outras máquinas agrícolas tomaram o lugar do homem e dos animais de carga; e os fertilizantes químicos substituíram o alqueive e a adubação.

Embora a agricultura mecanizada não se ajuste ao caso das pequenas chácaras, onde vivem famílias com muitas mãos disponíveis para o trabalho, o fato é que acabou por ingressar também nessas terras menores. O camponês, que praticava a agricultura orgânica, utilizava animais para o trabalho e empregava estrume como fertilizante, percebeu que precisava plantar não apenas para alimentar a sua família, mas também, os seus auxiliares e o gado. A crescente pressão populacional, obrigou, pois, o pequeno agricultor, praticamente em todos os lugares, a desfazer-se dos animais de carga, reservando toda a sua terra para o plantio [27, 526; 31, 11 e s.; 32, 302 e s.].

O ponto inquestionável é este: em virtude da pressão populacional, na maior parte do globo, a calamidade da subnutrição e da fome deve ser contornada por maiores colheitas em terras cultivadas – aumentando a agricultura mecanizada, aumentando o emprego de fertilizantes químicos e de pesticidas e aumentando o plantio de novos tipos de cereais, altamente produtivos. Entretanto – e contrariamente ao que normal e generalizadamente se imagina – essa moderna técnica agrícola correspondente, a longo prazo, a um lance que contraria o mais elementar interesse bioeconômico da espécie humana.

Em primeiro lugar, a substituição do boi pelo trator, da ração pela gasolina e do estrume pelos fertilizantes químicos corresponde a usar elementos escassos em vez de usar um elemento muito facilmente encontrado, a radiação solar. Em segundo lugar, a substituição representa um esbanjamento da baixa entropia terrestre, em virtude do forte declínio das vantagens, ou dos retornos a que conduz.⁵⁹ A moderna técnica agrícola provoca um aumento da fotossíntese, em uma dada área cultivada. Mas esse aumento é alcançado graças a um desproporcional aumento na depleção da baixa entropia de origem terrestre – que é a única fonte criticamente escassa

⁵⁹ Entre 1951 e 1966, o número de tratores aumentou 63%, o de fertilizantes fosfatados cresceu 75%, o de fertilizantes com nitratos subiu 146% e o número de pesticidas cresceu 300%. Ainda assim, as colheitas - que servem de bom indicador do rendimento - não cresceram mais do que 34%! [6, 40].

(Cumpra notar que os retornos decrescentes, oriundos da substituição da energia terrestre pela solar, representariam, ao contrário, um bom negócio energético). Significa isso que, empregando, a cada ano, metade do input de energia terrestre (contada a partir da operação de mineração) exigida pela moderna agricultura para o cultivo de um acre de terra – em que se haja plantado, p. ex., o trigo – em dois anos a agricultura menos industrializada produziria mais do dobro de trigo, na mesma porção de terra. Tal “deseconomia” – por mais surpreendente que isso possa parecer aos adoradores das máquinas – é particularmente onerosa no caso de variedades de alta produtividade (desenvolvidas por Norman E. Borlaug, que recebeu um Prêmio Nobel pelos seus estudos).

O cultivo altamente mecanizado e fertilizado permite, efetivamente, a sobrevivência de uma vasta população P_i ; em compensação, isso representa aumento da depleção per capita, s_i , dos recursos terrestres – o que acarreta, ceteris paribus, uma redução proporcionalmente maior da vida futura (seção VIII). Mais: tornando-se regra geral o preparo de alimentos em “complexos agro-industriais”, muitas espécies, associadas à antiga agricultura orgânica, poderão desaparecer gradualmente – o que, talvez, conduzirá a humanidade a um cul-de-sac ecológico, de onde a retirada será impraticável [31, 12].

As observações precedentes dizem respeito à perene questão de saber quantas pessoas podem habitar a Terra. Alguns peritos em análises populacionais afirmam que existiria alimento suficiente para cerca de 40 bilhões de pessoas que consumissem aproximadamente 4.500 quilocalorias – contanto que os melhores métodos de cultivo se vissem aplicados a cada acre de terreno potencialmente aproveitável.⁶⁰ A lógica subjacente é a da multiplicação da quantidade de terras potencialmente aproveitáveis pela colheita média alcançada no Estado de Iowa. Os cálculos podem ser “precisos”, tão precisos quanto os peritos reclamam que efetivamente são, mas o raciocínio, ainda assim, é linear. Claramente, nem esses autores, nem outros, menos otimistas, se preocuparam com a questão de saber por quanto tempo viverão populações tão grandes – sejam as de 40 bilhões de pessoas ou, simplesmente, as de um milhão de pessoas [31, 11; 32, 20, 301 e s.]. Essa questão, muito mais do que outras, traz à tona o pertinaz resíduo da concepção mecanicista do mundo: o mito da população ótima, vista como “aquela que se pode manter indefinidamente” [6, 14; também 62, 172 e s; 74, 48].

XI - Um Programa Bioeconômico Mínimo

Em “A Blueprint for Survival” [6, 13], manifesta-se a esperança de que a economia e a ecologia venham, um dia, a fundir-se. Já se cogitou da fusão da física e da biologia, acreditando a maioria dos estudiosos que, nessa amálgama, a biologia acabaria absorvendo a física [32, 42]. Pela mesma razão – ou seja, a de que o âmbito de fenômenos abrangido pela ecologia é mais amplo do que o âmbito de fenômenos coberto pela economia – admite-se que, ocorrendo a fusão, a economia será absorvida pela ecologia. De fato, como vimos nas duas seções precedentes, a atividade econômica de uma geração qualquer tem certa influência sobre as atividades

⁶⁰ Essa posição foi defendida, exemplificativamente, por Colin Clark, em 1963 [ver 31, 11; 32, 20] e, mais recentemente, por Revelle [70].

das gerações futuras – pois os materiais e as fontes terrestres de energia se esgotam e os efeitos danosos da poluição sobre o ambiente se acumulam. Um dos mais sérios problemas ecológicos, para o homem, é portanto, o da relação da qualidade de vida de uma geração para outra – e, mais especificamente, o da distribuição dos legados da humanidade entre todas as gerações. A economia não está em condições de cogitar desse problema. O tema da economia, como se tem sublinhado frequentemente, é o da administração de recursos escassos; por amor à exatidão, cabe acrescentar que essa administração diz respeito a apenas uma geração. E nem poderia ser de outro modo.

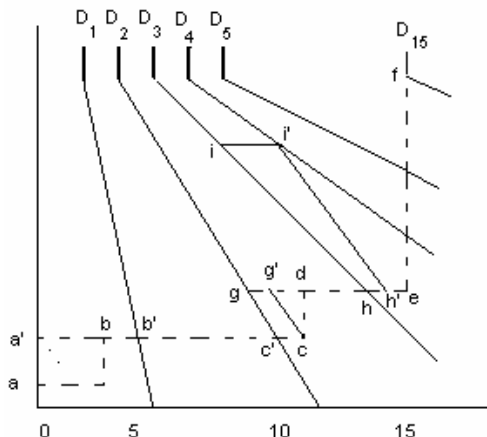
De acordo com um princípio elementar da economia, a única maneira de atribuir um preço adequado a um bem irreproduzível – como, digamos, a “Mona Lisa”, de Leonardo – é fazer com que literalmente todos façam as suas ofertas, pensando em adquiri-lo. De outra forma, se apenas duas pessoas concorressem, uma delas adquiriria aquele bem por um preço bem baixo. Esse lance, ou seja, esse preço, não poderia deixar de ser paroquial, ou estreito.⁶¹ O mesmo se diga a respeito dos recursos irreproduzíveis. Cada geração utiliza, a seu bel-prazer, os recursos terrestres que encontra; e produz, como lhe apraz, a poluição que lhe convém. As gerações futuras não participam – e nem podem participar – do mercado do dia.

Não há dúvida de que entre as preocupações da atual geração, no que respeita à demanda, está o interesse em proteger os filhos, e talvez, os netos. Aí também pode refletir-se, no que concerne à oferta, a expectativa quanto aos preços futuros, estimados em termos de algumas décadas. Mas nem a demanda nem a oferta contemporâneas estão em condições de abranger, ainda que de forma tênue, a situação de gerações remotas – as que viverão, digamos, no ano 3.000 d.C., para não falar das que venham a viver dentro de uma centena de milhares de anos a contar de hoje.

Sem cogitar de todos os pormenores, mas pensando nas conseqüências mais notáveis da alocação de recursos, entre as gerações, provocada pelo mecanismo do mercado, essas conseqüências podem ser examinadas por intermédio de um diagrama simples e, na verdade, muito simplificado. Admitiremos que a demanda, relativa a algum recurso mineral que dispense trabalhos de mineração (como, digamos, o carvão que se encontra na superfície da Terra), se mantenha constante, igual para todas as sucessivas gerações; e admitiremos que cada qual dessas gerações deve consumir pelo menos uma tonelada do mineral em pauta. A programação da demanda engloba, também, o desejo de zelar pelos interesses de algumas gerações subsequentes. Na Figura 1, D_1 , D_2 , ..., D_{15} representam as demandas de gerações sucessivas, a partir da geração atual.

⁶¹ E, no entanto, outros partilham, hoje, o mito da economia segundo o qual os preços refletem valores, em algum sentido genérico e relevante. O grupo de Meadows, por exemplo, fala do custo da depleção de recursos [62, 181] e Barry Commoner fala do custo da deterioração ambiental [18, 253 e s. e *passim*]. Trata-se de mero jogo verbal, pois não existe algo como o custo de recursos insubstituíveis ou o custo de poluição irreduzível.

Figura 1



A linha pontilhada, abcdef, representa o custo médio da mineração dos depósitos, de variado grau de acessibilidade. As reservas totais atingem a casa das 15 toneladas. Desprezando, por um momento, o efeito da taxa de juros sobre a oferta do carvão in situ pelos proprietários das minas, a primeira geração recolherá a quantia a'b'; a área sombreada representa a renda diferencial das minas mais ricas. Podemos, com segurança, considerar aa' como o preço do carvão contido nessas minas. A Segunda geração minerará a quantia b'c'. Como, porém, nenhuma das minas recebe uma renda diferencial, o preço do carvão in situ será igual a zero. Ao tempo da terceira geração, o custo marginal da mineração atingirá o nível h; a quantidade minerada será gh, sendo que a quantidade c'c = gg' recebe a renda exibida na área sombreada. Enfim, a quarta geração poderá dispor da quantidade hh' (determinada pela condição de que g'd = h'e), que receberá uma renda de mera escassez, representada pela área sombreada hh'i'. Nada restará para as gerações subsequentes.

Vários pontos tornam-se, agora óbvios. Em primeiro lugar, nota-se que o mecanismo do mercado resulta, por si mesmo, em recursos que são consumidos mais por algumas gerações do que pelas subsequentes, ou seja, são consumidos mais rapidamente do que deviam. De fato, $a'b' > b'c' > gh > hh'$, confirmando-se, por essa via, o aspecto ditatorial que o presente adquire sobre o futuro. Se todas as gerações concorressem, de partida, pelo total dos depósitos de carvão, o preço desse material, in situ tornar-se-ia infinito, uma situação que a nada conduziria, contribuindo apenas para explodir a dificuldade entrópica da humanidade. Somente um planejador onisciente estaria em condições de evitar aquela situação, alocando, simplesmente, uma tonelada de carvão, in situ, a cada qual das quinze primeiras gerações – cada tonelada possuindo a mesma composição qualitativa.⁶²

⁶² Em trabalho de caráter pioneiro [45], Hotelling demonstrou, de maneira cabal, que, desconhecendo a demanda em todos os momentos futuros, é impossível falar em alocação ótima de recursos.

Considerando a taxa de juros, o quadro modifica-se um pouco, percebendo-se com maior clareza, que o mercado não possui meios de impedir a excessiva depleção de recursos, feita pelas gerações anteriores. Voltemos ao caso que, acima, denominei período de fartura. Especificamente, trata-se de época em que o carvão de boa qualidade atende à demanda do momento e à demanda de gerações futuras – até onde o dominante horizonte econômico possa atingir. Nos limites desse horizonte, inexistente, pois renda e não há motivo para economizar carvão in situ, pensando em gerações futuras. Consequentemente, para a geração considerada, o carvão in situ não admite preço.

A questão ignorada pelos poucos estudiosos de economia que, mais recentemente, analisaram alguns aspectos mercadológicos dos recursos naturais [p. ex., 75], foi a de saber porque os recursos in situ admitem, afinal, um preço positivo – mesmo quando inexistem restrições auto-impostas pelos proprietários das minas. A resposta é esta: se os atuais recursos adquirem um preço, isso não se deve à sua presente escassez, mas, antes, à alguma escassez diferenciadora, posta em termos de expectativas, a partir dos horizontes temporais no momento. Ilustrando o raciocínio subjacente a esse processo, imaginemos que C_1 , C_2 , e C_3 sejam minas de carvão, de qualidades diversas, e que os correspondentes custos de mineração de uma unidade do produto sejam $k_1 < k_2 < k_3$. Admitamos, ainda, que C_1 estará esgotada, segundo as expectativas, na terceira geração, a contar da atual, ocasião em que C_2 se tornará economicamente eficaz. Admitamos, também, que C_2 , por sua vez, estará esgotada na segunda geração posterior; e que C_3 se mostrará suficiente para atender às necessidades previstas, até onde alcança o nosso horizonte de considerações temporais. Durante a vida da terceira geração futura, C_1 terá uma renda diferencial $r_1 = k_2 - k_1$, relativamente a C_2 ; após mais duas gerações, a renda diferencial de C_2 , com respeito a C_3 , ou seja, $r_2 = k_3 - k_2$, tornar-se-á patente. Apenas C_3 não tem uma renda diferencial, de modo que seu preço (como vimos no parágrafo anterior) é permanentemente igual a zero. De outro lado, lembrando que C_2 terá, obrigatoriamente, uma renda, na quinta geração, a partir da atual, conclui-se que C_2 deve possuir um preço positivo na atualidade – preço esse que toma o valor

onde i é a taxa de juros (suposta constante, em todo o horizonte de tempo). Na j -ésima geração, a contar da atual, o preço tomará o valor

$$p_2^j = \frac{r_2}{(1+i)^{5-j}}$$

Raciocínio semelhante permitirá determinar o preço atual de C_1 . Cabe observar, apenas, que o preço de C_2 será

$$p_2^3 = \frac{r_2}{(1+i)^2}$$

na geração para a qual a renda diferencial de C_1 tornar-se manifesta. A renda deverá, portanto, ser somada a esse preço. Assim, o preço atual do carvão de C_1 será

$$p_1^0 = \frac{(r_1 + p_2^3)}{(1+i)^3}$$

As fórmulas ora obtidas revelam que, na presença de um espectro qualitativo de minas, o efeito da taxa de juros será o de ampliar o uso do carvão obtido em fontes mais acessíveis (tendo em conta as quantidades fixadas na Figura 1). Podemos dizer, de maneira não muito rigorosa, que a existência de uma taxa de juros ajudamos a economizar recursos. Não olvidemos, porém, a conclusão mais notável da análise precedente – e que se torna especialmente marcante no caso de um período de fartura. A escassez mais grave pode apresentar-se (como, por certo, deve acontecer) para além dos horizontes de tempo hoje contemplados. Mas esse fato futuro não influencia de modo algum as nossas presentes decisões mercadológicas – ele é virtualmente inexistente, no que respeita a essas decisões.

Nada mais precisa ser dito para convencer-nos de que o mecanismo de mercado, ainda quando se procura fixar preços “justos”, não está em condições de proteger a humanidade contra as crises ecológicas futuras – e muito menos de alocar recursos, de maneira ótima, entre as gerações.⁶³ A única forma de proteger as gerações futuras, liberando-as do peso que representará, para elas, o nosso consumo excessivo de recursos, neste período de fartura, é reeducar a nós próprios, fazendo com que venhamos a sentir alguma simpatia pelos nossos descendentes – uma reeducação análoga à que já sofremos e que nos tornou mais sensíveis para com o bem-estar de “vizinhos” contemporâneos. O paralelismo não se traça pressupondo que uma reorientação ética seja fácil de alcançar. A caridade manifestada para com os semelhantes que nos rodeiam possui base objetiva, a saber, o interesse por nós mesmos. Ao pregar o novo evangelho, a questão difícil não é – para usar as jocosas palavras de Boulding – “Que fez a posteridade em meu benefício?”, mas antes, “Por que devo fazer algo em favor da posteridade?” Quem pode assegurar – indagarão alguns – que haja uma posteridade daqui a 10 mil anos? E, a rigor, pobre economia é a que sacrifica qualquer coisa em benefício de um herdeiro inexistente. Dúvidas desse gênero, que permeiam a nova ética, não admitem respostas simples e convincentes.

Além disso, é preciso contemplar a outra face da moeda, igualmente mergulhada em dúvidas éticas e prementes – ressaltadas, em especial e com muita propriedade, por Kaysen [51] e Silk [72]. Ao estancar o crescimento econômico em todos os pontos, deixamos congelado o status atual e eliminamos, assim, a possibilidade de as nações pobre se desenvolverem. Essa é a razão pela qual uma correspondente do movimento ambientalista sustenta que o problema do crescimento populacional não passa de ilusão, usada pelas nações ricas para iludir as demais, evitando que percebam como elas próprias abusam do meio ambiente. Para essa corrente, um só mal existe: a desigualdade no desenvolvimento. O imperioso, dizem os adeptos

⁶³ A confiança típica do economista na onipotência do mecanismo de preços (Seção IV, nota 15) levou muitos auditores a dizer que a escolha entre satisfação presente ou futura de necessidades – com a habitual recompensa resultante do adiamento do consumo – acertará os preços corretos para ótimo uso dos recursos. O raciocínio peca por não levar em conta a limitação dos nossos horizontes temporais, que não se prolongam para além de um par de décadas [10, 10]. Mesmo Solow, ilustrando a defesa que faz da concepção comum, em [74, 427], só aceita um horizonte que abrange apenas 30 anos.

dessa facção, é efetuar mudança radical da capacidade produtiva, distribuindo-a entre as nações. Outra ala do movimento sustenta, ao contrário, que o crescimento populacional é o ameaçador dos males que afligem a humanidade, tornando-se imprescindível enfrentá-lo, urgente e independentemente de outras decisões cabíveis. De acordo com as expectativas, as duas concepções rivais não deixaram de se enfrentar, envolvendo-se em controvérsias inúteis e mesmo violentas – como aconteceu, em particular, nas Conferências de Estocolmo, em 1972, e, mais recentemente, na Conferência de Bucarest, voltada para o problema da população.⁶⁴ A dificuldade tem suas raízes, uma vez mais, num traço da natureza humana: a mútua e arraigada desconfiança – dos ricos, certos de que o número de pobres não deixará de crescer, e dos pobres, seguros de que os ricos não deixarão de aumentar, progressivamente, as suas riquezas. Raciocinando friamente, contudo, perceberemos que o gradiente diferenciador entre nações ricas e pobres é, em si mesmo, um mal – um elemento pernicioso que, embora associado ao crescimento contínuo da população, deve ser diretamente atacado.

Notado que a poluição é fenômeno de superfície, prejudicial para a geração que o provoca, podemos estar certos de que receberá, em termos oficiais, muito mais atenção do que o fenômeno associado correspondente, da depleção de recursos. Entretanto, inexistindo, nos dois casos, um custo para desfazer um mal irreparável ou inverter uma depleção irrevocável, e, inexistindo, a par disso, um preço relevante para contornar a inconveniência – já que as futuras gerações não podem valorar as escolhas – deve-se insistir em que as medidas para amenizar os males deveriam consistir de regulamentações quantitativas, em que pese a recomendação feita pela maioria dos economistas, no sentido de aumentar a eficiência da alocação do mercado, empregando, para tanto, impostos e subsídios. A plataforma dos economistas limitar-se-á a proteger os ricos ou os apaniguados políticos. Economistas ou não, ninguém deve esquecer que o desmatamento irresponsável de numerosas montanhas se tornou possível porque “o preço era justo” e só terminou quando restrições quantitativas foram consideradas. Todavia, também o grande público deve conhecer a dificuldade que cerca as opções – conscientizando-se de que depleção mais lenta se equipara a menor conforto exossomático e de que maior controle da poluição exige aumento de consumo de recursos. De outra forma, somente controvérsias e confusões não de aparecer.

Nenhuma razoável plataforma ecológica deve ignorar um fato básico: tendo em conta o que se sabe a respeito da luta pela vida, o homem, pressionado pelas suas necessidades naturais ou adquiridas, não se deixará dominar pelo desejo de poupar competidores – aí incluídos os seus próprios semelhantes de épocas futuras. Não há lei biológica pela qual se estabeleça que uma espécie deva defender a sobrevivência de outras espécies, se essa defesa representa o seu extermínio. O mais que podemos esperar, sendo razoáveis, é educar a nós mesmos com o fito de evitar os males “desnecessários” e de proteger, ainda que a certo preço, os nossos pósteros, mediante proteção dada a algumas espécies benéficas ao homem. Total proteção e completa eliminação da poluição não passam de mitos perigosos – e como tais devem ser contemplados (Seção V).

Justus von Leibig afirmou que “civilização é a economia do poder” [32, 304]. No momento presente, é preciso rever a economia do poder, em todos os

⁶⁴ Para avaliar as correntes que se cruzaram na Conferência de Estocolmo, veja-se o interessante relato contido em [2].

seus aspectos. Em vez de adotar uma atitude oportunista, dirigindo os esforços de pesquisa no sentido de obter meios economicamente mais eficazes de lidar com as energias minerais (altamente poluentes e que só se encontram em quantidades finitas), seria melhor concentrar forças para aperfeiçoar o uso direto da energia solar (a única, afinal, "limpa" e que se encontra em quantidades ilimitadas). Técnicas já exploradas deveriam ser disseminadas, para que se tornassem conhecidas universalmente, e se fomentasse, desse modo, o desenvolvimento de um comércio correspondente, a permitir que a prática nos ensinasse a fazer amplo uso dos conhecimentos adquiridos.

Uma economia assentada principalmente no fluxo da energia solar contribuiria para eliminar o monopólio das gerações atuais sobre as futuras – sem fazer, naturalmente, com que esse monopólio desaparecesse por completo, já que aquela economia ainda precisaria ter em conta os recursos terrestres, sobretudo no que concerne aos materiais. A depleção desses recursos críticos deve, no entanto, tornar-se tão pequena quanto possível. Inovações tecnológicas terão, por certo, um notável papel a desempenhar, se a questão passar a ser vista por esse prisma. É tempo, no entanto, de deixar de sublinhar exclusivamente o aumento de oferta – uma faceta sobre a qual têm aparentemente insistido todas as plataformas das diversas correntes a que se filiam os estudiosos do assunto. Também à demanda está reservado um papel – que, em última análise, é maior e mais eficiente do que o papel da oferta.

Seria tolo propor que renunciássemos por completo ao conforto industrial decorrente da evolução exossomática. A humanidade não retornará às cavernas ou às árvores. Ainda assim, existem certos pontos que devem ser incluídos em um programa bioeconômico mínimo.

Em primeiro lugar, caberia proibir definitivamente a produção de quaisquer instrumentos de guerra – e não apenas a própria guerra. É inteiramente absurdo (uma hipocrisia) continuar a cultivar o tabaco se, declaradamente, ninguém tenciona fumar. Se as nações mais adiantadas, principais produtoras de armamentos, são, de fato, como proclamam, tão dotadas de sabedoria a ponto de poderem exercer o papel de liderança que se lhes outorga, elas não devem enfrentar dificuldades sérias para formular um acordo que conduza àquela proibição. Interromper a produção de todos os instrumentos de guerra equivale, no mínimo, a evitar a morte em massa produzida por engenhosas armas; e permitirá, a par disso, a liberação de tremendas forças produtivas, capazes de atuar em termos de ajuda internacional, sem a diminuição dos padrões de vida dos países envolvidos.

Em segundo lugar, caberia fazer com que as nações subdesenvolvidas atingissem, com a rapidez possível – empregando essas forças produtivas e, ao lado delas, medidas bem planejadas e sinceras – uma boa vida (não uma vida de luxúria). As duas extremidades do espectro devem participar, de maneira efetiva, nos esforços exigidos por essa transformação, aceitando a idéia de que é preciso alterar fundamentalmente as concepções polarizadas que têm da vida.⁶⁵

Em terceiro lugar, seria oportuno que a humanidade atingisse, gradualmente, um nível populacional compatível com a alimentação feita exclusivamente à base de

⁶⁵ Sugerir, na Conferência de Dai Dong (Estocolmo, 1972), a adoção de um tipo de medida que, no meu entender, parece muito mais fácil de usar do que a decorrente de consideração de instalações de variados gêneros. Minha sugestão foi no sentido de que as pessoas pudessem mover-se de um país para outro, livremente. A idéia nem chegou a ser tepidamente acolhida. Veja-se [2, 72].

agricultura orgânica.⁶⁶ As nações hoje em fase de maior crescimento demográfico devem, naturalmente, lutar para que os resultados desejáveis por esse ângulo, sejam mais rapidamente alcançados.

Em quarto lugar, enquanto o uso direto da energia solar não se generalize ou não se consiga a fusão controlada, qualquer desperdício de energia (excesso de calor, excesso de frio, excesso de velocidade, excesso de luz, e assim por diante) deveria ser cuidadosamente evitado e, se necessário, submetido a controle estrito.

Em quinto lugar, seria preciso que nos curássemos desse mórbido anelo pelas “futilidades”, esplendidamente ilustrado por um item contraditório como o carrinho que transporta os jogadores de golfe de um para o outro canto da quadra, ou por elefantinos automóveis que chegam a ocupar o espaço de dois. Assim procedendo, nós obrigaremos os fabricantes a deixar de produzir tais “mercadorias”.

Em sexto lugar, seria preciso que nos liberássemos da moda, “essa doença do espírito humano”, como a caracterizou o abade Fernando Galliano, em um afamado livro, *Della moneta*, publicado em 1750. Não deixa, aliás, de ser doença do espírito, essa atitude de atirar fora um casaco ou um móvel que ainda está em condições de prestar serviços. Adquirir um carro “último tipo” a cada ano e remodelar a casa de dois em dois anos é, de fato, um crime bioeconômico. Vários autores já propuseram que os bens fossem fabricados de maneira a se tornarem mais duráveis [p. ex., 43, 146]. Todavia, parece de maior importância reeducar os consumidores, fazendo com que desprezem os modismos. Manufatores terão, conseqüentemente, de concentrar-se na questão da durabilidade de seus produtos.

Em sétimo lugar (um ponto que se associa intimamente ao anterior) estaria a necessidade de tornar ainda mais duradouros os bens duráveis, projetando-os de modo a permitir que sofressem reparos (exagerando a analogia, o que acontece, atualmente, é sermos obrigados a jogar fora um par de sapatos, simplesmente porque os cordões se estragaram).

Em oitavo lugar, em harmonia com o que ficou registrado nos itens precedentes, caberia curarmo-nos do que tenho denominado “síndrome da máquina de barbear” — fazer a barba mais rapidamente para que disponhamos de maior número de horas a fim de construir outra máquina que acelere a tarefa de fazer a barba, economizando tempo, devotado a projetar máquinas que façam barbas ainda mais rapidamente, e assim ad infinitum. A mudança de atitude que aí fica implícita exigirá boa dose de esforço por parte dos profissionais que se habituaram a atrair o homem para esse tipo de vazia regressão infinita. É preciso compreender que importante requisito da boa vida é um apreciável tempo de lazer, utilizado de maneira inteligente.

As recomendações anteriores, consideradas no papel, abstratamente parecerão razoáveis, em conjunto, a qualquer pessoa que se disponha a examinar o raciocínio que as fundamenta. Todavia, um pensamento não deixa o meu espírito, desde que passei a preocupar-me com a natureza entrópica do processo econômico. Dará a humanidade atenção a qualquer programa que acarrete restrições sobre os arraigados hábitos provocados pelo apego ao conforto exossomático? O destino do homem talvez seja ter uma vida breve, mas excitante, flamejante e extravagante — não ter uma existência longa, mas vegetativa e sem incidentes. Que outras espécies, destituídas de qualquer ambição espiritual — as amebas, por exemplo — recebam como herança uma terra ainda banhada por muito sol...

⁶⁶ A fim de evitar mal-entendidos, devo acrescentar que o presente modismo dos alimentos orgânicos nada tem a ver com esta proposta — que tão-somente se alicerça nas razões apresentadas na Seção X.

Referências

- ABELSON, Philip H. 1972. Limits to Growth. *Science*, 17 March, 1197.
- ARTIN, Tom. 1973. *Earth Talk: Independent Voices on the Environment*. New York: Grossman Publishers.
- BARNETT, Harold J. and Chandler MORSE. 1963. *Scarcity and Growth*. Baltimore: Johns Hopkins Press.
- BECKERMAN, Wilfred. 1972. Economists, Scientists, and Environmental Catastrophe. *Oxford Economic Papers*, November, pp. 327-344.
- BLIN-STOYLE, R.J. 1959. The End of Mechanistic Philosophy and the Rise of Field Physics. In: *Turning Points in Physics*, edited by R. J. BLIN-STOYLE, et al. Amsterdam: North-Holland, pp. 5-29.
- A Blueprint for Survival. 1972. *The Ecologist*, January, pp.1-43.
- BORMANN, F. H. 1972. Unlimited Growth: Growing, Growing, Gone ?. *BioScience*, December, pp. 706-709.
- BOULDING, Kenneth. The Economics of the Coming Spaceship Earth. In: *Environmental Quality in a Growing Economy*, edited by Henry JARRET. Baltimore: Johns Hopkins Press, pp. 3-14.
- _____. 1971. Environment and Economics. In: [66], pp. 359-367.
- BRAY, Jeremy. 1972. *The Politics of the Environment*, Fabian Tract 412. London: Fabian Society.
- BRIGMAN, P.W. 1955. Statistical Mechanics and the Second Law of Thermodynamics. In: *Reflections of a Physicist*, 2d ed. New York: Philosophical Library, pp. 236-268.
- BROWN, Harrison. 1970. Human Materials Production as a Process in the Biosphere. *Scientific American*, September, pp. 195-208.
- BROWN, Lester R. and Gail FINSTERBUSCH. 1971. In: [66], pp. 53-69.
- CANNON, James. 1973. Steel: The Recyclable Material. *Environment*, November, pp. 11-20.
- CLOUD, Preston. ed. 1969. *Resources and Man*. San Francisco: W. H. Freeman.
- _____. 1971. Resources, Population, and Quality of Life. In: *Is There an Optimum Level of Population ?* edited by S. F. Singer. New York: McGraw Hill, pp. 8-31.
- _____. 1971b. Mineral Resources in Fact and Fancy. In: [66], pp. 71-88.
- COMMONER, Barry. 1971. *The Closing Circle*. New York: Knopf.
- CULBERTSON, John M. 1971. *Economic Development: An Ecological Approach*. New York: Knopf.
- DALY, Herman E. Toward a Stationary-State Economy. In: *Patient Earth*, edited by J. HART and R. SOCOLOW. New York: Rinehart & Winston, pp. 226-244.
- _____. 1971. *The Stationary-State Economy*. Distinguished Lecture Series No.2, Department of Economics, University of Alabama.
- DANIELS, Farrington. 1964. *Direct Use of the Sun's Energy*. New Haven: Yale University Press.
- EINSTEIN, Albert and Leopold INFELD. 1938. *The Evolution of Physics*. New York: Simon and Schuster.
- The Fragile Climate of Spaceship Earth. 1972. *Intellectual Digest*, March, pp. 78-80.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas. 1950. The Theory of Choice and the Constancy of Economic Laws. *Quarterly Journal of Economics*, February, pp. 125-138. Reprinted in [29], pp. 171-183.
- _____. 1952. Toward Partial Redirection of Econometrics: Comments. *Review of Economics and Statistics*, August, pp. 206-211.
- _____. 1965. Process in Farming Versus Process in Manufacturing: A Problem of Balanced Development. In: *Economic Problems of Agriculture in Industrial States* (A Conference of the International Economic Association, Rome), edited by U. PAPI and C. NUNN. New York: McMillan, 1969, pp. 497-528.

- _____. 1966. Further Thoughts on Corrado Gini's Delusioni dell'econometria. *Metron*, pp. 265-279.
- _____. 1966b. *Analytical Economics: Issues and Problems*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- _____. 1970. The Economics of Production. Richard T Ely Lecture. *American Economic Review*, May, pp. 1-9.
- _____. 1971. *The Entropy Law and the Economic Problem*. Distinguished Lecture Series No.1, Department of Economics, University of Alabama. Reprinted In: *The Ecologist*, July, 1972, pp.13-18.
- _____. 1971b. *The Entropy Law and the Economic Process*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- _____. 1972. Process Analysis and the Neoclassical Theory of Production. *American Journal of Agricultural Economics*, May, pp.279-294.
- GILLETTE, Robert. 1972. The Limits to Growth: Hard Sell for a Computer View of Doomsday. *Science*, 10 March, pp.1088-1092.
- _____. 1972b. Nuclear Safety: Damaged Fuel Ignites a New Debate in AEC. *Science*, 28 July, pp. 330-331.
- _____. 1972bc. Reactor Safety: AEC Concedes Some Points to Its Critics. *Science*, 3 November, pp.482-484.
- GLASER, Peter E. 1968. Power from the Sun: Its Future. *Science*, 22 November, pp.857-861.
- GOELLER, H. E. 1972. The Ultimate Mineral Resource Situation. *Proceedings of the National Academy of Science, USA*. October, pp.2991-2992.
- GOFMAN, John W. 1972. Time for a Moratorium. *Environmental Action*, November, pp.11-15.
- HAAR, D. ter. 1959. The Quantum Nature of Matter and Radiation. In: *Turning Points in Physics*, [5], pp.30-44.
- HAMMOND, Allen L. 1971. Solar Energy: A Feasible Source of Power ?. *Science*, 14 May, 660.
- HARDIN, Garrett. 1968. The Tragedy of the Commons. *Science*, 13 December, pp.1234-1248.
- HIBBARD, Walter R. Jr. 1968. Mineral Resources: Challenge or Treat ?. *Science*, 12 April, pp.143-145.
- HOLDREN, John and Philip HERERA. 1971. *Energy*. San Francisco: Sierra Club.
- HOTELLING, Harold. 1931. The Economics of Exhaustible Resources. *Journal of Political Economy*, March-April, pp.137-175.
- HUBBERT, M. King. 1969. Energy Resources. In: [15], pp.157-242.
- ISTOCK, Conrad A. 1971. Modern Environmental Deterioration as a Natural Process. *International Journal of Environmental Studies*, pp.151-155.
- JEVONS, W. Stanley. 1879. *The Theory of Political Economy*, 2d ed. London: McMillan.
- JOHNSON, Harry G. 1973. *Man and His Environment*. London: The British-North American Committee.
- KATCHALSKY, A. and Peter F. CURRAN. 1965. *Non-equilibrium Thermodynamics in Biophysics*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- KAYSER, Carl. 1972. The Computer that Printed Out W*O*L*F*. *Foreign Affairs*, July, pp.660-668.
- KNEESE, Allen and Ronald RIDKER. 1972. Predicament of Mankind. *Washington Post*, 2 March.
- LAPLACE, Pierre Simon de. 1902. *A Philosophical Essay on Probability*. New York: John Wiley.
- LEONTIEF, Wassily. 1971. Theoretical Assumptions and Nonobservable Facts. *American Economic Review*, March, pp.1-7.
- Limits to Misconception. 1972. *The Economist*, 11 March, pp.20-22.

- LOVERING, Thomas S. 1969. Mineral Resources from the Land. In: [15], pp.109-134.
- MacDONALD, Gordon J. F. 1971. Pollution, Weather and Climate. In: [66], pp.326-336.
- MADDOX, John. 1972. Raw Materials and Price Mechanism. *Nature*, 14 April, pp.331-334.
- _____. 1972b. *The Doomsday Syndrome*. New York: McGraw Hill.
- MARSHALL, Alfred. 1920. *Principles of Economics*, 8th ed. London: Macmillan.
- MARX, Karl. 1906-1933. *Capital*. 3 vols. Chicago: Charles H. Herr.
- MEADOWS, Donella H. et al. 1972. *The Limits to Growth*. New York: Universe Books.
- METZ, William D. 1972. Fusion: Princeton Tokamak Proves a Principle. *Science*, 22 December, 1274B.
- MILL, John Stuart. 1965. *Principles of Political Economy*. In: *Collected Works*, vols. II-III. Edited by J.M. ROBSON. Toronto: University of Toronto Press.
- MISHAN, E. J. 1970. *Technology and Growth: The Price We Pay*. New York: Praeger.
- MURDOCH, William W. ed. 1971. *Environment: Resources, Pollution and Society*. Stamford Conn.: Sianuer.
- NOVICK, Sheldon. 1974. Nuclear Breeders. *Environment*, July-August, pp.6-15.
- PIGOU, A. C. 1935. *The Economics of Stationary States*. London: Macmillan.
- Report on Limits to Growth*. 1972. Mimeographed. A Study of the Staff of the International Bank for Reconstruction and Development. Washington, D.C.
- REVELLE, Roger. 1974. Food and Population. *Scientific American*, September, pp.161-170.
- SCHRODINGER, Erwin. 1944. *What is Life ?* Cambridge, England: The University Press.
- SILK, Leonard. 1972. On the Imminence of Disaster. *New York Times*, 14 March.
- SOLO, Robert. 1974. Arithmomorphism and Entropy. *Economic Development and Cultural Change*, April, pp.510-517.
- SOLOW, Robert. M. 1973. Is the End of the World at Hand ? *Challenge*, march-April, pp.39-50.
- _____. 1974. The Economics of Resources or the Resources of Economics. Richard T. Ely Lecture. *American Economic Review*, May, pp.1-14.
- SPENGLER, Joseph J. 1966. Was Malthus Right ? *Southern Economic Journal*, July, pp.17-34.
- _____. 1970. Homosphere, Seen and Unseen; Retreat from Atomism. Proceedings of the Nineteenth Southern Water Resources and Pollution Control Conference, pp.7-16.
- SPROUT, Harold and Margaret SPROUT. 1974. *Multiple Vulnerabilities*. Mimeographed. Research Monograph No. 40, Center of International Studies, Princeton University.
- SUMMERS, Claude M. 1971. The Conversion of Energy. *Scientific American*, September, pp.149-160.
- WALLICH, Henry C. 1972. How to Live with Economic Growth. *Fortune*, October, pp.115-122.
- WEINBERG, Alvin M. 1960. Breeder Reactors. *Scientific American*, January, pp.82-94.
- _____. 1972. Social Institutions and Nuclear Energy. *Science*, 7 July, pp.27-34.
- _____. and R. Philip HAMMOND. 1970. Limits to the Use of Energy. *American Scientist*. July-August, pp.412-418.