

ASTROFÍSICA, CLIMA E TECNOLOGIA

II. Aparecimento de vida na Terra *

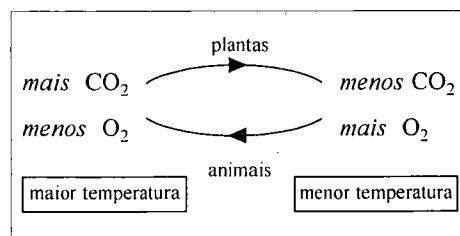
GEORGE MARX

Departamento de Física Atómica, Universidade de Eötvös, Hungria

Sempre se soube que o ambiente influi decisivamente sobre a vida na Terra. Uma escola de cientistas sugeriu recentemente o contrário: a Terra seria aquilo que a vida quer que ela seja. É a hipótese de Gaia. Segundo a hipótese de Gaia, a Terra pode-se considerar um organismo vivo capaz, pelo menos em parte, de se auto-regular. A Tecnologia humana ameaça o equilíbrio existente.

Gaia

A regulação biológica do clima pode descrever-se de modo simples através do ciclo esquemático:



As rochas vulcânicas (CaSiO₃) são atacadas pela *chuva ácida* (H₂CO₃) que cai nos continentes, convertendo-se gradualmente, por reacção química, em CaH₂ (CO₃)₂ que é solúvel. A velocidade desta reacção é muito maior no solo (poroso/granular, expondo uma maior superfície à reacção química) do que em rochas isoladas. Devido à assimilação orgânica, a concentração de CO₂ torna-se muito mais elevada no solo do que no ar livre. Estão também presentes no solo fortes ácidos orgânicos (ácido fórmico, etc.), que se juntam ao ácido carbónico. Consequentemente, a acção erosiva da atmosfera pode tornar-se 500 vezes mais intensa *devido à existência de vida na Terra*, resultando uma regulação da temperatura mais eficaz.

Segundo a mitologia grega, do casamento de Caos e Eros resultaram dois filhos: Urano (Céu) e Gaia (Terra). Destes

nasceram Cronos (Tempo) e Reia, que por sua vez procriaram Zeus e Hera, representando simbolicamente a humanidade "mal agradecida". A ideia de que a *regulação biológica do clima torna a Terra habitável*, é uma explicação emocionalmente atraente, colocando o nosso planeta num estado de excepção. William Golding propôs o nome de Gaia *para a Terra sustendo vida*. A ideia foi desenvolvida por James E. Lovelock aquando da missão Viking a Marte, procurando em vão, nesse planeta, indícios de vida. O modelo foi posteriormente mais elaborado nos seus detalhes científicos por David Schwartzmann e outros.

Nascimento de Gaia

A explicação da origem da vida que se encontra nos livros de texto deve-se essencialmente a Stanley Miller. Ele mostrou *in vitro*, numa célebre experiência, que compostos ricos em hidrogénio (CH₄, NH₃, H₂O), quando recebem *energia livre* (faíscas, luz ultravioleta) podem

* A parte I, sobre «O Sistema Solar», foi publicada no n.º 4 da Gazeta de Física, 1994, págs. 7-12. A Direcção da Gazeta de Física agradece as autorizações recebidas do Prof. George Marx, da Universidade de Eötvös, Hungria, e do Prof. L. Chainho Pereira, da Universidade do Minho, para a tradução e publicação deste artigo.

Tradução de J. Bessa Sousa

Nascimento de Gaia

A fragilidade de Gaia

A revolução industrial

O efeito de estufa

Impacto do aquecimento

Que futuro?

produzir moléculas do tipo $H-C \equiv N$ e $H_2C=O$, que são também observadas no espaço exterior. Estas moléculas possuem ligações múltiplas ricas em energia (“activadas”), podendo por isso polimerizar na água. Originam desse modo açúcar, celulose, polipeptídeos, mesmo ácidos nucleicos, que são considerados os precursores directos das estruturas *auto-replicas*.

Há porém um problema: aquando da solidificação da crosta terrestre, ainda em fusão, quando se formaram os oceanos (há 3,9 mil milhões de anos ...), não existia qualquer atmosfera redutora rica em hidrogénio. A Terra possuía então uma camada envolvente de CO_2 e H_2O . Uma atmosfera redutora (H_2 e CH_4) apenas pode existir muito longe do Sol, não havendo aí qualquer oceano líquido!

Para conciliar estes pontos, os cientistas voltaram-se para os cometas, onde encontraram a chave do problema. Os cometas são essencialmente constituídos por H_2O , NH_3 , CH_4 , CO_2 . O cometa Halley é negro, o que indica a polimerização HCN. Uma possibilidade admitida é a de que o impacto dos cometas enriqueceu os pântanos terrestres em materiais redutores vindos do espaço. Uma ideia mais temerária propõe que o decaimento radioactivo do núcleo ^{26}Al conseguiu fundir os núcleos dos cometas gigantes existentes nos primeiros milhões de anos após a explosão da supernova. O oceano assim formado no interior do cometa constituía uma fonte apropriada de energia livre sob a forma de radioactividade. O isolamento térmico propiciado pela camada envolvente do cometa pode ter mantido o oceano interno no estado líquido por um período tão longo como mil milhões de anos, dando uma oportunidade para a emergência da vida. O impacto de tal cometa gigante poderá ter “infectado” de vida a nossa Terra.

“Água líquida em presença de compostos redutores”, eis as duas *condições necessárias* que indicam que a vida é um fenómeno delicado tendo emergido do contacto do Céu com a Terra (Urano e Gaia). Mais tarde, a vida teve de sobreviver sem essa providência celeste, “teve de inventar” a fotossíntese para se manter. As plantas verdes alimentadas pela luz solar extraíram gradualmente CO_2 da atmosfera, diminuindo o efeito de estufa. O efeito de extracção de gases da atmosfera conseguiu compensar, quase exactamente, o aquecimento devido ao Sol, de modo a manter a temperatura terrestre estável durante 3,6 mil milhões de anos ou até mais.

A fragilidade de Gaia

A ocorrência das épocas glaciares mostra que o termostato terrestre não está, afinal, à prova de todo o tipo de avarias. Através da perfuração dos gelos antárticos, na

estação polar de Vostok, verificou-se que nas *idades do gelo* a temperatura média era cerca de $4^\circ C$ mais baixa, e simultaneamente a concentração de CO_2 na atmosfera era também menor (cerca de metade do valor actual). Qual poderá ser a explicação das repetidas oscilações climáticas?

Milankovich tentou explicar estas alterações climáticas através do movimento de precessão da Terra. Na idade glacial (por exemplo, há cerca de 10 000 anos) a Terra atingiu o afélio da sua órbita quando era Inverno no hemisfério Norte. Observe-se que este hemisfério está dominado pelos oceanos.

A reduzida insolação no Inverno produziu uma extensa (e durável) camada de neve que aumentou o albedo e levou consequentemente a uma redução da temperatura média. Os invernos no hemisfério Norte são hoje mais suaves porque a Terra está num ponto da sua órbita mais próximo do Sol. A reduzida camada de neve (restrita aos polos ...) significa uma menor reflexão da luz solar pelo nosso planeta, resultando numa temperatura média mais alta (Fig. 5).

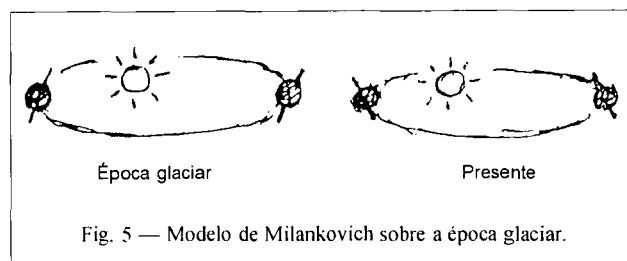


Fig. 5 — Modelo de Milankovich sobre a época glacial.

Apesar de ser uma hipótese atraente, os factos mostram que a excentricidade da órbita terrestre é demasiado pequena para produzir tais efeitos em larga escala e magnitude. Admite-se hoje que o mecanismo de Milankovich pode apenas desencadear, mas não causar, as alterações climáticas globais. A chave para a explicação das épocas glaciares reside na observação de que nos períodos gelados a concentração de CO_2 na atmosfera era apenas metade do valor actual (Fig. 6).

A camada superior do oceano, com cerca de 1 km de espessura, é inundada pela radiação solar, está *cheia de vida* e é rica em CO_2 . Por sua vez, a camada profunda do oceano é escura, sem vida e pobre em CO_2 . Sabe-se hoje que cerca de metade do CO_2 emitido para a atmosfera pelos vulcões, pelo metabolismo biológico e pela actividade industrial, é absorvido pelos oceanos. A intensidade desta captação oceânica depende, em última análise, da rapidez com que o CO_2 é transportado das camadas supe-

riores, um tanto saturadas, para as camadas inferiores diluídas. Esta *bombagem* é justamente realizada, de modo vigoroso, pela corrente do Golfo.

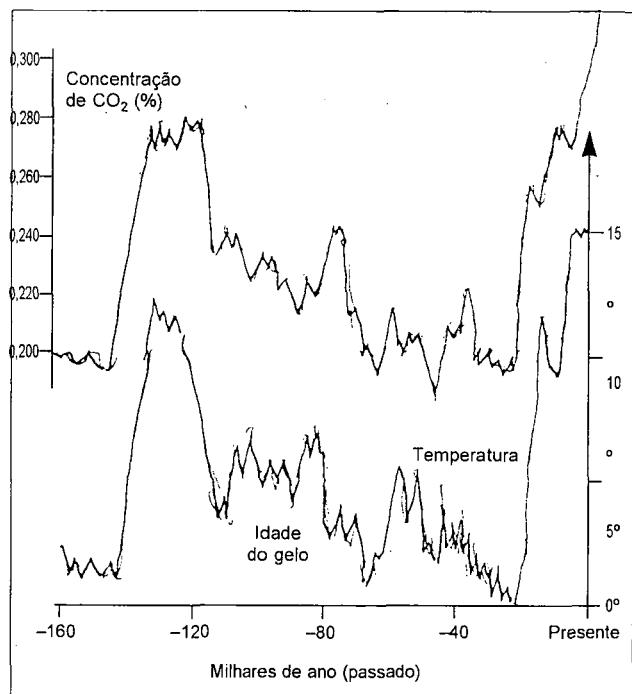


Fig. 6 — Evolução da concentração de CO_2 e da temperatura no passado.

A corrente do Golfo transporta $1 \text{ km}^3/\text{min}$ de água, o que equivale a dez vezes a intensidade de todos os rios existentes. A corrente parte do golfo do México, fluindo na direcção nordeste até ao Ártico, expondo-se aos ventos secos e gelados dessa região. A água mais quente da corrente do Golfo evapora-se mais rapidamente do que as águas árticas geladas. A salinidade da primeira aumenta neste processo, e concomitantemente a sua densidade; por isso essa água submerge, levando consigo o respectivo teor de CO_2 . No golfo do México, a água com baixo teor de CO_2 emerge à superfície. A corrente do Golfo é uma gigantesca máquina térmica, funcionando devido à diferença de temperatura existente entre o México e a Noruega. Esta *máquina* bombeia o CO_2 do ar para as profundezas do oceano. Um aumento da diferença de temperatura aumenta o rendimento termodinâmico da máquina, levando-a a extrair mais CO_2 da atmosfera (Fig. 7).

Através da simulação computacional, é possível verificar que uma duplicação do teor de CO_2 na atmosfera significaria um aquecimento de 1°C no equador e de cerca de 10°C no círculo ártico, devido à consequente fusão da camada de gelo; resultaria um acréscimo global médio de 3°C . Com um clima mais frio (numa idade do gelo) há mais neve nos continentes, mais gelo nos oceanos, e por

isso a região ártica torna-se muito mais fria do que actualmente. Em contrapartida, a camada tropical é menos afectada pela flutuação climática.

Isto significa que o esfriamento do clima torna maior a diferença de temperatura em jogo, que a máquina da corrente do Golfo funciona mais eficazmente, e que a extracção de CO_2 se torna mais intensa. Uma diminuição do teor de CO_2 significa um enfraquecimento do efeito de estufa, um clima ainda mais frio, isto é, ocorre uma *realimentação positiva* (“positive feedback”). As descidas de temperatura e da concentração atmosférica de CO_2 evoluem em paralelo, como se observa durante os períodos de glaciação. (Adicionalmente, poderemos ter uma bio-amplificação de uma era glacial, do modo seguinte. Na era glacial deposita-se mais gelo sobre os continentes. O mar em recessão expande consequentemente os continentes. Os rios tornam-se mais extensos dissolvendo mais fósforo, os *planctons* oceânicos passam a ter mais nutrientes, crescem e espalham-se mais, consumindo mais CO_2 ... e arrefecendo ainda mais o clima).

Por outro lado, um aquecimento global reduz as diferenças de temperatura referidas. A corrente do Golfo torna-se menos eficiente, bombeando menos CO_2 para as profundezas oceânicas. A emissão vulcânica de CO_2 não o consegue extrair completamente, resultando um maior efeito de estufa e um consequente aquecimento. Temos também, neste caso, uma *realimentação positiva*.

De acordo com os dados existentes, o clima está numa fase de aquecimento, o mar Ártico está hoje menos salgado do que na década de 60. Isto indica menos evaporação proveniente da corrente do Golfo, devido a menores diferenças de temperatura no mar Ártico. Consequentemente, diminuiu o efeito de bombagem da corrente do Golfo.

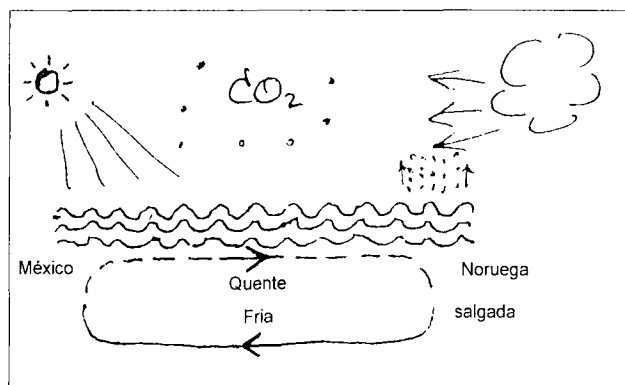


Fig. 7 — A “máquina térmica” proporcionada pela corrente do Golfo.

Deve observar-se que uma corrente oceânica constitui um sistema dinâmico instável. O Pacífico Norte é mais

frio do que o Atlântico Norte,¹ por isso não há quaisquer correntes intensas fluindo para norte, portanto o Pacífico Norte é mais frio. Se a corrente do Golfo parar... pode não voltar a fluir.

A revolução industrial

Na última idade glacial a concentração de CO₂ era metade do valor actual, sendo a temperatura média aproximadamente 4°C mais baixa. No século XX observamos o crescimento acelerado da concentração de CO₂ na atmosfera, devido evidentemente à utilização muito mais intensiva dos combustíveis fósseis que, por combustão, libertam quantidades apreciáveis de CO₂. O quadro seguinte dá bem a ideia do aumento sistemático da concentração de CO₂ na atmosfera:

Ano	% de CO ₂	Ano	% de CO ₂
1000	0,019	1960	0,0316
1800	0,028	1970	0,0323
1900	0,030	1980	0,0335
1950	0,031	1990	0,0360

Nos últimos 130 anos a temperatura média aumentou cerca de 0,6°C. Presentemente o nosso planeta está a absorver mais radiação solar (essencialmente na faixa visível) do que a radiação que emite (na região do infravermelho). Com o nível actual de CO₂ na atmosfera isto implica um aumento de 0,6°C na temperatura média (o atraso na bombagem do CO₂ pelos oceanos é de cerca de 30 anos).

Esta tendência para o aquecimento está bem expressa no facto de 1990 ter sido o ano mais quente dos 100 anos de história com registo meteorológico. Mais ainda, os dez anos mais quentes ocorreram todos nas décadas de 80 e de 70:

1990	15,45 °C	1989	15,25°C
1981	15,35 °C	1973	15,17°C
1988	15,35 °C	1977	15,17°C
1987	15,30 °C	1986	15,17°C
1983	15,28 °C	1985	15,16°C

Todos sabemos que o líquido sobe no termómetro quando aumenta a temperatura. Acontece que a expansão térmica relativa da água (210⁻⁴/K) excede a das rochas (510⁻⁷/K) em três ordens de grandeza. Subir a temperatura significa portanto uma subida do nível do mar. Admitindo uma profundidade média oceânica de 5 km, 1°C de subida

na temperatura significa uma elevação de 1 m do nível do mar. Esta elevação tem sido, de facto, observada: + 14 cm entre 1800 e 1900, + 33 cm entre 1900 e 1950. A taxa actual de subida é de 2,4 ± 1,00 mm/ano. Podemos concluir que o aumento da emissão de CO₂ provocado pela revolução industrial tornou a Terra cerca de 1°C mais quente e o nível do mar cerca de 1 m mais elevado.

A civilização nasceu nos deltas dos rios Eufrates, Nilo, Yangze, Ganges, Mekong, Reno, Pó. A subida do nível do mar ameaça de inundação todas as áreas costeiras. Presentemente 1/3 dos Países Baixos está a uma altitude que não chega sequer a 1 m acima do nível do mar! Mesmo uma modesta elevação do oceano porá em risco não só Veneza, Amesterdão, Londres, Nova Iorque, Tóquio, mas também, em muito maior grau, toda a agricultura nos férteis deltas existentes.

De acordo com modelos climáticos, a duplicação da concentração actual de CO₂ implicaria uma subida de temperatura $\Delta T = 3 \pm 1,5^\circ\text{C}$, correspondendo à subida do nível do mar entre 2 e 5 metros. Isto aniquilaria 25% da produção agrícola, forçando mil milhões de pessoas a abandonar as suas casas.

Em 1990 o consumo total de combustíveis fósseis foi (em equivalente-carvão):

4 mil milhões de toneladas de carvão
 4 mil milhões de toneladas de petróleo
2 milhões de milhões de m³ de gás
cerca de 10 mil milhões de toneladas de carvão/ano

A este consumo corresponde uma emissão de 30 mil milhões de toneladas de CO₂ por ano para a atmosfera. Para os 5 mil milhões de pessoas que vivem na Terra isto dá um consumo de 2 toneladas de carvão/ pessoa/ano, que é um número espantoso.

A totalidade dos depósitos de combustível fóssil conhecidos representa o equivalente a 4000 mil milhões de toneladas de carvão. Estas reservas foram acumuladas num período de centenas de milhões de anos, mas ao ritmo actual de utilização a humanidade queimá-lo-á em escassos 400 anos. (Em cada ano é queimada uma quantidade de combustível fóssil que foi acumulada durante um milhão de anos, graças à energia livre recebida da luz solar). Com o aumento actual de 2% por ano no consumo, as reservas de combustíveis fósseis existentes ficarão delapidadas dentro de 100-200 anos, levando a um aumento do teor actual de 0,35% de CO₂ na atmosfera para um valor da ordem de 1% (*). Isto levaria a um aumento da temperatura entre 10°C e 15°C, e a uma elevação de cerca

(*) N. T. 1‰ significa 1 parte em 1000, enquanto 1% significa 1 parte em 100.

de 10 m no nível do mar (essencialmente devido à expansão térmica), *acrescido* de uma subida adicional devida ao degelo das calotes da Gronelândia e da Antártica. A alteração climática seria ainda maior se o oceano não conseguisse bombear metade do acréscimo ocorrido no influxo de CO_2 .

Gases responsáveis pelo efeito de estufa

A radiação infravermelha emitida pelo solo representa um campo electromagnético "vibrando" com frequências da ordem de grandeza dos 10^{13} s^{-1} . Esta radiação é absorvida por moléculas possuindo frequências próprias de vibração naquela gama. As moléculas mais importantes responsáveis pelo efeito de estufa na Terra são:

H_2O (na fase de vapor): provém da evaporação da água, sendo a sua concentração na atmosfera influenciada pela temperatura do ar. A água evapora-se mais intensamente nas zonas tropicais quentes (desertificação), precipitando nas regiões árticas frias.

CO_2 (dióxido de carbono): é libertado pela actividade vulcânica, pela actividade da biomassa, pela queima de combustíveis fósseis, pela desflorestação. O dióxido de carbono contribui em cerca de 66% para o efeito de estufa (também de modo indirecto, por influenciar a concentração de H_2O), tendo produzido cerca de $0,5^\circ\text{C}$ de aquecimento global nos últimos 100 anos de industrialização. A emissão de CO_2 é presentemente, na sua maior parte, devida à indústria, aumentando à taxa de 4% por ano.

CH_4 (gás metano): é um dos produtos da decomposição da biomassa na ausência do ar. As principais fontes são os excrementos bovinos e ovinos e os arrozais pantanosos. A emissão de CH_4 é cerca de 400 milhões de toneladas por ano. A concentração actual de CH_4 no ar é apenas de 1,7 por milhão (de moléculas), mas o metano contribui em cerca de 20% para o efeito de estufa. As moléculas de CO_2 já produzem, por si, uma absorção total de radiação correspondente às respectivas frequências de ressonância molecular. O aumento da concentração de CO_2 leva apenas ao alargamento da banda de frequências sujeitas à absorção, devido às caudas de absorção, sempre presentes em torno de cada frequência de ressonância. Este efeito é contudo de segunda ordem, pelo que a temperatura apenas depende logaritmicamente da concentração de CO_2 .

Em contrapartida, o CH_4 não produz a absorção total à(s) frequência(s) de ressonância, e por isso o efeito de aquecimento depende quase linearmente da concentração de CH_4 . A emissão de CH_4 está relacionada com a produ-

ção de alimentos, por isso aumenta com o crescimento da temperatura, a uma taxa aproximada de 1% ao ano.

N_2O (gás hilariante): forma-se na combustão do ar a temperaturas muito elevadas (exemplos: nos motores dos automóveis, nas turbinas de gás). A sua emissão atinge 28 milhões de toneladas por ano, valor aproximadamente proporcional ao número de carros. Presentemente as moléculas de N_2O na atmosfera contribuem em cerca de 3% para o efeito de estufa.

O_3 (ozono): também se forma nos motores de combustão de alta temperatura, e acumulando-se na troposfera contribui em cerca de 8% para o efeito de estufa. A emissão de O_3 aumenta a uma taxa de 1% ao ano.

CF_2Cl_2 (freon): é 15 000 vezes mais eficaz (por molécula) na produção de aquecimento por efeito de estufa, devido às suas ligações interiónicas altamente polares. O freon é usado em produtos domésticos (atomizadores e aerossóis, refrigeradores, sistemas de ar condicionado). Actualmente o CF_2Cl_2 é responsável apenas por 3% do efeito de estufa, mas a sua contribuição cresce rapidamente, à taxa de 5% por ano. *Estas moléculas destroem a camada de ozono, que protege os seres vivos de receberem muita da radiação de elevado comprimento de onda.* Por isso estão já em vigor acordos internacionais tendentes a suprimir a emissão de CF_2Cl_2 .

Se desejarmos impedir o aquecimento pelo efeito de estufa, temos de limitar a emissão de CO_2 (combustíveis fósseis, principalmente nas indústrias utilizando o carvão na combustão), regulamentar a utilização dos automóveis (produção de N_2O) e dos aerossóis e atomizadores (emissão de CF_2Cl_2). Tudo isto é sobretudo da responsabilidade das nações mais desenvolvidas, que lançaram a revolução industrial. Uma outra tarefa é limitar a explosão demográfica, isto é, restringir a desflorestação (emissão de CO_2) e alguns tipos de agricultura intensiva (libertação de CH_4). Isto constitui uma obrigação das nações em desenvolvimento.

Presentemente, vivem nos países industrializados cerca de mil milhões de pessoas, consumindo cerca de 6 toneladas de carvão (ou equivalente) por pessoa e por ano:

Alemanha: 9 toneladas/pessoa/ano
USA: 10 toneladas/pessoa/ano
Japão: 4 toneladas/pessoa/ano

que deveriam ser suprimidas. Nos países em vias de desenvolvimento vivem cerca de 4 mil milhões de pessoas, consumindo cerca de 1 tonelada de carvão/pessoa/ano, por exemplo:

China: 0,7 toneladas/pessoa/ano

Índia: 0,3 toneladas/pessoa/ano

Não é conveniente recomendar a diminuição destes consumos, em face das necessidades humanas existentes nestes países. Mas a população dos países desenvolvidos é praticamente estacionária, enquanto a dos países em desenvolvimento aumenta cerca de 2% por ano. Daí que a emissão de gases que originam o efeito de estufa venha a atingir num futuro próximo a taxa global correspondente aos países desenvolvidos. Com as taxas actuais de aceleração no consumo de petróleo e seus derivados, e de incessante crescimento da população, é de esperar a duplicação do teor de gases que provocam o efeito de estufa nos próximos 50 anos, isto é, durante a vida dos nossos filhos.

Impacto do aquecimento pelo efeito de estufa

A duplicação da concentração de gases responsáveis pelo efeito de estufa na atmosfera significaria um aquecimento de 10 °C no ártico e de 1°C nos trópicos, o que poderá não parecer, à primeira vista, uma ameaça terrível. As consequências mais perigosas são a submersão das áreas costeiras e a desertificação de zonas com climas moderados: a água evapora-se mais intensamente nos trópicos, precipitando-se nas regiões árticas, resultando um deslocamento das zonas produtoras de trigo e milho em direcção ao Norte. Ambos os efeitos representam ameaças de fome e necessidade de migrações maciças. O aumento dos custos de manutenção dos diques nos Países-Baixos, as cheias mais frequentes e devastadoras no Bangladesh, as fomes em África, o decréscimo nas colheitas agrícolas na Europa e EUA devido à seca são apenas algumas indicações sobre o que poderão ser as consequências práticas de um aquecimento global do nosso planeta.

A primeira mensagem de ameaça chegou ao Congresso dos Estados Unidos da América em 1988, vinda da NASA: o aquecimento global resultante do efeito de estufa pode já ter chegado! No mesmo ano, teve lugar uma importante reunião de chefes de estado de que resultou a célebre Declaração de Haia: "a duplicação do teor de gases causadores do efeito de estufa na atmosfera não pode ser tolerada".

Em 1989, a Sociedade Europeia de Física e a Sociedade Europeia de Meteorologia apresentaram uma

declaração aos participantes do Conselho Ecuménico das Igrejas Europeias, tendo como objectivo a redução do consumo de energia na Europa: de 6 toneladas de carvão/pessoa/ano para 3 toneladas de carvão-equivalente/pessoa/ano, dentro de 20 anos. Adicionalmente, propõe-se que deste consumo já reduzido de energia apenas 1 tonelada/pessoa/ano corresponda a combustível fóssil produtor de CO₂, devendo a parte restante do consumo ser satisfeita através da energia nuclear e das fontes de energia renováveis. No mesmo ano, na Conferência da ONU em Copenhaga, a Comunidade Europeia apoiou a proposta holandesa para fixar o ano 2000 como limite para deter definitivamente o aumento (ainda em curso) na libertação de CO₂, mas por maioria dos presentes essa data fixa foi substituída pela expressão mais branda "o mais cedo possível".

Em 1990, o Papa publicou uma encíclica sobre a "Integridade da Criação", identificando o *aquecimento devido ao CO₂*, a *deplecção da camada de ozono*, as *chuvas ácidas* e a *diminuição da diversidade biológica*, como as maiores ameaças para a humanidade no momento actual. A ONU organizou uma Conferência Mundial de especialistas em Geneva, no Outono de 1990, para aprofundar a análise destas questões.

Em 1991, o Congresso Mundial sobre o Clima, realizado em Washington, declarou o aquecimento derivado do efeito de estufa como sendo uma *ameaça real imediata*. O Presidente Bush apoiou esta conclusão, chamando a atenção para a conservação de energia e para uma reconsideração positiva do papel da energia nuclear.

O principal problema é que uma declaração não substitui a acção. Tanto os políticos como os industriais estão sob pressão de factores de curto-prazo: vencer as próximas eleições, obter saldos positivos no fim de ano. Eles não estão em condições de prestar atenção ao que irá acontecer daqui a 30 anos para além das fronteiras dos seus países.

Se eu conduzir hoje um automóvel de alto consumo a 160 km/h, nenhum tribunal me condenará daqui a 30 anos por ter morto bebés no Bangladesh, devido a inundações: a cadeia causal é demasiado longa para permitir qualquer julgamento objectivado.

A prevenção da catástrofe climática não é uma matéria legal ou tecnológica, é sobretudo um problema educacional e moral, afectando "somente" o destino dos nossos filhos e netos.

Os actuais adultos podem argumentar com engenho e perícia que a ligação entre o consumo de combustíveis fósseis e o aquecimento global não está *demonstrado* a

100%. Pode ser que não, que a ligação causal apenas se possa provar com uma probabilidade de 1/6.

Se o leitor estiver a ver um filme, no qual vê soldados jogarem à roleta russa com uma pistola de tambor com cinco invólucros — mas carregado com uma só bala — certamente considerará esses soldados loucos. É a mesma loucura jogar à roleta russa com o nosso planeta.

Dinâmica não linear

Para um físico, o clima é um sistema não linear com realimentação (“feedback”) positiva: um arrefecimento, devido a uma flutuação estatística, provoca um aumento da camada de gelo, aumentando o albedo da Terra, e resultando numa *perda* adicional de calor. O reservatório oceânico de calor fica isolado da atmosfera pelo gelo. As concentrações de H₂O e CO₂ decrescem, o efeito de estufa diminui, o que torna a Terra ainda mais fria. (Esta sucessão de fenómenos poderá ter acontecido no planeta Marte).

Um *aquecimento*, devido a uma flutuação estatística, funde gelo e neve, o albedo diminui, o que significa um *ganho* adicional de calor, vindo do Sol. A evaporação liberta moléculas de H₂O para a atmosfera. O enfraquecimento das correntes oceânicas impede a bombagem de CO₂ para as profundezas do oceano. O efeito de estufa torna-se ainda mais eficaz. O aquecimento é intensificado, resultando numa redução adicional da calote ártica do gelo... (Este fenómeno poderá ter ocorrido no planeta Vénus).

Está pois a “funcionar” na Terra uma regulação subtil e delicada, devida a uma afortunada conjugação de factores de ordem geofísica, geotérmica e biológica. A realimentação não-linear negativa de Gaia conserva o clima actual num *estado próprio* inter-glacial.

Sucedem que a humanidade industrializada está hoje a levar a cabo uma experiência global, ao dar um *impulso térmico* ao planeta, precisamente quando este se encontra num período *quente* interglacial. Já conseguimos tornar 1990 no ano mais quente desde que existem registos meteorológicos! Temos a oportunidade de observar o desfecho desta experiência em larga escala. Será Gaia suficientemente “resistente” para conservar o clima estável? Ou estará Gaia suficientemente atingida pela poluição oceânica, desflorestação tropical, e diminuição da diversidade biológica? Será que a Terra irá saltar para um novo estado próprio, semelhante ao do planeta Vénus?

Deveremos apenas esperar para ver?

PALESTRAS PÚBLICAS SOBRE ASTRONOMIA

Observatório Astronómico de Lisboa

— Tapada da Ajuda —

Dado o interesse que a Astronomia desperta nas Escolas e no público em geral, acrescido do facto de ser parte do programa do 8º ano do Ensino Básico, o Observatório Astronómico de Lisboa (OAL) lançou um ciclo de palestras sobre Astronomia, de entrada livre.

Para esta iniciativa muito contribuiu a recente integração do OAL na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), integrando docentes e alunos graduados que fazem investigação em Astronomia e Astrofísica no Departamento de Física.

As palestras são dadas a nível de divulgação, e com a periodicidade mensal, exceptuando os meses de Verão. Constan de uma exposição oral não superior a uma hora, seguida de um tempo de perguntas e respostas com os participantes. No final, estão à disposição do público telescópios astronómicos, que são utilizados para observação da Lua, dos planetas visíveis e outros corpos celestes, se o estado do tempo o permite.

As sessões decorrem no Observatório Astronómico de Lisboa, Tapada da Ajuda (entrada pelo Instituto Superior de Agronomia), numa sexta-feira, às 21h30. As pessoas interessadas poderão sempre contactar o OAL na Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, tel. 01-3637351.

Palestras já marcadas para 1995

- | | |
|----------------|---|
| 6 de Janeiro | — “A Estrela de Belém”
Dr. João Farinha Alves |
| 27 de Janeiro | — “Como Nasce uma Estrela”
Dr. José Carlos Correia |
| 3 de Março | — “Vida e Morte das Estrelas”
Dr.ª Maria Luisa de Almeida |
| 31 de Março | — “As Constelações”
Dr.ª Alfredina Costa do Campo |
| 28 de Abril | — “O Big-Bang e a Evolução do Universo”
Prof. Paulo Crawford Nascimento |
| 26 de Maio | — “Galáxias Activas”
Prof. Maria João Marchã |
| 23 de Junho | — “Os Calendários”
Dr. Manuel Nunes Marques |
| 29 de Setembro | — “A Formação dos Elementos Químicos no Universo”
Prof. Filipe Duarte Santos |