

6. O CAMBIO CLIMÁTICO NUNHA SOCIEDADE SEDENTA

Responde co que sabes agora

- Podes definir o nivel freático e explicar como cambia cando extraemos auga dun pozo?
- Se os glaciares continentais se funden, sobe o nivel do mar; mais isto non pasa se se funde o xeo que aboia sobre o mar. Podes explicar por que?
- Mira un mapa de Asia. Que problemas podería causar na India a fusión dos glaciares do Himalaia? E en China?
- Por que a elevación da temperatura pode provocar o aumento do número e da forza dos furacáns?
- Cres que podería chegar a haber guerras pola auga?

A auga na civilización actual

Xa vimos no Capítulo 5 como a escaseza de auga foi unha das causas principais da desaparición de varias culturas antigas. Agora ímonos ocupar dos problemas relacionados coa auga na nosa civilización. Este é un Capítulo importante: bastantes científicos consideran que o principal reto que temos no futuro inmediato, moito máis ca o esgotamento do petróleo, é xusto a auga. Recentemente, 18 premios Nobel pediron que a auga sexa declarada Patrimonio da Humanidade, pero é difícil saber para que había servir unha declaración así. Por exemplo, para que lles ía servir aos campesiños do norte da India e do norte de China, que teñen que facer pozos cada vez máis fondos para atoparen auga?

O que si é verdade é que a tecnoloxía ofrece novas solucións ao problema da escaseza de auga; así, grazas á nosa capacidade de desalgar a auga mariña, os estados do golfo Pérsico teñen auga abundante, malia estaren situados nunha zona desértica (Figura 1). Inda que iso se logra mediante un gran gasto de enerxía, algo que xa sabemos que ao medio natural non lle sae gratis.



Figura 1. Proxecto de xardíns dun centro de convencións en Ğidda, Arabia Saudita.





Os países cun desenvolvemento económico máis rápido (nestes momentos, China e India) son os que teñen maiores problemas de auga. O río Huang He, ou río Amarelo, o segundo máis importante de China, hai tempo que xa non chega ao mar, porque toda a súa auga se emprega en regadíos, en industrias ou nas cidades; o Indo, compartido por India e Paquistán, só alcanza o océano Índico durante a tempada de choivas, que son dous meses ao ano. O Huang He e o Indo non son casos illados, senón que 30 dos 47 grandes ríos do planeta teñen problemas de sobreexplotación ou de contaminación, e a maioría están sobreexplotados e, por riba, contaminados. En España, moitos ríos, coma o Miño, o Sil, o Mijares ou o Turia, apenas conservan caudal.

Moitos lagos correron a mesma sorte: o lago Chad, en África, perdeu o 90 % da súa auga nos últimos 40 anos; e o mar de Aral, en Asia, desapareceu por completo.



Figura 2. Un barco varado no que ata o século XX foi o Mar de Aral.

No noso país, as lagoas de Ruidera estiveron a piques de secar, devoradas polos agricultores. Agora se están a recuperar grazas a que se limitou a cantidade de auga que se pode extraer da zona.

- Busca nun atlas a situación do lago Chad, do mar de Aral e das lagoas de Ruidera. En que tipo de clima están situados? Explica iso o seu desecamento?

Os ríos e os lagos reflicten o problema xeral da auga na Terra (Figura 3). As zonas con maiores problemas de abastecemento, agora ou nun futuro próximo, son, por unha banda, Estados Unidos, Europa e Xapón (ou sexa, o mundo desenvolvido e superpoboado), e, pola outra, India e o leste de China, ou sexa, os países en desenvolvemento máis poboados. Outras áreas problemáticas son as grandes cidades, coma Bos Aires, México, São Paulo, Seúl ou Cidade do Cabo. É interesante fixarse, na Figura 3, en que algúns países desenvolvidos pero con baixa densidade de poboación, como Canadá ou Australia (malia ser na súa maior parte desértico), non teñen problemas de auga. Ou sexa, que o problema non é o desenvolvemento, senón a superpoboación.

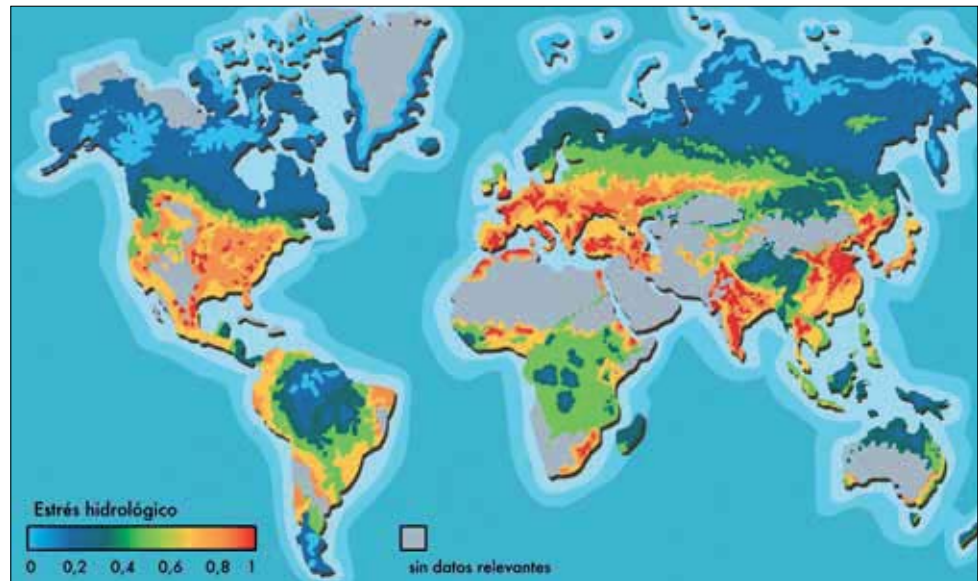


Figura 3. O mapa do estrés hídrico mundial. Representado nunha escala de 0 a 1, é especialmente grave nas zonas de cor amarela a vermella. En gris, os desertos.

- Tendo en conta o que sabes do ciclo da auga, di se esta é un recurso renovable ou non renovable, e por que.

Na maior parte da Terra estase a explotar a auga coma se fose un recurso inesgotable, pero a proba de que isto non é certo é que hoxe 1.100 millóns de persoas teñen menos auga da que precisan e, ademais, a pouca que poden usar é de mala calidade. Iso é o que os **hidrólogos** (os científicos que estudan este tema) denominan estrés da auga ou **estrés hídrico**: auga escasa e contaminada, e un futuro problemático.

A cantidade mínima de auga que unha persoa necesita para poder vivir con dignidade chámase **limiar de pobreza hídrica** e é de 20 litros cada día. Os habitantes dos países máis pobres non alcanzan este limiar: en Angola, Camboxa, Etiopía, Haití, Ruanda e Uganda dispoñen só de 15 litros ao día, e en Mozambique, o país máis pobre dende o punto de vista hidráulico, nada máis que de 5 litros ao día. Como podíamos supoñer, os países desenvolvidos son tamén grandes consumidores de auga: cada habitante de Estados Unidos dispón de 575 litros diarios; cada australiano, de 495; cada xaponés, de 375; e cada español, de 320.

Sabes canta auga se gasta para que poidamos tomar unha cunca de café? Mil litros, se contamos dende a que se precisa para regar a planta ata a que usamos para limpar a cunca. Igual ca esta, moitas das cousas sinxelas que facemos consomen cantidades enormes de auga.

E, como podes comprobar na seguinte ilustración, no futuro inmediato moitos países van dispoñer cada vez de menos auga; o feito de que estean en zonas moi distintas da Terra dinos claramente que estamos ante un problema global. A causa deste aumento do estrés





hídrico é dobre: por unha banda, o aumento da poboación e, pola outra, a diminución da auga potable, tanto a dos ríos coma a subterránea.

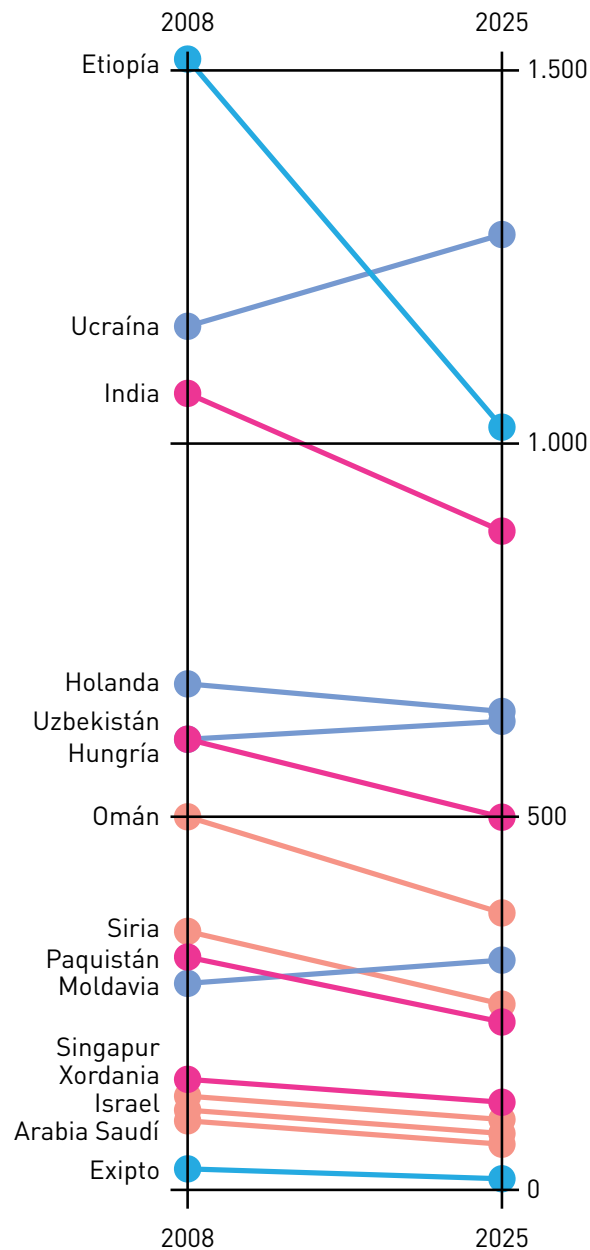


Figura 4. Perspectivas hídricas de varios países ata 2025. Só algúns países europeos (Ucráína, Hungría, Moldavia) contan con acuíferos por explotar que lles permitirán mellorar a súa subministración. Escala en metros cúbicos por persoa e ano.

● Busca o significado do termo **acuífero fósil** e explica como cres ti que habería que explotar estes acuíferos.

O Capítulo da auga subterránea é importante. Moitos **acuíferos** (rochas con poros que almacenan auga neles) son fósiles, e todos en xeral seguen a baleirarse porque non chove dabondo para compensar a cantidade de auga que se extrae. O **nivel freático** (a superficie que separa a zona seca da zona con auga subterránea) segue a baixar en case todas as

partes. En resumo, cada vez hai menos auga nos continentes e máis nos océanos, o que contribúe ao aumento do nivel do mar, un problema que imos analizar máis adiante.

● Parece claro que a auga é algo precioso. Como cres que debería ser, cara ou barata?

Na Figura 5 podes ver os prezos da auga, tanto en cada comunidade autónoma española coma noutros países. Todo o mundo di que hai que aforrar auga e, ao mesmo tempo, que non é posible pagar máis por ela; pero o certo é que a figura permite ver que no noso país a auga é moi barata: 1,28 € por metro cúbico.

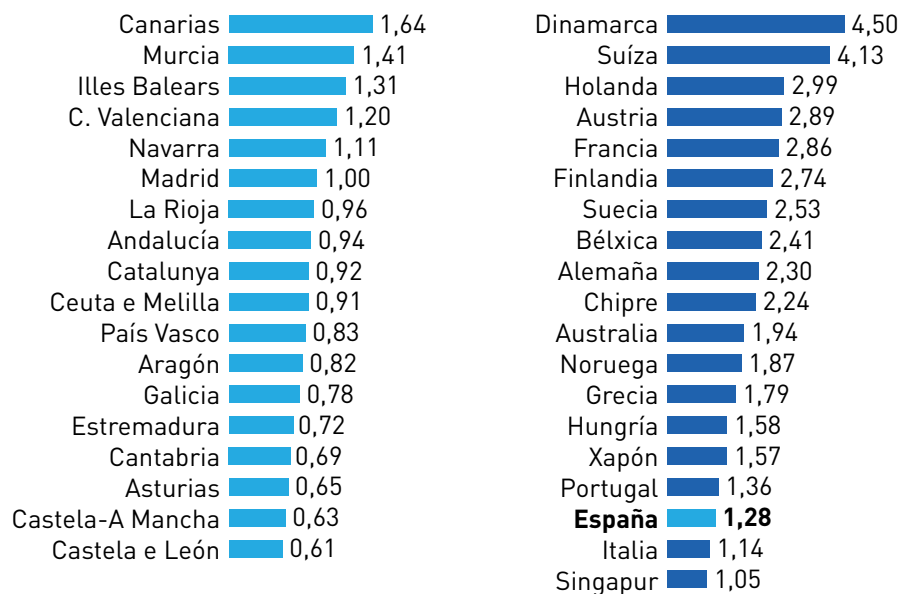


Figura 5. O prezo da auga en España e nalgúns países do mundo en euros por metro cúbico. As diferenzas no noso país débense a que as subvencións (en xeral, municipais) son moi variables.

● Pregunta canto custa unha botella dun litro de auga no supermercado e compárao co prezo dun litro de auga da billa na túa comunidade autónoma. Agora busca os datos de pluviosidade media en España e en Dinamarca e compáraos co prezo da auga en cada país. Que conclusións podes tirar das dúas comparacións?

Pero 1,28 €/m³ é o prezo medio para usos industriais e urbanos; os agricultores pagan como moito 0,17 €/m³, e ás veces só 0,02 €/m³, ou sexa, auga practicamente gratis. E regalar algo que hai que aforrar semella máis ben contradictorio. Así opina, por exemplo, a Unión Europea, que aprobou unha norma pola cal, a partir do 2015, todos os países da Unión van ter que acercarse ao prezo real da auga se queren optar a subvencións en novas obras hidráulicas. No noso país, e en moitos outros, o prezo da auga é simbólico. Isto quere dicir que o consumidor só paga unha pequenísima parte do que custa levar auga ata a súa casa. É o que se chama un *prezo político*, e subilo sería unha medida moi impopular; por iso ningún goberno se atreve a tomala.





● Quen gaña e quen perde co prezo político da auga?

Existen varias solucións para remediar a escaseza de auga (Figura 6):

- Mellorar a rede de distribución. As perdas nas canalizacións e condutos poden chegar ao 40 %.
- Mellorar os métodos de rega: o sistema de inundación é moi pouco eficaz.
- Transvasar a auga das zonas onde sobra a aquelas onde falta.
- Construír plantas desalinizadoras.



Figura 6 a) Unha condución deficiente.



Figura 6 b) Esquema de rega por goteo, un método agrícola que aforra moita auga.



Figura 6 c) O transvasamento entre os ríos Tajo e Segura.



Figura 6 d) Unha planta desalinizadora en Catalunya.

Os dous primeiros remedios son indiscutibles: trátase de conseguir o mesmo con menos auga. Os outros dous son máis problemáticos. Nun mundo no que se prevén problemas crecentes con este recurso, os transvasamentos vense como a solución perfecta nas zonas receptoras, mais como unha resposta malísima nas **cuncas hidrográficas** (a área drenada por un río e os seus afluentes) doadoras. Os transvasamentos que se realizan en canles abertas teñen perdas altas por evaporación cando transitan zonas áridas; a súa construción require en todos os casos moito cemento que, na súa produción, libera CO_2 , e o seu transporte consome cantidades importantes de enerxía pola necesidade de bombear a auga.

As desalinizadoras fixéronse cada vez máis frecuentes dende que a técnica (bombear a alta presión auga mariña a través dunhas membranas que reteñen o sal) permitiu baixar o prezo de produción dende máis de 2 €/m³ (cara a 1970) ata o actual, de 0,50-0,70 €/m³. En todo o mundo hai 120 millóns de persoas que beben auga producida en desalinizadoras. Os seus principais problemas son: consomen moita enerxía (e, xa que logo, emiten moito CO_2) e

producen unha auga residual moi salina, que pode danar a fauna e a flora mariñas se se devolve ao mar sen precaución.

- Busca en Internet datos e opinións sobre a polémica existente en España sobre o conflito entre os partidarios e os detractores de seguir transvasando auga do río Tajo ao río Segura.

Todo o anterior demostra que o problema da auga na sociedade actual é complicado porque require comprendermos a circulación da auga no noso planeta (Capítulo 2), a relación da auga coa vida (Capítulo 4) e coas culturas humanas (Capítulo 5), e a utilización actual da auga (Capítulo 6). E esta cuestión hase complicar inda máis no futuro inmediato por mor de dous factores: o incremento da poboación e o Cambio Climático Global. A mediados do ano 2012 a poboación mundial acadará os 7.000 millóns. Baseándose no número de fillos que se adoitan ter nas sociedades desenvolvidas, e supoñendo que a mediados de século todos os países van estar xa desenvolvidos, os sociólogos prognostican que, cara ao 2050, o número de habitantes se estabilizará nuns 9.000 millóns. Calcúlase que para esa data o estrés hídrico podería afectar a máis de 5.000 millóns de persoas.

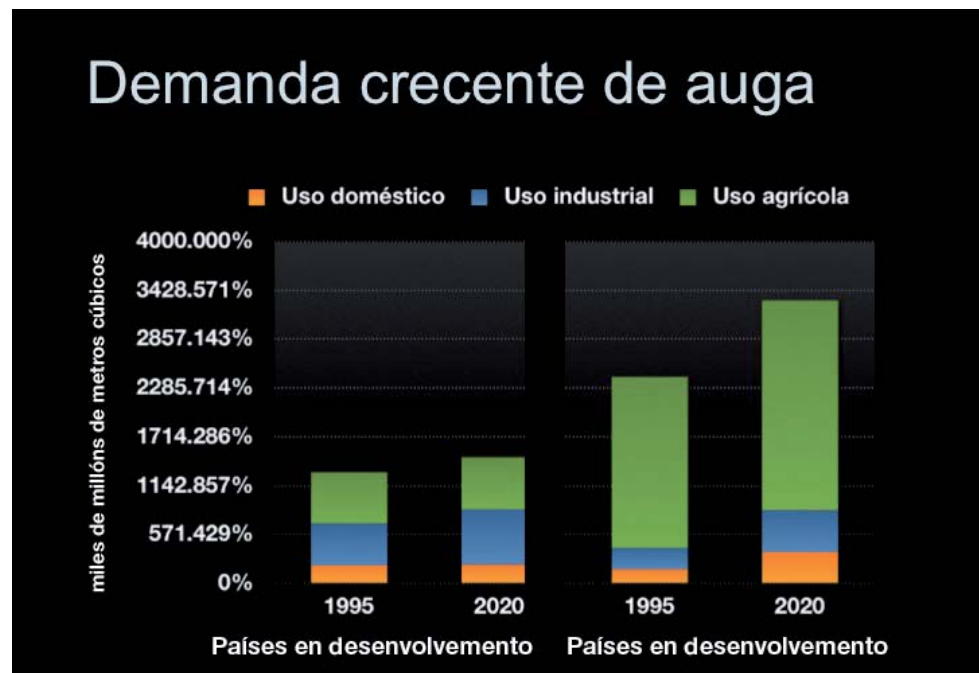


Figura 7. Demanda crecente de auga (tomada de TCPS)

A seguir, imos estudar como o actual cambio climático pode afectar á dispoñibilidade de auga no futuro inmediato.





Os cambios previsibles na hidrosfera a consecuencia do Cambio Climático Global

Secas

O cambio climático vai modificar a distribución das precipitacións (Figura 8). Moitas zonas van ser máis secas, e a agricultura e a silvicultura teranse que adaptar. O complicado é que este futuro chega cando en moitas zonas se están a alcanzar os límites das reservas de auga. Por exemplo, en México e California, unha área cun crecemento acelerado da poboación e onde as temperaturas ascenderon moito (agora hai 1°C máis que a media do século XX), as secas habidas entre o 2000 e o 2010 foron as maiores dende o ano 1900. O Grupo Intergubernamental de Expertos para o Cambio Climático (GIEC; IPCC, en inglés) prognosticaba estas *megasecas*, pero a partir do 2020. Esta anticipación do estrés hídrico tivo consecuencias non só na agricultura, senón tamén na silvicultura: secaron centos de miles de árbores tan resistentes como son os piñeiros, e os incendios forestais multiplicáronse.

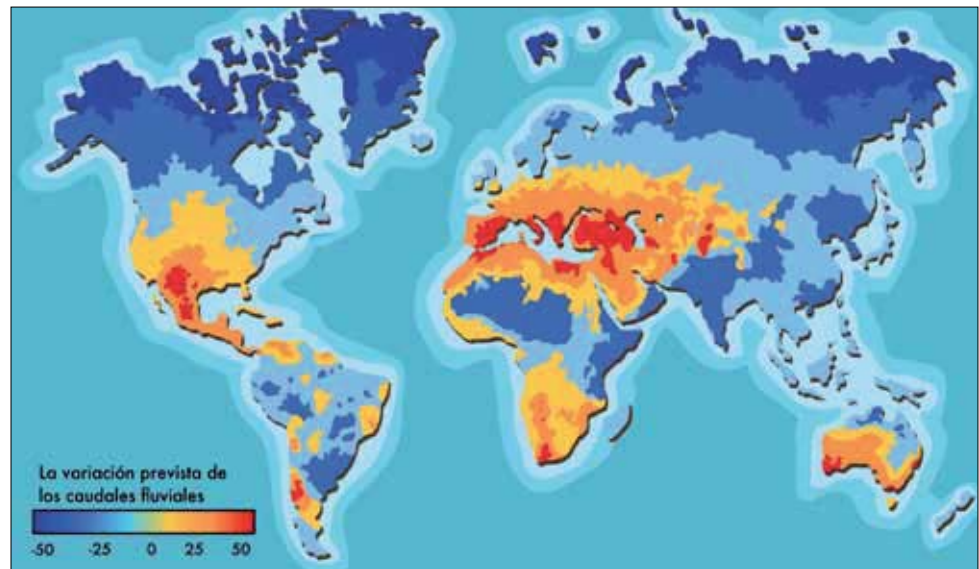


Figura 8. A variación prevista dos caudais fluviais no mundo no período 2081-2100, comparada coa media dos anos 1981-2000. Namentres que os caudais aumentan nas latitudes altas (cor azul), outras zonas, coma o Mediterráneo, serán máis áridas (cor vermella).

Estas que xa se empezan a chamar **secas do cambio global** están a afectar tamén a China. Este país concentra o 20 % da poboación mundial, pero só posúe entre o 5 % e o 7 % das reservas de auga. O norte (Figura 9) é desértico; inclúe, entre outros, parte do famoso deserto de Gobi.



Figura 9. O árido norte de China: ruínas de Malikwat, unha cidade construída fai 3000 anos ao bordo do deserto de Takla Makán.

Con todo, o problema tornou en nacional, xa que as megasecas golpearon o sur, a rexión máis húmida (Figura 10). E namentres que en EE UU e en Europa se coñecen ben os acuíferos, isto non ocorre en China, que só estudou o 10 % das súas augas subterráneas. O que si é seguro é que no norte o nivel de auga dos pozos baixou 1 metro cada ano dende 1974; e no sur, onde o desenvolvemento foi moi rápido, o 60 % da auga subterránea está cargada de metais pesados e doutros contaminantes. A auga é escasa en dous terzos das 660 grandes cidades chinesas, e calcúlase que cara ao 2030 o país estará usando o 90 % dos seus recursos de auga. Nunha recente conferencia sobre a auga, un hidrólogo chinés sentenciou: “*Se continuamos a este ritmo de desenvolvemento económico, axiña nos habemos atopar diante dun muro*”.



Figura 10. A seca de 2009-2010 na provincia de Yunnan, ao sur de China, deixou sen auga a millóns de persoas.





- Que quería dicir o científico con esta frase? Cal é o muro? E cal é a alternativa para non chocar contra el?

A cunca do río Amazonas concentra as olladas de todas as persoas que se preocupan polo ambiente. Como vai evolucionar este pulmón verde planetario ante o cambio climático? Como podemos ver nas figuras 3 e 7, prognosticase só un aumento lixeiro do estrés hídrico nesta zona, pero o último informe (2007) do IPCC (*International Panel for the Climate Change*, ou Grupo Intergubernamental de Expertos para o Cambio Climático, GIEC) suxería que case a metade da Amazonia ía sufrir con esta redución. Esta idea discutiuse logo de que, tras unha seca grave no 2005 (a pluviosidade reduciuse ata un 75 %), o estado xeral da selva pareceu mellorar.

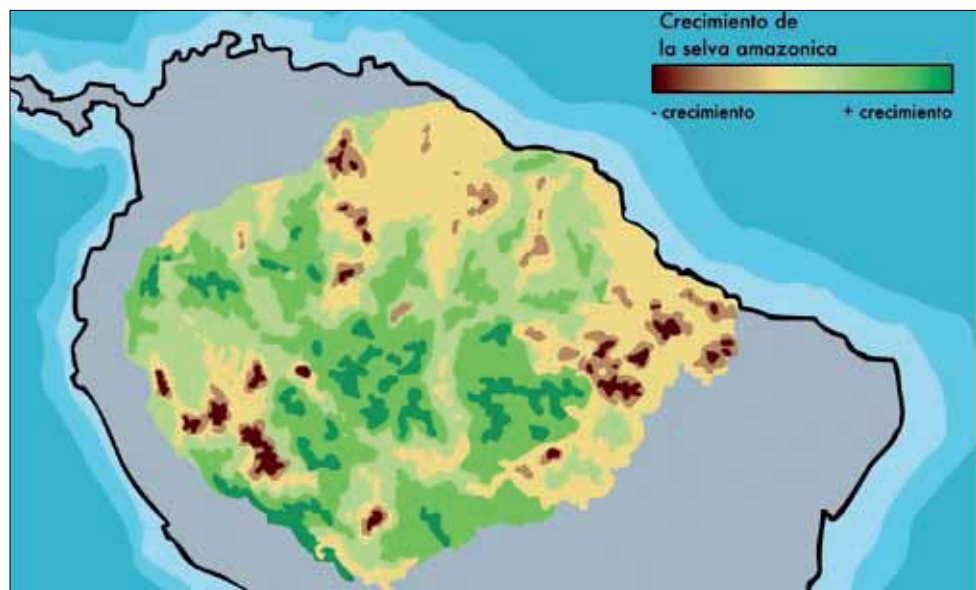


Figura 11. A seca do 2005 produciu na selva amazónica un aparente crecemento acelerado (manchas verdes), pero esta interpretación foi discutida.

Os meteorólogos explicaron que a ausencia de nubes permitira que as árbores absorbesen máis enerxía solar, e os botánicos recordaron que o aumento de CO_2 reduce a absorción de auga na fotosíntese. Así e todo, outros estudos con datos do mesmo satélite non confirmaron que a selva mellorase durante a seca.

Esta discusión pon de relevo o pouco que sabemos sobre unha das áreas críticas para a saúde do planeta. Un dato non discutido foi que colosais tormentas, asociadas ao aire seco, derrubaron máis de 500 millóns de árbores; coma sempre, nun sistema tan complexo como é a Natureza é difícil prever todos os danos colaterais. Outro exemplo: en Bangladesh, os modelos climáticos prognostican que no 2100 o monzón chegará dúas semanas máis tarde do habitual, e que esta seca prolongada acurtará de maneira importante a temporada de crecemento dos vexetais.

Por último, en España todas as predicións coinciden: o noso país vai ser un dos que máis sufrirán un incremento da aridez como consecuencia do cambio global.



Figura 12. Un reflexo do cambio climático global na zona pirenaica: a súa parte oriental verá máis reducidas as súas precipitacións como parte do descenso xeral destas no Mediterráneo.

A temperatura en ascenso, que provoca a evaporación da parte máis superficial dos acuíferos e deixa os ríos sen alimentación subterránea, será unha causa máis da perda de caudal duns ríos xa sobreutilizados.

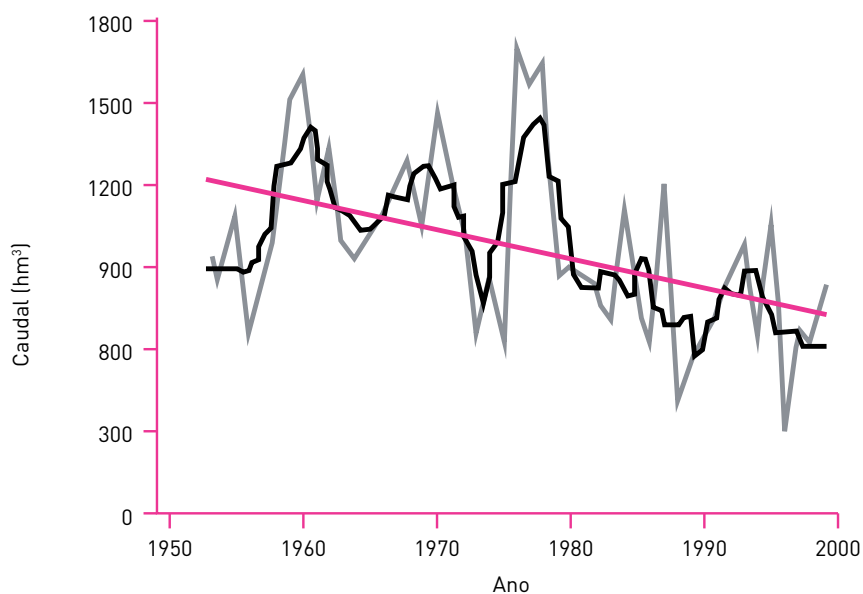


Figura 13. Dende 1950 ao 2000, o caudal do Río Aragón (ao seu paso por Yesa, Huesca) descendeu a pouco máis da metade.

● Que quererá dicir iso de “alimentación subterránea”? É cando seca o manancial do río?

Como xa se dixo, España evapórase, e a os científicos que nos visitan cústalles entender que nos resistamos crer no Cambio Climático Global, se temos en conta que somos coma un laboratorio natural das consecuencias que este fenómeno vai ter para a auga e para a vida en





todo o planeta. Por poñer un exemplo trivial: os hostaleiros estremécense ante a perspectiva de que as praias españolas sufran (como xa está empezando a ocorrer) invasións masivas de medusas pola repercusión que isto tería no turismo. Inda así, a pouco que o informe 2007 do IPCC estea no certo, esta sería a menor das nosas preocupacións.

Deshielo

Durante os últimos tres millóns de anos, namentres o xeo avanzaba arreo sobre Europa e América do Norte para logo volver recuar, o nivel dos océanos oscilou enormemente.

● Tes claro por que?

A última destas variacións, durante o último período glacial, levou os mares 130 metros por debaixo do seu nivel actual. Hoxe, co aire e coa auga do planeta cada vez máis quentes, os glaciares están a retroceder rapidamente, moito máis do que previra científico ningún (tampouco os que redactaron o informe do IPCC no 2007).



Figura 14. O declive do xeo na Terra entre 1976 e o 2005 medido como adelgazamento dos glaciares. Actualmente só aumentan de grosor zonas da Antártida Oriental.

A posibilidade de que a Terra perda todo o seu xeo non é ningunha anomalía; ao cabo, o planeta estivo libre de glaciares durante o 85 % da súa historia. A diferenza hoxe é que —primeiro para pescar e navegar, e agora ademais porque nos gusta tomar o sol nas praias— as costas de case todos os continentes están ocupadas por millóns de persoas. Onde van ir se o nivel do mar segue a subir? Por iso é moi importante saber a que velocidade se pode producir ese proceso: nuns miles de anos, nalgúns séculos, ou só nunhas poucas décadas? A nosa sociedade está a meterlles présa aos glaciólogos, os científicos especializados no estudo do xeo, para que respondan a esta pregunta. Nos últimos anos, un exército deles observa con moita atención o comportamento do xeo, tanto nos polos coma nas maiores cordilleiras. Vexamos o que descubriron.

O océano Ártico

En 1845, os barcos *Erebus* e *Terror* (Figura 15), que, ao mando do capitán inglés John Franklin, tentaban cruzar dende o Atlántico ao Pacífico a través do mítico paso do Noroeste, quedaron atrapados no xeo nun dos mil estreitos do Ártico canadense (Figura 16). Franklin

morreu, e con el os seus 129 mariñeiros, e o seu fracaso representou o punto máis baixo das expedicións polares no século XIX.



Figura 15. O *Erebus* e o *Terror* de John Franklin nos tormentosos mares árticos.



Figura 16. Os barcos de Franklin atoparon a súa tumba preto desta illa canadense, a metade de camiño entre o Atlántico e o Pacífico.

En outubro do 2010, o trimarán *Northern Passage* (Figura 17), tripulado polos noruegueses Børge Ousland e Thorleif Thorleifsson, entraba no Atlántico logo de circunnavegar por completo o océano Ártico: dende Noruega ata o estreito de Bering polas costas de Siberia e, dende alí, de novo ao Atlántico polo norte de Canadá.



Figura 17. O *Northern Passage*, o trimarán co que Ousland e Thorleifsson circunnavegaron por vez primeira o Ártico no 2010.



Figura 18. A ruta do *Northern Passage*. Simbolicamente, Ousland e Thorleifsson pasaron polo lugar onde o *Erebus* e o *Terror* se perderon.





● Compara os dous relatos. Analiza:

- os tipos de embarcación,
- as tripulacións,
- os motivos de cada viaxe
- e as súas dificultades.

Por que se di no texto “o mítico paso do Noroeste”? Que significa *mítico*, e que significa neste contexto? E se estamos a falar do paso do Noroeste, por que o barco de Ousland e Thorleifsson se chama *Northern Passage* e non *Northwestern Passage*?

Estas dúas historias son, en realidade, unha soa: a historia do cambio climático global que a Terra está a experimentar (Figura 19) dende a Revolución Industrial (que, casualmente, ten como data aproximada de inicio a da expedición de Franklin).



Figura 19. Temperaturas no Ártico nos últimos 2000 anos. O descenso ata o século XIX (liña recta) explícase por unha diminución da enerxía solar recibida pola Terra a causa do movemento do seu eixo de rotación. Esta tendencia prosegue agora, pero o seu efecto foi contrarrestado polo quecemento provocado polos gases de invernadoiro: é o popular pau de hockey.

Se alguén di que non cre que o clima estea a cambiar, débelle contar estas dúas historias: como o xeo destruíu dous grandes barcos con ducias de tripulantes en 1854, e como 165 anos despois (ou sexa, un intre na historia da Terra) non puido impedir que un barco lixeiro atravesase non só a ruta que o *Erebus* e o *Terror* non puideron franquear, senón que dese a volta completa ao océano Ártico, algo que nin sequera se pensaba no século XIX.

Este océano estase a desconxelar (Figura 20). O 21 de xullo do 2007, un barco normal (non un crebaxeos) puido, por vez primeira dende que hai rexistros, atravesar dende o Atlántico ata o Pacífico pola costa canadense; no entanto, aínda é unha navegación perigosa debido á gran cantidade de icebergs. Calcúlase que no 2020 poderán navegar polo Ártico barcos normais sen maiores problemas. Ademais de acurtar enormemente as rutas marítimas (Vigo-Toquio: 21.000 km por Suez, 23.300 por Panamá, e só 16.000 polo paso do Noroeste) a nova situación permitirá explotar os enormes xacementos de petróleo e gas que se detectaron no fondo do océano Ártico.



Figura 20. A diminución do xeo flotante no Océano Ártico: dende a media do final do século XX (liña verde claro), pasando polo mínimo do 2003 (liña verde escura), ata o mínimo absoluto do 2007 (liña vermella). O retroceso continúa, xa que o océano se puido circunnavegar no 2010, en canto que no 2007 o xeo aínda cerraba a costa siberiana.

● Estas son as vantaxes. Podes pensar nalgún inconveniente?

Estes cambios adiantáronse polo menos 20 anos ao previsto polo IPCC: a situación do 2007 era a estimada para o 2030 na peor das previsións. Nos últimos veráns o xeo retrocedeu a velocidades de ata 15 km/día. Con estes datos, a fusión completa do xeo do Ártico converteuse nunha posibilidade real, algo que podería acontecer neste século. Isto non sería perigoso respecto do nivel do mar, porque, ao se fundir, o volume de xeo é ocupado por auga, sen que se produzan cambios de nivel.

● Lembras o principio de Arquímedes? Refréscao e aplícao a este caso.

Non obstante, cando o xeo lle cede o seu sitio á auga, o que cambia é o **albedo**, ou sexa, a cantidade de luz que reflicte a superficie. O xeo rexeita o 90 % da radiación solar que recibe, namentres que o mar reflicte só o 20 %; así que a fusión de xeo acelera o quecemento do planeta.

Para rematar, están os osos polares. Dados os seus hábitos de caza (axear as focas en buracos no xeo), a fusión do xeo supón un duro golpe para eles: téñense rexistrado casos





de afogamento de osos que non atoparon xeo sobre o que pousar. A súa capacidade de migración tamén se reduciu moito (Figura 21), o cal deu lugar a un fenómeno novo: a súa hibridación co oso pardo norteamericano, detectable por unhas manchas escuras no seu pelame, que podería ser o preludio da desaparición desta especie.



Figura 21a. As poboacións de osos polares (maior densidade de individuos, cores máis escuras). As poboacións norteamericanas empezan a hibridarse cos osos pardos.



Figura 21b. Un exemplar con manchas escuras, resultante da hibridación.

- Ocorrésese algunha solución para o problema dos osos polares? A ver cal destas che parece a menos mala:
- Acelerar a súa hibridación cos osos pardos, que non dependen do xeo para se alimentaren.
 - Declarar o océano Ártico Reserva da Biosfera.
 - Financiar os zoos para que teñan moitos exemplares.
 - Parar o Cambio Climático Global.

Así que cando che digan que o cambio climático global non é un Capítulo urxente, pódelles dicir que para unha das especies máis fermosas coas que compartimos este planeta é máis ca urxente: é unha cuestión de vida ou morte.



Figura 22. Para os osos polares, moito.

Groenlandia

Como se pode ver na Figura 23, onde aparecen as estacións de medición do grosor do xeo glaciar, Groenlandia converteuse no maior laboratorio para lle tomar o pulso ao elemento máis perigoso do cambio climático global: a fusión dos casquetes polares. A fusión de Groenlandia faría que os mares subisen uns 7 metros, o que, na xerga dos glaciólogos, xa se chama **equivalente Groenlandia**.



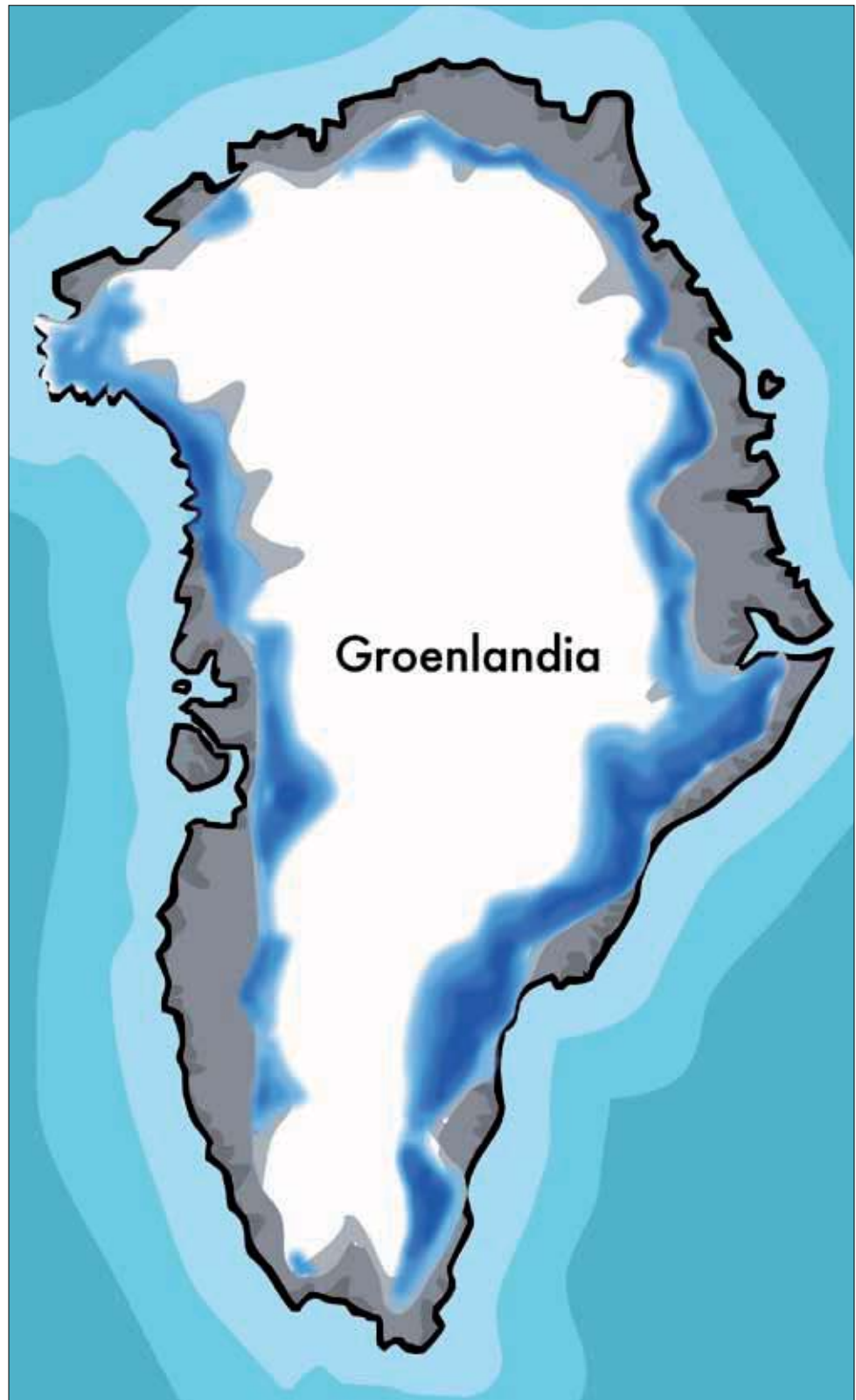


Figura 23. No 2008, o adelgazamento do xeo de Groenlandia (cor azul), mediuse en 54 puntos.

Por que Groenlandia e non a Antártida, onde hai tanto xeo que a súa fusión significaría 70 metros de subida dos océanos? As razóns son varias. Unha é estratéxica: Groenlandia é

moito máis accesible que a Antártida dende os laboratorios e as universidades europeas e norteamericanas, onde traballan a maior parte dos glaciólogos. Outra é táctica: a noite cobre a Antártida durante seis meses ao ano, mentres que Grenlandia, situada a menor latitude, permite facer traballo de campo durante máis tempo. Así e todo, a razón decisiva é que Grenlandia experimentou recentemente perdas de xeo de gran magnitude, o que fixo temer que os seus glaciares se estivesen achegando a un **punto crítico**, un **limiar** a partir do cal se producise o desxeo total.



Figura 24. Portada do número do 17 de abril do 2008 de Nature, a revista científica máis importante do mundo: Estase a fundir Grenlandia?

- Explica por que Grenlandia parece máis sensible ao cambio climático global que a Antártida.

En Grenlandia, coma na Antártida, o xeo flúe por gravidade dende o centro de cada continente cara ás costas, con velocidades de decenas a centenas de metros ao ano. Do mesmo xeito que no océano Ártico, no verán prodúcese unha fusión de xeo que se recupera no inverno. Mais nos últimos anos a recuperación foi só parcial: os glaciares mingúan. O ano máis importante foi o 2007, xa que nese verán se perdeu un 30 % máis de xeo ca no 2005, que era o ano récord ata ese momento (lembramos que o 2007 foi tamén o ano con menos xeo no océano Ártico). Colocouse un enxame de sensores para ver se no 2008 continuaba a tendencia á baixa e comprobouse con alivio que ese ano se perdeu menos xeo. Porén, pouco durou a alegría, xa que a recuperación no 2009 foi escasa: a tendencia neta é a aceleración do desxeo (Figura 25).



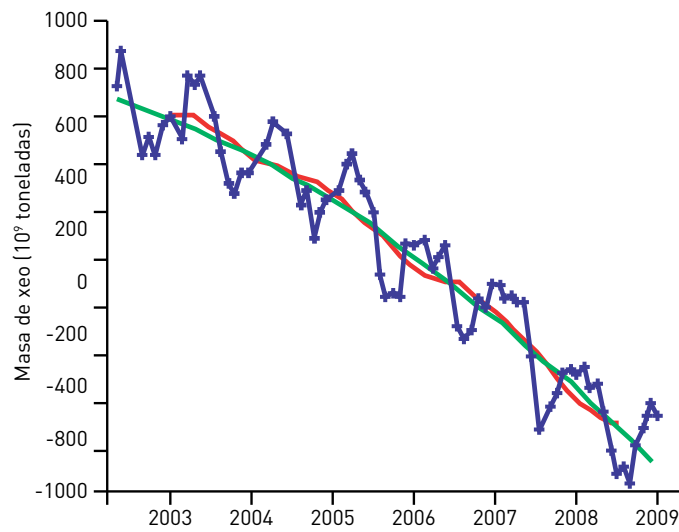


Figura 25. O descenso no volume de xeo de Grenlandia.

Este proceso pódese deber ao aumento da temperatura do aire ou da auga, ou á suba do nivel do mar; é probable que ás tres cousas. Por exemplo, a temperatura media no Ártico no 2007 foi 3,9°C máis alta que en 1991. Realmente, o xeo tería que ser de pedra para non sentilo! Este aire transmitelle a súa calor á auga, que, pola súa banda, funde o xeo de xeito eficaz. Se a temperatura do verán é tan alta que permite a chuvia, fórmanse sobre o xeo lagos cuxa auga acaba por se infiltrar na masa de xeo (Figura 26a); xa na base deste, lubrícana, acelerando o seu fluxo e, polo tanto, a perda de xeo (Figura 26b).



Figura 26a. Un lago de verán filtrase por unha greta no xeo de Grenlandia.



Figura 26b. A auga chegará ata a base do glaciar, onde fundirá o xeo en canles coma esta, diminuíndo o seu rozamento coa base, o que fará aumentar a súa velocidade.

O xeo que flúe con rapidez estírase, perdendo grosor; isto é o que miden os sensores terrestres e os que levan os satélites de observación ambiental. Pola súa banda, a elevación do nivel do mar fai que aumente a parte da lingua glaciar apoiada sobre este; daquela o xeo, rodeado de auga, fúndese con facilidade (Figura 27).

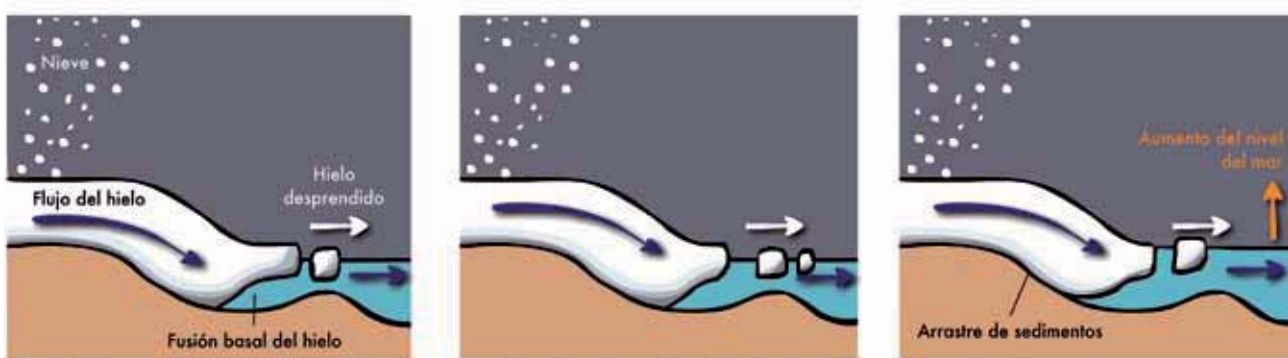


Figura 27. A evolución dunha fronte glaciar cando o nivel do mar sobe: unha masa meirande de xeo aboia na auga, o que diminúe o rozamento da base e polo tanto acelera o fluxo.

- Falamos de limiares ou puntos críticos. A propiedade que os define é que neles se produce unha **retroalimentación**: un efecto sérvelle de causa ao efecto seguinte. Podes aplicar este concepto á elevación do nivel do mar e á fusión dos glaciares que desembocan neste?

A tendencia destes glaciares no futuro próximo segue a ser un motivo de preocupación. Un glaciólogo experto nesta zona cre que un aumento de temperatura de 3°C (que é o previsto para o 2100 polo xa citado informe do IPCC; véxase a Figura 4-1) provocaría a fusión do 90 % do xeo de Groenlandia. Estamos asistindo ao principio da fusión de Groenlandia? Hoxe ninguén pode responder a esta pregunta; inda que tampouco se discute que o xeo se está a fundir máis rápido do que prevían ata os modelos máis pesimistas.

A Antártida

Unha pouco coñecida mais gran cadea de montañas (as montañas Transantárticas) divide este continente en dúas partes: a Antártida Occidental, da que a parte máis coñecida é a península antártica, e a Antártida Oriental, unha enorme cúpula con espesores de ata 4 quilómetros de xeo.





Figura 28. Esquema xeográfico da Antártida e situación das figuras que mostran procesos importantes de desxeo. A liña vermella marca o principio das plataformas de xeo.

Os glaciares antárticos repiten, a moita maior escala, os procesos que están a suceder en Groenlandia. A maioría dos glaciares da Antártida Occidental están a acelerarse e, polo tanto, a adelgazar (Figura 29). Case o 90 % dos 244 glaciares da península antártica retrocederon nos últimos 50 anos, o que confirma que perden xeo de forma rápida. En conxunto, a Antártida Occidental perde uns 150 km³ de xeo cada ano.



Figura 29a. O adelgazamento (cores amarela e vermella) dos glaciares antárticos. A maioría dos glaciares que perden máis xeo están na Antártida Occidental.



Figura 29b. O de Pine Island é un dos mellor estudados. A súa velocidade multiplicouse por 4 entre 1995 e o 2006. As gretas transversais son a resposta do xeo ao estiramento.

- Busca o dato do volume de xeo da Antártida Occidental. Ao ritmo de $150 \text{ km}^3/\text{ano}$, canto tardaría en fundirse todo? Que conclusións se poden sacar do resultado sobre se é urxente ou non actuar ante o Cambio Climático Global?

Ademais, na península producíronse nos últimos anos varias roturas de plataformas **de xeo**, prolongacións dos glaciares sobre o mar que adelgazan ata se desintegren (Figura 30). É importante sinalar que estas plataformas foran estables durante os últimos 400 anos. Todos estes fenómenos son a resposta lóxica do xeo ao quecemento global. O aire e a auga que rodean a península antártica estanse a queimar máis rápido que en calquera outro punto da Terra; un glaciólogo dixo que é como cortar manteiga cun coitelo quente.

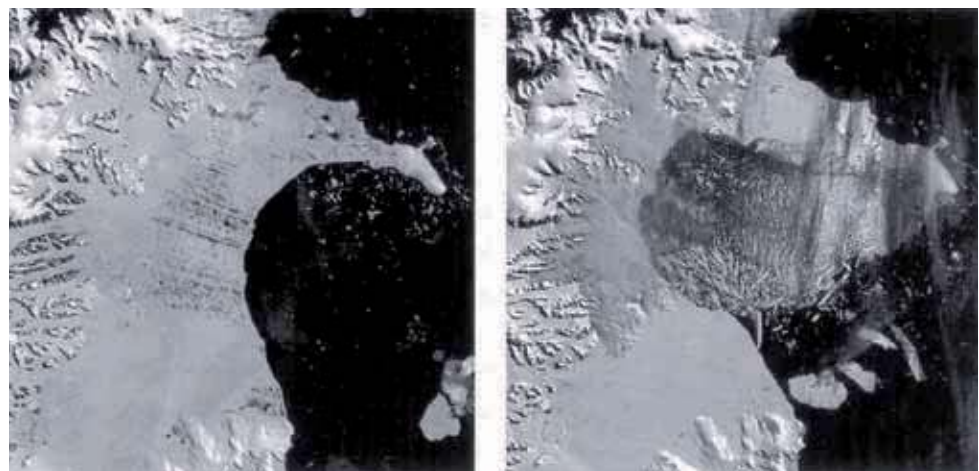


Figura 30. Unha parte da plataforma de xeo Larsen B, na costa leste da Península Antártica, antes e despois da súa desintegración, que se produciu no 2002 en só cinco semanas. A superficie rota foi de 3.500 km^2 . Como comparación: a provincia de Pontevedra ten 4.500 km^2 . As sete roturas de plataformas de xeo nos últimos trinta anos suman 25.000 km^2 , moi cerca da extensión da comunidade autónoma galega, 29.574 km^2 .





Inda que de xeito menos marcado, a Antártida Oriental tamén está a experimentar este tipo de procesos.



Figura 31. A fronte do glaciar Totten, na Antártida Oriental, fragmentouse no 2009, de xeito moi parecido á de Larsen B.

Algúns científicos comparan a situación actual coa que se deu hai 5 millóns de anos, cando a Antártida, cunha atmosfera enriquecida en CO₂ polos volcáns, experimentou un desxeo moi rápido. Un factor que podería contribuír a acelerar aínda máis o proceso é a topografía do continente: se quitásemos o xeo, veríamos que case a metade da Antártida está moi por debaixo do nivel do mar (Figura 32). Se este sobe dabondo, podería haber unha inundación da base dos glaciares, o que podería acelerar a súa fusión.

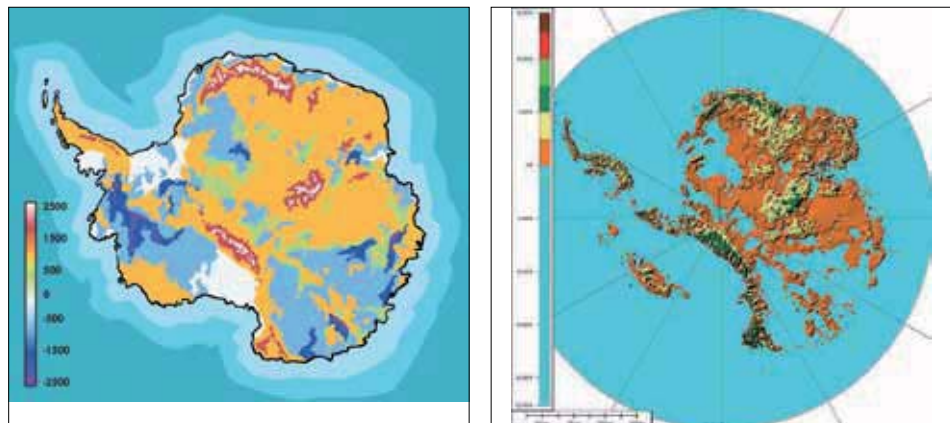


Figura 32. Topografía da Antártida en metros respecto do nivel do mar. Algúns puntos do continente, afundido baixo o peso do xeo, están a máis de 2.000 metros de profundidade. No segundo, con cotas en pés (0,30 m), apréciase o efecto teórico de retirar a capa de xeo.

Os glaciares de montaña

Se o xeo que hai preto dos polos se está a fundir a toda velocidade, que non che estrañe que os glaciares doutras zonas climáticas menos frías sigan o mesmo camiño. Destes, os máis importantes son os do Himalaia, unha rexión á cal, polo seu volume de xeo, algúns lle chaman *o terceiro polo*. Nestas montañas hai case 50.000 glaciares que están a recuar entre 10 e 75 metros cada ano.

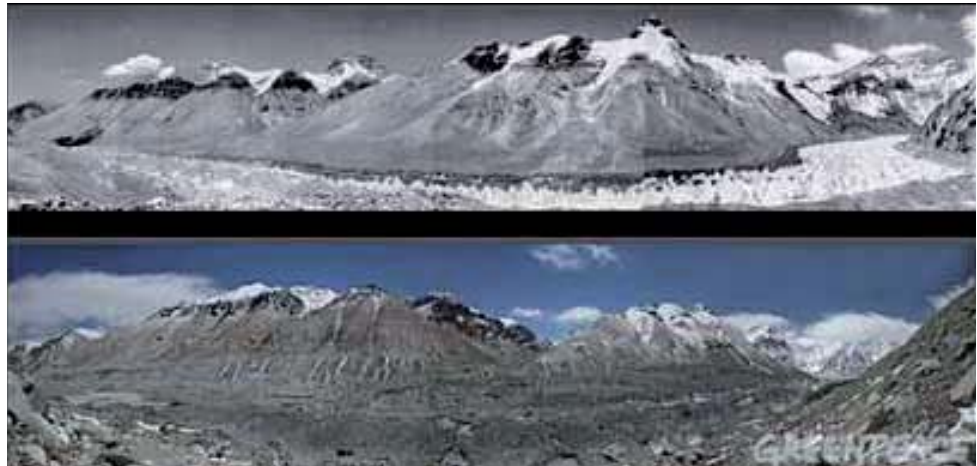


Figura 33. O glaciar de Rongbuk, no Himalaia, perdeu case todo o seu xeo entre 1968 (arriba) e o 2007.

A este ritmo, para o 2050 a maioría estarán desaparecidos, e a finais dese século non ha quedar ningún. Noutras partes do mundo a evolución é a mesma. Dos 1.500 glaciares dos Alpes suízos, só uns poucos se manteñen ou avanza. A fronte do meirande deles, o glaciar de Aletsch, retrocedeu dous quilómetros no século XX. Os glaciares americanos (Figura 34) e africanos (Figura 35) non son excepcións, e nos Pireneos só quedan pequenos residuos de xeo (Figura 36).

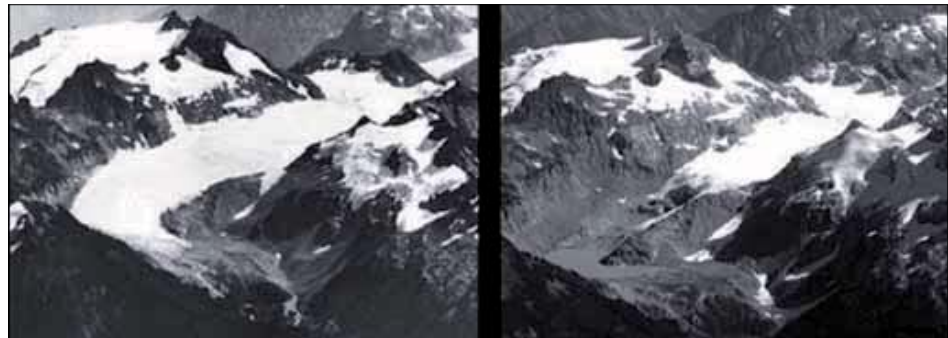


Figura 34a. O glaciar South Cascades, en Estados Unidos, entre 1928 e o 2000.

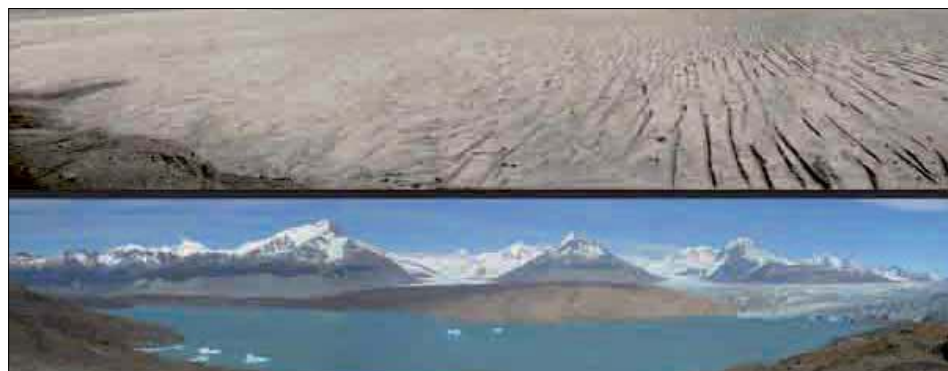


Figura 34b. O glaciar Upsala, en Arxentina, entre 1928 e o 2004.





Figura 35. O glaciar que coroaba o Monte Kilimanjaro, en Kenia, desapareceu practicamente entre 1993 e o 2000..

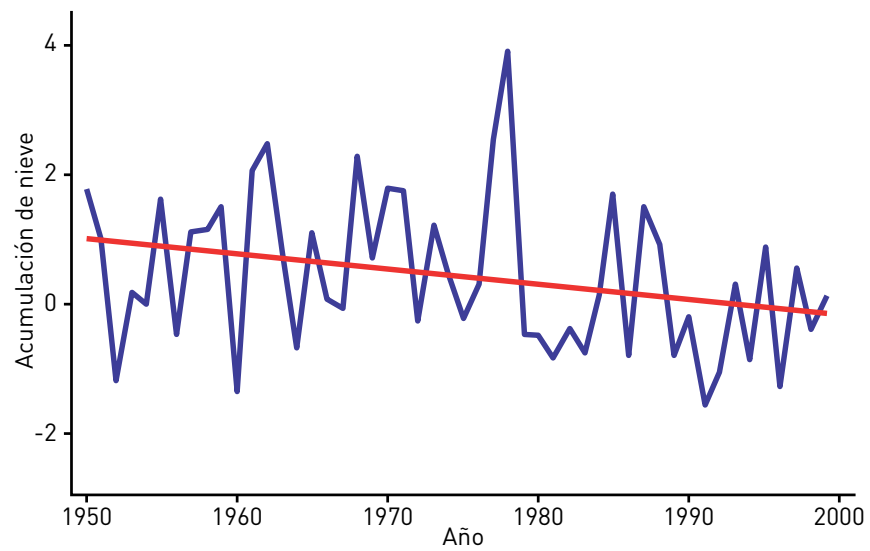


Figura 36a. O declive das nevadas nos Pireneos entre 1950 e o 2000. Sen alimentación, os glaciares practicamente desapareceron.



Figura 36b. O glaciar pirenaico de Salenques en 1990 e o 2005.

- Supón que traballas como monitor de esquí nunha instalación de montaña. Que solucións lle verías ao teu futuro laboral?
 - Encher as pistas con neve artificial.
 - Influír para parar o cambio climático.
 - Cambiar de profesión.

Unha gran diferenza entre as rexións polares e as zonas de montaña é que ao redor destas últimas viven millóns de persoas, así que a fusión do xeo das montañas ten máis consecuencias sociais. Podemos sinalar dúas: unha, que o caudal dos ríos que nacen nas montañas (e que provén, en boa parte, da fusión do xeo) descenda en picado, creando problemas de abastecemento; a segunda é que a auga de fusión se acumule en lagos temporais, que se poden desbordar e dar lugar a riadas moi perigosas. No caso do Himalaia, o primeiro dos riscos parece moi serio para Paquistán e India, mais non para China (Figura 37), xa que, dos grandes ríos que nacen no Himalaia, o Indo e o Brahmaputra son os que máis se alimentan de auga glaciárica, namentres que o lang-Tsé e o Huang Hei son case independentes do xeo. En canto ás enchentes en lagos de desaugamento glaciárico, son os países do Himalaia, Nepal e Bhutan os que senten a ameaza máis próxima, porque os lagos glaciáricos unicamente están retidos pola terra que deixa o glaciar ao recuar, un material solto que pode ceder facilmente, como xa o fixo no pasado: só na segunda metade do século XX houbo máis de corenta inundacións catastróficas, e uns 200 lagos glaciáricos están en situación perigosa.





Figura 377a. Os ríos que nacen no Himalaia. O lang-Tsé e o Amarelo nacen en cotas máis baixas, polo que o seu caudal apenas depende da fusión de xeo.

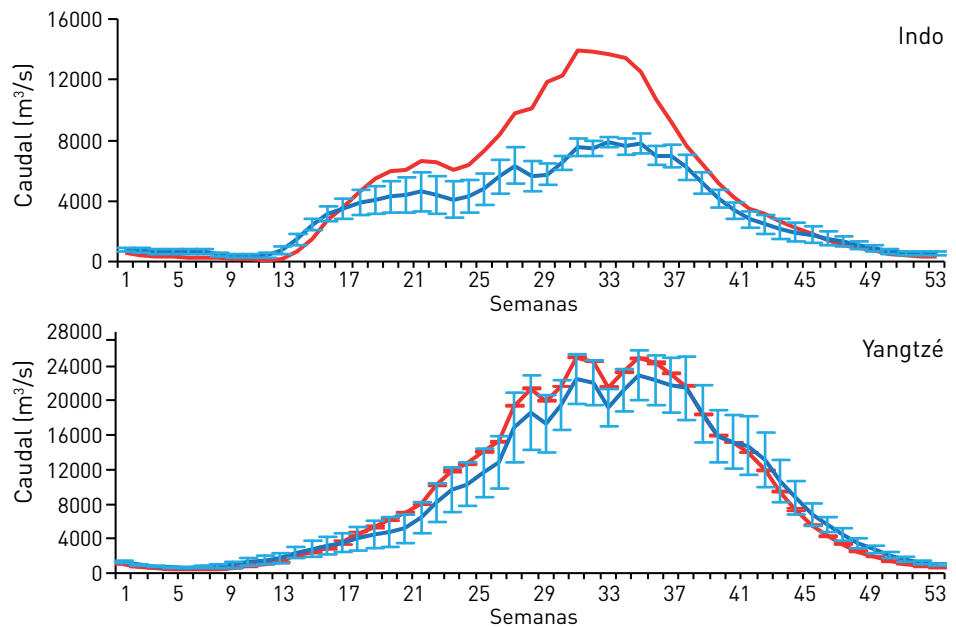


Figura 37b. Hidrogramas (caudais dun río ao longo dun ano) do Indo (arriba) e do lang-Tsé (abaixo). En vermello, caudal medio actual, e en azul, caudal medio para o período 2046-2065, que supón a desaparición total dos glaciares do Himalaia.

A subida do nivel do mar

As costas son a parte máis inestable do planeta. Hai 121.000 anos, no último período interglaciar, con temperaturas entre 1°C e 2°C superiores ás actuais, o nivel do mar estivo 6,6 metros por riba do actual.

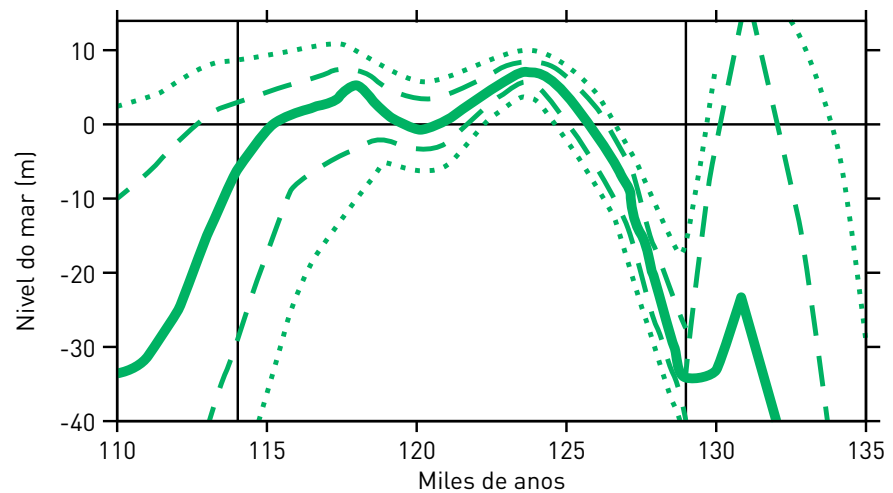


Figura 38. Cálculo do nivel do mar entre 135.000 e 110.000 anos. As manchas grises indican a incerteza da estimación.

Segundo as reconstrucións dos climatólogos, o ascenso do mar foi moi rápido, uns 3 metros por século.

Nun pasado moito máis recente, o nivel do mar está subindo dende que comezou a se poder medir con precisión: a $1,7 \pm 0,3$ mm/ano a mediados do século XX, pero a $3,3 \pm 0,4$ mm/ano a partir de 1993. Segundo os científicos, a terceira parte deste aumento débese a que os mares están máis quentes, e a auga quente expándese; o resto débese á auga que a fusión dos glaciares verte ao mar e ao baleirado dos acuíferos. Un efecto que podería aumentar esta aceleración é a fusión do **permafrost** (solo con xeo nos poros) de Siberia e Canadá, cousa probable coas subidas de temperatura previstas para este século. O permafrost non só contén xeo, senón tamén CO_2 e metano, así que a súa liberación podería agravar o efecto invernadoiro.

● Podes atopar en YouTube algunha proba de que existe metano no permafrost?

Ao efecto do aumento do nivel mariño haberíalle que sumar a **subsistencia** (o afundimento dalgunhas zonas da cortiza terrestre). Moitas zonas do Pacífico estanse a afundir, e o mesmo acontece en moitas zonas costeiras superpoboadas; neste caso, a causa é a extracción masiva de auga subterránea, xa que o aire que queda nos poros das rochas é moito máis comprimible que a auga e o terreo compáctase. Resultado: Bangkok afundiuse 2 metros; Shangai, 3; Toquio, 5.





O último informe do IPCC, no 2007, prognosticaba que no 2100 o nivel do mar estaría entre 18 e 59 centímetros por riba do actual. Dende entón, como acabamos de ver, os acontecementos precipitáronse e neste momento moitos científicos falan de subidas de 1 metro e superiores.

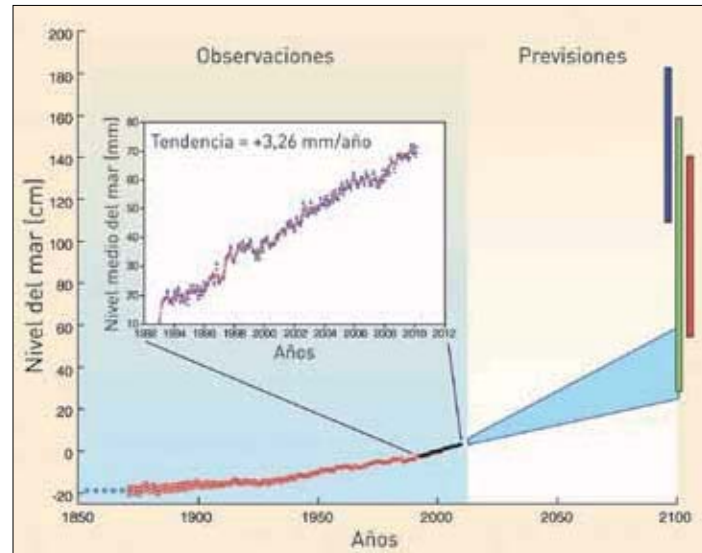


Figura 39. A subida do nivel do mar no futuro. O triángulo azul é a previsión do IPCC no 2007, e as barras de cores as previsións de tres equipos diferentes de científicos.

Que consecuencias tería un cambio así? Para empezarmos polo caso máis claro: a maioría dos 38 estados insulares do Pacífico e do Índico, que só están a uns poucos metros sobre o nivel do mar e, ademais, experimentan subsidencia, desaparecerían. A emigración de toda a súa poboación a outros países seica sería o seu único futuro. Nos continentes, as zonas máis perigosas son as costas africanas e asiáticas, en xeral moi baixas e poboadas. Os deltas, sempre a moi pouca altura sobre o mar e, ademais, moi cultivados (por exemplo, o do Nilo, o Mekong, o Mississippi, ou o Ganxes, Figura 40), serían zonas críticas. Só no delta do Mekong (Vietnam-Camboja), unha suba de 1 metro obrigaría a máis de 7 millóns de persoas a abandonaren os seus fogares, e nas costas da India, a máis de 40 millóns. A escala mundial, as migracións de centenas de millóns de poboadores das costas sería unha catástrofe humanitaria, económica e política.

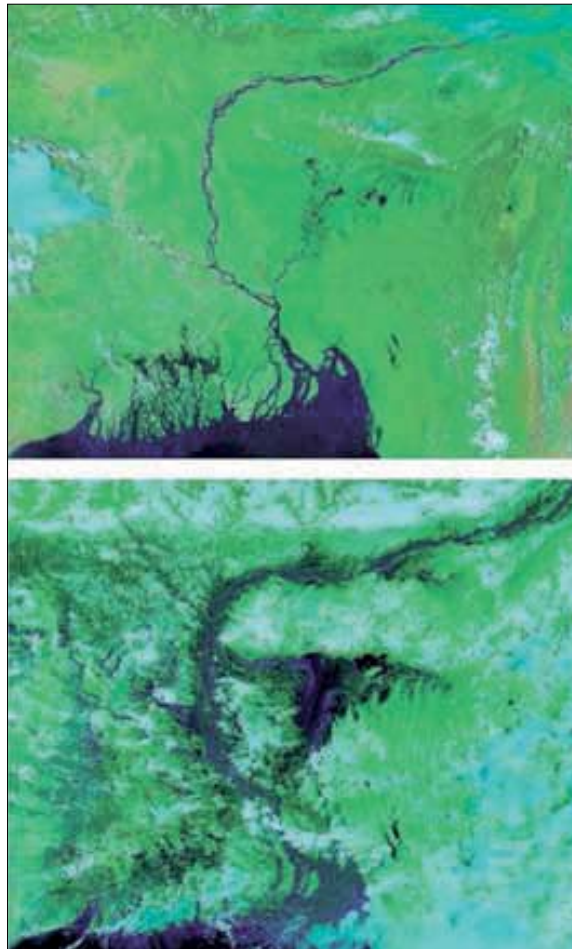


Figura 40. O delta e curso baixo do Ganxes-Brahmaputra, alagados polas choivas no 2007. Bangladesh sufriu dúas inundacións catastróficas entre 1967 e 1987, pero xa son cinco entre 1987 e o 2007. Na de 1998, dous terzos do país (que están a só 6 metros sobre o nivel do mar) quedaron mergullados.

Xusto por iso é importante examinar as interferencias dos políticos no traballo dos científicos sobre este tema. O borrador do informe 2007 do IPCC falaba dunha subida do nivel mariño de 88 centímetros, e moitos dos seus membros admitían en privado que o máis probable era que os aumentos fosen de entre 1 e 1,5 metros, pero a cifra rebaiouse por presións políticas. Como dixo un membro do Comité: “Cando lles mostramos aos gobernos un mapa coas previsións de desxeo do Ártico, os gobernos só ven novas rutas mariñas e novos pozos de petróleo por explotar”.

- Por que cres que os políticos tenden a ser máis optimistas que os científicos?

Inundacións e ciclóns tropicais

Xa vimos o aumento do risco de inundacións para os habitantes das zonas montañosas e tamén para as poboacións do litoral. En xeral, segundo todas as predicións do clima futuro, as precipitacións serán máis espazadas e máis intensas, como xa acontece nas zonas áridas. Por iso se prevé que as enchentes repentinas ou **enchentes relampo** sexan máis frecuentes.





En realidade, iso xa está a suceder. Dende a década de 1980, a frecuencia dos desastres naturais aumentou nun 40 %, e 82 de cada 100 destas catástrofes están relacionadas co clima.

O outro elemento climático importante non está nos continentes, senón nos océanos. Moitos meteorólogos pensan que a frecuencia dos **ciclóns tropicais** (chamados **furacáns** no Caribe e **tifóns** en Asia) xa aumentou, e que o vai seguir facendo ao longo deste século, a medida que a atmosfera vaia quecendo. O proceso é doado de explicar: o aire que hai enriba dun mar sobrequentado (en xeral, a máis de 26°C) ascende con forza, o que atrae ventos intensos á zona. A rotación terrestre encárgase de proporcionar o movemento de xiro (no hemisferio norte, contrario ás agullas do reloxo) e o aire ascendente e húmido descarga enormes bategadas. Cando os ciclóns chegan á terra, a súa intensidade diminúe, xa que precisan da enerxía que lles proporciona o mar quente.

Por que non todos os meteorólogos están seguros do aumento dos ciclóns? No 2004 chegaron catro furacáns a Florida e dez tifóns a Xapón, o que supera todas as marcas anteriores. Porén, estas cifras son demasiado pequenas para poder facer estatísticas. Para saír da dúbida sumouse a enerxía de todos os ciclóns dunha tempada. Ao facelo, viuse (Figura 41) que a enerxía da década 1995-2004 foi a maior dende 1950: os ciclóns tropicais tamén se ven afectados polo cambio climático global. Daquela, a medida que vaia subindo a temperatura, cabe agardar máis fenómenos deste tipo. Un modelo recente prevé aumentos tanto na frecuencia coma na intensidade dos ciclóns tropicais atlánticos (Figura 42), e mesmo, se a temperatura media da Terra aumentase máis de 3°C, poderíamos chegar a ver o Mediterráneo convertido nun mar tropical, cos seus ciclóns e todo. Nalgúns veráns recentes estivemos preto de esa situación (Figura 43).

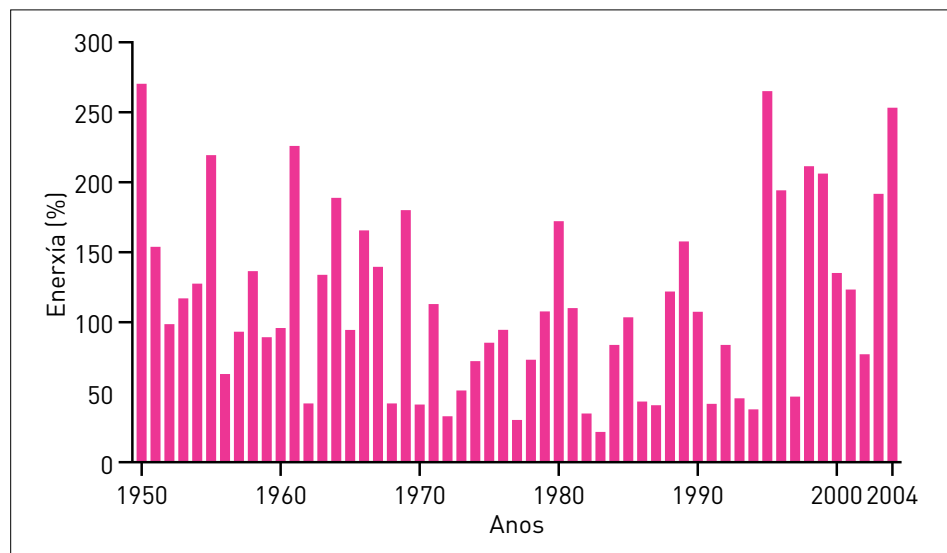


Figura 41. A enerxía acumulada dos furacáns atlánticos entre 1950 e 2004.

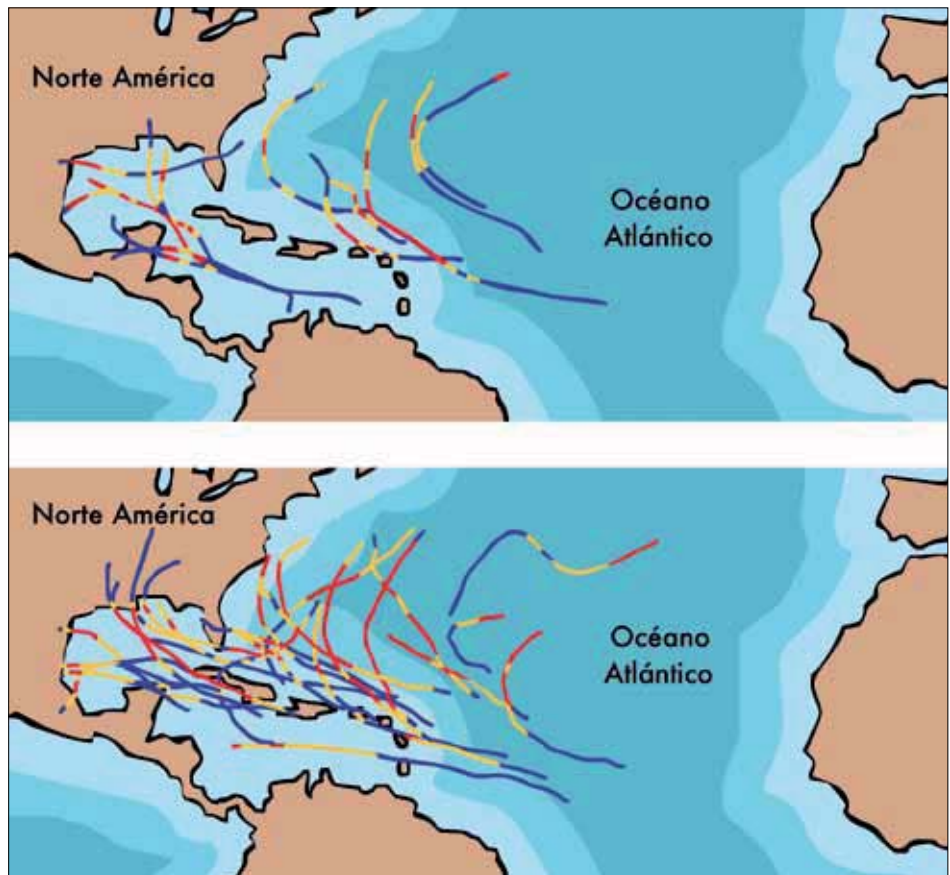


Figura 42. Frecuencia e intensidade dos furacáns nunha temporada actual (mapa superior) e cara ao 2100 coa subida media de temperaturas prevista no informe IPCC do 2007. Nos ciclóns de Categoría 2 (liñas azuis), o vento sopra entre 60 e 90 km/h; nos de Categoría 3 (liñas amarelas), a 90-120, e nos de Categoría 4-5 (liñas vermellas), a 120-220 km/h. Nótese como os ciclóns perden enerxía ao tocaren terra.

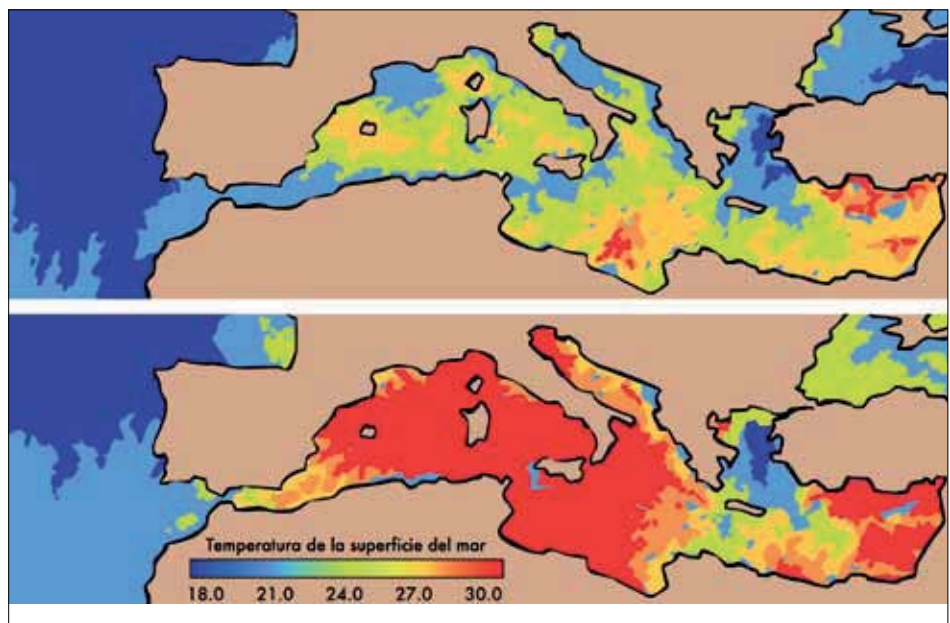


Figura 43. Variación na temperatura do Mediterráneo entre o 8 de xullo do 2006 e o 26 dese mesmo mes. Algunhas zonas do mar queceron ata 8°C neses 18 días.





Consecuencias sociais do cambio climático global. Guerras pola auga?

Se a evolución do clima segue o camiño previsto polos científicos, moitas zonas do planeta van volverse inhabitables. A consecuencia será que existirán migracións masivas difíciles de resolver nun planeta aínda máis superpoboado. Historicamente, os cambios climáticos empurraron aos pobos a se moveren fóra das súas fronteiras. A maioría destas grandes migracións foron violentas. Así, no século XIII, un período prolongado de secas foi a causa de que os mongois de Xenguis Khan invadisen China e logo Europa.

Como van ser as migracións climáticas do futuro? Para o 2020, a ONU prevé que o aumento da aridez na África subsahariana obrigará a 50 millóns de persoas a emigraren; pero é difícil saber cara a onde, xa que o problema vai afectar unha área enorme de África. Así mesmo, Bangladesh ha sufrir cada vez máis inundacións catastróficas como a ilustrada na Figura 40, que van facer que boa parte dese país sexa practicamente inhabitable para os seus 167 millóns de habitantes. Na actualidade, milleiros de bangladesís tentan fuxir por barco cara a Myanmar e Tailandia, pero a maioría deles son devoltos ao seu país ou encarcerados; se intentan escapar cara a India, corren o risco de que os tiroteen na fronteira, e se a dan atravesado, poden ter problemas, ás veces fatais, cos campesiños indios, que os acusan de querer roubarlles as terras.

Moitos sociólogos consideran que non hai moita distancia entre estes incidentes e o inicio dunha guerra. En concreto, predin guerras pola auga, un concepto apoiado por datos como os da Figura 44, que nos mostra como entre os séculos XVI e XIX o número de conflitos aumentou cando baixou a produción de alimentos por mor do clima desfavorable. As guerras poderían xurdir cando, en períodos de seca, grupos humanos numerosos invadisen os territorios veciños; a violencia recente en Darfur (Sudán) estivo relacionada en parte coa escaseza de auga.

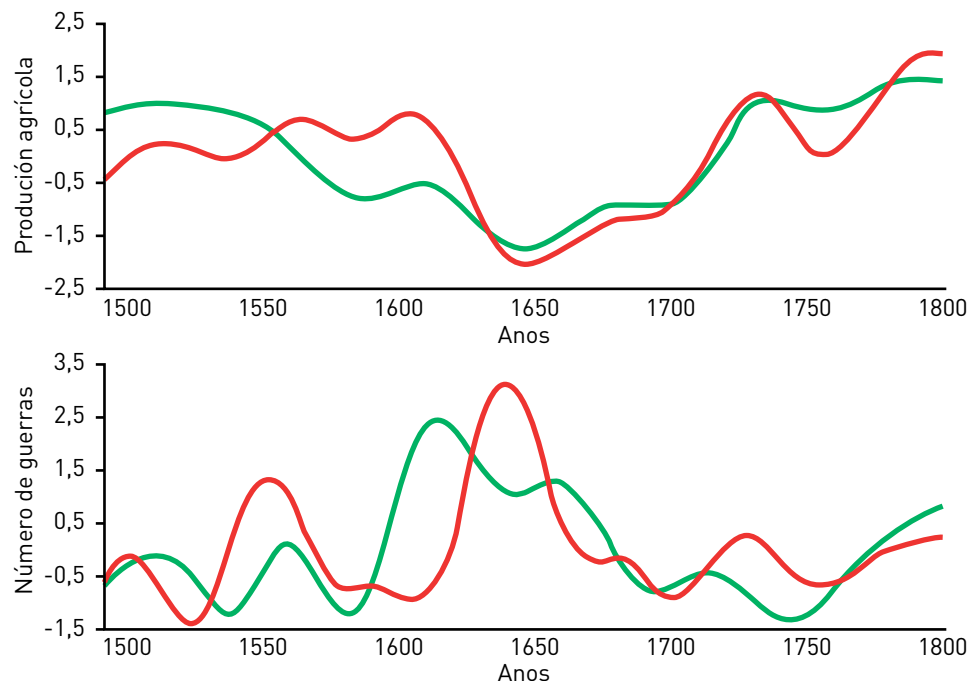


Figura 44. Entre 1500 e 1800, cando descendeu a produción de alimentos (gráfico superior) houbo máis guerras (gráfico inferior), tanto en Europa (curva verde) como en China (curva vermella). O descenso na produción agrícola coincidiu coa Pequena Idade de Xeo, unha época fría e árida. Outros sociólogos discuten que a correlación sexa real.

- Busca este país nun mapa de África e noticias relacionadas coa aparición deste conflito.

Outros especialistas en conflitos desbotan estas ideas e defenden que a maioría das guerras se desencadean por conflitos territoriais relacionados coa ambición dos dirixentes ou por pugnas ideolóxicas, ou sexa, entre distintos modelos de sociedade.

Seguro que a razón está repartida: hai conflitos de moitos tipos (Figura 45). Pero si é certo que as tensións arredor da auga van aumentando a medida que esta vai tornando nun recurso escaso. Por exemplo, India e Paquistán, dous estados enfrontados que comparten a cunca do río Indo, tratan os datos dos caudais destes ríos como segredos militares, e Paquistán declarou que os proxectos indios de construír encoros na cabeceira de varios afluentes do Indo antes de que entren en Paquistán son unha ameaza para a súa seguridade. A mesma posición ten Exipto respecto do proxecto de Sudán e Etiopía de construíren un grande encoro na cabeceira do Nilo, e Siria e Iraq cos plans de Turquía sobre o Tigris. Os expertos en **xeopolítica** (ou sexa, en relacións internacionais e situación xeográfica) localizan polo menos seis puntos de posibles conflitos futuros en relación coa auga:

- Israel – Xordania – Palestina
- Turquía – Siria
- China – India
- India – Paquistán
- Exipto – Sudán + Etiopía
- Angola – Namibia



Figura 45. Detalle dunha urna grega. Museo Británico





- Máis xeografía: localiza estas zonas de conflito nun mapamundi político e fai unha lista dos ríos con augas en disputa.

Esperemos que estes problemas se resolvan pola vía pacífica. Polo menos agora temos a Organización das Nacións Unidas, algo que non existía nos tempos de Xenguis Khan.