

A mudança climática entre ciência, desafios e decisões: olhar geográfico

Frédéric Bessat

Universidade PARIS IV-Sorbonne

Correio eletrônico: frederic.bessat@paris4.sorbonne.fr

Tradução: Nathalie Dessartre Mendonça

Resumo

A realidade do efeito estufa e do aquecimento global encontra-se atualmente estabelecida. Mas o que isto significa concretamente para o nosso planeta, para nossos países, para nossas regiões, para nossos concidadãos? Uma primeira questão que se coloca aos cientistas é a de precisar como a mudança climática global se traduzirá nas escalas regionais e locais para os diferentes países. Esta questão é difícil: quais serão os novos regimes das precipitações, a nova repartição anual das temperaturas, o agravamento dos riscos de eventos meteorológicos excepcionais? As respostas apresentadas pelos cientistas, fundadas sobre os dados disponíveis hoje, ainda são, apesar de tudo, parciais e mostram tanto o real avanço dos conhecimentos sobre o tema e a extensão do trabalho de pesquisa que há a completar. Qualquer que seja o número e a variedade dos efeitos que a mudança climática terá, ele nos obriga a nos preparar para as conseqüências de toda ordem. Bem entendido, este não deve nos fazer perder de vista a necessidade primordial de combater o mal pela raiz, quer dizer, de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em escala mundial.

Palavras-chave

Mudanças globais – clima – geografia.

Terra Livre	São Paulo	Ano 19 - vol. I - n. 20	p. 11-26	jan/jul. 2003
-------------	-----------	-------------------------	----------	---------------

Introdução

Hoje em dia, o lugar do meio ambiente entre as preocupações das sociedades ocidentais transformou-se, passando do estatuto de vaga inquietação ao de desafio crucial para a sobrevivência da humanidade. O grande interesse em torno da mudança climática evidencia essa transformação. Os decisores, as mídias, os cidadãos interrogam os cientistas a respeito das hipotéticas evoluções ou mudanças climáticas que poderiam ser induzidas, em distintas escalas, pelas atividades humanas. A quantidade de artigos de imprensa e de programas de televisão destinados ao grande público comprova quantas áreas este tema abrange: científica, política, econômica, social e cultural. Portanto, nas escalas regionais e locais, as coletividades territoriais e os profissionais de vários setores de atividades econômicas pedem precisões a respeito de perturbações previsíveis para adaptar as suas ações às situações futuras. As manchetes dos jornais e das revistas são significativas a este respeito.

Basta que o verão seja desastroso ou uma tempestade devastadora para que reapareçam os clichês (“il n’y a plus de saisons” “le temps est détraqué”),¹ relevando mais uma vez que, em se tratando de meteorologia e de climatologia, a verdade é que o homem tem a memória curta. Ao contrário do que muitos pensam, a conscientização pelas mudanças climáticas não é um fenômeno recente. Neste sentido, a modificação do clima nem sempre foi percebida como negativa para a humanidade.

Estas preocupações podem, portanto, parecer paradoxais quando se sabe que as relações entre a história do clima e a dos homens deixaram de ter o caráter urgente que tiveram até o século XVIII nas sociedades fundamentalmente agrícolas, dominadas pelo sempre complicado problema da subsistência. Hoje em dia, muitos são aqueles que consideram que “as estações não são mais marcadas”. Mas será que algum dia elas o foram? “Mas onde estão as neves de outrora?” já se interrogava François Villon, e isso no século XV! Como, então, podemos e/ou devemos interpretar a “volta” da questão climática no limiar do século XXI? Será que as catástrofes naturais as quais assistimos nestes últimos decênios são as premissas de uma mudança climática de grande amplitude? Estaria o nosso planeta se aquecendo? Será que o homem é responsável por essas modificações?

Os cientistas são categóricos: se os governos não começam a agir, todos os países estarão expostos a catástrofes no século XXI (tempestades, inundações, penúria, epidemias). As numerosas observações e modelizações desenvolvidas em vários países convergem no seguinte ponto: o aquecimento do clima. As transformações esperadas ameaçam o equilíbrio do planeta e as sociedades que nele vivem. E mesmo que a amplitude dos efeitos, atuais e futuros, seja incerta, uma conscientização é indispensável e carece de debates aprofundados e abertos. A situação é ainda mais grave quando levamos em conta o fato de o último relatório do Grupo de Peritos Intergovernamental Sobre a Evolução do Clima (GIEC), publicado em 2001, concluir “que um conjunto de elementos sugere que existe uma incerteza perceptível do homem sobre o clima global”.

Mas isso, no momento, não é motivo para entrar em pânico: falar de uma mudança climática global em uma escala de tempo tão curta talvez seja um pouco prematuro: com

1. “Não existem mais estações” “o tempo está louco”.

efeito, a observação de alguma diferença de um decênio para o outro pode, de fato, significar uma real mudança, mas também, uma anomalia, uma simples flutuação dentro do próprio sistema climático. Pensemos em tudo que se escreveu, por exemplo, há dois decênios atrás: nos anos 80, os especialistas falavam de um eventual resfriamento do clima e imaginavam a volta a uma nova era glacial. Quanto à responsabilidade humana, a qual se pensava, nos anos 70, que tinha tudo para ser esmagadora, neste ponto, mais uma vez, a opinião dominante evoluiu: o ritmo do aquecimento constatado não coincide totalmente com aquele do aumento dos gases provocado pelo efeito estufa e poderia ser um fenômeno “natural”, sem dúvida acelerado pelas atividades humanas, porém não obrigatoriamente criado por elas.

Pela sua capacidade de questionar uma opção eminentemente política, social e inclusive civilizacional de desenvolvimento a partir dos riscos de mudança climática, a questão ambiental situa novamente no centro dos debates a problemática das relações entre o homem e o seu meio, problemática que devemos apreender em um contexto realmente pluridisciplinar. Convém, portanto, que o geógrafo participe desse debate. Neste sentido, um dos paradigmas da geografia tem como objeto explicar a organização e o funcionamento natural do meio no qual o homem é um agente entre outros. O estudo das variações e da variabilidade temporais de fenômenos naturais e a sua análise em diferentes escalas espaciais são particularmente levados em conta; neste sentido, o olhar do geógrafo torna-se muito útil. Estes enfoques se revelam indispensáveis para a compreensão dos debates sobre a evolução do clima e em particular sobre a incidência deste nos sistemas naturais e sociais.

Em efeito, a relação entre o natural e o humano não é recente. Fundou a geografia dos gregos antigos, em particular, no que diz respeito à climatologia (exemplo dos textos conservados do Stagirite² a respeito dos Meteorologistas). No século II antes de Cristo, já se falava da diversidade dos meios, enquanto a própria física pré-socrática ignorava o meio. E se Aristóteles era mais inspirado pelas idéias pré-socráticas, segundo as quais o meio tem uma importância muito pequena, por sua vez, em “Ares, águas e lugares”, Hipócrates coloca no centro das suas preocupações a análise das relações dos homens com o espaço, em particular, entre o meio ambiente e a saúde.

A evolução climática: um enfoque da complexidade

O clima é um sistema extremamente complexo, regido por múltiplas interações entre diversos reservatórios (atmosfera, oceano, hidrosfera, criosfera, biosfera). Um grande espectro de escalas temporais (de 1 dia a centenas de milhões de anos) e espaciais (escala local, regional e global) nele intervém (Quadro 1). Esta complexidade explica porque o estado dos nossos conhecimentos evoluiu relativamente “devagar”, o que contribuiu provavelmente, pelo menos em parte, para alimentar os debates que hoje conhecemos.

2. Pátria de Aristóteles.

Quadro 1
 Variações espaço-temporais dos fenômenos climáticos

<i>Escala</i>		<i>Eventos</i>	<i>Survenue</i>	<i>Duração</i>		<i>Manifestação</i>
pequena	planetária	mudanças	freqüente a	evolução	Longo	reaquecimento
escala	ou geral	climáticas	escala geológica	progressiva	prazo	redistribuição das chuvas
						espaço e tempo → variabilidade
	zonal	ENSO	freqüente a	alguns meses		chuva sup./inf. à média
		Ra dos	escala humana			déficit hídrico
		meios semi- áridos				
	regional	securas	freqüência	alguns meses a		déficit hídrico
		sahéliannas	irregular	alguns anos		
grande	local	eventos	freqüência	breve	curto prazo	tempestades
escala		Meteoroló- gicos	irregular			chuvas intensas
		raros				ondas de frio
						ondas de calor

Mudanças na composição da atmosfera e a influência radiativa

Os primeiros trabalhos de S. Arrherius, no século XIX, tratavam da incidência das mudanças de concentrações de CO₂ sobre o clima planetário. Mostraram, pela primeira vez, com sucesso como estabelecer modelos de radiações simples e de equilíbrio energético partindo diretamente de observações. Os modelos de convecção radiativa e de circulação geral de hoje utilizam um tratamento mais complexo, mas são também muito mais difíceis de avaliar. As estimativas atuais dos fluxos radiativos planetários baseadas em dados de satélites e as modelizações parecem indicar uma influência radiativa nítida de uma ordem situada entre 125 w.m⁻² e 155w.m⁻². Cerca de 60% da influência devida ao efeito estufa é causada pelo vapor de água, 25% pelo CO₂ e os 15% restantes por outras substâncias.

Por outro lado, em algumas regiões, as mudanças nas concentrações de aerossóis modificariam de forma significativa o efeito radiativo na superfície e as condições climáticas regionais. Deu-se, por exemplo, muita importância aos aerossóis sulfatados. Portanto, os efeitos dos aerossóis sobre o clima variam consideravelmente no tempo, no espaço e em função das características dos aerossóis.

Na realidade, o pequeno poder de resolução dos modelos tende a subestimar as incertezas dos efeitos indiretos, em grande parte, por causa de uma compreensão insuficiente das propriedades dos aerossóis. As diferenças regionais e sazonais na influência devida aos sulfatos, para citar um só exemplo, em relação aos efeitos mais uniformes de gás com efeito estufa aumentam a complexidade regional da interferência do homem no sistema climático, em particular, no que diz respeito às mudanças na circulação, no ciclo hidrológico e nos regimes de precipitações. A utilização da influência radiativa planetária bruta dos aerossóis e dos gases com efeito estufa na modelização deve ser matizada.

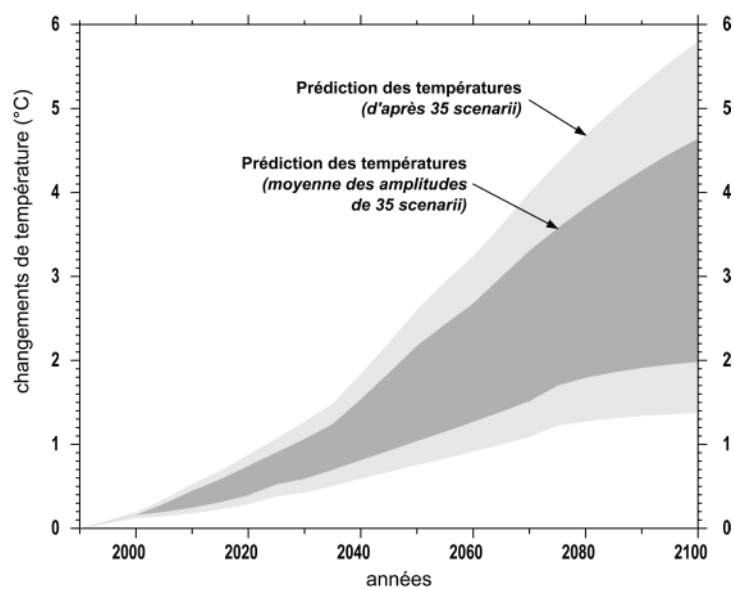
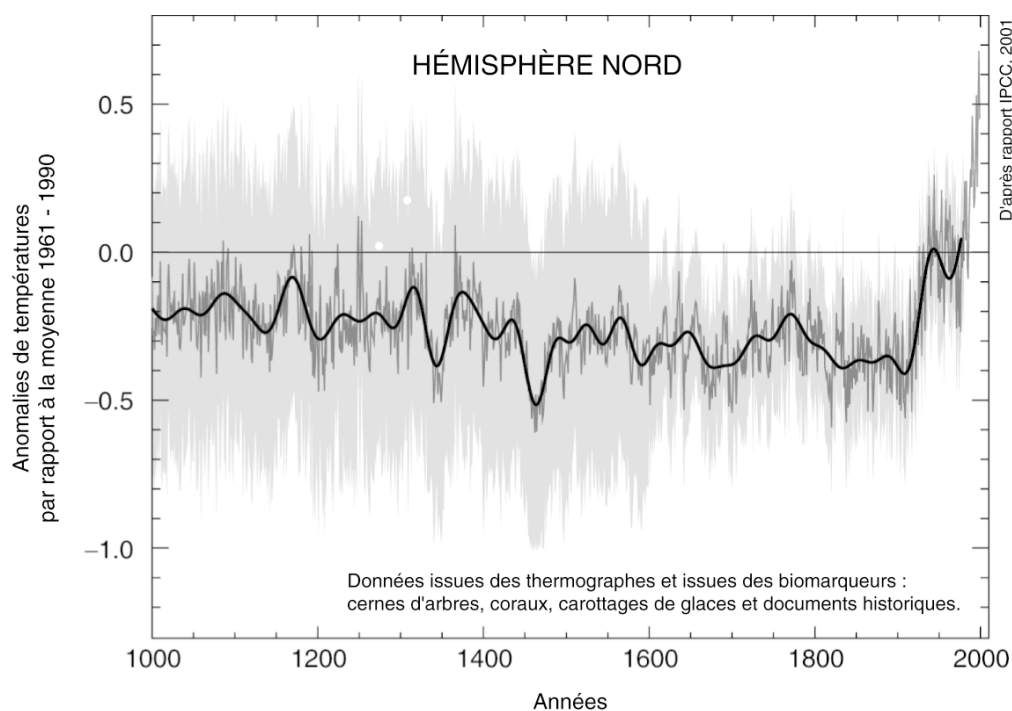
A evolução das temperaturas: entre certezas e incertezas

Os peritos internacionais, reunidos em Haya, em novembro de 2000, para a VI conferência sobre as mudanças climáticas, estabeleceram previsões alarmantes. A temperatura média do planeta aumentou de 0,6°C (com uma margem de erros de 0,2°C) desde 1861 (Figura 1). Além do mais, o século XX conheceu o aquecimento provavelmente mais importante e particularmente o mais veloz desde 10 mil anos. Uma análise de várias dezenas de modelizações do aquecimento induzido pelos gases de efeito estufa indica uma resposta global média que se expressaria por uma temperatura da ordem de 2°C daqui a 2100, com uma margem de erros compreendida entre 1,5°C e 6°C (Figuras 2 e 3). Os modelos apresentam características similares de mudança em grande escala. Em compensação, não concordam com projeções em escala regional. Portanto, as projeções relativas às futuras mudanças climáticas permanecem marcadas por grandes dúvidas que provavelmente não serão muito reduzidas no próximo decênio. Porém, alguns dados podem ser aproveitados.

A importância da margem de erros relativos à evolução das temperaturas esperadas daqui a 2100 deve-se, na realidade, à consideração de enfoques múltiplos, entre os quais dois parecem preponderantes: o enfoque dos economistas privilegia o estudo da evolução de emissões de gás com efeito estufa, que indica que os volumes de CO₂ lançados na atmosfera dependem do ritmo do crescimento econômico; por sua vez, o enfoque dos cientistas analisa a evolução do clima e depende muito da natureza dos modelos adotados, pois a compreensão e o enriquecimento do nosso saber relativo às modificações climáticas precisam de um melhor conhecimento das interações entre os diversos elementos, entre os quais a atmosfera, o oceano, a biosfera, a criosfera e a superfície terrestre.

Para que este estudo seja bem sucedido, convém dispor de ferramentas eficientes, capazes de analisar com eficácia e credibilidade o sistema climático e, em particular, a incidência de emissões antrópicas de gases de efeito estufa e dos aerossóis sobre as modificações da composição da atmosfera. Ora, os modelos são mais ou menos representativos, segundo o número de componentes que integram. Assim, um modelo pode simular somente a atmosfera, enquanto outros, mais completos, combinarão a atmosfera (e as reações químicas que nela intervém), o oceano e as biosferas terrestre e marinha. Considera-se, hoje, que o realismo das simulações climáticas fica cada vez melhor devido à precisão da resolução. Entretanto, os limites de cálculos não permitem atingir uma resolução satisfatória, que dê conta de todos os processos e, em particular, dos inferiores, como a formação das nuvens e suas interações com a radiação atmosférica ou as trocas entre a atmosfera e a biosfera. Por exemplo, o comportamento da atmosfera terrestre coloca em jogo escalas temporais e espaciais muito variadas. O escoamento do ar dentro das cidades ou de uma nuvem diz respeito a escalas da ordem do milímetro (turbulência atmosférica) até a centena de metros e do segundo até alguns minutos. Em compensação, a evolução de uma perturbação atmosférica acontece em milhares de quilômetros e durante vários dias a fio. Nestas condições, fica muito difícil estudar todos esses fenômenos simultaneamente. Ora, as inevitáveis simplificações realizadas na construção dos modelos representam uma primeira fonte de dúvida (as nuvens pequenas ou a evolução da cobertura vegetal não podem ser levadas em consideração com precisão satisfatória). Outros aspectos deixam de ser levados em consideração de modo satisfatório, ora por serem

mal conhecidos, ora porque apenas começamos a compreender a importância de processos químicos e/ou biológicos. Portanto, a defasagem entre a escala dos processos e das grades factíveis nos modelos é um problema a respeito do qual cientistas estão re etindo.



Portanto, a credibilidade dos modelos se vê, às vezes, questionada. Nestas condições, até onde se pode confiar neles? A única maneira eficiente de validar e de tornar esses modelos mais precisos está, portanto, no recurso das reconstituições, as mais precisas possíveis, de cenários reais, que existiram no passado e que correspondem a variações conhecidas da temperatura global e regional. A análise dos dados multidisciplinares, datáveis, gravados nas camadas geológicas sedimentárias pode nos dizer quais meios ambientes paleogeográficos corresponderam às situações mais quentes ou mais frias que as de hoje e, em particular, a seus extremos, definindo assim a variabilidade natural passada e recente das paisagens terrestres.

Os “tempos” da evolução climática

A representação dos climas atuais na superfície da terra não é imutável. Os mecanismos do tempo e do clima podem ser modificados, intensificados ou atenuados e/ou deslocados. A partir do momento em que introduzimos a noção de duração, a análise do clima médio não faz mais sentido, donde o desenvolvimento das noções de variação e de variabilidade do clima. Na verdade, os equilíbrios climáticos só são estáveis em uma escala temporal definida. Assim, distinguimos as utuações climáticas (podemos falar em caprichos do tempo), as descontinuidades (mudança climática brutal), as oscilações climáticas (sistema com descontinuidades em uma duração maior) e as variações climáticas (utuações cuja escala temporal é longa).

As variações climáticas estão, hoje em dia, relativamente bem documentadas e os cenários climáticos e as distribuições das ecozonas atuais só são transitórios na história do planeta. De fato, os arquivos geológicos revelam variações importantes na escala geológica, porém mais modestas na escala do século. A evolução dos climas passados parece ter sido mais lenta que as mudanças que a interferência humana provocaria; esses climas representavam, portanto, estados de pseudo-equilíbrio que não eram necessariamente análogos a respostas aos estados transitórios que podemos esperar para o próximo século. Além disso, os erros importantes que marcam a interpretação dos paleodados, assim como a in uência de fatores não climáticos, como os processos geomorfológicos e a utilização do solo pelo homem, podem provocar vieses nos cenários relacionados ao clima, em particular nas escalas de análises de grande precisão. Mas, apesar desses modelos lembrarem que é preciso ser prudente na hora de utilizar os dados paleoclimatológicos para testá-los, esses dados continuam sendo um recurso útil na compreensão dos processos climáticos. Os esforços realizados para compreender os mecanismos que regem os ciclos glaciário-interglaciário sugerem que os fatores dominantes são a in uência solar e outras grandes retroações (como o oceano e a vegetação).

Atualmente, ainda resta muita coisa a ser feita na área da variabilidade chamada “recente” do clima; a título de exemplo, as mudanças associadas à “Pequena Idade do Gelo” (PAG), que a Europa conheceu entre os séculos XV e XIX, continuam sendo documentadas de modo insatisfatório. Além disso, o aquecimento dos dois últimos séculos parece ter-se acelerado há uns 30 anos. A origem da variabilidade deve ser procurada nos mecanismos de redistribuição do calor na superfície da terra e na evolução da circulação geral da atmosfera. Se existem situações múltiplas, múltiplos fenômenos permitem compreender a importância das trocas

entre o oceano e a atmosfera. Os famosos episódios El-Niño-Southern-Oscillation (ENSO), entre outros, não fazem senão ilustrar o nosso propósito.

Quando queremos atribuir uma causa particular à mudança climática, um dos grandes obstáculos reside na compreensão da variabilidade natural. Entretanto, as indicações sugerem que resulta cada vez mais difícil atribuir a combinação das mudanças atuais à única variabilidade natural. Os estudos da variabilidade natural realizados com modelos associados do clima que conseguem reproduzir relativamente bem a variabilidade passada levam a pensar que o aquecimento do século passado ultrapassa essa variabilidade e, portanto, que se deve provavelmente, pelo menos em parte, a uma influência externa. Do mesmo modo, a concordância entre as modelizações das respostas do clima à interferência humana e às tendências observadas melhorou nestes últimos anos à medida que as experiências numéricas tornaram-se mais realistas. Entretanto, a concordância regional entre as recentes simulações dos modelos ainda continua medíocre e a simulação da influência dos aerossóis continua duvidosa. Isso autoriza a pensar que precisaremos ainda de tempo até conseguir atribuir de fato uma causa às recentes variações climáticas.

A evolução do clima: perspectiva espacial

O estudo dos climas apresenta também o problema da escala espacial. A elaboração de cenários climáticos apropriados ao estudo das consequências apresenta um problema, em particular, devido à insuficiente resolução dos modelos do clima planetário e das dúvidas inerentes à sua performance na escala regional. É o caso, em particular, das variáveis hidrológicas, muito sensíveis aos fatores locais.

A preocupação está em relacionar, nas suas localizações e nos seus caracteres, os climas com o seu contexto zonal e azonal. Com efeito, se existe uma lógica geral que preside a disposição dos climas em função da latitude, existem tantas lógicas regionais quanto intervenções particulares do *substratum*. Em outras palavras, convém evidenciar as relações existentes entre as zonas climáticas e as suas bruscas mudanças internas, ou seja, entender o sentido dos mecanismos e dos seus efeitos nas diversas escalas da realidade climática.

Neste sentido, os climas regionais constituem um mosaico complexo, que responde à intervenção de diversos fatores hierarquizados que guiam a opção de recorte. Os fatores cósmicos e planetários (notadamente a ação do sol, a forma e o movimento da Terra) dominam a organização zonal, enquanto os fatores geográficos (em particular, a distribuição das terras, dos mares e dos oceanos) introduzem alterações azonais.

Assim, para Pédelaborde, o clima da “região” é o ponto de partida de toda análise que se quer séria, o clima zonal representa uma concepção ampla demais, que faz abstração da circulação celular, e o clima local é um conceito restrito demais, que traduz sobretudo fatos estreitamente geográficos. O clima regional é uma boa síntese, já que expressa, ao mesmo tempo, fatos de circulação atmosférica e de configuração geográfica.

Geografia da vulnerabilidade de sistemas naturais e sociais

As variações da concentração de gases de efeito estufa e de aerossóis deveriam, portanto, levar a uma evolução mundial e regional da temperatura, das precipitações e de outros parâmetros climáticos, traduzindo-se por uma mudança da umidade do solo, pela elevação do nível do mar e pela aparição de temperaturas extremas, de inundações e de importantes secas em algumas regiões.

Partindo de modelos climáticos que cobrem o leque das sensibilidades do clima à modificação da concentração de gases de efeito estufa e à amplitude das variações verossímeis das emissões de gases de efeito estufa e dos aerossóis, algumas tendências podem ser evocadas:

- O aumento previsto da temperatura média global na superfície fica em torno a 2°C entre 1990 e 2100. De qualquer modo, o aquecimento seria mais veloz do que foi durante os últimos 10 mil anos. Na escala de 100 a 10 anos, o clima seria marcado por uma variabilidade natural importante.
- Uma elevação do nível do mar está prevista em razão do aquecimento dos oceanos e do degelo das geleiras das montanhas e das calotas glaciárias. A elevação mais provável ficaria por volta de 50 cm daqui a 2100. O valor mais elevado aponta um aumento de 80 cm. Na escala regional, as variações poderiam ser diferentes em relação à média, tendo em vista os movimentos de terra e as variações das correntes oceânicas.
- Notaríamos também as características seguintes: elevação da temperatura da superfície maior na terra que no mar em inverno, aumento máximo nas latitudes elevadas do Hemisfério Norte no inverno, escasso aumento no Antártico no verão, intensificação do ciclo hidrológico em média global e crescimento da quantidade de precipitações e da umidade do solo nas latitudes elevadas no inverno.
- A elevação das temperaturas provocaria um reforço do ciclo hidrológico global, gerando, portanto, um risco maior de secas e/ou de inundações em alguns lugares. As projeções regionais nas fontes de água são muito sensíveis aos cenários e aos modelos hidrológicos utilizados, portanto, devem ser utilizadas com prudência.
- Uma alteração rápida e contínua do clima poderia modificar o equilíbrio da concorrência entre espécies e perturbar o ecossistema forestal, além de modificar e alterar a quantidade de carbono absorvida e liberada pelos biomas terrestres.

Os trabalhos científicos mostram que os ecossistemas, alguns setores socioeconômicos e, em particular, a saúde são sensíveis à amplitude e à rapidez da evolução climática, assim como à modificação da variabilidade climática. Se os efeitos da evolução climática podem ser nefastos em algumas regiões e, às vezes, até irreversíveis, poderiam tornar-se benéficos em outros lugares. Entretanto, as modificações do clima representam mais um *stress* importante para os sistemas já atingidos pela exploração dos recursos, pelas práticas de gestão não sustentável e pela poluição, agressões cujos efeitos muitas vezes são iguais ou superiores

àqueles da evolução climática. Podemos temer que as contingências que interagiram de diversos modos nas regiões reduzam a capacidade de alguns ecossistemas ambientais no fornecimento constante de bens e de serviços necessários ao bom funcionamento econômico e social: produtos alimentícios, ar e água limpos, energia, baixa taxa de doença.

Da vulnerabilidade dos ecossistemas

A vulnerabilidade de um sistema natural ou social se define à medida que a evolução do clima pode prejudicar esse sistema ou danificá-lo. Ela depende não somente da sensibilidade (capacidade de reação a uma transformação das condições climáticas, o que inclui os efeitos benéficos e nefastos), mas também de sua adaptabilidade (capacidade em ajustar os seus mecanismos, seus processos e a sua estrutura de modo a atenuar ou a anular os danos potenciais ou a aproveitar as oportunidades criadas por uma dada mudança do clima).

A evolução da vulnerabilidade na escala regional muitas vezes é qualitativa e fundamenta-se em uma variedade de métodos usados e de cenários considerados. Contudo, de um modo geral, os trabalhos contém informações essenciais sobre os nossos conhecimentos no assunto. As estimativas apresentadas visam indicar a natureza provável e a amplitude aproximativa das conseqüências previstas por diferentes cenários. São essencialmente indicadores da sensibilidade e da vulnerabilidade potencial dos sistemas. Neste sentido, a avaliação da vulnerabilidade dos ecossistemas torna-se indispensável. Com efeito, são fundamentais tanto para o meio ambiente quanto para a sustentabilidade. À origem de muitos bens e serviços essenciais para os indivíduos e as sociedades, a evolução do clima pode modificar a sua localização e a variedade das espécies que abrigam.

É provável que os primeiros efeitos da evolução climática sejam associados à velocidade e à amplitude da variação dos valores climáticos médios e extremos (variação que deveria acontecer logo, devido à velocidade com a qual os ecossistemas se adaptam e restabelecem o seu equilíbrio). Os efeitos secundários incluirão a modificação das propriedades dos solos e do regime das perturbações (animais nocivos, doença etc.), que favorecerão algumas espécies em detrimento de outras e transformarão, assim, a composição dos ecossistemas.

Dados oriundos de simulações sobre a repartição da vegetação, os seus limites, por exemplo, indicam que estes serão sensivelmente modificados e que várias regiões sofrerão um declínio da vegetação que poderá ser atribuído à seca. Nas latitudes médias, um aquecimento de 1°C a 3,5°C, em média, ao longo do século que se inicia, seria igual a um deslocamento das isotermas atuais de 150 a 550 quilômetros ou o seu deslocamento em altitude de 150 a 550 metros. Devido à evolução das temperaturas e à quantidade da água disponível que poderia provocar uma elevação do CO₂, uma proporção importante dos ecossistemas atuais sofreria grandes mutações nos tipos de vegetação, na produtividade e na variedade das espécies. Os ecossistemas aquáticos e terrestres e os regimes de escoamento e do nível das águas poderiam também ser sensivelmente modificados; e haveria repercussões sobre a produtividade biológica, expansão do habitat de algumas espécies ou redução da qualidade das águas.

As conseqüências regionais

Sem sermos exaustivos, tomaremos alguns exemplos para ilustrar o assunto. Na África, há vários climas pelo continente todo, sendo o tropical úmido, o tropical seco e as formas alternadas de seco e úmido os mais freqüentes. Muitos países sofrem recorrentes períodos de seca, dos quais alguns são relacionados ao fenômeno ENSO, em particular no sudeste. Em razão de uma situação singular (contingências exercidas sobre os recursos naturais, importante crescimento demográfico, variação extrema do clima), a África será o continente mais vulnerável às incidências da evolução climática, pois a pobreza generalizada limita as suas capacidades de adaptação. Hoje, as florestas tropicais e os grandes espaços de pastagem estão ameaçados pela pressão demográfica e pelos tipos de ocupação dos solos. As conseqüências gritantes dessa ameaça incluem o empobrecimento da diversidade biológica, a rápida deterioração da cobertura vegetal, o esgotamento das reservas de água. A evolução do clima entrará em interação com essas modificações subjacentes e trará mais *stress* em um meio ambiente que está se deteriorando. Uma elevação contínua de 1°C da temperatura modificaria profundamente a cobertura florestal e as pastagens, a repartição, a variedade e os comportamentos migratórios das espécies, assim como a repartição dos biomas. Se a diminuição prevista das precipitações, em particular no Sahel e na África Austral, for acompanhada de uma forte variabilidade interanual, ela poderia prejudicar o balanço hídrico. Uma queda dos níveis de água poderia reduzir a qualidade das águas, o que multiplicaria os riscos de doenças. As principais conseqüências na área da saúde serão o aumento da incidência das doenças de transmissão vetoriais e o estado nutricional da população. A elevação da temperatura poderia favorecer a extensão do paludismo; a modificação das temperaturas e da configuração das precipitações ameaça provocar também o aumento da incidência de febre amarela, da dengue, da onchocercose e da tripanossomíase.

Na Europa, devemos nos preparar para modificações sensíveis, mesmo se as capacidades de adaptação nos sistemas construídos de muitas partes da Europa forem relativamente importantes. A proximidade do Gulf Stream e a circulação atmosférica própria ao continente contribuem à grande variabilidade espaço-temporal das temperaturas e das precipitações. As principais incidências deveriam ser imputáveis à mudança de freqüências dos fenômenos extremos e das precipitações, provocando mais secas em algumas partes e mais inundações úvias em outras. Neste contexto, as doenças de transmissão vetorial se estenderiam.

Na América do Sul, os países e as regiões são muito heterogêneos no que diz respeito ao clima, aos ecossistemas, à distribuição da população e às tradições culturais. Muitos países (notadamente o Equador, o Brasil, o Peru e o Chile) serão graves vítimas das repercussões socioeconômicas desde a variabilidade sazonal até a variabilidade interanual do clima, em particular pelo fenômeno ENSO. Por isso, as conseqüências da variabilidade atual do clima sobre os recursos naturais levam a pensar que as futuras incidências serão suficientes para justificar que as levemos em consideração nas atividades de planejamento na escala nacional e regional. As mudanças climáticas previstas deverão repercutir nas grandes áreas de florestas e de pastagens, nos ecossistemas das montanhas e nas áreas de transição entre os tipos de vegetação, por serem considerados extremamente vulneráveis. As mudanças poderiam inclusive agravar os efeitos do desmatamento contínuo da floresta amazônica. É provável que

a evolução do clima venha a ter conseqüências maiores sobre o ciclo hidrológico, modificando a intensidade e a distribuição espaço-temporal das precipitações, o escoamento de superfície e a recarga dos lençóis freáticos, com incidências sobre os ecossistemas naturais e as atividades humanas. Por outro lado, poderiam piorar as conseqüências diretas da elevação do nível do mar, do mau tempo e das condições climáticas extremas (inundações, elevações repentinas dos níveis das águas úvias, ventanias, desmoronamentos, ondas de frios e de calor...). Nestas condições, podemos temer o desaparecimento de parte das terras litorâneas e da diversidade biológica (recifes de corais, ecossistemas de mangues, zonas úmidas dos estuários).

A mudança climática: a necessária adaptação

Na realidade cada país, cada setor da economia e cada cidadão tem responsabilidades ou atividades relacionadas com as mudanças climáticas, ou susceptíveis de ser afetadas por elas. Os trabalhadores da floresta, os planejadores urbanos, os donos de casa, os responsáveis de política e os voluntários implicados na ajuda internacional, para limitar-nos a alguns deles, todos têm razões para querer informar-se e preocupar-se a respeito de como devemos adaptar-nos às mudanças climáticas.

Porque os países precisam de pesquisa sobre os impactos e a adaptação?

Numerosas necessidades de pesquisa se manifestam na área das ciências do clima, do desenvolvimento tecnológico, dos impactos e da adaptação. A ampliação dos nossos conhecimentos nessas diversas áreas constitui uma parte essencial da resposta dos Estados para o desafio que representam as mudanças climáticas.

Estabeleceu-se um consenso internacional quanto ao fundamento científico das preocupações em relação às mudanças climáticas. Também são amplamente reconhecidas a influência perceptível do homem sobre os processos climáticos da terra, assim como a existência de riscos reais e significativos. A soma das evidências científicas quanto à ocorrência dessas mudanças requer uma ação imediata. As atividades de redução de emissões constituem um componente importante das ações de muitos países. Entretanto, é preciso reconhecer que, no melhor dos casos, a redução das emissões só poderá diminuir o ritmo das mudanças climáticas, mas não as eliminará. Também é necessário reparar que as emissões de muitos países, portanto globais, continuam crescendo.

Precisamos, portanto, nos preparar para as mudanças que acontecerão nas próximas décadas. Esses preparativos consistem, em primeiro lugar, em compreender melhor os impactos potenciais das mudanças climáticas na escala regional. Apesar de ainda não conhecer a taxa exata e a amplitude das mudanças climáticas regionais, é justificável, desde já, a tomada de precauções para reduzir os riscos. Devemos avaliar cuidadosamente as conseqüências possíveis das mudanças climáticas, identificar as áreas mais vulneráveis e empreender ações necessárias à nossa adaptação às mudanças esperadas.

A adaptação também é um componente essencial para a resposta da comunidade internacional às mudanças climáticas. A capacidade de adaptação varia em função das regiões e, muitas vezes, é menos desenvolvida naquelas mais duramente afetadas pelas mudanças como, por exemplo, os pequenos Estados insulares em desenvolvimento. O compartilhamento dos conhecimentos e da tecnologia com os países em via de desenvolvimento ajudará a melhorar a sua capacidade de adaptação. Na medida em que a capacidade de adaptação de um país, de uma comunidade ou de uma empresa aumenta, a vulnerabilidade às mudanças climáticas diminui.

Em que consiste “a adaptação”?

A adaptação ao clima não é uma novidade. Ao longo de milhares de anos, as sociedades humanas passaram muito tempo se adaptando aos climas. A adaptação às mudanças climáticas apresenta um desafio singular que supera aqueles provocados pela variabilidade habitual. As mudanças climáticas resultaram num aumento das temperaturas médias, numa elevação do nível dos oceanos, em mudanças na distribuição das precipitações e, em algumas regiões, em um aumento da frequência e da importância dos fenômenos climáticos extremos. Além disso, os impactos previstos dessas mudanças dar-se-ão num lapso de tempo relativamente curto. O ritmo das mudanças e os prazos de implantação das medidas de prevenção têm um efeito combinado que exige uma preparação tão aprofundada quanto possível.

A adaptação provoca ajustes nas nossas atividades econômicas e sociais com o fim de melhorar sua viabilidade e de reduzir a sua vulnerabilidade perante as mudanças climáticas. Isso inclui medidas visando reduzir ou impedir impactos negativos, assim como as etapas que empreendemos para maximizar as oportunidades novas. Também fazem parte da adaptação os investimentos na pesquisa científica e no desenvolvimento de planejamentos de gestão e de investimento que comportam medidas de reação às mudanças climáticas.

A adaptação pode ter várias formas. As táticas, em curto prazo, podem ser utilizadas em reação a uma situação; por exemplo, restringindo o desperdício de água ao regar a grama em época de seca. Entretanto, a defesa da conservação da água nas regiões onde se prevê penúrias é uma ação muito mais estratégica. A preparação para as temperaturas extremas revendo o código da construção ou pondo em dia as infra-estruturas municipais constitui um tipo de adaptação proativa em longo prazo. A utilização de vários tipos de adaptação por uma companhia, uma indústria ou por um governo em resposta às mudanças climáticas pode ser considerada muito apropriada.

Como podemos nos adaptar às mudanças climáticas?

As respostas a seguir apresentam o entendimento atual da gama de respostas adaptativas e das categorias gerais das medidas. O aperfeiçoamento do nosso conhecimento permitirá aos decisores planejarem medidas adaptativas mais adaptadas a uma região ou a uma atividade econômica em particular. As medidas adaptativas vão desde a intervenção dos indivíduos ou das empresas ao desenvolvimento de infra-estruturas, passando pelas políticas de

planejamento. Podem ser implantadas na escala local, nacional ou global e implicar mudanças tecnológicas, institucionais ou comportamentais.

Contam-se cinco categorias de medidas fundamentais de adaptação que podem ser utilizadas em resposta a riscos identificados:

- impedir a perda – adotar medidas visando a reduzir a vulnerabilidade às mudanças climáticas;
- tolerar a perda – não fazer nada para reduzir a vulnerabilidade e absorver a perda;
- expandir ou compartilhar a perda – não reduzir a vulnerabilidade, mas antes distribuir os seus efeitos entre os diferentes sistemas ou populações;
- mudar a atividade – interromper as atividades não viáveis nas novas condições climáticas e substituí-las por outras atividades;
- mudar-se – deslocar a atividade ou o sistema.

Já que o custo da adaptação poderá ser, em alguns casos, bastante elevado, a identificação dos riscos e um rápido planejamento, incluindo ao mesmo tempo as comunidades e a indústria, será essencial para a concepção de estratégias eficientes e permitirá reduzir os custos em longo prazo associados a seu desenvolvimento. Importa que os países disponham de toda a informação de que precisam para participar das discussões e das decisões sobre a adaptação às mudanças climáticas. Maximizando a participação, ajudaremos a auxiliar o desenvolvimento com opções adaptativas e, ao mesmo tempo, minimizaremos os custos econômicos, sociais e ambientais.

Resumindo, diminuir o ritmo da mudança climática pode reduzir de maneira significativa os riscos para os ecossistemas e a sociedade, mas não pode eliminar todos os impactos negativos. Por consequência, a adaptação preventiva pode ser um excelente meio de evitar os perigos potenciais da mudança climática, sobretudo no que diz respeito às decisões em longo prazo relacionadas às infra-estruturas, ou de inverter as tendências sociais que poderiam agravar os perigos. Entretanto, a adaptação continua sendo uma opção de resposta mal compreendida e muitas vezes deixada de lado, tanto nos meios da pesquisa quanto na política. Um primeiro passo em direção à adaptação seria aumentar a capacidade de resposta à variabilidade atual do clima, implementando as instituições e as políticas regulamentares necessárias. Os estudos sobre a adaptação devem também examinar as opções dentro do contexto maior, de um meio ambiente natural e humano evoluindo. Para os ecossistemas naturais tanto costeiros quanto terrestres, as estratégias de resposta eficientes devem levar em consideração os efeitos concomitantes da mudança climática e das mudanças sofridas pelos processos biofísicos, assim como aqueles relativos a outros *stress* (entre os quais a influência direta no homem), em uma perspectiva holística integrada.

Conclusão

Na realidade, a evolução do clima é uma história secularmente atuante (tendo como pano de fundo de um clima que só é estável em longo prazo). História atuante e não obrigatoriamente, como se generaliza muitas vezes, “mudança de clima”. A convergência dos dados e dos pontos de vista dos climatólogos, meteorologistas e dos historiadores inaugura, deste modo, sob o ângulo do clima, uma historiografia específica das condições naturais, uma “história geográfica” ou *geohistória*. Sem querer reconstituir uma história do clima com causalidades simplistas, os cientistas devem utilizar métodos científicos confrontando muitas fontes documentais.

A consideração das questões climáticas em uma perspectiva temporal deve mostrar que as perguntas nunca podem ser separadas do modo que os homens definem e redefinem sempre os usos sociais da natureza. Neste sentido, frente à incerteza do que será o futuro, prestemos atenção ao fato de alguns cientistas, economistas ou políticos aproveitarem-se do real interesse do público no problema do aquecimento climático para elaborar cenários apocalípticos utilizados outrora. Pelo contrário, a incerteza da análise dos peritos talvez ofereça a sua chance ao homem político. A oportunidade não só de gerenciar, mas sobretudo de propor, de inventar e de agir. Isso passa por opções que nem sempre serão fáceis, mas que poderiam prefigurar um modelo de sociedade para o futuro século.

O desafio é muito grande. Convém então reencontrar as bases das antigas civilizações, aquelas que sempre colocaram o homem na natureza e não em posição de ditador arrogante, negociando seu lugar em harmonia com o meio do qual depende. Neste contexto, será que as sociedades ocidentais são capazes hoje de inventar formas de ecodesenvolvimento? Eis aqui um dos desafios do século XXI e respondê-lo releva, em parte, a ação política.

RÉSUMÉ

La realidad del efecto invernadero y del calentamiento global están hoy establecidas. Pero, ¿qué significa eso concretamente para la Tierra, para nuestros países, para nuestras regiones, para nuestros conciudadanos? La primera cuestión que se plantea a los científicos es precisar cómo el cambio climático global se traducirá en escala regional y local para los diferentes países. Esa cuestión es difícil de responder: ¿Cual será el nuevo régimen de precipitaciones, la nueva distribución anual de temperatura, el agravamiento de los riesgos de eventos meteorológicos excepcionales? Las respuestas dadas por los científicos, fundamentadas sobre los datos hoy disponibles, son todavía, a pesar de todo, parciales y muestran tanto el progreso real del conocimiento del tema como la extensión del trabajo de investigación que hay que realizar. Cualquiera que sea el número y realidad de los efectos que el cambio climático tendrá, ello nos obliga a prepararnos para todo orden de consecuencias. Debe quedar claro que eso no debe hacernos perder de vista la necesidad primordial de combatir el mal por la raíz, o sea, de reducir la emisión de los gases del efecto invernadero en escala mundial.

PALABRAS-CLAVE

Cambio global – clima – geografía.

ABSTRACT

The greenhouse effect and the global warming is currently a reality. However, what does this concretely mean to our planet, our countries, our regions, our fellow citizens? The first question to be placed to the scientists is to precise how the global climate change will re ect on regional and local scales for different countries. This question is difficult: what will be the new rainfall patterns, the new yearly temperature division, and the aggravation of abnormal meteorologic events? The answers presented by the scientists today based on the data currently available are still partial and can only show the extension of research work to be completed yet. Whatever the number and variety of effects that a climatic change will have it oblige us to prepare for consequences of all kinds. And this should not prevent us from fighting the problem in its origin, that is, reducing greenhouse effect gases in a worldwide scale.

KEY WORD

Global change – climate – geography.

Recebido para publicação em 6 de dezembro de 2002.