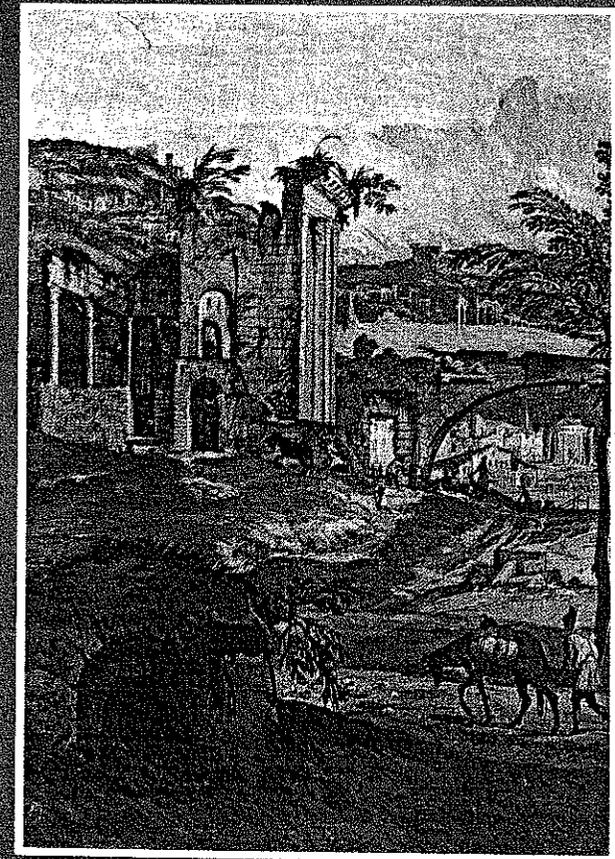


Enzo Tiezzi

TEMPOS HISTÓRICOS, TEMPOS BIOLÓGICOS

A Terra ou a morte: os problemas
da nova ecologia



Nobel

A análise ambiental da crise ambiental de nosso tempo é muito complexa e não pode ser compreendida sem a visão de uma ciência plenamente científica. Esta é a visão que em linguagem científica acessível a todos enfrenta os principais problemas ambientais e energéticos da atualidade, contrastando os velozes ritmos da tecnologia dos últimos tempos biológicos com a lenta e constante evolução fundamental da ecologia, o ritmo que ela nos introduz, mostrando que é não somente o nome de diversas disciplinas científicas (a Química, a Climatologia, a Sociologia, a Antropologia e a Economia), mas representa também uma forma de ver o mundo que transcende as ciências e tem ressonâncias remotas na literatura, no teatro e mesmo nos lendas e nos mitos.

O caráter planetário da crise ambiental mostra também que a nova ecologia é uma disciplina política, pois as decisões a serem tomadas — determinando-se que ainda não foram — são globalmente decisivas.

Este é um livro de leitura obrigatória para os homens responsáveis de nosso tempo.

Enzo Tiezzi, químico físico, ecologista, professor da Universidade de Siena, na Itália, colaborador de S. J. Weissman em Commonweal na Washington University de St. Louis (EUA) e autor de inúmeras publicações científicas, bem como colaborador de revistas internacionais, foi eleito o primeiro de um novo ambiente. Atualmente é deputado do Parlamento italiano.

7. As quatro estações são duas

A atmosfera que circunda nosso planeta é fundamental para a manutenção da vida na Terra. A composição química do ambiente atmosférico varia com a altitude, e os gases, que estão presentes nas várias camadas em diferentes percentagens e, às vezes, apenas como vestígios, têm papéis importantíssimos no equilíbrio Terra-Sol, logo no clima e nos efeitos das radiações sobre a superfície terrestre.

Por exemplo, a camada de ozônio (O_3) estratosférica filtra uma parte do componente ultravioleta da radiação solar que, não fosse ela, danificaria nossa pele (câncer), enquanto a presença do gás carbônico (CO_2), a certo nível de concentração, permite a manutenção do clima atual: seu aumento excessivo, no entanto, acarretaria temperaturas proibitivas e a desertificação de todo o planeta.

Os equilíbrios químicos das várias camadas da atmosfera são, como todos os equilíbrios biológicos, extremamente sensíveis a eventuais variações. Neste sentido, modificações induzidas pelas atividades humanas podem provocar efeitos irreversíveis e reações em cadeia não mais controláveis. Como exemplos, que serão analisados em seguida, podemos citar os grandes desmatamentos nas florestas tropicais e a imissão na atmosfera de gás carbônico, produzido pelos combustíveis fósseis usados em quantidades cada vez maiores e em períodos muito curtos na escala natural (milhões de anos foram necessários para a formação de combustíveis fósseis e a maior parte deles foi queimada no lapso de duas gerações.)

Por essa razão, o National Research Council e a National Academy of Sciences dos Estados Unidos (pertencem a essas duas entidades os cientistas que podem ser considerados os maiores especialistas em ciências atmosféricas do mundo) publicaram um relatório evidenciando os seguintes pontos: 1) "as qualidades da atmosfera que protegem a vida não são ilimitadas e podem ser seriamente danificadas pelas atividades de uma população mundial em rápido crescimento"; 2) "dado que nossas sociedades estão se tornando tecnologicamente mais complexas, chegou-se a um estado crítico na nossa relação com o ambiente atmosférico da Terra"; 3) "a produção de alimentos depende do clima e o impacto negativo das atividades humanas sobre a qualidade atmosférica e sobre o clima está aumentando"; 4) os dois efeitos que merecem a "mais considerável atenção" são a destruição do ozônio estratosférico pelos derivados orgânicos do flúor e do cloro, e o aquecimento atmosférico causado pelo gás carbônico gerado pela combustão de petróleo, carvão, etc.

O Comitê para as Ciências Atmosféricas do National Research Council trabalhou substancialmente sobre a troposfera e a estratosfera, afirmando que, para as próximas décadas, o prosseguimento desses estudos para a previsão dos efeitos sobre o clima causados pelas atividades humanas são de "alta prioridade nacional." "É necessária uma grande quantidade de dados e conhecimentos", conclui o Comitê. "No campo dos impactos humanos sobre o clima, aprendemos o bastante para içar as bandeiras do perigo, mas não o bastante para quantificar adequadamente os perigos."

Do ponto de vista sócio-econômico, o problema fundamental é o do crescimento do gás carbônico, devido aos efeitos sobre o clima e sobre a agricultura, que seriam causados pela fusão de uma parte dos gelos polares e pela desertificação. Se a tendência atual do consumo de energias fósseis não-renováveis continuar, a quantidade de gás carbônico na atmosfera terrestre dobrará em aproximadamente 50 anos. A previsão dos cientistas é a de que um aumento de tais dimensões poderá produzir um "efeito estufa" e um conseqüente aumento significativo da temperatura global. Essas variações de temperatura podem ser da mesma magnitude das que separaram as várias épocas geológicas, perturbando o já precário equilíbrio ecológico do planeta e danificando a produção mundial de alimento.

O acúmulo de gás carbônico na atmosfera coloca, do ponto de vista político, um problema atípico. A cultura e a sociedade desenvolveram-se num período de praticamente absoluta estabilidade climática. Ora, isso não é mais verdade, e o problema do gás carbônico está ligado, desde as suas raízes, ao uso global das reservas energéticas do planeta e à produção agrícola. A aposta é altíssima, as incertezas, muitas, e o único modo político de enfrentar o problema é uma difícil cooperação internacional.

O ciclo do carbono

O estudo do ciclo do carbono na biosfera coincide, substancialmente, com o estudo do conjunto de interações entre os organismos vivos e o ambiente que os circunda. Deste ciclo participam como protagonistas, além da atmosfera, os oceanos; os diversos organismos animais, aquáticos e terrestres, a matéria orgânica morta, a biomassa (em particular, as plantas) e os combustíveis fósseis.

O gás carbônico, embora presente no ar em concentração infinitésima, é indispensável para a vida na Terra, por duas razões: *a)* proporciona a alimentação das plantas que, através da fotossíntese, convertem-no em açúcares e amido; *b)* regula, através do "efeito estufa", a temperatura da superfície terrestre e, portanto, o clima.

A fotossíntese é a pedra angular de toda a vida na Terra. De fato, uma capacidade importante e precoce dos organismos vivos foi a de saber explorar, através da energia solar, o gás carbônico e a água, disponíveis no ambiente, para a construção de moléculas orgânicas indispensáveis ao crescimento; a fotossíntese é precisamente isso.

Setenta por cento da fotossíntese são efetuados pela vegetação terrestre e os 30% restantes, pela vegetação marinha. A maior contribuição é dada pela área intertropical (florestas equatoriais e tropicais). Os terrenos cultivados contribuem com apenas 3%. O carbono, fixado sob a forma de gás carbônico pelas plantas, destina-se a ser novamente liberado no ar (sempre sob a forma de CO_2), num período mais ou menos longo, ou a ir para o mar como material or-

gânico. Essa reemissão segue dois caminhos principais: a respiração dos organismos consumidores (inclusive o homem) e, no solo, a ação dos organismos decompositores, que através de uma série gradual de processos, mineralizam os restos orgânicos de animais e plantas. Essas atividades de fotossíntese e de respiração são a causa das flutuações diárias e sazonais do gás carbônico no reservatório atmosférico.

No mar, as modalidades de circulação do carbono são diferentes das do esquema terrestre, sendo agente fotossintético o fitoplâncton. O gás carbônico fixado nas águas superficiais dá início a um fluxo de carbono para baixo e a matéria orgânica sedimentada (organismos mortos, etc.) é usada pelos decompositores do fundo marinho, que liberam novamente CO_2 , em parte absorvido pelas regiões abissais dos oceanos, em parte mandado de volta para a atmosfera. Além disso, o reservatório marinho absorve gás carbônico dos outros dois sistemas, terrestre e atmosférico, com o ciclo da chuva e através de fenômenos de absorção superficial.

A capacidade potencial das profundezas oceânicas de absorver gás carbônico é virtualmente ilimitada, mas o fator limitador dessa absorção é a extrema lentidão com que ocorre a transferência do carbono das águas superficiais às águas profundas: a velocidade de mistura com as camadas profundas do oceano é da ordem de muitas centenas de anos, enquanto o tempo necessário para o equilíbrio entre a atmosfera e a superfície da água é de apenas 8 anos. Só os cem metros superficiais do oceano permitem uma mistura adequada de gases e uma troca com a atmosfera. A superfície oceânica não é capaz de absorver todo o gás carbônico resultante das atividades humanas. A troca com as profundezas oceânicas é o processo que limita a absorção do CO_2 e, sendo essa troca muito lenta, o resultado final geral é a acumulação de gás carbônico na atmosfera. Em outras palavras, as profundezas oceânicas não são relevantes para a finalidade de evitar tal acumulação.

As atividades humanas contribuem para essa acumulação essencialmente de duas maneiras: com o uso dos combustíveis fósseis (carvão, petróleo, gás natural) e com o desmatamento, sobretudo aquele que é realizado nas florestas pluviais intertropicais.

A Figura 13 resume, num esquema simplificado, o ciclo do carbono, com particular destaque para a troca de gás carbônico

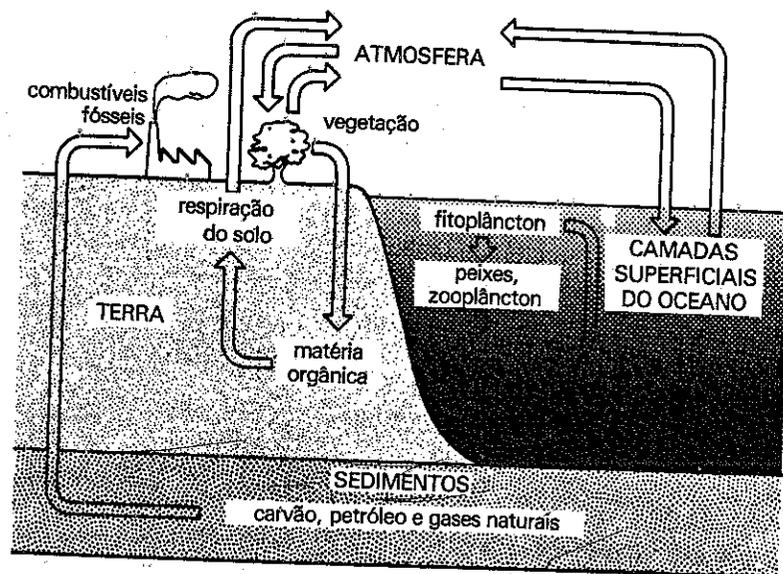


Figura 13 — Representação esquemática do ciclo do carbono (apud B. Bolin e R. Allen).

com a atmosfera. Esse esquema constitui a base do balanço energético terrestre: a intensidade da radiação solar incidente, o percentual de energia absorvida e a quantidade de calor devolvida ao espaço determinam a temperatura da superfície terrestre. Como veremos daqui a pouco, o gás carbônico e seu “efeito estufa” são os protagonistas desse equilíbrio térmico.

Cada ano, o homem imite quantidades crescentes de gás carbônico na atmosfera. A Figura 14 mostra o crescimento exponencial da produção mundial de carvão, da revolução industrial até hoje. Com exceção de três períodos — as duas guerras mundiais e a depressão econômica —, o aumento é contínuo e fortíssimo. Cada tonelada de carvão queimada produz 3 toneladas de CO₂. Em 22 anos, houve um aumento de gás carbônico na atmosfera de 20ppm (partes por milhão), correspondentes a 42 bilhões de toneladas de carbono; da revolução industrial até hoje, calcula-se que o carbono acrescentado à atmosfera equivalha a 85 bilhões de toneladas. Note-se que a quantidade total de carbono na atmosfera é de apenas 700 bilhões de toneladas. Podemos afirmar, portanto, com B. Bo-

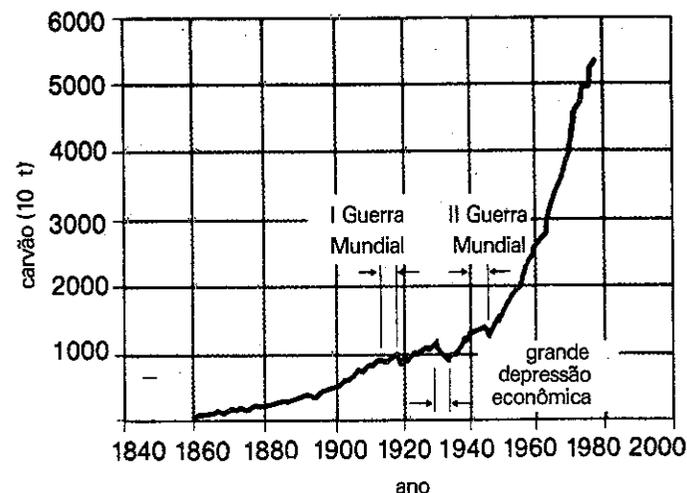


Figura 14 — Produção mundial de carvão (em milhões de toneladas), desde a revolução industrial até hoje (apud B. Bolin e R. Allen).

lin¹, um dos maiores especialistas mundiais, professor na Universidade de Estocolmo, que “o homem iniciou, sem perceber, uma espécie de experiência geoquímica e climática global, que pode escapar facilmente a todo e qualquer controle”: o aprendiz de feiticeiro faz experiências consigo mesmo, sem saber controlar suas consequências.

O efeito estufa

A inesperada importância climática de um gás como o dióxido de carbono (CO₂), de que só se encontram traços na atmosfera (0,03%), deriva de uma característica especial sua, a de absorver energia radiante naquela parte do espectro em que o restante dos gases atmosféricos são transparentes. Em outras palavras, radiações emitidas pela Terra, que atravessariam a atmosfera voltando ao espaço externo, são ao contrário presas pelo gás carbônico.

(1) BOLIN, B. “Changes of land biota and their importance for the carbon cycle”, *Science*, vol. 196, 1977, p. 613.

O Sol emite um espectro de radiações com diferentes comprimentos de onda: ultravioleta, visíveis, infravermelhas. Algumas dessas radiações são parcialmente absorvidas, difundidas ou refletidas pelos gases atmosféricos, aerossóis e nuvens. O ozônio estratosférico absorve fortemente no ultravioleta e no visível. O vapor de água absorve principalmente no infravermelho. As nuvens podem refletir até 70% da radiação total incidente, segundo a altitude e a espessura. Aquela parte de energia radiante absorvida na atmosfera acrescenta-se ao conteúdo térmico global da própria atmosfera. A energia que chega à superfície terrestre é absorvida e em parte refletida e mandada de volta ao espaço, o que depende da reflexão da superfície, comumente dita "albedo". A energia radiante absorvida aquece a superfície terrestre.

Para que a temperatura da superfície terrestre permaneça estável, a Terra e a atmosfera devem dispersar no espaço, no curso de um ano, tanta energia quanto absorvem do Sol: só assim é assegurado o equilíbrio natural. A Terra e a atmosfera só podem dispersar energia no espaço emitindo radiações na região espectral do infravermelho. O comprimento de onda da energia infravermelha repelida é diferente do comprimento da radiação solar que chega. Por isso, gases como o gás carbônico e o vapor de água, que não absorvem a radiação solar que chega, podem absorver a radiação infravermelha que retorna. Concentrações crescentes desses gases na atmosfera absorvem quantidades crescentes de energia infravermelha em certas regiões espectrais específicas. A energia absorvida por esses gases é irradiada de novo para a Terra como energia infravermelha, o que aumenta o fluxo total de energia radiante na superfície terrestre. Esse processo é chamado "efeito estufa" (Figura 15). Estima-se que a superfície terrestre seria de 30 a 40°C mais fria, se não fosse esse fluxo adicional de energia. A superfície do planeta Marte tem uma temperatura de 50°C abaixo de zero, graças à rarefação da sua atmosfera; já Vênus, em cuja atmosfera abunda o gás carbônico, tem uma temperatura superficial de + 400°C.

Obviamente, o aumento de gás carbônico na atmosfera acarreta um aumento de energia infravermelha absorvida e mandada de volta à Terra, logo, um aumento de temperatura da superfície terrestre.

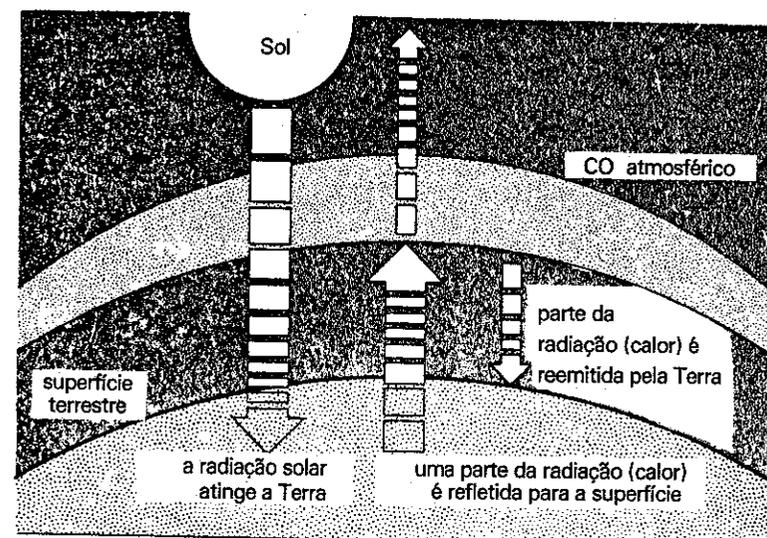


Figura 15 — Representação esquemática do mecanismo do efeito estufa (apud J. Norwine).

Previsões e cenários

A temperatura da superfície terrestre primordial era mais fria que a de hoje apenas 20 a 30°C, conquanto as teorias solares sugeriram que a luminosidade do Sol era 50% inferior à atual. É amplamente reconhecido que esse fato devia-se a um maior efeito estufa causado por uma concentração mais elevada de CO₂ na atmosfera. Esse gás carbônico, emitido pelas atividades vulcânicas, estava presente em concentrações provavelmente mais elevadas antes da evolução dos organismos capazes de fotossíntese e da formação dos carbonatos, que atuaram como redutores da concentração de CO₂. Desse modo, bilhões de anos atrás, muito gás carbônico atmosférico foi convertido em depósitos sedimentares: o carvão, o petróleo e o gás natural são, de fato, os resíduos fósseis dos organismos vivos que fixaram o CO₂ na fotossíntese. Desde então, o clima terrestre sofreu flutuações consideráveis. Épocas glaciais alternaram-se com períodos interglaciais, em ciclos da ordem de 100.000 anos. Pode-

mos dizer, desse ponto de vista, que hoje estamos na metade de um período interglacial relativamente quente, de cerca de 100.000 anos. Durante essas grandes variações climáticas, o nível do mar mudava sensivelmente, a temperatura e as precipitações alteravam a vida. Mas essas variações aconteciam de maneira extremamente lenta (muitos milhares de anos) e a evolução biológica seguia, com igual lentidão, o ambiente mudado.

Flutuações climáticas com periodicidade menor, devidas a diferentes causas, ocorreram ao mesmo tempo que as flutuações longas. Por exemplo, o período 1550-1850 é comumente chamado de "pequena era glacial"; as geleiras européias avançaram como nunca, e 1816 é recordado, na Nova Inglaterra (EUA), como o ano sem verão. Apesar disso, as variações da temperatura média da superfície terrestre, obtidas a partir de dados paleoclimáticos, foram muito pequenas, menos de 1/10 de grau por década, e a diferença entre a temperatura média durante a "pequena era glacial" e hoje foi estimada em cerca de um grau centígrado. Com respeito a essas grandes mas lentíssimas flutuações climáticas, o impacto de combustíveis fósseis usados em larga escala na indústria, de maneira cada vez mais acelerada e em períodos curtíssimos em relação aos tempos biológicos, pode ser extremamente perigoso e complicado de se prever. Os livros que encaram o problema climático do ponto de vista histórico (de resto, excelentes ensaios, como os de Orr Roberts e Lansford², ou de Le Roy Ladurie³) ignoram ou minimizam o papel do gás carbônico proveniente da combustão de fósseis. As atitudes oscilam da fé cega na natureza, capaz de atenuar os danos da atividade humana, a uma fé igualmente ingênua nas tecnologias, para remediar os desequilíbrios provocados. Contudo, as mesmas análises históricas evidenciam incertezas interpretativas notáveis. Um exemplo é o dilema do abandono dos povoados da Mesa Verde e, em particular, da aldeia Kayenta no canhão Betatakin, no Arizona. Algumas teorias atribuíam o abandono da aldeia a uma variação climática caracterizada por um longo período de seca, outras desmentem essa interpretação, atribuindo o abandono à erosão do terreno devida ao arroteamento e ao desmatamento irresponsá-

(2) ORR ROBERTS, W. e LANSFORD, H. *Il ruolo del clima*, Bolonha, Zanichelli, 1981.

(3) LE ROY LADURIE, E. *Tempo di festa, tempo di carestia*, Turim, Einaudi, 1982.

veis e à introdução da agricultura. Permanece o mistério dessa extraordinária ruína e da repentina migração dos Kayenta para o sul, nas montanhas Hopi.

Ademais, salta aos olhos de todos a evidência experimental das "ilhas de calor" urbanas, que podem apresentar temperaturas alguns graus mais altas do que as medidas no campo. Mais um exemplo e uma recordação pessoal: na cidade de St. Louis, onde trabalhei durante certo período, houve um verão quentíssimo e a pluviosidade durante o ano aumentou 15%. O fenômeno foi estudado a fundo e evidenciou o papel de acumuladores de calor, desempenhado pelo asfalto e pelo cimento, e o efeito sinérgico da grande quantidade de combustíveis fósseis queimados. Além do mais, a presença de grandes fontes de poeira atmosférica (atividades industriais, gases de descarga, etc.) despejava no ar partículas que funcionavam como núcleos catalisadores para a formação de gotículas de água nas nuvens.

Embora alguns (poucos) climatologistas ainda sejam céticos quanto à possibilidade de que as atividades humanas possam influenciar fortemente os equilíbrios biológicos, desde o século passado alguns físicos haviam colocado bem o problema do gás carbônico. L. Fourier, em 1827, comparava a atmosfera com uma redoma de vidro; J. Tyndall falava, em 1861, do papel do gás carbônico e do seu efeito estufa; S. Arrhenius, em 1896, estimava que uma duplicação da concentração atmosférica de CO₂ produziria um aquecimento global da ordem de 6°C.

Outros cientistas minimizavam o problema, atribuindo ao oceano a capacidade de absorver todo o gás carbônico produzido industrialmente. Esse ponto de vista foi definitivamente desmentido por duas pesquisas fundamentais: 1) Hans Seuss e Roger Revelle demonstraram experimentalmente a grande lentidão com que as camadas profundas do oceano absorvem o gás carbônico. Disso resulta que até 80% do gás carbônico de origem industrial são acumulados na atmosfera e que, de qualquer maneira, inclusive detendo-se as emissões de CO₂, não será possível restaurar a situação "pré-CO", e bloquear os efeitos negativos antes de muitos séculos; 2) foram instalados aparelhos de grande precisão que, durante muitos anos, registraram a taxa de gás carbônico em Mauna Loa, no Havaí, e nas bases americanas no pólo Sul. Os dados obtidos

demonstraram inequivocamente um aumento exponencial de CO_2 em ambas as estações.

O registro, hoje histórico, de Mauna Loa é reproduzido na Figura 16. As flutuações sazonais dependem da atividade das plantas. A concentração de CO_2 aumentou de 314ppm, em 1958, a 334ppm, em 1978, correspondentes a um aumento líquido de 42 bilhões de toneladas de carbono na atmosfera. Antes da revolução industrial, a concentração de gás carbônico era de cerca de 270 ppm. Nos últimos anos, essas medidas foram efetuadas em todo o mundo e confirmaram o aumento supracitado, evidenciando que os valores mais elevados encontram-se no Norte, correspondendo aos países que fazem maior uso de combustíveis fósseis. Nos próximos 50 anos, está previsto um aumento do uso desses combustíveis nos países industrializados e um rápido incremento desse uso nos países em desenvolvimento do Terceiro Mundo. As conseqüências podem ser extremamente graves. Se continuar a tendência registrada em Mauna Loa, a duplicação da concentração de CO_2 , na atmosfera poderia ocorrer antes de 2030: um tempo infinitesimal, na escala biológica.

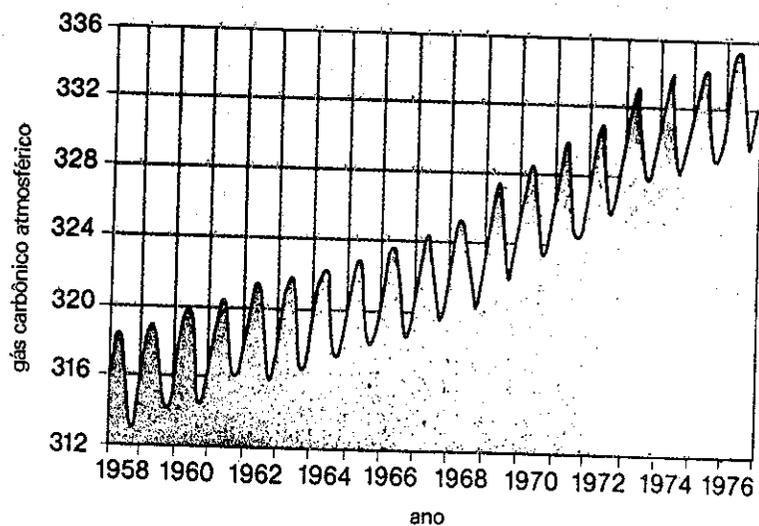


Figura 16 — Evolução da concentração de gás carbônico (em partes por milhão) na atmosfera (apud B. Bolin e R. Allen)

O aumento de gás carbônico na atmosfera provoca, através do “efeito estufa”, um incremento da temperatura da Terra. As estimativas indicam, geralmente, que a uma duplicação de CO_2 corresponde um aumento médio de temperatura de cerca de 3°C , com oscilações de $1,5^\circ\text{C}$ a $4,5^\circ\text{C}$, um aumento de 7 a 8°C no pólo Norte e um incremento do fluxo médio anual de energia radiante de 4 watts por metro quadrado. Esses efeitos são da ordem de grandeza das diferenças de temperatura que separaram as maiores épocas geológicas e podem induzir graves variações físicas e biológicas da mesma magnitude das que caracterizaram tais épocas. Mas, dessa vez, as variações induzidas pelo gás carbônico sucedem no decorrer de poucas décadas: é como se o tempo geológico fosse acelerado, dando lugar a uma rápida e talvez traumática evolução física e biológica.

Todavia, outros fatores podem influenciar a temperatura terrestre e o clima: aerossóis, poeiras, traços de gases, vapor de água, manchas solares. Por essa razão, até há poucos anos aceitavam-se várias teorias sustentadas pelas principais escolas existentes. A primeira, a que pertenceu Landsberg e Griffith, foi denominada a teoria do enfoque “espera-e-veja”: não exclui flutuações climáticas, mas afirma que é impossível fazer previsões. A segunda, cujo maior defensor é Hurd Willet, professor emérito do Massachusetts Institute of Technology, baseia-se na hipótese “solar-climática”. Prevê algumas décadas durante as quais a superfície da Terra sofrerá uma fase de resfriamento até uma brusca volta ao aquecimento, por volta de 2000-2010. Willett deriva suas previsões do estudo dos ciclos das manchas solares. Essa teoria nunca atraiu muitos defensores. A terceira teoria, baseada no efeito estufa, prevê um aumento da temperatura terrestre que começará daqui a 25 anos (é continuará até daqui a 200 anos. As bases gerais dessa hipótese foram lançadas por Kellogg, do National Center for Atmospheric Research (EUA). Kellogg fornece os seguintes dados: CO_2 de 300ppm a 400ppm, em torno de 2000, dobro do CO_2 por volta de 2040. Conclui que “as influências antropogênicas serão dominantes em comparação com os processos naturais de variação climática antes do fim do século” e que “perturbações maiores e mais rápidas que as ocorridas nos últimos 10.000 anos aquecerão a superfície terrestre muito mais que o registrado nos últimos 1.000 anos”.

Hoje, a introdução de refinados modelos matemáticos e a enorme quantidade de dados recolhidos nos últimos anos permitem considerar superada a primeira teoria, muito embora não excluindo fatores de incerteza, devidos à influência de traços de gases diversos (óxido de azoto, ozônio, criptônio, etc.) e de aerossol, cujos efeitos são, muita vez, de sinal oposto, conquanto, no que concerne aos traços de gases, preveja-se hoje um aquecimento comparável ao do CO₂. As três teorias não são consideradas totalmente contraditórias e, todas elas, apresentam bases corretas e razoáveis. O ponto fundamental é que o efeito térmico dos maiores níveis de gás carbônico atmosférico manifestou-se lenta e quase imperceptivelmente até há pouquíssimo tempo; só agora esse efeito começa a distinguir-se do barulho de fundo de outras variáveis climáticas, como é evidenciado pelos mais importantes e recentes estudos, que analisamos rapidamente a seguir.

O climatologista Jim Hansen, diretor do Goddard Space Center, da NASA, e coordenador de um grupo de físicos atmosféricos, aperfeiçoou aquele que é, talvez, o mais elaborado modelo para a previsão do clima futuro⁴. Eis seus dados e suas conclusões: a) o CO₂ chegará ao nível de 600ppm na primeira metade do próximo século, mesmo que o crescimento do uso de combustíveis fósseis seja lento; b) o efeito das atividades antropogênicas (combustíveis fósseis e desmatamento) será um nítido aquecimento da superfície terrestre, dependendo do maior ou menor consumo de combustíveis fósseis.

Hansen levou em consideração 3 cenários (Figura 17). O cenário 1 prevê um crescimento energético rápido (3% ao ano) e duas curvas-limite, a primeira (de cima) válida no caso de recurso a combustíveis sintéticos derivados do carbono e a segunda (de baixo) válida no caso de recurso parcial a combustíveis não-fósseis (energia solar, etc.) o aquecimento global é de 4,5 °C. O cenário 2 prevê um crescimento lento (cerca de metade do caso 1) e um aquecimento de 2,5 °C. O cenário 3 prevê "crescimento energético zero" e um aquecimento de cerca de 1°C.

(4) HANSEN, J. "Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide", *Science*, vol. 213, 1981, p. 957.

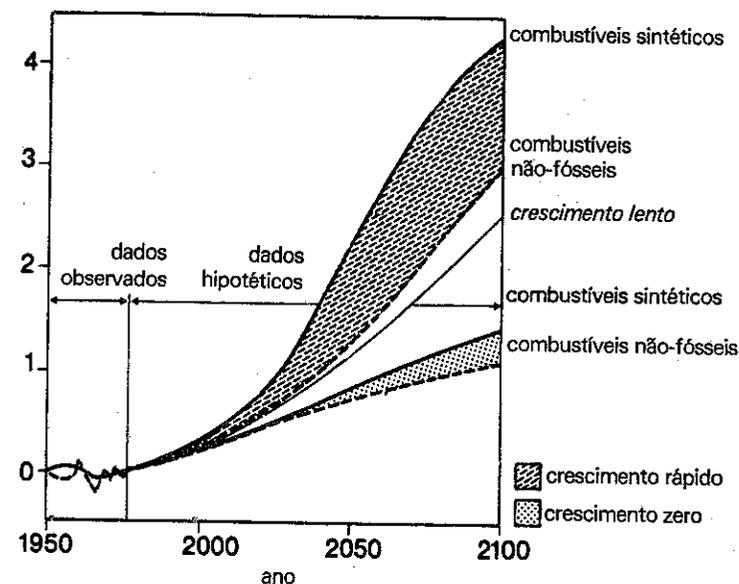


Figura 17 — Aumento da temperatura terrestre segundo três cenários possíveis (apud J. Hansen).

Roger Revelle, ex-presidente da AAAS (American Association for the Advancement of Science), prevê⁵ um aumento da temperatura média superficial mundial de 2,8 °C, devido ao gás carbônico, com "modificações climáticas que poderiam ser desastrosas" e acrescenta que "é lícito supor que o aquecimento da superfície dissolverá a neve e o gelo, reduzindo o albedo, ou seja, a refletividade da Terra." "Teríamos, então, maior absorção de radiação solar, o que levaria a novo aumento da temperatura." Revelle analisa o modelo proposto por Syukuro Manabe, Richard Wetherald e Ronald Stouffer, da Princeton University: "Dobrando o CO₂ atmosférico, as modificações climáticas previstas pelo modelo são mais marcantes do que qualquer outra modificação ocorrida desde o fim da última era glacial, há cerca de 12.000 anos. Não se deve excluir que as temperaturas mundiais atinjam níveis nunca experimentados pelo homem civilizado. Essas temperaturas elevadas persisti-

(5) REVELLE, R. "Anidride carbonica e clima", *Le Scienze*, nº 170, outubro/1982.

riam durante centenas de anos, até que a lenta absorção pelos oceanos retirasse da atmosfera o gás carbônico em excesso." Manabe admite que seu modelo ainda é "muito grosseiro", mas acrescenta: "Ficarei muito surpreso se o aquecimento pelo efeito estufa não se verificar." O modelo tridimensional de Manabe prevê, com a duplicação de CO₂, um aumento de cerca de 3°C, amplificado para de 8 a 10 °C nas regiões polares. Modelos mais simplificados indicam um incremento de cerca de 2 °C.

Na Itália, o coronel Andrea Baroni, do serviço de meteorologia da aeronáutica, nota que "as chuvas tornaram-se mais raras, mas também muito mais violentas, a seca é mais marcante, todo acontecimento atmosférico é muito acentuado, primavera e outono encurtaram notavelmente, ou, melhor, quase não existem mais". E acrescenta: "Nos últimos 50 anos, a temperatura média do ar aumentou 2 °C no hemisfério norte. Dois graus em tão pouco tempo assim é muito, muitíssimo. O responsável é o gás carbônico acumulado na atmosfera. Em 2050, essa acumulação terá mais que dobrado, devido ao consumo crescente de combustíveis fósseis. No próximo século, teremos intensidades máximas de gás carbônico que farão o clima sofrer alterações nunca antes verificadas. Será um período extremamente quente, sujeito a verdadeiras calamidades atmosféricas. O aumento da temperatura acarretará a fusão das grandes geleiras polares, o nível do mar aumentará e poderá submergir as localidades costeiras mais baixas."

O estudo mais detalhado e aprofundado do problema do CO₂ saiu em 1982, sob a responsabilidade da National Academy of Science e do National Research Council dos Estados Unidos. O estudo⁶ de que participaram várias dezenas de cientistas das mais importantes universidades americanas e de outros institutos de pesquisa, segue um estudo parcial precedente, conhecido como "relatório Charney", feito pelas mesmas entidades em 1979, e leva às seguintes conclusões fundamentais: a) foi inequivocamente observada uma variação significativa nas duas últimas décadas: a quantidade de gás carbônico aumentou; b) queimando combustíveis fósseis e convertendo florestas em terrenos agrícolas e cidades, o homem

transfere carbono para a atmosfera; c) o aumento de CO₂ pode modificar o clima do globo, os sistemas biológicos que são a base da vida, a agricultura e a sociedade global, cada vez mais interdependentes; d) o relatório discute dois estudos que concluíram que o efeito do aumento de CO₂ sobre a temperatura da superfície terrestre será menor do que o estimado pela maioria da comunidade científica e conclui que tais estudos são incompletos e não têm validade; e) as temperaturas observadas nas superfícies de Marte, de Vênus e da Terra confirmam a existência e a magnitude do efeito estufa; f) o relatório Charney de 1979 dava uma estimativa de cerca de 3°C para o aquecimento global médio devido à duplicação do CO₂: nenhuma revisão substancial dessa conclusão é necessária, o aquecimento será duas a três vezes maior nos pólos e, em particular, na região ártica, com a conseqüente diminuição das geleiras; g) o derretimento das neves chegará antes e as nevascas começarão mais tarde (redução da primavera e do outono); h) os cenários (modelos climáticos hipotéticos em função do espaço e do tempo) podem ser instrumentos utilíssimos, podendo ser tomadas decisões de imensa importância social e econômica com base em experiências-modelo.

O frágil equilíbrio das florestas tropicais

A cada minuto, 22 hectares de florestas tropicais desaparecem em todo o mundo pela intervenção do homem; a cada dia, 31.000 hectares são desmatados; a cada ano, cerca de 11 milhões e meio de hectares são definitivamente perdidos. Ao ritmo de destruição atual, as florestas tropicais desapareceriam completamente no breve período de uma vida humana: 85 anos. E desapareceria o pulmão necessário para a manutenção da vida na Terra. Prevê-se que na Ásia sul-oriental, onde é mais forte a pressão demográfica, que obriga as populações em aumento a criarem novas terras cultiváveis para si, destruindo bosques, as florestas poderiam desaparecer até mesmo daqui ao fim do século. A única exceção é a China, onde, nos últimos três decênios, foi reflorestada uma área de meio milhão de quilômetros quadrados.

(6) National Academy of Science, *Carbon dioxide and climate: a second assessment*, Washington, National Academy Press, 1982.

O desaparecimento das florestas tropicais, ecossistemas com milhões de variedades de plantas e de animais que mantêm em equilíbrio o ciclo natural da produção de oxigênio e da absorção do gás carbônico, provocaria verdadeiros cataclismos, inclusive nas regiões do mundo mais distantes delas. Além disso, uma grave consequência da conversão das florestas tropicais em terreno agrícola é que, em poucos anos, o húmus se degrada por efeito da luz solar, é lavado, e o terreno, antes fertilíssimo, transforma-se em deserto.

A destruição das florestas, que incorporam 19 a 20 vezes mais carbono por superfície unitária em relação às terras de cultivo ou de pastagem, imite, pois as quantidades de gás carbônico na atmosfera que poderiam chegar à mesma ordem de grandeza das provenientes de combustíveis fósseis. As análises de Woodwell⁷ mostram que a biomassa, ao invés de continuar a ser um reservatório, tende a ser uma fonte de gás carbônico tão grande quanto os combustíveis fósseis (de 2 a 5 bilhões de toneladas por ano).

B. Bolin também afirma que o aumento de gás carbônico na atmosfera deve-se, em parte, ao desmatamento (lenha para queimar e para uso industrial) e à conversão de florestas em terrenos para agricultura. É precisamente este o fator limitativo fundamental: o aumento demográfico requer, de fato, maior extensão de terras de cultivo para produzir alimento, mas a passagem de floresta a terreno agrícola diminui drasticamente a quantidade de carbono na biomassa terrestre e, portanto, aumenta o gás carbônico na atmosfera, com o conseqüente aumento da erosão e da desertificação no mundo e as variações climáticas que prejudicam a agricultura e diminuem, em última análise, a produção de alimentos. Em outras palavras, não é pensável uma sobrevivência das atividades agrícolas e do próprio equilíbrio biológico na Terra, se as atuais áreas florestais, já reduzidas, não forem preservadas. Bolin também assinala que as variações das florestas nos países desenvolvidos, inclusive seus programas de reflorestamento, globalmente, não representam um significativo fluxo líquido de carbono para a atmosfera, nem positivo, nem negativo.

O dano mais grave está se verificando, à parte na Amazônia,

(7) WOODWELL, G. M., em *Science*, vol. 199, 1978, p. 141.

PAÍS	floresta existente (1982)	velocidade de perda anual
Nicarágua	28 000 km	1 000 km
Guatemala	26 300 km	600 km
Panamá	22 000 km	500 km
Honduras	20 000 km	700 km
Coísta Rica	16 000 km	600 km
Belize	9 800 km	32 km
México	8 000 km	600 km
El Salvador	0 km	0 km
Total	130 100 km	4 032 km

Tabela 2. Evolução do desmatamento nos países centro-americanos.

no México e na América Central, onde 2/3 das florestas já foram destruídas, com a perspectiva de uma destruição total em 20 anos. As florestas pluviais tropicais são transformadas em pastagens para uso e consumo dos cidadãos estadunidenses e de suas necessidades de carne. Dois ecologistas americanos, James Nations e Daniel Komer intitularam um artigo: "*As florestas pluviais e a sociedade dos hambúrgueres*". A análise deles é uma verdadeira denúncia. Dela emergem notícias perturbadoras: a) em El Salvador, as florestas já foram completamente destruídas, reduzidas a zero; b) nos outros países centro-americanos, o desmatamento chega a até 1.000 km² por ano (Tabela 2); c) na América Central, 90% da população produzida pelo aumento demográfico estabelecer-se-á em zonas ora cobertas por florestas tropicais; d) generosos empréstimos são oferecidos pelos governos e bancos para a transformação da floresta em zonas agrícolas: após uma ou duas colheitas de milho, arroz e mandioca, o terreno fragilíssimo, antes coberto pela floresta pluvial, já não está em condições de produzir culturas e é transformado em pastagens, que produzirão "hambúrguer para os Estados Unidos", durante cerca de 10 anos, para depois reduzir-se a deserto; e) mais de 90% da carne produzida é exportada para os Estados Unidos, e os americanos consomem hambúrguer sem saber que "estão consumindo tucanos, tapires e florestas tropicais." Essa

(8) NATIONS, J. e KOMER, D. "Rainforest and the hamburger society" *Environment*, n.º 3, 1983, p. 12.

exploração começou no pós-guerra, por iniciativa das grandes indústrias alimentícias estadunidenses.

No período precedente, as florestas eram exploradas principalmente pelo mogno e o cedro tropical, depois veio o "caso hambúrguer", administrado por poucos proprietários fundiários da América Latina; a FAO mostra que 7% dos proprietários fundiários controla 93% da terra; na Guatemala, 2,2% da população possui 70% da terra agrícola (café, banana e pastagens); Anastasio Somoza possuía, na Nicarágua, 23% do terreno cultivável.

É interessante notar que o rendimento por hectare, após apenas 5 anos é de 10kg de carne por ano, enquanto os maias lacandones, com seu sistema agrícola tradicional, produzem 6t de milho por hectare, por ano, e 5t de vegetais e raízes comestíveis. Esses rendimentos, além disso, mantêm-se por 7 anos consecutivos, depois do que a terra é abandonada por 10 anos, alternando ciclos de agricultura e de floresta no mesmo terreno. Isso é possível pelo tipo de cultura mista (cacau, abacate, mamão, seringueiras e citrinos), que conserva o húmus da floresta pluvial e a usa como recurso renovável.

Enfim, vale a pena recordar que, durante a guerra do Vietnã, perderam-se, por causa de bombardeios ou pelo efeito dos herbicidas, cerca de 100.000km² de floresta.

O problema do ozônio

A molécula do ozônio é formada por 3 átomos de oxigênio unidos num difícil e inusitado casamento. O ozônio atmosférico, 97% dele concentrado na estratosfera, absorve fortemente quase todo o espectro das radiações ultravioleta, graças ao que essas radiações não chegam à Terra, muito embora a concentração de ozônio seja baixa. Já os grandes comprimentos de onda do ultravioleta, o ozônio só os absorve parcialmente: trata-se da chamada região UV-B, de 29.000 a 32.000 nanômetros. Se o ozônio for reduzido em 10%, a radiação UV-B que chega ao solo aumenta 20%, e assim por diante. Esse tipo de radiação ultravioleta é a causa do agradável bronzeamento solar, mas pode provocar, se em dose apenas um pouco maior, vários tipos de câncer da pele e, em particular, uma

forma muito grave, que é o melanoma. Outros danos são previstos para os ecossistemas naturais: mutações, inibição parcial da fotossíntese, redução do crescimento das plantas.

A parte de ozônio presente na estratosfera, tão fundamental para a proteção das nossas vidas, pode ser diminuída pela transformação microbiana de fertilizantes azotados e pelos óxidos de azoto emitidos pelos aviões supersônicos: esses dois efeitos, no entanto, parecem desprezíveis. Ao contrário, os efeitos dos clorofluorometanos (CFM, conhecidos como freon) são particularmente graves. Trata-se de gases inertes (usados como aerossol-spray em lata, mas também como fluidos frigoríficos nos condicionadores e nos refrigeradores) que chegam à estratosfera sem sofrer danos ou modificações. Na estratosfera, essas moléculas são desagregadas pela radiação ultravioleta, produzem cloro e iniciam uma reação em cadeia que destrói o ozônio.

As previsões, com base na emissão de freon em 1973, indicam uma diminuição da concentração de ozônio de 14% e um aumento da radiação ultravioleta na Terra de 28%, com um incremento de idêntica proporção do número de cânceres da pele. Nos Estados Unidos, com base nessas previsões, o uso de tais produtos foi proibido desde 1978, na Suécia, desde 1979. Os outros países europeus ainda não legislaram a esse respeito.

O problema é extremamente sério dada a baixa concentração e a extrema instabilidade do ozônio em presença de traços de clorofluorometanos, inclusive porque se o mecanismo de destruição do ozônio fosse iniciado de modo decidido não haveria remédio possível. Um efeito colateral dos clorofluorometanos é o de aumentar o efeito estufa; Ramanatham indica um aquecimento significativo causado por poucas partes por bilhão de CFM.

As chuvas ácidas

Os efeitos previstos do contínuo e acelerado consumo de combustíveis fósseis são inúmeros e complicados. A dimensão planetária de tais efeitos pode, seguramente, perturbar o equilíbrio do planeta (balanço energético, clima, agricultura, etc.), com graves conseqüências para a humanidade. Os produtos químicos emitidos pe-

los combustíveis fósseis que mais concorrem para a agressão do ambiente são o CO_2 e seu "efeito estufa", os óxidos de enxofre e de azoto e a "chuva ácida" deles derivada. Muitos cientistas consideram que as "três bombas-relógio ambientais" são, precisamente, o "efeito estufa", a "chuva ácida" e a poluição por substâncias químicas tóxicas.

O carvão e o petróleo, juntamente com os escapamentos dos automóveis, são as fontes ambientais de óxidos de enxofre e de azoto. Hoje, uma central termelétrica a carvão pode emitir, num ano, até 400.000 toneladas de dióxido de enxofre (SO_2). Em 1980, os Estados Unidos imitiram na atmosfera 26 milhões de toneladas de SO_2 e 22 milhões de toneladas de óxidos de azoto; a Itália produz cerca de 2 milhões de toneladas de SO_2 por ano. Estados Unidos, Canadá e Europa produzem, em um ano, mais de 100 milhões de toneladas de SO_2 .

Esses óxidos entram em circulação, são englobados pelas nuvens e, depois, transformados pelas águas meteorológicas em ácido sulfúrico e ácido nítrico. A chuva ácida assim formada pode cair até mesmo a muitas centenas de quilômetros de distância.

Os ecossistemas aquáticos (lagos, rios) são os mais sensíveis à chuva ácida. Muitos lagos dos Estados Unidos e do Canadá sofreram danos irreversíveis. Na Suécia, 4.000 lagos ficaram sem peixes e 14.000 foram acidificados de maneira notável. Responsáveis por isso são as chaminés do noroeste dos Estados Unidos e as fábricas do cinturão industrial da Europa setentrional, no que concerne à Escandinávia. Em geral, todo o hemisfério norte industrializado é vitimado pelo fenômeno, com exceção de algumas áreas geográficas que toleram a chuva ácida graças ao efeito neutralizador do solo.

A Figura 18 mostra os efeitos da chuva ácida em alguns animais aquáticos. A escala mostra vários valores de acidez expressos em potencial de hidrogênio (pH)⁹. O pH neutro é 7 (correspondente à água destilada): valores menores de pH indicam acidez, valores mais elevados, alcalinidade (ou basicidade). Nota-se que a acidez da chuva tende a aumentar e que, já em valores entre 5 e 4,5 de pH,

(9) O pH, ou potencial de hidrogênio, é uma medida convencional para exprimir o grau de acidez (ou alcalinidade) das soluções aquosas em função de concentração dos íons de hidrogênio.

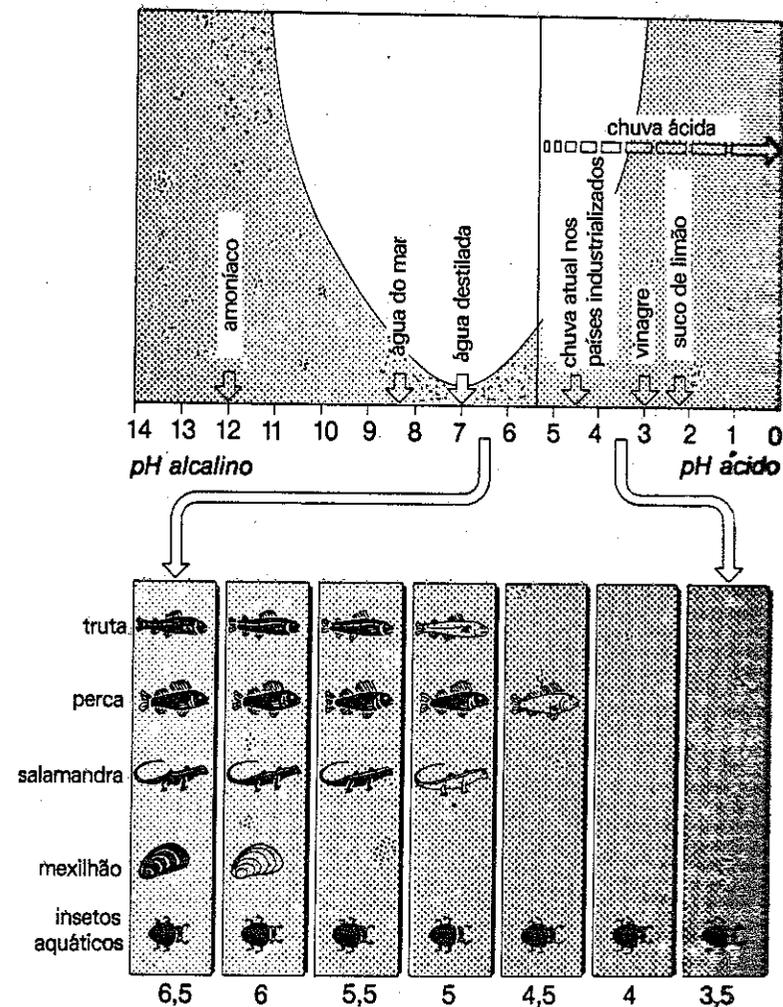


Figura 18 — Representação esquemática dos efeitos da chuva ácida em alguns animais aquáticos (apud A. La Bastille).

os peixes não podem mais viver. Os moluscos morrem com $\text{pH} = 6$; só algumas baratas d'água sobrevivem a pH ácidos. A acidez da chuva está aumentando: em 1979, a neve que caía sobre o estado de Montana (EUA) tinha $\text{pH} = 2,6$; na Escócia, respira-se uma névoa com $\text{pH} = 2,5$; em Milão, em janeiro de 1983, caiu chuva com $\text{pH} = 3,6$. Danos suplementares aos animais, às plantas e ao homem derivam do fato de que as chuvas ácidas tornam móveis alguns metais pesados perigosíssimos: mercúrio, chumbo, cádmio, níquel e plutônio.

Além disso, as chuvas ácidas modificam os conteúdos químicos do solo, privando as raízes das plantas de seu alimento. A Figura 19 ilustra esse fenômeno: cálcio e potássio, essenciais para as plantas, são lavados do solo; o pH variou de 1 unidade e meia num século. Alguns estudos evidenciaram uma perda de 50% nas culturas e maior vulnerabilidade das folhas às doenças. Beate Weber, parlamentar européia da Alemanha ocidental (RFA), denunciou que, em seu país, foi danificada uma superfície florestal de 560.000 hectares.

Outros efeitos das chuvas ácidas relacionam-se ao ataque a edificações, das pontes de aço aos monumentos. A lista das obras danificadas inclui as cariátides da Acrópole de Atenas, os templos egípcios, os cavalos de São Marcos em Veneza, as igrejas de Cracóvia, a catedral de Colônia. Na Suécia, os prejuízos por corrosão chegam a 800 milhões de dólares. Enfim, a divisão de epidemiologia do Brookhaven National Laboratory estima entre 7.500 a 120.000 as mortes, por ano, nos Estados Unidos, devidas aos derivados ácidos do enxofre emitidos por combustíveis fósseis e atribuídos às chuvas ácidas muitas doenças do aparelho respiratório (asma, enfisema, bronquites crônicas, etc.).

Querendo-se, as soluções existem: a) reduzir o consumo energético; b) empregar combustíveis limpos ou renováveis (metano, Sol, biomassas); c) usar tecnologias para a redução do SO_2 . Além do mais, criar-se-iam, com isso, novos empregos e os custos para reduzir as emissões seriam sem dúvida nenhuma inferiores aos custos ocultos, em termos de prejuízos à agricultura, ao ecossistema e de corrosão, que a chuva ácida está fazendo a sociedade pagar.

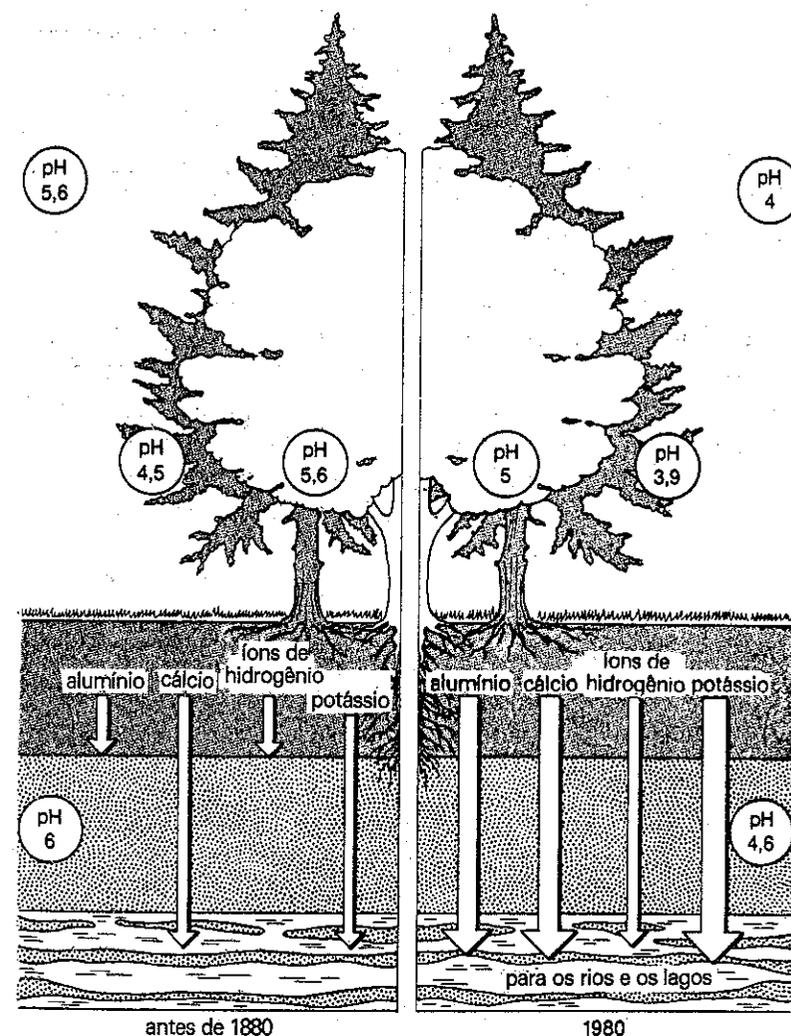


Figura 19 — Variação do conteúdo químico do solo provocada pelas chuvas ácidas antes de 1880 e depois de 1980 (apud A. La Bastille).

Clima e sociedade

Durante recente viagem ao espaço, um astronauta, vendo o planeta Terra de longe, notou que “a atmosfera que envolve a Terra está tão poluída que perdeu limpidez e transparência”.

Problemas tão complexos como o do ozônio estratosférico, o das chuvas ácidas e, a nível planetário, o do efeito estufa do CO₂ exigem medidas urgentes e imediatas. De fato, o que está em jogo são problemas com repercussões de extrema gravidade sobre o conjunto da sociedade: variações irreversíveis do clima, danos aos equilíbrios ecológicos, diminuição da produção de alimentos na Terra.

A Figura 20 mostra a evolução da temperatura global média no decorrer dos milênios. Esperava-se, para os próximos anos, um período de resfriamento natural, mas o efeito estufa está provocando um período *super-interglacial*, com a possibilidade de atingir, no próximo século, “as mais elevadas temperaturas do último milhão de anos.” Isso significa derretimento das geleiras polares, elevação do nível do mar de 6 a 50m, inundação das cidades costeiras e das planícies agrícolas: as “gôndolas em Nova Iorque”, como escreve *Environment*, e a abertura da fabulosa “passagem para o Noroeste.”

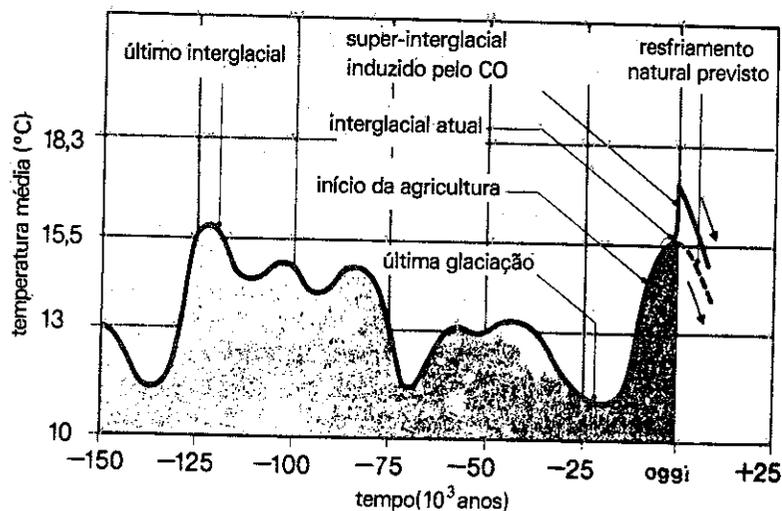


Figura 20 — Evolução da temperatura média da Terra em função do tempo (apud J. Mitchell e J. Norwine).

te.” O CO₂ também fará aumentar a quantidade de vapor de água, e a umidade da atmosfera contribuirá, por sua vez, ao efeito estufa. O resultado conjunto disso será um novo aumento da temperatura e o desaparecimento das estações intermediárias: grandes secas estivas e processos de desertificação nas áreas semi-áridas do mundo, mas também na Europa meridional (já se está registrando uma tendência neste sentido na Espanha e na Itália meridional).

As mais prejudicadas serão as regiões próximas dos desertos e os países do Terceiro Mundo com agricultura precária. Em 1983, a seca já atingiu Gana e Costa do Marfim, enquanto o harmatã — o vento quente de areia do deserto — provocou desastres suplementares. O processo de desertificação da África, certamente associado ao CO₂, já começou. As terras aráveis, se o processo continuar, se deslocarão para os pólos: o sul do hemisfério setentrional, os países tropicais e o Terceiro Mundo pagarão pelas atividades industriais e pelo absurdo consumo energético dos países industrializados. O CO₂ ameaça fazer com que nosso planeta se torne uma “estufa deserta” e comprometer seriamente a produção de alimentos para a população mundial em aumento.

“Temos razões de sobra para dizer que o gás carbônico é a substância mais importante do mundo”, observa Roger Revelle. Mas, depois, propõe soluções absurdas, com conseqüências ambientais e sociais imprevisíveis: deslocamento das cidades litorâneas, construção de grandes obras nas maiores bacias fluviais, transferência de águas de um vale para o outro, emprego de novos produtos agrícolas criados pela engenharia genética. Com isso, põe-se de novo a rondar o espectro do aprendiz de feiticeiro, que não quer renunciar ao poder carismático (mas impotente diante de problemas de dimensão planetária) da tecnologia. Ainda que não se queira levar em conta as repercussões sobre o trabalho e os costumes das sociedades humanas, não se pode ignorar que seriam necessários milhões de anos para a maioria das espécies animais e vegetais se adaptarem geneticamente a essas variações quantitativas tão velozes da temperatura terrestre, e que essas variações provocariam a extinção de muitíssimas formas de vida vegetal e animal.

Se, ao contrário, a sociedade humana quiser determinar o curso do seu próprio futuro e a vida deste indispensável planeta, deve-

rá fazer sua a conclusão principal da National Academy of Science dos Estados Unidos: "O fator limitativo primário na produção de energia a partir de combustíveis fósseis nos próximos séculos poderia ser constituído pelos efeitos climáticos da liberação de gás carbônico." Portanto, transição de fontes energéticas fósseis a fontes energéticas renováveis e limpas e limitação do crescimento energético sem fim.