

MEMÓRIAS
DA
ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE
LISBOA

CLASSE DE CIÊNCIAS

TOMO XLV

**O Debate Histórico e
Contemporâneo sobre as
Alterações Climáticas**

FILIPE DUARTE SANTOS



ACADEMIA DAS CIÊNCIAS
DE LISBOA

LISBOA • 2018

O Debate Histórico e Contemporâneo sobre as Alterações Climáticas

FILIFE DUARTE SANTOS

UNIVERSIDADE DE LISBOA (CE3C.CIENCIAS.U LISBOA.PT)

1 – BREVE HISTÓRIA DOS CONCEITOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NATURAIS E ANTROPOGÉNICAS

Os registos históricos levam-nos a concluir que antes do século XVIII desconheciam-se a existência de climas passados diferentes dos contemporâneos. Porém em meados daquele século a observação de fósseis em várias rochas encontradas nos locais mais diversos, desde as zonas costeiras até ao alto das montanhas, levou à identificação de épocas geológicas com climas diferentes. Na sua *Histoire Naturelle*, que começou a ser publicada em 1749, Georges-Louis Leclerc, Conde de Buffon, reconheceu que a superfície da Terra tinha sido profundamente transformada pela ação dos oceanos, das chuvas, do escoamento das águas, dos ventos, dos sismos e dos “fogos subterrâneos”. Considerou ainda que a idade da Terra não poderia ser os 6000 anos indicados na Bíblia mas superior a 75000 anos, talvez até milhões de anos.

O final do século XVIII ficou marcado pela controvérsia entre, por um lado, James Hutton (1726-1797) e os Plutonistas, defensores da teoria de um contínuo ciclo geológico em que as rochas se transformam em sedimentos marinhos por meio da meteorização e com a pressão e o calor do interior da Terra ressurgem formando montanhas e, por outro, Abraham Werner (1749-1817) e os Neptunistas, defensores de que as rochas se formaram através da cristalização de minerais nos oceanos primordiais da Terra.

No início do século XIX um suíço, Jean-Pierre Perraudin, guia de montanha e caçador, foi o primeiro a convencer-se de que em tempos passados os glaciares cobriam uma grande parte dos vales alpinos. A prova estava nos grandes blocos de pedra que, ao serem arrastados pelos glaciares, deixaram sulcos na rocha e ficaram pousados de forma errática quando os gelos se retiraram lentamente devido a uma mudança para um clima mais quente. Em 1815 comunicou as suas ideias ao naturalista Jean Carpentier (1786-1855) e, mais tarde, ao Engenheiro Ignaz Venetz, encarregado de estudar as flutuações observadas na extensão dos glaciares e o seu impacto na economia da região do Valais, que inicialmente se mostraram muito céticos. Mas a teoria foi ganhando audiência e acabou por ser defendida pelo professor de história natural da Universidade de Neuchatêl, Louis Agassiz (1807-1873), que se tornou num conhecido geólogo, glaciologista e paleontologista. A questão que surgiu imediatamente e para a qual não havia resposta era saber qual a razão da mudança climática.

Os primeiros trabalhos científicos sobre o balanço radiativo na atmosfera e sobre aquilo que se viria a designar por efeito de estufa devem-se a Joseph Fourier (1768-1830), o matemático e físico francês nascido em Auxerre que se celebrou com a série de Fourier e pelo estudo das vibrações e da condução do calor. Nos anos de 1780, o naturalista e alpinista suíço Horace-Bénédict de Saussure (1740-1799)

construiu um helietermómetro no qual se podia medir a temperatura numa série de compartimentos separados por vidro, colocados numa caixa de cortiça enegrecida e sobrepostos na direção da radiação solar direta, concluindo que a temperatura aumentava à medida que nos aproximamos do fundo da caixa. Fourier, ao comparar a atmosfera terrestre à caixa de vidro de Saussure, concluiu que “a temperatura à altura do solo aumenta devido à interposição da atmosfera, porque o calor solar enfrenta menos obstáculos para penetrar o ar, quando se encontra no estado de luz, do que enfrenta para tornar a atravessar o ar quando convertido em calor obscuro” (Fourier, 1824; 1827). Este calor era afinal aquilo que William Herschel (1738-1822) estudou cerca de 1800 e designou por raios caloríficos ao medir a temperatura para além do extremo vermelho do espectro da radiação solar e que hoje reconhecemos como a radiação infravermelha. Outro passo importante nos primeiros estudos sobre o balanço energético na atmosfera da Terra foi o cálculo da constante solar realizado por Claude Pouillet (1791-1868) entre 1837 e 1838. Obteve o valor de 1228 W/m^2 , que embora próximo do atual de 1367 W/m^2 , foi controverso durante todo o século XIX.

A designação de efeito de estufa para descrever a absorção da radiação infravermelha na atmosfera teve a sua origem na caixa de vidro de Saussure mas a analogia com o que se passa numa estufa de vidro para plantas é errónea. Nesta a radiação solar aquece o ar interior que, por estar confinado num espaço fechado e não poder circular para fora da estufa por meio de movimentos de convecção, atinge uma temperatura mais elevada do que a do ar exterior. A prova definitiva de que o aquecimento não tem a ver com a absorção da radiação infravermelha pelo vidro foi dada pelo físico americano Robert W. Wood (1868-1955) que substituiu o vidro de uma estufa por uma substância transparente à radiação visível e à infravermelha, a halita (NaCl), e constatou que a estufa continuava a aquecer.

Em meados do século XIX sabia-se que o ar absorvia a radiação infravermelha mas não se conheciam quais os gases que teriam essa propriedade e em que grau. As primeiras medições da capacidade de absorção da radiação infravermelha pelos gases constituintes da atmosfera – azoto, oxigénio, vapor de água, dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), ozono – foram feitas a partir de 1859 pelo físico e matemático de origem irlandesa John Tyndall (1820-1893). Nestas experiências Tyndall concluiu que o vapor de água é o mais importante gás com efeito de estufa, ou seja, aquele cujas moléculas têm maior capacidade de absorção da radiação infravermelha (Tyndall, 1863). Concluiu ainda que o CO_2 , o CH_4 e o O_3 são também gases com efeito de estufa, mas que o azoto, oxigénio e hidrogénio são praticamente transparentes à radiação infravermelha. Tyndall foi o primeiro a concluir que se não existisse vapor de água na atmosfera, a superfície da Terra estaria coberta de gelo e que variações nas concentrações atmosféricas de vapor de água e de CO_2 conduziriam a mudanças climáticas ao fim de algum tempo. Uma maior concentração de CO_2 conduziria a uma atmosfera com temperatura média mais elevada.

Uma das razões do interesse de Tyndall em estudar as propriedades radiativas dos gases constituintes da atmosfera era tentar perceber a causa do período glacial pré-histórico cujos glaciares tinham deixado registos em várias regiões do mundo, semelhantes aos que Perraudin identificou pela primeira vez nos Alpes. Observações mais recentes revelaram que a extensão dos glaciares durante o último período glacial era enorme estendendo-se a vastas áreas do norte da América do Norte e do norte da Eurásia. A procura da causa desta profunda mudança climática gerou um grande interesse e contro-
vêrsia em meados do século XIX.

Svante Arrhenius (1859-1927), um cientista sueco, prêmio Nobel da química em 1903, e um dos fundadores da química física, tentou também resolver o enigma da época glacial pré-histórica. A sua tese consistia em postular uma variação da concentração atmosférica de CO_2 provocada, por exemplo, por alterações na atividade vulcânica. A consequente variação da temperatura média da atmosfera poderia ser depois amplificada pelo vapor de água, conduzindo à alternância de períodos glaciais e períodos interglaciais com um clima relativamente quente, como o atual. Para provar a sua tese era necessário calcular a variação da temperatura média da atmosfera que resultaria de baixar ou aumentar a concentração de CO_2 . Arrhenius fez esse cálculo baseado na absorção, emissão e transmissão da radiação infravermelha emitida pela superfície terrestre tendo em conta o perfil da temperatura na troposfera e chegou à conclusão que a duplicação da concentração de CO_2 provocaria um aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície entre $5.^\circ$ e $6.^\circ$ C (Arrhenius, 1896). Reconheceu também que as emissões de CO_2 resultantes de algumas atividades humanas iriam inevitavelmente provocar um aumento da concentração atmosférica desse gás. Porém não estava minimamente preocupado com as consequências desta interferência antropogénica sobre o sistema climático. Pelo contrário, no seu livro “Worlds in the Making” (Arrhenius, 1908) afirma que o aumento da concentração de CO_2 irá providenciar um melhor clima para a humanidade no futuro, “especialmente nas partes mais frias da Terra”. Segundo ele seriam necessários 3000 anos para que a concentração de CO_2 duplicasse, ou seja, aumentasse do valor pré-industrial de 280 ppmv (partes por milhão em volume) para 560 ppmv. Note-se que atualmente a concentração está em 400 ppmv.

A possibilidade de uma relação entre as atividades humanas e o clima manteve-se afastada dos interesses dos cientistas até 1938 quando o engenheiro Guy Stewart Callender, especialista nas tecnologias do vapor e da combustão e climatologista amador, teve a audácia de apresentar uma comunicação na Royal Meteorological Society de Londres (Callender, 1938) onde afirmou que o aumento da temperatura média global de $0.4.^\circ$ C observado entre 1880 e 1930 era resultante das emissões de CO_2 para a atmosfera provocadas pela combustão dos combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural. As suas conclusões baseavam-se na análise de séries de temperatura obtidas em mais de 200 estações meteorológicas espalhadas pelo mundo e em observações do recuo dos glaciares das montanhas. O artigo de Callender foi recebido com grande ceticismo e praticamente esquecido. Questionava-se a argumentação de que o aumento da concentração atmosférica de CO_2 provocasse um aumento da absorção da radiação infravermelha porque se tinham efetuado medições demonstrando que as bandas de absorção do espectro do CO_2 ficavam saturadas apenas com concentrações muito baixas (Santos, 2007).

O problema só ficou esclarecido depois da segunda grande guerra mundial como consequência indireta dos grandes investimentos feitos pelos EUA em investigação científica nos mais variados domínios, incluindo as ciências da atmosfera. Gilbert Plass, um físico teórico doutorado na Universidade de Princeton, fez nos anos de 1950 estudos e cálculos sobre radiação infravermelha para um grupo experimental da Universidade de John Hopkins e nos tempos livres interessou-se pela hipótese avançada de novo nessa época de uma relação causal entre as épocas glaciares e variações cíclicas da concentração do CO_2 atmosférico. Dedicou-se então ao estudo do modo como o CO_2 absorve a radiação infravermelha nos vários níveis da troposfera e concluiu, tal como Arrhenius anteriormente, que o aumento da sua concentração provoca um aumento da temperatura da atmosfera à superfície.

A parte essencial da explicação é simples mas os detalhes quantitativos têm mais complexidade (Santos, 2012). Quando se aumenta a concentração de CO_2 , ou de outro qualquer gás com efeito de estufa, na troposfera, a radiação infravermelha que este gás emite (um gás em equilíbrio emite e absorve a mesma quantidade de radiação em cada comprimento de onda) para o espaço exterior passa a ter origem a uma maior altitude dado haver mais gás nessa camada da atmosfera. Contudo, tendo em atenção que a temperatura na troposfera decresce com a altitude, o CO_2 passa a emitir para o espaço exterior em regiões onde a temperatura é mais baixa. De acordo com a teoria da radiação de Max Planck, a quantidade total de radiação infravermelha absorvida e emitida por um gás diminui quando se baixa a temperatura. Deste modo, os gases com efeito de estufa a maior altitude emitem menos radiação infravermelha para o espaço exterior. Cria-se assim um desequilíbrio energético, a que se chama forçamento radiativo, entre o fluxo radiativo solar, predominantemente de luz visível, absorvido pela Terra e o fluxo radiativo no infravermelho emitido pela alta troposfera para o espaço exterior. Por outras palavras a Terra passa a emitir menos energia para o espaço exterior do que a energia que recebe do Sol, o que contraria o princípio da conservação de energia. O equilíbrio repõe-se mediante um aumento da temperatura da troposfera, que intensifica o fluxo radiativo no infravermelho para o espaço exterior. Note-se que o aumento da temperatura da atmosfera à superfície gera retroações positivas e negativas no sistema climático. A predominância das retroações positivas relativamente às negativas gera um aumento adicional da temperatura (Santos, 2012).

O valor atual do forçamento radiativo efetivo no topo da troposfera, provocado pela acumulação de gases com efeito de estufa, é de $2,29 \text{ Wm}^{-2}$ (IPCC, 2014). Mais de 90% da energia que a Terra absorve devido a este forçamento radiativo positivo é armazenado no oceano, especialmente nas suas águas mais superficiais. Entre 1971 e 2010 a Terra armazenou em média uma potência de 213 TW (TW = Tera Watt ou 10^{12} W), ou seja, uma energia de 213 TJ (10^{12} Joules) por segundo. Este aumento de energia corresponde a um fluxo radiativo médio incidente sobre toda a superfície da Terra de $0,42 \text{ Wm}^{-2}$. É difícil apreciar o gigantismo destas quantidades de energia. Talvez ajude dizer que a Terra está a ser forçada a armazenar, em média, por segundo, uma energia equivalente à energia libertada por 3 bombas atômicas, do tipo da que foi lançada em Hiroshima (6 de Agosto de 1945), devido à acumulação de gases com efeito de estufa de origem antropogénica na troposfera. Calcula-se que entre 1971 e 2010 cerca de 93% dessa energia foi armazenada nos oceanos, aumentando a temperatura principalmente das massas de água mais superficiais, cerca de 3% provocou a fusão do gelo oceânico no Ártico, de campos de gelo na Gronelândia e na Antárctica e de glaciares das montanhas, cerca de 3% aqueceu a superfície dos continentes e apenas cerca de 1% aqueceu a atmosfera (IPCC, 2014).

A humanidade está atualmente confrontada com o problema das alterações climáticas antropogénicas cuja solução não é fácil e depende sobretudo de sermos capazes de mudar o nosso paradigma energético global caracterizado por uma enorme dependência, da ordem de 80%, nos combustíveis fósseis. Há essencialmente dois tipos de resposta às mudanças climáticas: a mitigação e a adaptação. A primeira é uma intervenção humana para reduzir as fontes e potenciar os sumidouros de gases com efeito de estufa. A adaptação é um processo de ajustamento ao clima atual e futuro e aos seus efeitos. Nos sistemas humanos a adaptação procura moderar os impactos gravosos e explorar as oportunidades benéficas. Nos sistemas naturais a intervenção humana pode facilitar o ajustamento desses sistemas ao clima futuro.

Antes de passarmos à análise da situação atual importa mencionar como evoluiu a procura de uma explicação para as mudanças do clima passado, em especial a alternância entre períodos glaciais e interglaciais, que motivaram as primeiras investigações sobre a relação entre o clima e os gases com efeito de estufa.

O clima da Terra tem variado profundamente desde o início da formação da atmosfera há mais de 4500 milhões de anos. Houve eras de glaciação com a formação de extensos campos de gelo nas regiões polares que alternaram com épocas relativamente quentes sem gelos polares, mais frequentes (Santos, 2007a). As atuais calotes polares começaram a formar-se há apenas cerca de 35 milhões de anos, primeiro na região oriental da Antártica e depois, muito mais tarde, há cerca de 5 milhões de anos, no Ártico. Sobrepostas a estas oscilações climáticas de longo período, motivadas pela tectónica das placas, pela formação e erosão das montanhas e por variações nas correntes oceânicas que transportam energia térmica das regiões equatoriais para as polares, encontramos nos últimos 5 milhões de anos, outras de período muito menor, que é possível identificar e estudar detalhadamente nos campos de gelo da Gronelândia e da Antártica. Nos últimos 650 000 anos o clima da Terra apresentou uma alternância entre períodos glaciais frios, com uma duração aproximada de 80 000 a 100 000 anos e períodos interglaciais relativamente quentes, com uma duração típica de 10 000 a 20 000 anos. A principal causa destas oscilações, identificada por Milutin Milankovitch na primeira metade do século XIX (Milankovitch, 1930), são forçamentos de natureza astronómica resultantes de pequenas variações na excentricidade da órbita da Terra em torno do Sol, na inclinação do eixo da Terra e no seu movimento de precessão. A última época glacial teve início há aproximadamente 120 000 anos e um máximo há cerca de 20 000 anos. Nessa época a temperatura média global da atmosfera era inferior, entre 5.º a 7.ºC, à que agora se observa e o nível médio do mar estava 100 a 120 m abaixo do nível atual. Presentemente estamos num período interglacial particularmente estável em que a temperatura, nos últimos 8000 anos, teve apenas variações pequenas. A estabilidade do clima e a temperatura relativamente elevada criaram condições especialmente favoráveis ao desenvolvimento das civilizações que floresceram nos últimos 6000 anos. Note-se porém que o *Homo sapiens* já viveu em duas épocas glaciais e duas interglaciais. Surgiu em África na aproximadamente 200000 anos durante a penúltima época glacial e estava já na Europa durante a última. Análises feitas nos gelos da Gronelândia e da Antártida permitem concluir que a concentração atmosférica de CO₂ tem uma forte correlação com a temperatura média global porque a capacidade do CO₂ se dissolver nas águas superficiais do oceano aumenta quando a sua temperatura baixa. A variação do CO₂ não foi a causa da mudança climática natural de alternância entre períodos glaciais e interglaciais mas um efeito desta. Atualmente a situação é inversa: o aumento antropogénico da concentração do CO₂ é que está a provocar uma alteração climática.

2 – A INSTITUCIONALIZAÇÃO DAS RESPOSTAS AO DESAFIO DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS ANTROPOGÉNICAS

No final da década de 1970 a comunidade científica e os governos de alguns países mais desenvolvidos reconheceram a necessidade de intensificar o desenvolvimento da investigação sobre o clima no quadro de programas internacionais. Após a Conferência Mundial do Clima realizada em Genebra no ano de 1979 o International Council of Scientific Unions (ICSU) e a Organização Meteorológica Mundial (WMO) lançaram o World Climate Research Program (WCRP). As preocupações sobre as consequências

do aumento da concentração atmosférica dos gases com efeito de estufa tornaram-se mais generalizadas nas Nações Unidas e em 1985 por iniciativa da ICSU, WMO e do Programa das Nações Unidas para o Ambiente (UNEP) realizou-se em Villach, na Áustria, a “International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts” (WMO, 1986). A conferência e os documentos científicos que a sustentaram foram preparados por um conjunto de cientistas entre os quais se destacou Bert Bolin, professor de meteorologia na Universidade de Estocolmo entre 1961 a 1990.

A Conferência de Villach marcou um ponto de viragem na perceção governamental e pública da problemática do aquecimento global. Como é natural, os cientistas presentes insistiram fortemente na necessidade de intensificar o esforço de investigação embora adotando uma posição moderadamente ativista sobre a gravidade do problema face aos conhecimentos já adquiridos e à necessidade de lhe dar respostas adequadas.

Nos anos seguintes a questão do aquecimento global tornou-se um tópico frequente nos meios de comunicação social e passou a integrar a agenda das preocupações dos movimentos ambientalistas. Uma das razões que despoletou um interesse crescente foram as ondas de calor e secas que se verificaram em vários pontos do globo e em particular nos E.U.A. no ano de 1988 e que alguns cientistas entre os quais James Hansen, associaram e divulgaram como sendo uma manifestação do aquecimento global. Contudo a nível mundial, o número de cientistas que se dedicavam integralmente a esta problemática era apenas da ordem das poucas dezenas e estavam dispersos em várias áreas da ciência.

Era necessário focar as investigações e promover a cooperação interdisciplinar para poder responder às questões que se colocavam no caminho para a negociação e regulamentação política internacional de controlo da interferência humana sobre o clima. Incentivados por estas preocupações a WMO e a UNEP criaram em 1988 o Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC) com o objetivo de promover uma avaliação científica, técnica e socioeconómica da problemática das alterações climáticas. Em nenhum outro tipo de avaliação científica se reúne um tão grande número de cientistas das ciências físicas, naturais e sociais e tecnólogos provenientes dos mais variados países e com formações profissionais muito diversas, com o objetivo comum de analisar a problemática do clima e das suas alterações. Sob a direção esclarecida de Bert Bolin o IPCC produziu o seu primeiro relatório em 1990 (IPCC, 1990) que, porém, teve um impacto muito limitado ao nível governamental nos centros de decisão política. Desde essa data foram publicados mais quatro relatórios de avaliação, o quinto e último em 2014 (IPCC, 2014).

3 – O CONSENSO E O CETICISMO SOBRE AS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Entre os cientistas que se dedicam ao estudo do clima recente, existe um largo consenso sobre a origem antropogénica da mudança climática observada. Desde 2004 que se têm realizado análises sobre os pontos de vista expressos por aqueles cientistas em artigos científicos publicados em revistas com sistema de arbitragem por pares (Oreskes, 2004). Conclui-se que tais artigos revelam um consenso crescente que atualmente se situa em 97-98% (Doran, 2009; Anderegg, 2010; Cook, 2013). No que respeita à opinião pública a percentagem dos que reconhecem a origem antropogénica da mudança climática é bastante variável a nível de continente e de país. A percentagem média de acordo nos países europeus é

significativamente superior à dos EUA (Pelham, 2009). As posições públicas sobre a natureza e gravidade da mudança climática antropogénica são determinadas por muitos fatores entre os quais se destacam os de natureza política, ambiental e energética (Engels, 2013).

Há movimentos organizados de apoio a vários tipos de narrativas de ceticismo ou negação das alterações climáticas antropogénicas. Estes movimentos são particularmente fortes nos EUA e atraem financiamentos avultados em grande parte provenientes das grandes empresas do setor dos combustíveis fósseis. De acordo com Robert Brulle (Brulle, 2013) há nos EUA cerca de 91 organizações, especialmente *think tanks* relacionados com o Partido Republicano, que procuram evitar a mitigação das alterações climáticas, tanto a nível estadual como federal, por meio de vários tipos de ações. O orçamento total daquelas organizações no período de 2003 a 2010 foi cerca de 7000 milhões de dólares mas nem todo o orçamento foi usado em campanhas de negação das alterações climáticas antropogénicas (Brulle, 2013). Tais campanhas têm tido um sucesso apreciável em confundir a opinião pública e sobretudo em evitar ou adiar as políticas públicas de mitigação nos EUA.

4 – SITUAÇÃO ATUAL E PERSPETIVAS FUTURAS

Apesar destas circunstâncias o Presidente Barack Obama tem-se esfoçado por desenvolver uma política climática de mitigação baseada no reconhecimento do risco associado às alterações climáticas com origem antropogénica. Em 11 de novembro de 2014 a China e os EUA, respetivamente o primeiro e o segundo país com maior volume de emissões de gases com efeito de estufa a nível mundial, assinaram um acordo de cooperação para reduzir as respetivas emissões e desenvolverem as energias renováveis. Os EUA comprometem-se a reduzir as emissões entre 26% e 28% até 2025, relativamente a 2005, e a China irá travar o crescimento das suas emissões em 2030.

Recorde-se que a União Europeia tem tido objetivos de mitigação muito mais ambiciosos do que os EUA. As emissões de gases com efeito de estufa da UE diminuíram 19% entre 1990 e 2013 enquanto no mesmo período o PIB aumentou 45%. Este desacoplamento demonstra que é possível seguir uma política efetiva de mitigação sem contudo comprometer o crescimento económico. Nos EUA as emissões de gases com efeito de estufa aumentaram 14,4% de 1990 a 2006 e desde então têm tido uma tendência de redução, embora se tenha registado um aumento de 2% entre 2012 e 2013. Há uma forte polarização política sobre a questão das alterações climáticas entre o Partido Republicano, que se opõe à mitigação devido ao seu impacto negativo sobre o setor económico dos combustíveis fósseis, e o Partido Democrático que tem uma postura mais moderada.

Na UE a situação é diferente. Efetivamente a UE concordou na adoção de um objetivo de redução das emissões de gases com efeito de estufa de, pelo menos, 40% em 2030 relativamente a 1990. Concordeu ainda com uma quota para as energias renováveis em 2030 de, pelo menos, 27% e um objetivo indicativo de aumento da eficiência energética de 27%. Houve também acordo em reduzir até 2030 as emissões associadas ao Regime de Licenças de Emissão da UE em 43% relativamente a 2005 e de 30% nos sectores fora desse regime.

Quanto maior for o aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície mais graves serão os impactos das alterações climáticas. A análise dos impactos nos diversos setores socioeconómicos e sistemas bio-geofísicos em função do aumento da temperatura permitiu estabelecer um largo consenso

científico sobre a necessidade de evitar um aumento maior do que 2.°C relativamente ao período pré-industrial. Este limiar, inicialmente proposto pela UE, acabou por ser também reconhecido e adotado na 15.ª Conferência das Partes da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas, realizada em Copenhaga em 2009 (UNFCCC, 2009). Note-se que a temperatura média global da atmosfera à superfície subiu já 0.86.° C desde o período anterior à Revolução Industrial.

Estudos recentes demonstraram que a temperatura média global da atmosfera é determinada em grande parte pelas emissões cumulativas de gases com efeito de estufa num período de tempo anterior. Esta dependência conduziu à introdução do conceito de “orçamento de carbono” remanescente que corresponde à quantidade de gases com efeito de estufa, especialmente CO₂, que é possível emitir num dado período de tempo de modo a não ultrapassar no futuro um determinado limite superior da temperatura. De acordo com o último relatório do IPCC (IPCC, 2014) para haver uma probabilidade elevada da temperatura média global não ultrapassar 2.° C, as emissões de CO₂ no período de tempo de 2011 a 2050 devem ficar restritas ao intervalo de 870 a 1240 GtCO₂ (Gt = Giga (10⁹) toneladas). Isto significa que o orçamento de carbono remanescente é cerca de 1000 Gt CO₂. Emitir para a atmosfera uma quantidade superior implica uma probabilidade elevada de ultrapassar 2.° C de aumento da temperatura média global.

A pergunta que naturalmente se coloca de seguida é saber quais as quantidades de combustíveis fósseis correspondentes ao referido orçamento de carbono. Convém começar por distinguir entre recursos fósseis e reservas fósseis. Os primeiros são estimativas das quantidades de combustíveis fósseis que poderão ser extraídas do subsolo com a tecnologia atual ou futura sem ter em consideração limitações decorrentes do custo da exploração e extração. Os recursos fósseis incluem o petróleo não convencional (areias betuminosas e o *tight oil* ou petróleo de xisto) e o gás natural não convencional ou gás de xisto. As reservas constituem um subconjunto dos recursos e correspondem aos combustíveis fósseis cuja extração do subsolo é economicamente rentável na atualidade. Estas reservas estão estimadas em 1,294 x 10¹² barris de petróleo, 1,92 x 10¹⁴ m³ de gás natural, 728 Gt de carvão e 276 Gt de lenhite (McGlade, 2015). A combustão da totalidade destas reservas conduziria à emissão de 2900 Gt de CO₂ valor que é muito superior ao orçamento de carbono.

Conclui-se assim que a mitigação da mudança climática antropogénica não irá resultar da escassez de combustíveis fósseis – carvão, petróleo e gás natural – mas da eventual vontade de os substituir por outras fontes primárias de energia com menor intensidade carbónica, ou seja, com um menor volume de emissões de CO₂ por unidade de energia. Considerando que, como foi já referido, cerca de 80% das atuais fontes primárias de energia globais são combustíveis fósseis e a consequente importância económica e financeira desse setor energético à escala mundial torna-se clara a enorme dificuldade em reduzir as emissões de CO₂ de modo a não ultrapassar o limite dos 2.° C. Os referidos estudos (McGlade, 2015), indicam que para não ultrapassar 2.° C será necessário não utilizar à escala global no período de 2010 a 2050 um terço das reservas de petróleo, metade das reservas de gás natural e 80% das reservas de carvão. A prática da extração ilimitada de combustíveis fósseis das atuais reservas pelos países que as detêm até à sua completa exaustão é incompatível com o objetivo de mitigação que cumpre o limite dos 2.° C. Conclui-se ainda que o investimento na procura de novos recursos de combustíveis fósseis é também incompatível com aquele limite. Estamos perante conclusões cientificamente incontornáveis mas cujas consequências são extremamente difíceis de aceitar.

A robustez científica desta problemática deu origem em 2012 a um movimento de desinvestimento nos combustíveis fósseis (*fossil fuel divestment*) que está a ter um crescimento extraordinário em vários países e especialmente entre os jovens nas universidades Americanas. De acordo com um estudo recente da Universidade de Oxford (Ansar, 2013) o movimento de desinvestimento nos combustíveis fósseis é o que cresceu mais rapidamente de entre todos os anteriores movimentos de desinvestimento, incluindo os que visaram o apartheid e o consumo de tabaco. A campanha é fomentada principalmente pela frustração causada pela extrema lentidão do processo de mitigação em vários países desenvolvidos, em particular os EUA, e pela ausência de acordo num plano efetivo de redução global das emissões que inclua todos os países. Em março de 2013 havia nos EUA 256 Universidades que tinham aderido à campanha de desinvestimento. No caso de Harvard 72% dos estudantes votaram a favor da venda das ações de grandes empresas de combustíveis fósseis pertencentes ao fundo de doações da Universidade, avaliado em 32000 milhões de dólares, o maior fundo universitário do mundo. Casos análogos verificaram-se em Universidades Australianas e na Europa na Universidade de Glasgow. No Reino Unido o jornal The Guardian está a colaborar ativamente com a campanha de desinvestimento nos combustíveis fósseis.

Apesar das referidas enormes dificuldades em não se ultrapassar 2.º C de aumento da temperatura média global da atmosfera à superfície relativamente ao período pré-industrial, este continua a ser o objetivo principal da COP21 (Conferencia das Partes n.º 21) da Convenção Quadro das Nações Unidas para as Alterações Climáticas que se irá realizar em Paris de 30 de novembro a 11 de dezembro de 2015. A COP20, realizada em Lima, Perú, entre 1 e 14 de dezembro de 2014, chegou a um acordo, designado Apelo de Lima para a Ação Climática, no qual os países devem apresentar as previstas contribuições nacionais de mitigação (intended nationally determined contributions – INDC) até 1 de outubro de modo a que o Secretariado da UNFCCC possa preparar até 1 de novembro um relatório com o efeito esperado à escala global do conjunto das contribuições nacionais. Uma das tarefas da COP 21 será verificar se esse compromisso agregado global é ou não suficiente para evitar ultrapassar os 2.º C e, caso não seja, procurar promover novos compromissos nacionais de mitigação. Contudo a COP 21 irá também procurar chegar a acordos sobre o financiamento de ações de adaptação às alterações climáticas, especialmente nos países menos desenvolvidos e mais vulneráveis, sobre desenvolvimento de uma economia de baixo carbono, sobre transferência tecnológica e sobre a calendarização dos compromissos de mitigação e adaptação e sua implementação.

REFERÊNCIAS

- Anderegg W R L, Prall J W, Harold J and Schneider S H 2010 Expert credibility in climate change Proc. Natl Acad. Sci. USA 107 12107–9
- Ansar, A., B. Caldecott and J. Tilbury, 2013, Stranded assets and the fossil fuel divestment campaign: what does divestment mean for the valuation of fossil fuel assets? Smith School of Enterprise and the Environment, University of Oxford
- Arrhenius, S., 1896, On the influence of carbonic acid in the air upon the temperature, Philosophical Magazine, 41, 237-276.
- Arrhenius, S., 1908, Worlds in the Making, New York: Harper and Brothers.
- Brulle, R., Institutionalizing delay: foundation funding and the creation of U.S. climate change counter organizations, Climatic Change, 122, 681-694.
- Callendar, G.S., 1938, The artificial production of carbon dioxide and its influence on climate, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 64, 223-240.

- Cook, J. et al., 2013, Quantifying the consensus on anthropogenic global warming in the scientific literature, *Environmental Research Letters*, 8, 024024 (7pp).
- Doran, P. and Zimmerman, M., 2009, Examining the scientific consensus on climate change, *EOS Trans. Am. Geophys. Union* 90 22-3
- Engels, A., et al., 2013, Public climate-change skepticism, energy preferences and political participation, *Global Environmental Change*, 23, 1018-1027.
- Fourier, Joseph, 1824, Résumé théorique des propriétés de la chaleur rayonnante », *Annales de chimie et de physique*, vol. 27, p. 236-281
- Fourier, Joseph, 1827, Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires », *Mémoires de l'Académie royale des sciences de l'Institut de France*, vol. 7, p. 569-604
- IPCC, 1990, Intergovernmental Panel on Climate Change, Reports prepared for IPCC by Working Groups I, II and III, United Nations Environmental Program and World Meteorological Organization, Cambridge University Press.
- IPCC, 2014, Intergovernmental Panel on Climate Change, 5th Assessment Report, WGI, WGII and WGIII (<http://www.ipcc.ch/report/ar5/>)
- McGlade, C. and P. Ekins, 2015, The geographical distribution of fossil fuels unused when limiting global warming to 2.° C, *Nature*, 517, 187-190
- Milankovitch, M., 1930, Matematische Klimalehre und Astronomische Theorie der Klimaschwankungen, in *Hanbuck der Klimatologie*, W.Koppen and R.geiger (Editors), Vol.1, Part A pag. 1-176, Berlin, Borntraeger
- Oreskes, N., 2004, Beyond the ivory tower. The scientific consensus on climate change, *Science* 306, 1686
- Pelham, Brett, 2009, Awareness, Opinions About Global Warming Vary Worldwide. The Gallup Organization.
- Santos, F.D., 2007, A Física das Alterações Climáticas, *Gazeta de Física*, Volume 30, Fascículo I, pp. 48-57
- Santos, F.D., 2007a, *Que Futuro? Ciência, Tecnologia, Desenvolvimento e Ambiente*, Lisboa, Gradiva
- Santos, F. D., 2012, Alterações Globais, desafios e riscos presentes e futuros, Fundação Francisco Manuel dos Santos, Lisboa.
- Tyndall, J., 1863, On Radiation through the Earth's Atmosphere, *Philosophical Magazine*, ser. 4, 25: 204-205.
- UNFCCC, 2009, United Nations Framework Convention on Climate Change Conf. Report 43 <http://unfccc.int/resource/docs/2009/cop15/eng/11a01.pdf>
- WMO, 1986, Report of the International Conference on the Assessment of the Role of Carbon Dioxide and of other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts, Villach, 1985, WHO, n.º 661.

(COMUNICAÇÃO APRESENTADA À CLASSE DE CIÊNCIAS
NA SESSÃO DE 5 DE NOVEMBRO DE 2009)