



Proxecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

Libro Didáctico **3**:

AUGA E CAMBIO CLIMÁTICO

Capítulo 3. Historia, presente e futuro da auga na Terra

978-84-453-4994-6

Francisco Sóñora Luna (coordinador)
Francisco Anguita Virella



XUNTA DE GALICIA

3. HISTORIA, PRESENTE E FUTURO DA AUGA NA TERRA

Responde co que sabes agora

- Cres que sempre houbo mares na Terra?
- Sabes que papel teñen os océanos no clima do planeta?
- Coñeces a causa de que haxa correntes oceánicas?
- Sabes cal é o principal efecto do cambio climático sobre a vida mariña?
- Dende o punto de vista do medio, cal cres que é a principal diferenza entre un mar aberto (coma o océano Atlántico) e un mar interior (coma o mar Morto)?



Océano Atlántico



Mar Morto

A aparición da auga na Terra

Tan afeitos estamos a ver o mar, que nos parece que debeu de estar sempre aí. Mais non é así: coma todo, os mares tiveron un comezo. Cando se formou, a Terra era un sitio moi quente; tanto, que durante varios millóns de anos estivo cuberta por completo de lava e envolta por unha atmosfera varios centos de veces máis densa que a actual.

Pero xa sabemos que todos os corpos quentes arrefrían. Cando a temperatura do noso planeta baixou un pouco, o vapor de auga da súa atmosfera transformouse en auga líquida e depositouse sobre a superficie, que xa era sólida. Desta primeira choiva, que durou varios milleiros de anos, naceron os océanos [Figura 1].





Figura 1. A primeira chuva: cando a Terra arrefriou por debaixo duns 300°C, o vapor de auga da atmosfera condensouse, formando mares nas depresións. Segundo os científicos, estes primeiros mares non eran moi bos para se bañar: a auga podía alcanzar os 150°C...

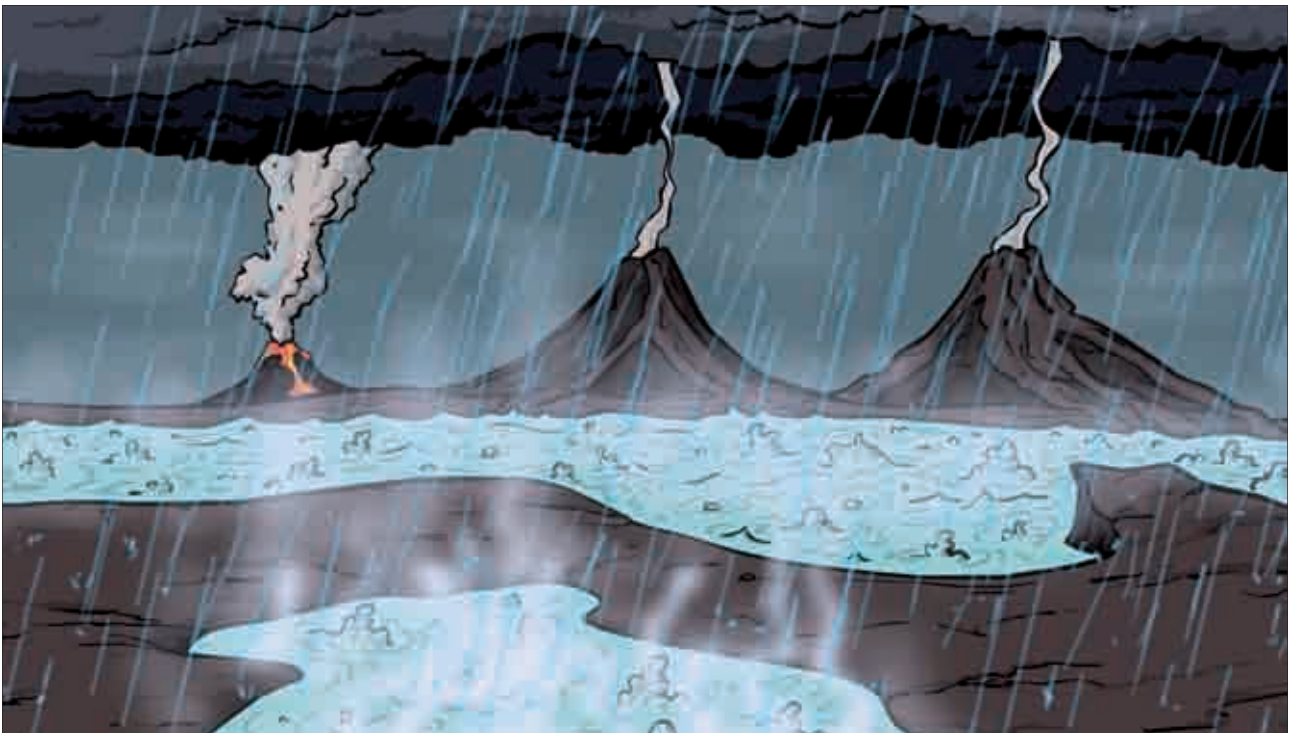


Figura 2: Así era a Terra cando naceron os mares: un planeta cheo de volcáns.

- Ei, pensemos un momento sobre 4 cuestións para entendermos mellor isto!
 - Non ferve a auga a 100°C?
 - Se o mar estivese en efervescencia, quedaría auga?
 - Se despois dunha noite chuviosa, ao longo da mañá se evaporan os charcos, indica iso que a auga estivo nalgún momento a 100°C?
 - Pódese evaporar a auga a outras temperaturas diferentes a 100°C? E ferver? Xustifica as respostas.
- Logo destas reflexións, que conclusións sacas sobre a posible composición dese antigo océano que podía alcanzar os 150°C?

Como dicíamos, a auga estaba demasiado quente para calquera ser vivo: as bacterias chamadas **termófilas**, que son os organismos vivos que mellor aguantan a calor, non poden vivir por riba de 113°C (por riba desta temperatura, as proteínas descompóñense).

- Busca a orixe da palabra “termófilo”.
- Aproveitamos para aclarar a propiedade máis coñecida da auga de mar: por que é salgada? Marca cun X a resposta correcta.
 - Porque os volcáns submarinos lle proporcionaron ao mar os elementos do sal.
 - Porque os ríos levaron sales ao mar ao longo da historia da Terra.
 - Como a auga a trouxeron os asteroides, o sal tamén.

Ao mesmo tempo que arrefriaban, algo acontecía no seu fondo: a maioría dos volcáns submarinos aliñábase ao longo de grandes fendas polas que xurdían enormes masas de lava [Ilustración3]. Isto sucedía porque, co arrefriamento, a cortiza da Terra tornou máis grossa e máis crebadiza.

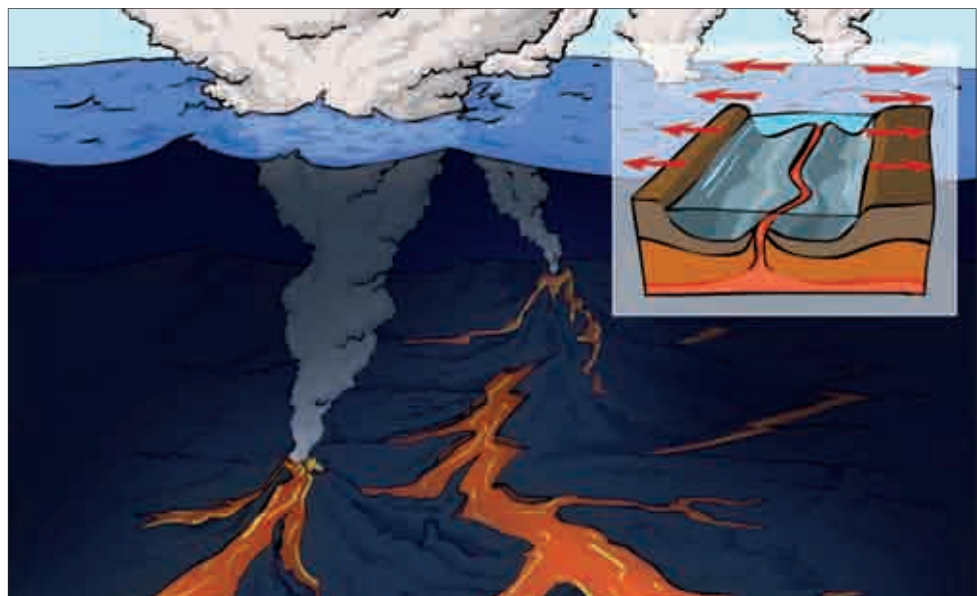


Figura 3. A lava que xorde do fondo mariño empurra os continentes, ensanchándose así o océano.

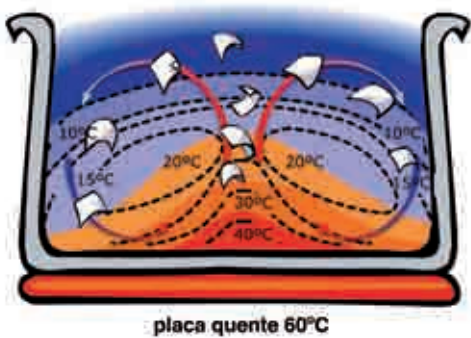




- Pensa en polo menos tres situacións da vida corrente en que se produzan fenómenos semellantes a este.

As masas de lava que xurdían das fendas empurraban o fondo mariño cara aos lados, así que o océano se ensanchaba, movendo tamén os continentes, que podían acabar topando uns cos outros. E iso é o que segue a pasar agora: os continentes continúan movéndose. A principios do século pasado, cando os científicos comezaron a atopar probas dos movementos continentais, creron que se movían como barcos á deriva. Por iso aquela primeira teoría se chamou **deriva continental**. Non obstante, segundo acabamos de ver, os continentes están como soldados aos fondos oceánicos, que os arrastran.

- Coñeces algún episodio famoso da historia das exploracións por mar en que un barco se comportase como os continentes nos seus movementos?



A causa destes movementos dos continentes e dos fondos dos océanos é que o interior da Terra segue a estar moi quente, o que dá lugar a diferenzas de densidade e, por iso, a correntes que tenden a igualalas. É o mesmo que acontece cando poñemos auga a quentar: antes de que rompa a ferver, fórmanse correntes, que se poden ver ben se poñemos papeliños na superficie.

- Realiza este pequeno experimento cambiando as condicións, e anota:
 - O que pasa se ao principio deixamos que os papeis aboien, ou se os afundimos coa man.
 - Como se comportan os papeis antes, durante e despois de que a auga ferva.
 - Se algo do que acontece se pode comparar ao choque de dous continentes ou ao nacemento dun océano.

A gran diferenza é que a parte externa da Terra é ríxida, polo que estes movementos a rompen en pezas, ás que os científicos chamaron **placas**. De aí o nome da teoría que explica as causas e efectos destes movementos: **tectónica de placas** (tectónica quiere decir 'estructura').

Pero é interesante que a tectónica de placas se chame tamén ás veces tectónica global; con este nome indícase que o que lle pasa a unha peza afecta tamén as demais, porque todas están relacionadas, igual que o están as pezas dun crebacabezas. Por ese mesmo motivo, á evolución actual do clima chamámoslle quecemento **global**: as consecuencias nótanse en todo o planeta.

Como é lóxico, estes dous fenómenos globais están relacionados entre eles; deseguida imos ver como a tectónica de placas, ou sexa, os movementos dos continentes e dos fondos oceánicos, pode cambiar o clima de todo o planeta.

Mares que perderon a vida biolóxica co paso do tempo

Como veremos no capítulo 4, a auga e a vida van sempre da man, e cando queremos entender a evolución é conveniente volvermos pensar na evolución dos mares.

Aplicada á historia da Terra, a tectónica de placas significa que os mares e océanos que hoxe coñecemos non existiron sempre. Para comprobalo, imos viaxar no tempo co equipo de exploradores de Climántica:



Si, as viaxes ao pasado da Terra depáranos grandes sorpresas, e moitas delas están relacionadas cos mares. Os océanos aparecen e desaparecen a medida que os continentes rachan ou chocan e quedan unidos. Se sumamos todas as viaxes aos antigos mares, podemos dicir que:

- En varias épocas (por exemplo, hai 500 e 250 millóns de anos) todos os océanos da Terra foron un só, que os científicos denominaron **Pantalasa**. Isto significa que todos os continentes estaban tamén xuntos e formaban unha **Panxea**.

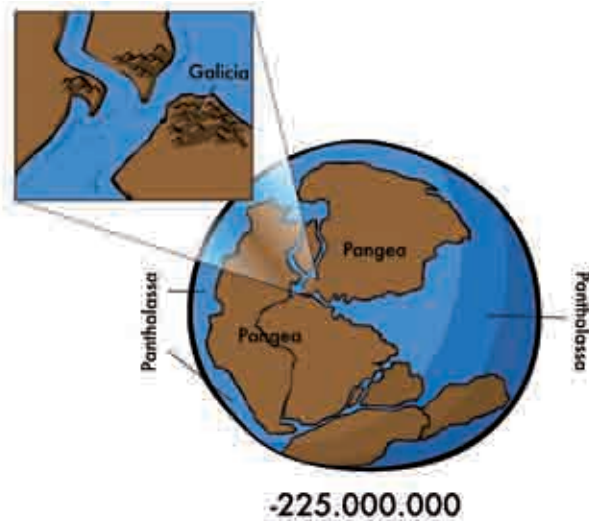


Figura 4. Xeografía de Europa occidental e América do Norte hai 275 millóns de anos. Galicia e Terra Nova son veciñas: o choque dos dous continentes formou grandes cadeas de montañas.





- O único océano que existiu sempre é o Pacífico, inda que a súa extensión e forma mudaron moito.
- O océano Índico empezouse a formar hai 100 millóns de anos e alcanzou a súa extensión actual hai só 70 anos.

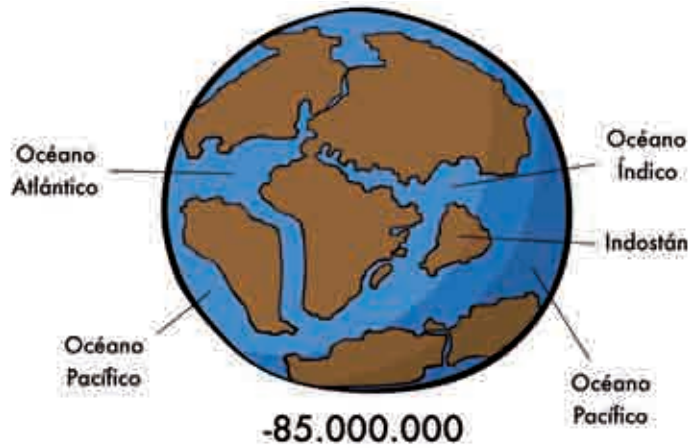


Figura 5. O océano Índico hai 83 millóns de anos: India, que antes estaba unida á Antártida, é unha illa que camiña cara ao norte. Dentro de dez millóns de anos chocará co sur de Asia, dando orixe ao Himalaia.

● Máis dicionario: busca paleo-, Pantalasa e Panxea.

O que aconteceu antes hase repetir: volverá pecharse o océano Atlántico, seremos veciños dos canadenses outra vez e volverá haber outra Pantalasa, inda que todo iso sucederá dentro de centos de millóns de anos. Mais é importante quedarnos cunha idea: igual que poden reconstruír o que pasou hai millóns de anos, os científicos que estudan a Terra poden predicir o que vai pasar en futuros remotos. É coma se de verdade puidesen viaxar na Nave do Tempo de Climántica...





Agora ao noso protagonista quedoulle claro o que significan 4° de diferenza entre a temperatura media nun prazo de 100 anos. De feito, entre as vilas do sur e do norte peninsular sempre houbo diferenzas dese magnitude, pero cun aumento de 4 °C polo quecemento global, a adaptación das localidades do sur ten que ser máis complexa.

- Por que na viñeta os ventiladores humidificadores están conectados con recipientes onde pon "desalinizadores"? Que inconvenientes ambientais podería causar esta tecnoloxía de adaptación ao cambio climático?

A auga e o clima nunha mesma historia: o papel da auga nos períodos glaciais e nos períodos de interglaciario

Na Unidade Didáctica 1 (Cambia o clima?) xa aprendiches moitas cousas sobre o clima da Terra e os seus cambios. Alí vimos algúns procesos relacionados coa auga; agora ímolo





recordar e imos estudar algúns outros que tamén teñen como protagonista o noso líquido favorito. Este debate é moi importante para que teñas as ideas claras sobre o cambio climático. Por que? Porque un dos maiores argumentos dos que negan que este fenómeno teña algo que ver coa actividade humana é que sempre houbo grandes cambios no clima, moito maiores que o actual e moito antes de que o ser humano aparecese sobre a Terra. Poderían ter razón? Para podermos contestar a esta pregunta, necesitamos saber que papel desempeña a auga no clima.

- Imaxina situacións nas que a auga inflúe no clima. Pistas: 1) A auga ten unha alta calor específica. 2) A auga altera as rochas e neste proceso consómese dióxido de carbono. 3) O vapor de auga é un gas de efecto invernadoiro.

No Capítulo 1 desta unidade didáctica aprendemos que os dous planetas do Sistema Solar máis próximos á Terra, que son Venus e Marte, experimentaron grandes variacións climáticas: Venus perdeu toda a súa auga líquida, que se evaporou e se dispersou no espazo. A auga marciana conxelouse e agora está soterrada por espesas capas de po. Nada tan terrible sucedeu na Terra; a súa historia, rexistrada nas rochas, proba que o noso planeta gozou de auga líquida dende aquela primeira choiva que comentamos ao comezo desta lección. Esta é unha característica esencial para o mantemento da vida, que require precisamente auga líquida.

Un científico inglés, James Lovelock, propuxo unha teoría, á que lle chamou Gaia, segundo a cal foron precisamente os seres vivos os responsables de que o clima non se aparte das condicións axeitadas para a vida.



Lovelock nació en la ciudad-jardín de Letchworth (Letchworth Garden City), Hertfordshire. Estudió química en la Universidad de Mánchester antes de obtener un puesto de investigación médica con el Medical Research Council (Consejo de investigación médica), Londres. Estudió en la Escuela de Londres de Higiene y Medicina Tropical. Durante su estancia en Estados Unidos llevó a cabo distintas investigaciones en la Universidad Yale, el colegio de medicina de la Universidad de Baylor y en la Universidad Harvard. Fue durante su estancia en la citada Universidad Yale cuando desarrolló el detector de captura de electrones que, según comentó en una entrevista concedida al diario El País, aunque se vio obligado a ceder la patente al gobierno de los Estados Unidos no se siente frustrado por este hecho. La Geological Society of London lo galardona con la medalla Wollaston en 2006 por la "creación de un campo de estudios enteramente nuevo en Ciencias de la tierra", la ciencia del sistema Tierra.

- Diseña un experimento para confirmar ou desbotar a teoría Gaia. Pista: podes usar a Nave do Tempo de Climántica.

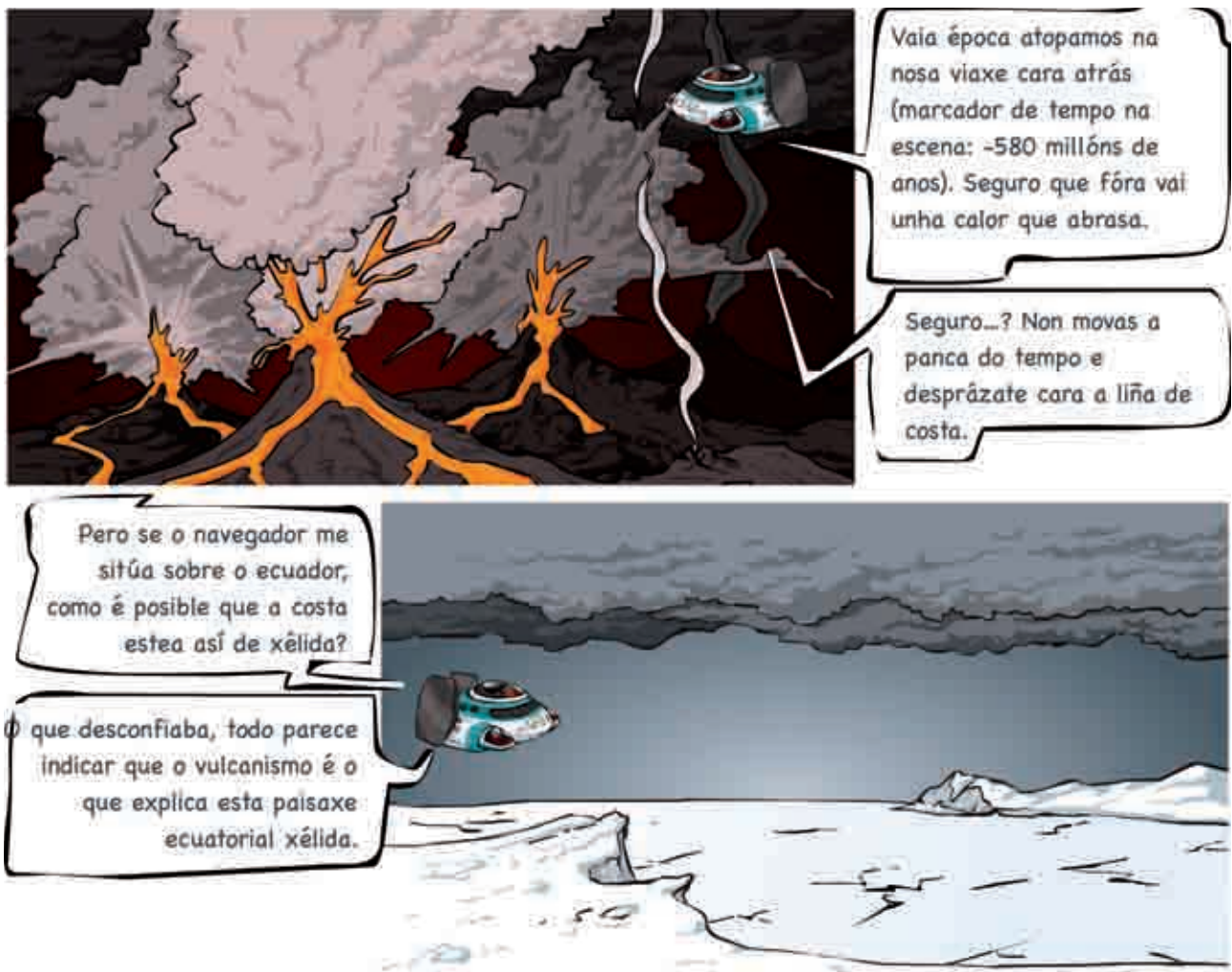
Porén, inda que o seu clima actual non sexa tan extremo coma o doutros planetas, é certo que a Terra experimentou variacións climáticas moi graves. Hai cen millóns de anos podíamonos bañar nas augas do Ártico (inda que cumpriría ter coidado cos grandes réptiles mariños); en cambio, máis atrás no tempo (entre 850 e 580 millóns de anos) todos os continentes se cubriron por completo de xeo varias veces [Figura 7]. Os climatólogos denominaron estes dous períodos de clima extremo **Grande Invernadoiro** e **Terra Branca**.



Figura 6. Hai 100 millóns de anos, a temperatura do océano Ártico sería apta para o baño; así e todo, a fauna non sempre era amigable.

As causas destas enormes variacións na temperatura do noso planeta comezaron a comprender aínda hai pouco. Contra o que se podería pensar, non se descubriu ningunha influencia do Sol nestes grandes cambios climáticos. Pola contra, semella que son os planetas os responsables do seu clima; o Sol límitase a enviarlles grandes cantidades de enerxía e os planetas adminístrana. O regulador son os gases de efecto invernadoiro, cuxa concentración, que varía moito, orixina unha secuencia de efectos en cadea; ou sexa, o que na teoría de sistemas se chama un efecto dominó. Por exemplo, o Grande Invernadoiro parece ser o resultado dun período de vulcanismo moi intenso que encheu a atmosfera de CO_2 . Este efecto xa o estudamos na Unidade Didáctica 1 (páxina 63).





A Terra Branca é unha **glaciación**, ou sexa, un período (coma o actual) con grandes masas de xeo nos continentes. Sobre a orixe das glaciacións ten habido moitos debates, pero na actualidade hai un acordo xeral sobre que se deben a un descenso na cantidade de CO₂ na atmosfera causado, por exemplo, por unha menor actividade volcánica.

As discusións foron especialmente intensas sobre a glaciación da Terra Branca, o que se debe a dous motivos. Un, que se trata dunha idea moi nova: este episodio non se descubriu ata 1998. E dous, que case trescentos millóns de anos de glaciacións non son doados de xustificar. En primeiro lugar, que probas temos de que a Terra estivo tanto tempo cuberta de xeo? Na Unidade Didáctica 1 xa estudamos os chamados indicadores paleoclimáticos, que abundan nesta glaciación, como o depósito glaciar da Figura 7. Pero ademais, ao analizar as rochas formadas xusto despois de que os glaciares desaparecesen, atopouse unha pegada moi especial dunha glaciación, que é esta [Figura 8].



Figura 8. Este esquema é o que os xeólogos denominan unha columna litolóxica e representa distintos tipos de rochas sedimentarias amoreadas unhas enriba doutras. A unidade de cor azul representa rochas depositadas polos glaciares. Á dereita, a concentración de iridio, un elemento semellante ao platino que se atopa nos asteroides; concentración que, como vemos, se triplica xusto despois de se formaren os depósitos glaciares.

- Podes interpretar estas análises como fixeron os climatólogos? Suxerímosche tres posibilidades para que as critiques e as ordenes conforme ao criterio de probabilidade:
 - Porque despois da glaciación caeu un asteroide.
 - Porque cando se fundiu o xeo, todo o iridio que se acumulara nel se concentrou na seguinte rocha sedimentaria.
 - Que, neste caso particular, o iridio non proceda de asteroides, senón dunha grande erupción volcánica, con lavas que tiñan moito iridio.

Agora que a Terra Branca xa está confirmada, vexamos como se explica. Xa mencionamos no apartado anterior que os continentes, movidos polas correntes profundas do interior terrestre, cambian de posición co tempo. Mediante o estudo do magnetismo das rochas, os científicos poden calcular as posicións antigas dos continentes. O mapa da Figura 9 representa a xeografía de hai 600 millóns de anos. Como podes ver, e a diferenza do que ocorre agora, todos os continentes estaban cerca do ecuador. Poderíamos pensar que esta é a situación menos favorable para unha glaciación. Non obstante, non é así. Imos ver por que.



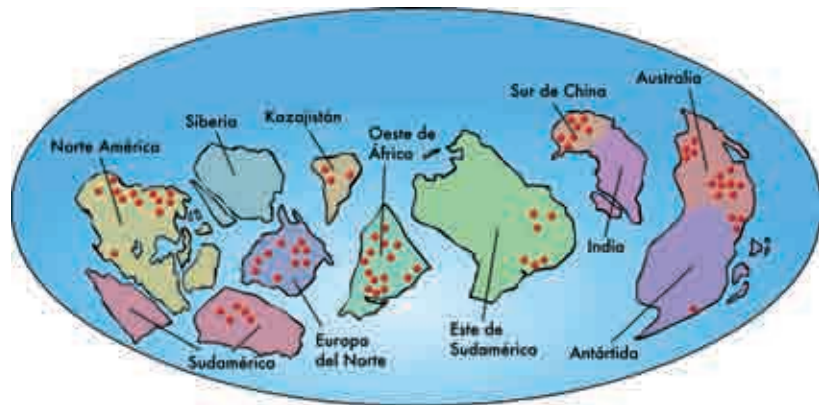
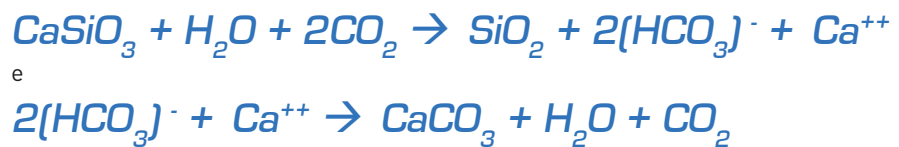


Figura 9. A xeografía da Terra Branca. Todos os continentes estaban próximos ao ecuador e case todos teñen depósitos glaciares (puntos de cor).

Hai 600 millóns de anos, igual que agora, as rexións ecuatoriais eran áreas moi chuviosas. Sabemos, só con mirar os monumentos, que a choiva descompón as rochas. O exemplo máis sinxelo de alteración é:



Aquí, o silicato de calcio representa un mineral dunha rocha, que se altera ao contacto con auga de chuva que leva CO₂ disolto. Mais fíxate no dióxido de carbono: nas reaccións químicas entran dúas moléculas, pero só se libera unha. Noutras palabras, na alteración das rochas consómese dióxido de carbono, o máis coñecido dos gases de efecto invernadoiro. Así que unha posición ecuatorial dos continentes, cunha intensa alteración das rochas, priva a atmosfera do principal dos compoñentes que reteñen a calor solar. Resultado a longo prazo: glaciación; que remataría cando os volcáns extraesen do interior do planeta máis CO₂ para restablecer o efecto invernadoiro.

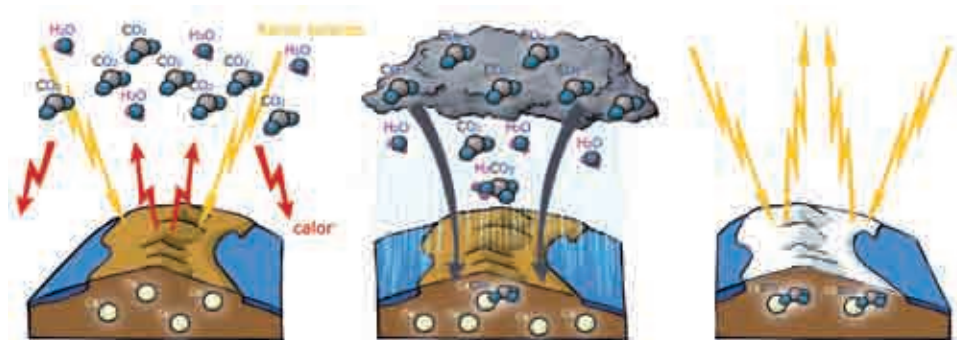


Figura 10. Paisaxes da Terra Branca: nun período de frío máximo, e cando os volcáns lograron vencer o xeo.

- Expón os posibles razoamentos que pensas que está a seguir a moza para relacionar o vulcanismo coa observación da Terra Branca na costa de latitudes ecuatoriais.

Daquela, volve ser a auga (neste caso, a humilde auga de chuvia, inda que axudada pola dinámica interna do planeta) a protagonista dun cambio enorme —se cadra o maior de toda a historia da Terra— no clima. Pero o debate sobre a Terra Branca non rematou. Algúns climatólogos defenden que tamén os mares se conxelaron; neste caso, os océanos terían quedado illados da atmosfera por unha capa de xeo, as súas augas non se puideron osixenar e sobreveu unha grande extinción. É certo que nesta época a diversidade do plancto decreceu, pero iso non logrou convencer a maioría dos historiadores da Terra.

Para rematar, falta explicar a glaciación máis importante de todas para a nosa especie; a que condicionou a evolución do ser humano e a súa colonización do planeta: a chamada **Glaciación Neoxena**, no medio da que aínda nos atopamos. A Figura 11 dinos que o CO₂ diminuíu dende hai uns 50 millóns de anos.

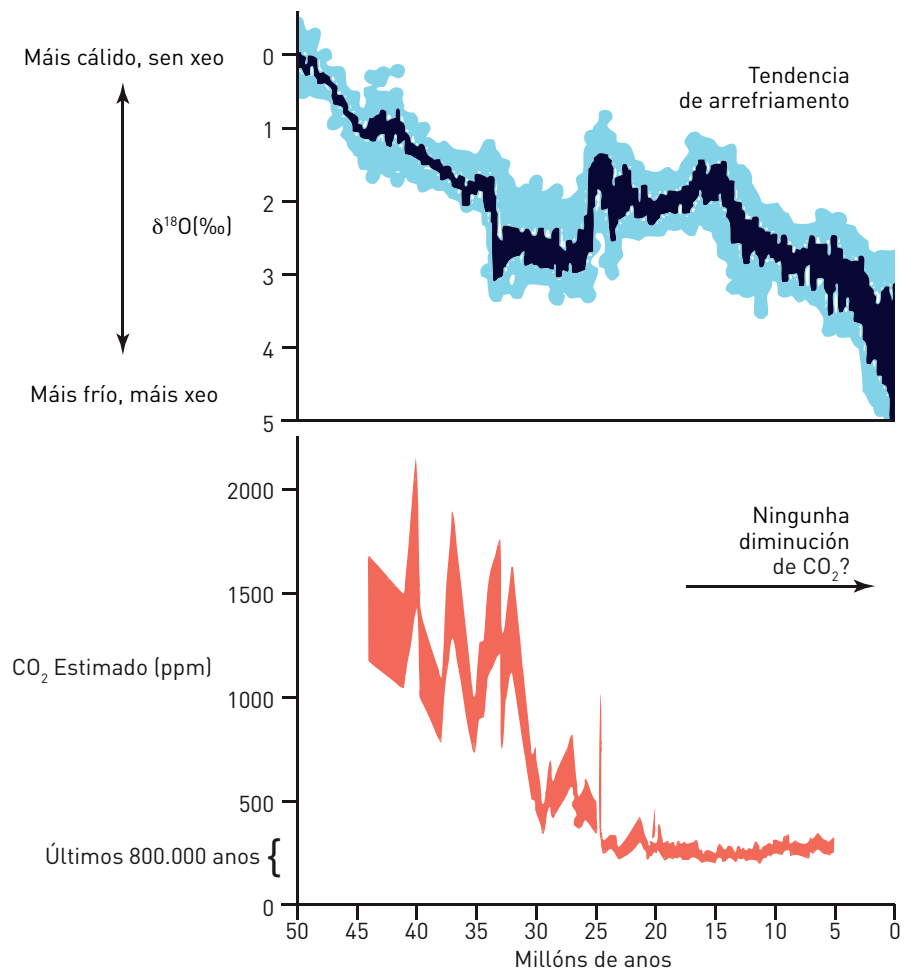


Figura 11. A variación da concentración de CO₂ nos últimos 50 millóns de anos. Na actualidade estanse a revisar os datos dos últimos 20 millóns de anos porque algúns dos indicadores proporcionan datos discordantes.





- Segundo a Figura 11, a concentración de CO₂ está a diminuír. Así e todo, tamén dicimos (por exemplo, nas figuras das páxinas 70 e 107 da Unidade Didáctica 1) que está a aumentar. Cres que este gráfico é compatible con aqueles? Razóao.

Pero só hai 34 millóns de anos que empezou a haber glaciares na Antártida. Ao inicio desta glaciación, a auga tivo un papel protagonista; antes desa idade, a Antártida estaba unida a América do Sur, pero a dinámica terrestre non descansa e, pouco despois, o istmo que unía os dous continentes rachou. A partir dese momento, entrou en xogo a rotación terrestre; arredor da Antártida formouse unha poderosa corrente oceánica, a **corrente circunantártica** [Ilustración12], que xira en sentido oposto ao do planeta, ou sexa, cara ao leste.

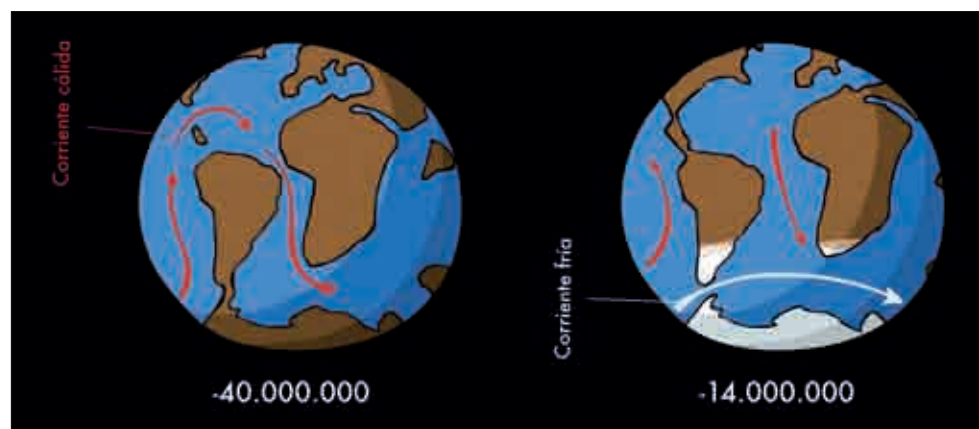


Figura 12. O comezo da corrente circunantártica. Hai 50 millóns de anos (mapa superior) a Antártida estaba bañada por augas cálidas. Hai 35 millóns de anos (mapa inferior) o continente queda illado e establécese unha corrente fría que o arrodea, xerándose un casquete de xeo.

- Unha corrente propulsada pola rotación non debería xirar no mesmo sentido que o planeta?

Este simple feito cambiou o clima terrestre e, con el, a historia da humanidade. A corrente circunantártica impediu a chegada ás costas da Antártida de auga tropical procedente dos outros océanos. Así, o clima do continente polar fíxose cada vez máis frío, ata que, hai 14 millóns de anos, todo el estaba cuberto polo xeo. Con todo, no hemisferio norte non houbo glaciares ata hai 2,7 millóns de anos. A causa desta demora é moi discutida: para algúns climatólogos tamén ten que ver cos océanos, porque esta é a idade da elevación do actual istmo de Panamá, que, ao pechar a conexión Atlántico-Pacífico, podería ter motivado o arrefriamento tanto de Eurasia coma de América do Norte.

- Explica por que este tipo de cambios climáticos se chamaron *efecto dominó*.

Outros, porén, cren que a concentración de CO₂ continuou descendendo ata que a glaciación se propagou ao hemisferio norte. Os datos non son concluíntes.

Na glaciación neoxena hai, coma en todas as glaciacións, intervalos máis ou menos fríos (**períodos glaciais** ou **interglaciais**) en que o xeo avanza ou retrocede [están explicados na Unidade Didáctica 1, páx. 58]. Hoxe vivimos nun período interglaciar chamado Holoceno, que empezou hai 10.000 anos e está a durar moito máis ca outros períodos interglaciares. *Homo sapiens*, a nosa especie, aproveitou este longo período menos frío para se espallar por todo o planeta e colonizalo. Case seguro que non o tería conseguido se o Holoceno chega a durar menos. Agora, *Homo sapiens*, en só douscentos anos, corre o risco de alterar este clima favorable e convertelo noutro inviable para a súa civilización.

- Unha das preocupacións sobre o cambio climático consideradas alarmistas é a posibilidade de que actualmente esteamos a solapar un período glacial coas nosas emisións. Busca os elementos alarmistas desta preocupación.
- No caso de que o vindeiro período glacial teña o seu inicio normal dentro de milleiros ou mesmo millóns de anos, podería mitigar e facilitar a nosa adaptación ao cambio climático.

A historia común da auga e do clima contada dende o océano

O mar quece

Como os grandes almacéns de calor que son, os océanos inflúen de xeito decisivo no clima. Primeiro imos comprobar que, en efecto, a hidrosfera está a quecer, e logo imos estudar dúas consecuencias deste cambio. Tocante ao primeiro, na páxina 101 da Unidade Didáctica 1 inclúense datos sobre o quecemento dos mares que bañan Galicia. Aquí, a Figura 13 recolle os datos globais máis recentes, que deron lugar a unha certa polémica.

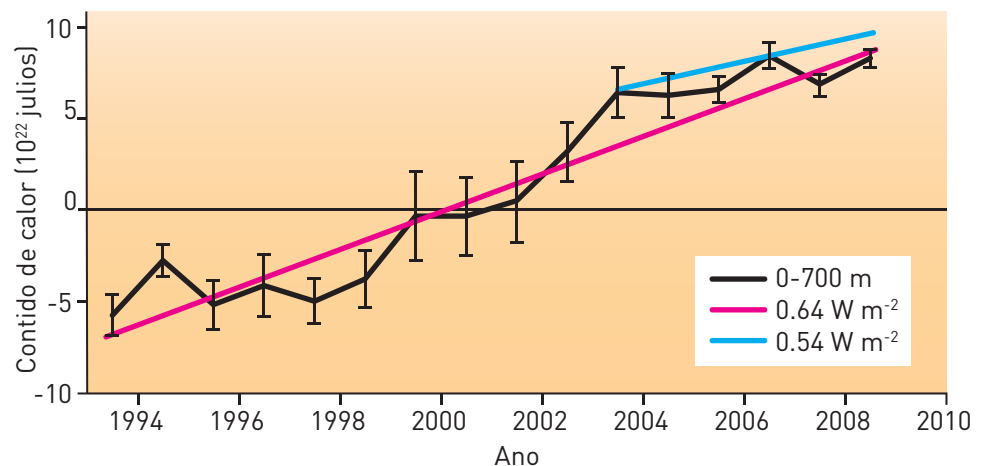


Figura 13. O quecemento dos océanos. As medicións en auga superficial (ata 700 m, liña negra e barras de erro) indican un quecemento indiscutible nos últimos quince anos (media, liña vermella); porén, hai algúns períodos (por exemplo, 1995-1998, e 2003-2005) de temperatura estable, e mesmo de lixeiro arrefriamento. A liña azul sinala as medicións en augas profundas, ata 2.000 m, e indicaría que as zonas abisais dos océanos están empezando a quecer.

- A ti parécenche conflitivos estes datos? Por que?





A variación anual da temperatura das augas superficiais é importante, e durante algúns anos non se produciu quecemento; no entanto, o quecemento das augas profundas, que reciben moi pouca influencia térmica da atmosfera, parece significar que o conxunto da masa da hidrosfera está a experimentar xa os efectos do cambio climático.

Os mares ácidos

O maior impacto do cambio climático nos mares ten que ver coa química da auga. A medida que aumenta o CO_2 na atmosfera, elévase tamén a cantidade de gas que se dissolve no mar. As reaccións químicas que se producen son:



Este último paso é o importante, porque significa que comezará a escasear o carbonato na auga. Daquela, todos os seres vivos que precisan del para facer os seus esqueletos, dende o plancto ata os corais, pasando polos animais con cuncha, hanse atopar cun grave problema.

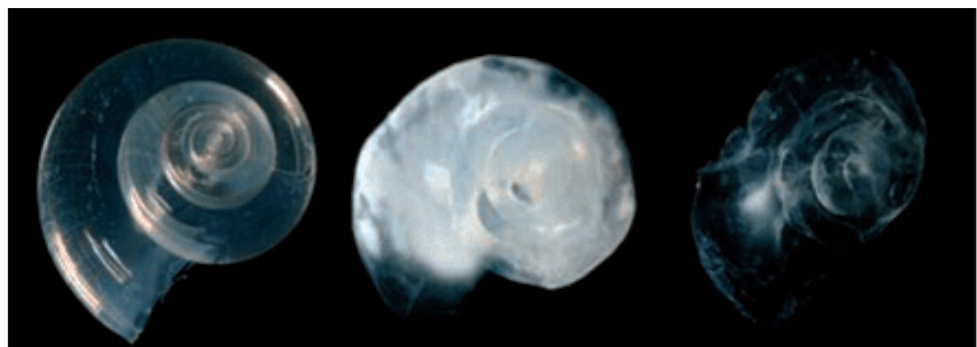


Figura 14. Un experimento temible: somerxida en auga coa acidez que poden chegar a ter os mares a finais deste século, a cuncha deste pequeno molusco mariño disolveuse en poucas semanas.

Non é a primeira vez na historia do planeta que os océanos se acidifican. Hai 56 millóns de anos, os volcáns e (se cadra) os pantanos liberaron á atmosfera unha cantidade enorme (entre 2.000 e 7.000 xigatoneladas, ou sexa, de 2 a 7×10^{12} Tm) de carbono, como CO_2 e CH_4 (metano). Esta cifra aseméllase ás $2,2 \times 10^{12}$ Tm de carbono que queda nas reservas de combustibles fósiles. A diferenza está no ritmo: o que a Natureza fixo en miles de anos, a humanidade está a levalo a cabo en só dous ou tres séculos, e isto significa que os seres vivos non teñen tempo de se adaptaren. Non houbo extincións masivas hai 56 millóns de anos, mais si está a haber unha agora mesmo. Por termo medio, os océanos son actualmente un 30 % máis ácidos que antes da era industrial, e esta proporción podería chegar ao 150 % a finais do século XXI.

- Os mares polares estanse a acidificar máis de présa que os tropicais. Recorre a todos os teus coñecementos de Química para explicar por que:
 - ❑ Porque a auga fría dissolve máis CO_2 .
 - ❑ Porque os mares fríos teñen menos correntes que dilúan o CO_2 .
 - ❑ Porque, como hai menos vida, hai menos organismos fotosintéticos que poidan absorber CO_2 .

É imposible predicir as consecuencias para a vida na Terra, pero algúns científicos defenden que este efecto pode ser o máis perigoso do cambio climático.

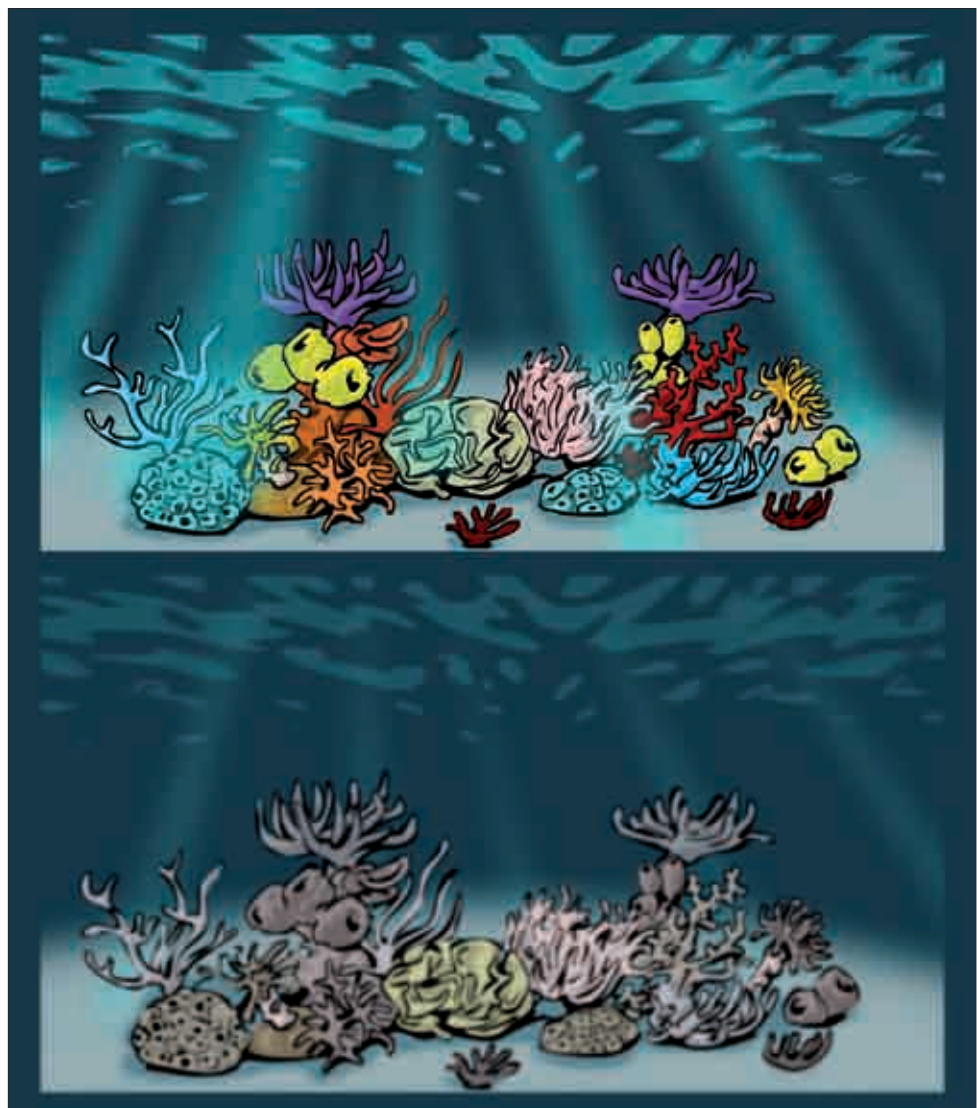


Figura 15. Corais: perigo de morte.

- Como pode afectar a acidificación á biodiversidade e á economía das rías galegas?



Estanse parando os océanos?

Outra posible consecuencia da alteración do clima nos océanos detectouse no ano 2004. Nesa data, varios equipos de oceanógrafos mediron unha desaceleración da corrente do Golfo, o río de augas cálidas que (propulsado, igual que a corrente circunantártica, pola rotación terrestre) circula dende o golfo de México ata o Atlántico Norte. Ao chegar a este último, a auga arrefría, gaña densidade e afúndese, transformándose nunha corrente fría que percorre o fondo do Atlántico cara ao sur.

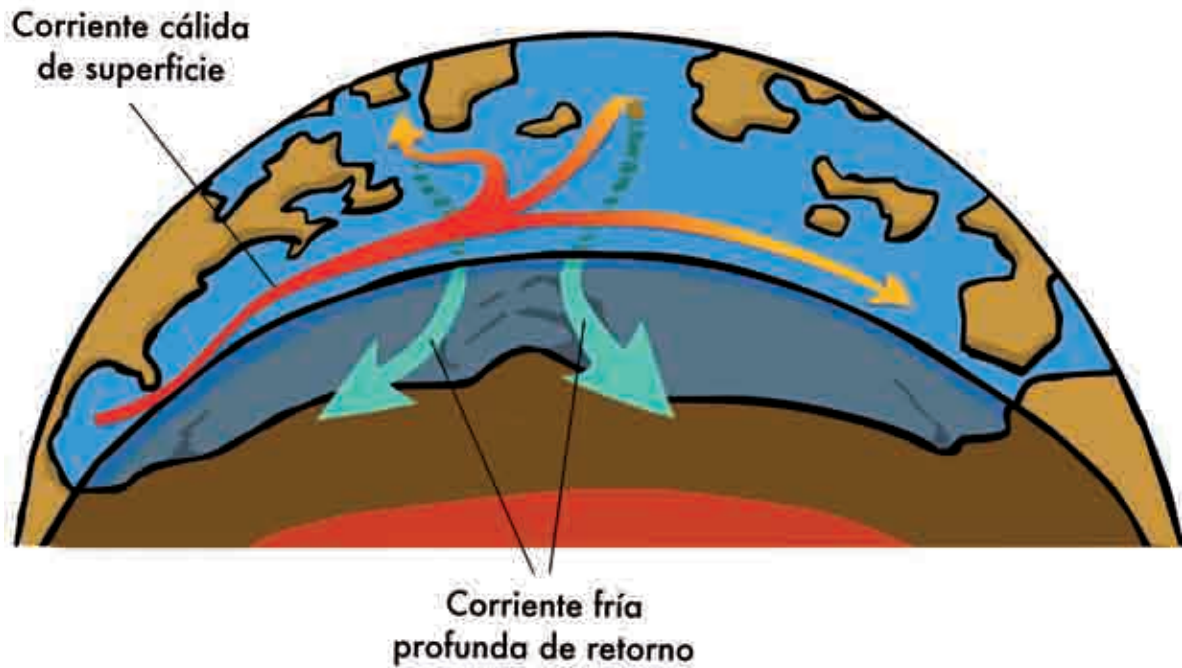


Figura 16. A corrente do Golfo. As augas quentadas polo sol no mar Caribe inundan o Atlántico Norte, onde arrefrían, descenden e flúen cara ao sur como unha corrente profunda.

Dende a metade do século XX, este movemento xeneralizouse no que se adoita chamar “a fita transportadora oceánica” [Ilustración17 (véxase tamén a Unidade Didáctica 1, páx. 104), que distribuiría por todo o planeta a calor adquirida polos océanos. Polo tanto, a interrupción dunha das partes desta corrente global podería ter consecuencias en toda a Terra.

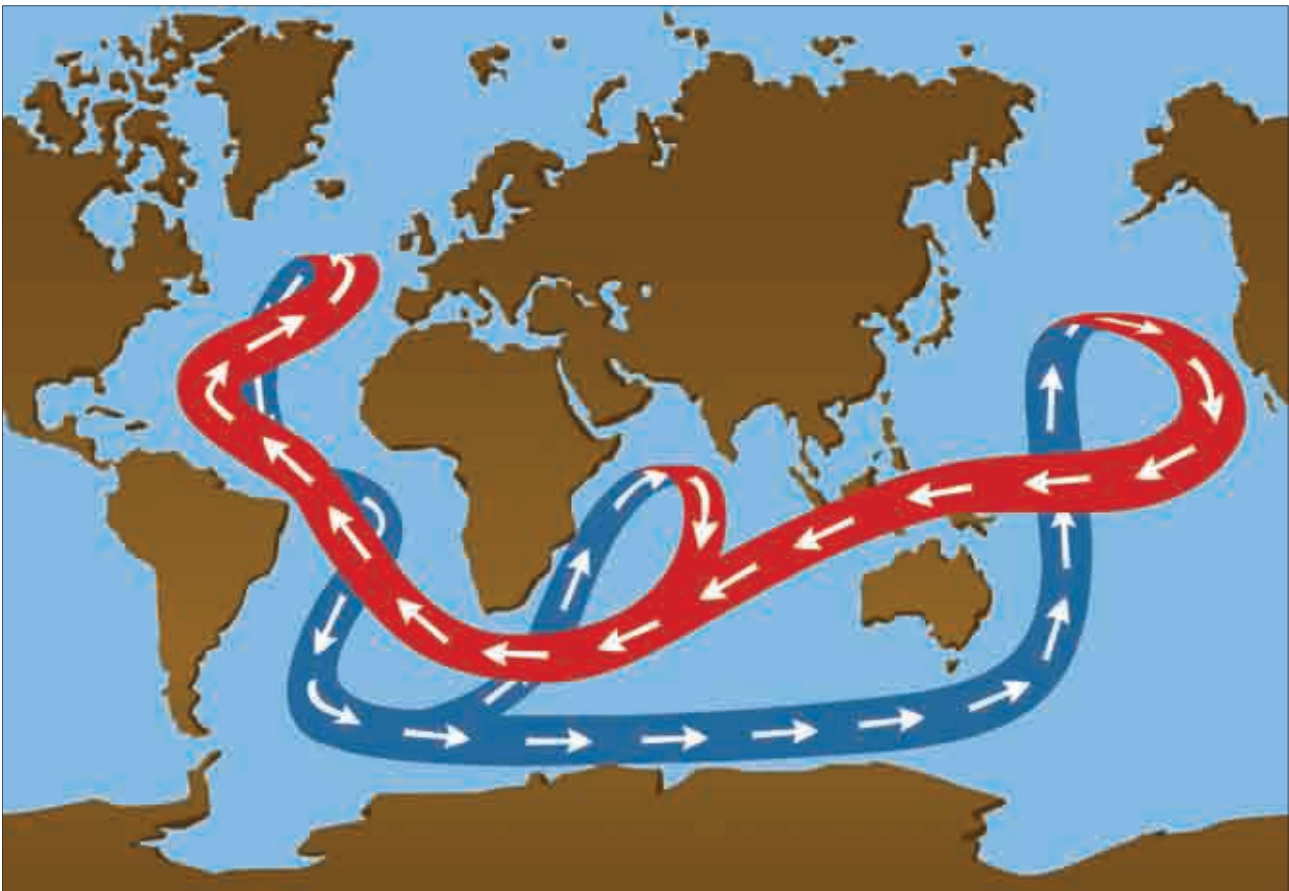


Figura 17. A fita transportadora oceánica, que enlaza as correntes superficiais cálidas e as profundas frías. Este concepto vese hoxe como unha simplificación excesiva, que non reflicte a realidade da circulación oceánica.

A freada detectada no 2004 pode ter dúas causas. A primeira é que, como a atmosfera está máis quente, a auga apenas pode arrefriar, e se non o fai, non gaña densidade e non se afunde, co que se acumula na superficie e impide a chegada de máis auga. A segunda é que, se os ríos que aflúen ao Atlántico Norte levan máis caudal (p. ex., porque se funda máis xeo en Canadá), este exceso de auga doce rebaixará a salinidade e, xa que logo, a densidade da auga mariña, impedindo tamén o seu afundimento.

Polo tanto, a desaceleración da corrente podería estar causada polo quecemento global. Varios estudos confirmaron esta conexión, seica. Por exemplo, entre 1990 e o 2000 a velocidade da corrente variou coa temperatura atmosférica [Ilustración18]: a máis calor, menos velocidade. Ademais, no 2005 acumulárase no Atlántico Norte unha gran cantidade de auga doce, tanto coma a descarga anual de oito Mississippiis.



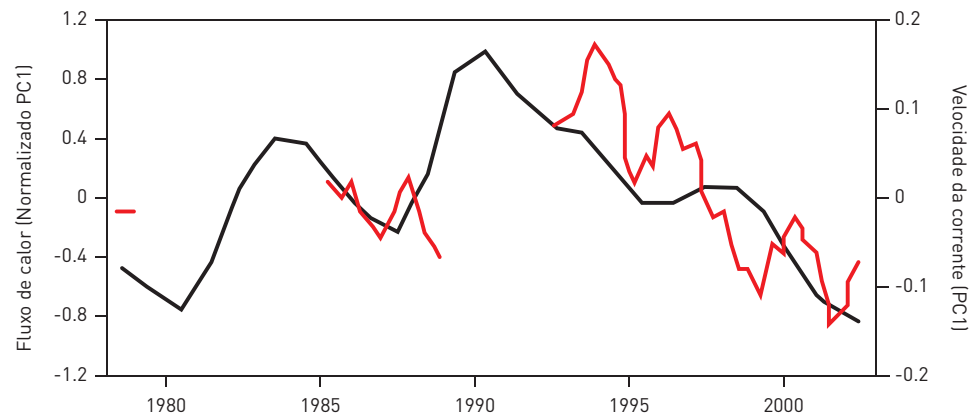


Figura 18. Cando, a partir de 1990, comezou a quecer a atmosfera, a auga do Atlántico Norte púidolle ceder menos calor (curva negra). Ao mesmo tempo, a corrente do Golfo (curva vermella) perdeu velocidade. Así e todo, non hai probas de que esta desaceleración sexa unha consecuencia do cambio climático.

As alarmas saltaron. ¿A desaparecer a corrente oceánica que suaviza o clima de Europa? Cales poderían ser as consecuencias? Ao estudar o pasado, descubrimos que outras situacións semellantes de gran fluxo de auga doce ao océano Atlántico deron lugar a períodos de clima moi frío en Europa; o máis coñecido durou dende 1300 ata 1850 e chamouse **Pequena Idade de Xeo**. Así que, en primeiro lugar, habería que prever un arrefriamento do clima en toda Europa, en especial no centro e no norte. Ademais, habería menos furacáns no Atlántico e secas intensas na África subsahariana. E algo inesperado: as poboacións atlánticas de plancto poderían colapsar, xa que dependen do intercambio de auga superficial e auga profunda, esta última, rica en nutrientes.

- Se se frea esta corrente polo quecemento global, que previsións climáticas tería Galicia? Coincide coa tendencia á variación de temperatura a nivel global?
- Valora a veracidade desta afirmación: “Nunha situación de quecemento global poden aparecer glaciacións a nivel rexional”.

Non obstante, estas previsións chocan de fronte cos datos actuais, que din que o noso continente se está a quentar e que os furacáns atlánticos son cada vez máis frecuentes. Daquela...? Cando os científicos obteñen datos contraditorios sobre un problema que pode traer consecuencias graves para a sociedade, esta mobilízase para que os mesmos científicos propoñan solucións. Neste caso, o primeiro que se fixo foi poñer en marcha tecnoloxías que servisen para confirmar se a desaceleración era un fenómeno irreversible. No 2006 instaláronse en todos os océanos sensores [Figura 19] que se moven dende o fondo mariño ata a superficie, dende onde envían os seus datos a satélites. Por vez primeira na historia, os oceanógrafos puideron estudar con detalle o que pasa dentro dun océano.

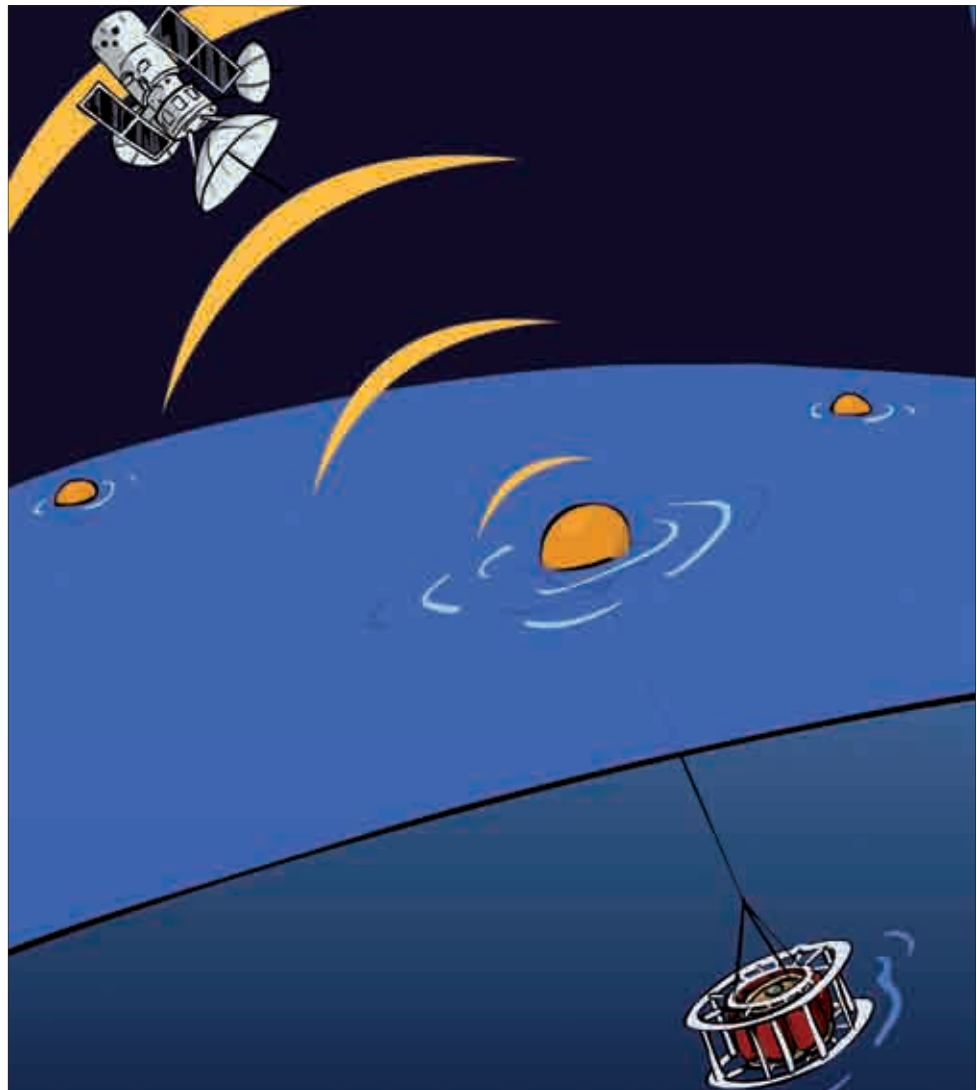


Figura 19. Un sensor ancorado no fondo do Atlántico. Un cable permite o seu movemento na vertical e, polo tanto, tomar datos a distintas profundidades.

O resultado foi tranquilizador: a velocidade da corrente do Golfo é enormemente variable e a súa freada nos anos 90 entra dentro desa variabilidade natural. Xa que logo, polo de agora non temos que temer polo noso clima nin polo noso plancto. Así e todo, esta tranquilidade pode ser pasaxeira. Os modelos de superordenadores que usan os climatólogos suxiren que a corrente vai reducir a súa velocidade nun 25 % no que queda de século, e algúns deles mostran un límite, un punto térmico por riba do cal a circulación da corrente é imposible. Ademais, recentemente tamén se debilitaron outras correntes, coma a que conecta o Pacífico co Índico.

Os novos datos produciron outra vítima: a fita transportadora oceánica vese cada vez máis como un concepto teórico, que non reflicte a complexidade real da circulación da auga nos océanos. O papel do vento e o das turbulencias complican moito a situación e explican as grandes variacións de velocidade medidas agora. Ao mesmo tempo, fannos ver a nosa hidrosfera como un sistema suxeito a moitas influencias e, xa que logo, fráxil.

Os oceanógrafos están xa a traballar para construír mellores modelos dos océanos.





- Reflexiona sobre a imaxe que tes dos científicos. Decepciónate que se equivoquen?

Os mares interiores: o caso do mar Morto

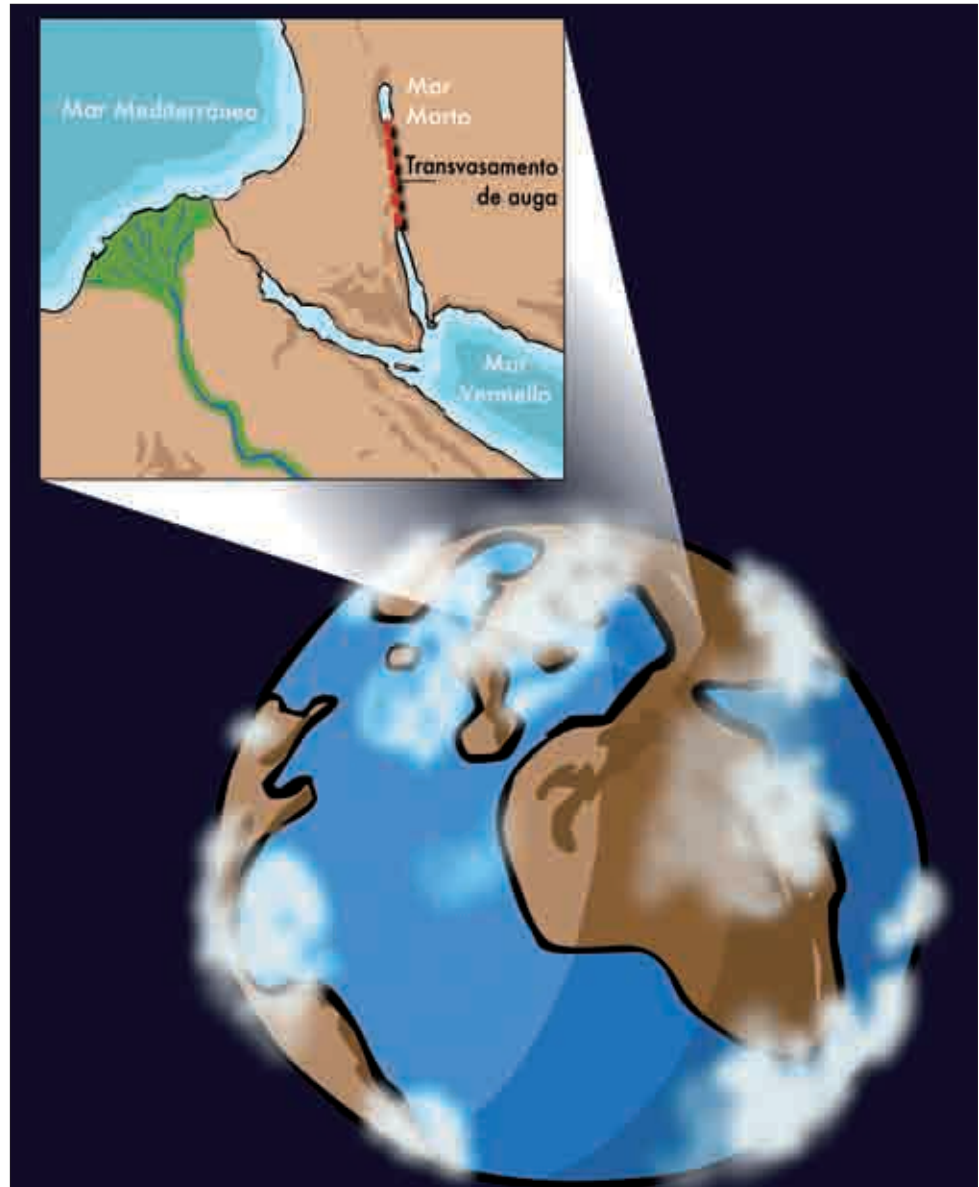


Figura 20. O mar Morto, na parte superior desta imaxe de satélite, xunto co trazado proposto para o transvasamento de auga dende o mar Vermello, situado na parte inferior.

Mar ou lago? Malia estar illado no medio dun deserto [Figura 20], a 180 quilómetros do mar máis próximo, a súa auga saturada en sales fala do seu pasado mariño. Pero os países ribeiráns están a esgotar este antigo mar: Israel, Siria e Xordania están bebendo entre elas o río Xordán, que xa só leva ao mar Morto 100 millóns de metros cúbicos ao ano. Parecerían moitos se non se comparasen cos 1.200 millóns de metros cúbicos orixinais, e se non se tivese en conta que se trata de augas de residuos urbanos e agrícolas. Coa diminución do caudal do río e a temperatura media en ascenso, o nivel da auga descendeu 30 metros nos últimos 50 anos [Figura 21]. Ademais, tanto Xordania coma Israel teñen instaladas nas

ribeiras salinas comerciais dotadas dunhas piscinas de evaporación que son responsables de ata un 30 % do descenso do nivel da auga.

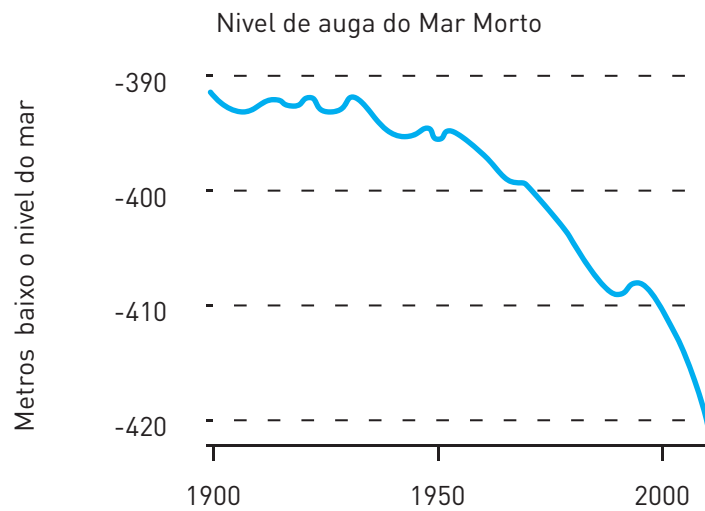


Figura 21. O declive do nivel da auga do mar Morto entre 1900 e o 2010.

O retroceso da liña costeira deixou ao descuberto sedimentos tan cheos de sales que ningunha planta pode crecer neles. Desaparecerá o mar Morto? Non, porque a medida que avanza a evaporación, a auga, que se fai máis salina, evapórase máis amodo. Inda que se calcula que o seu nivel, agora a 425 metros por debaixo do do mar, podería descender outros 150 metros neste século.

Existe un proxecto de enxeñaría para restablecer o antigo nivel. Un túnel ou un acueduto levarían auga do mar Vermello ata o mar Morto [Figura 22]. No traxecto construíriáanse unha planta desalinizadora e unha central hidroeléctrica.

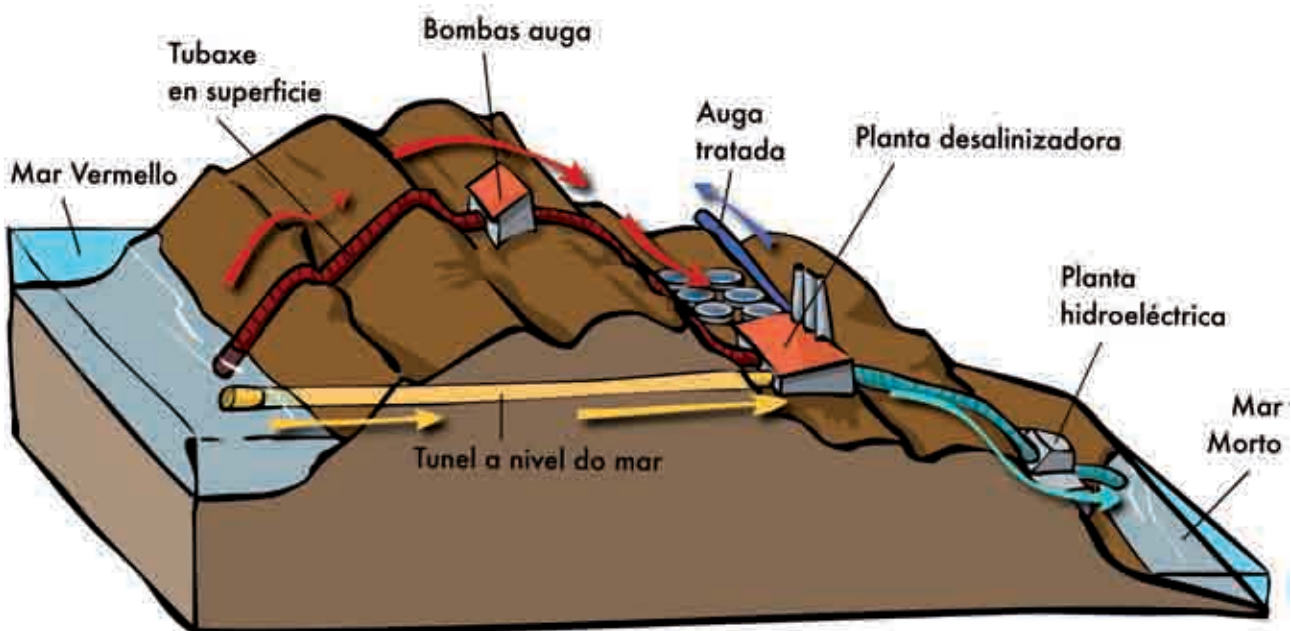


Figura 22. Esquema do proxecto dun acueduto (en vermello) ou un túnel (amarelo) para levar auga do mar Vermello ao mar Morto.





- Analiza este proxecto dende o punto de vista ambiental, tendo en conta os datos a seguir:
 - Tomaríanse 2.000 millóns de metros cúbicos ao ano de auga do mar Vermello, nunha zona con 110 especies de corais.
 - O conduto levaría auga moi salina por un val con poboacións de gacelas e que está percorrido por unha falla activa.
 - Un multimillonario israelí quere aproveitar a construción do conduto para instalar na zona unha cidade semellante a Las Vegas.

Grupos ecoloxistas dos tres países implicados están a facer presión para que, no canto de construír o conduto ata o mar Vermello, Xordania e Israel economicen auga en usos urbanos e en agricultura. Calculan que, con iso, o curso do río Xordán podería recuperar entre 400 e 600 millóns de metros cúbicos ao ano.

Cando se unen ríos e mares: os deltas

Os deltas fórmanse cando un río desemboca nunha **plataforma continental** ampla, onde se empezan a acumular os sedimentos que arrastra. Estes quedan sometidos á influencia mariña, sobre todo ás **correntes de deriva litoral**, que arrastran parte dos sedimentos e os espallan ao longo das costas (así se forman as praias); tamén se someten aos cambios no nivel do mar. Por iso os deltas son sistemas moi inestables: duran como moito 5.000 ou 6.000 anos. Dende o punto de vista humano, os deltas son zonas moi valoradas para a agricultura, porque a chegada de sedimentos lle proporciona continuamente ao solo novos nutrientes. O mellor exemplo deste uso é o delta do río Nilo [Figura 23], onde viven máis de 50 dos 66 millóns de exipcios.

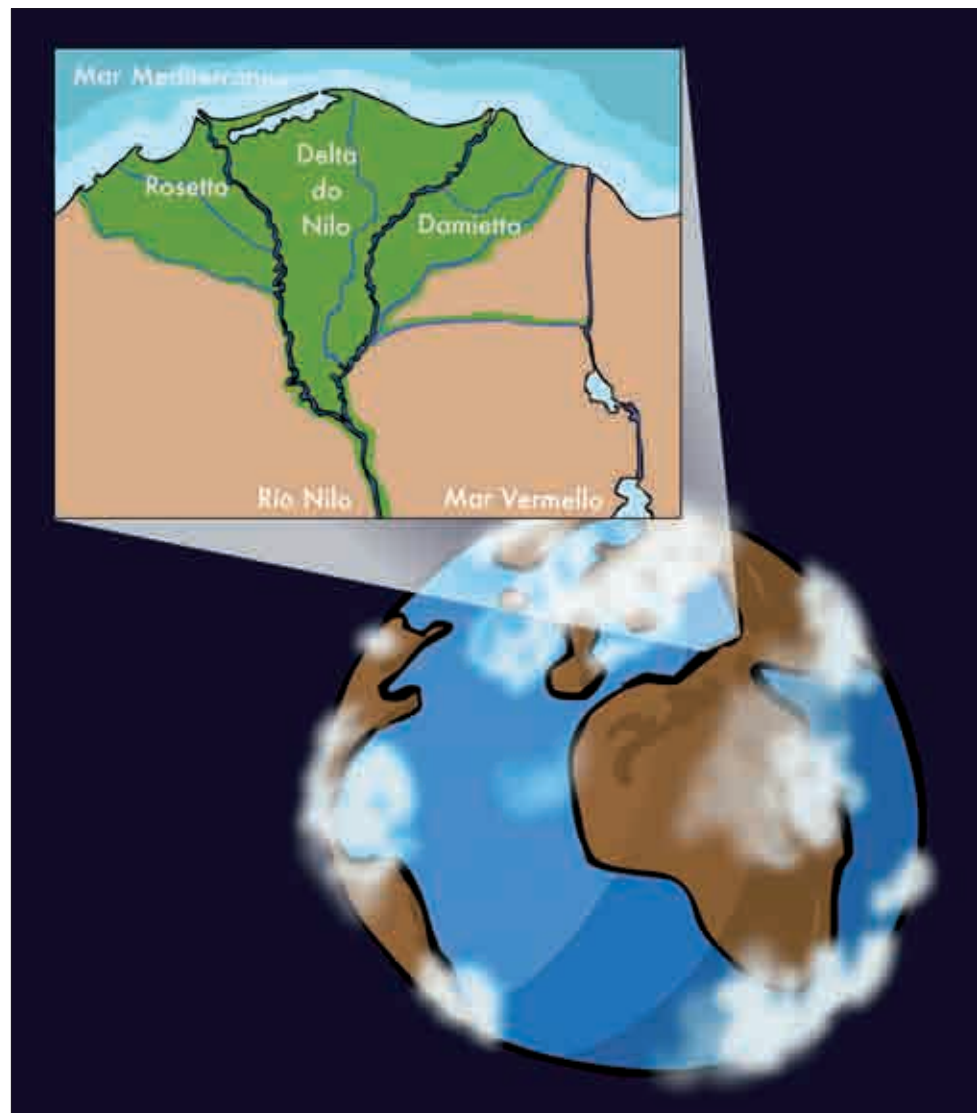


Figura 23. O delta do Nilo. Distínguense os dous brazos principais, o de Damietta á esquerda e o de Rosetta á dereita.

Ás influencias naturais na evolución dos deltas hálles que sumar a acción humana. Actualmente apenas quedan ríos que non estean alterados, sobre todo pola construción de encoros. Estes son útiles por varios motivos:

- Evitan as enchentes, que nalgúns ríos son fenómenos moi perigosos.
- Así mesmo, en períodos de seca permiten dispoñer da auga almacenada para a rega.
- Algúns serven para producir enerxía hidroeléctrica, que é unha fonte de enerxía limpa e renovable.

Xunto a estas vantaxes, os encoros teñen serios inconvenientes, que afectan sobre todo aos deltas. Un encoro actúa como unha trampa para sedimentos, que se acumulan no seu fondo, en vez de se depositaren no curso baixo e no delta do río. Ao deixar o delta de recibir estes sedimentos, as correntes de deriva litoral e as fortes ondas erosionano, sen que nada poida contrarrestar a súa acción destrutiva. Todos os deltas se afunden porque,





cando os sedimentos son cubertos por outros novos, os primeiros expulsan a auga e perden volume. Mais cando un encoro impide a chegada de novos sedimentos, o afundimento non se ve contrarrestado polo crecemento e, polo tanto, acelérase. O 85 % dos deltas do mundo estanse a afundir cada vez máis rápido.

Tamén o delta do Nilo é un bo exemplo deste proceso. Coa construción en 1964 do grande encoro de Asuán, o delta deixou de recibir sedimentos e, a partir daquela, afúndese a velocidades crecentes, sobre todo a favor de varias fallas.

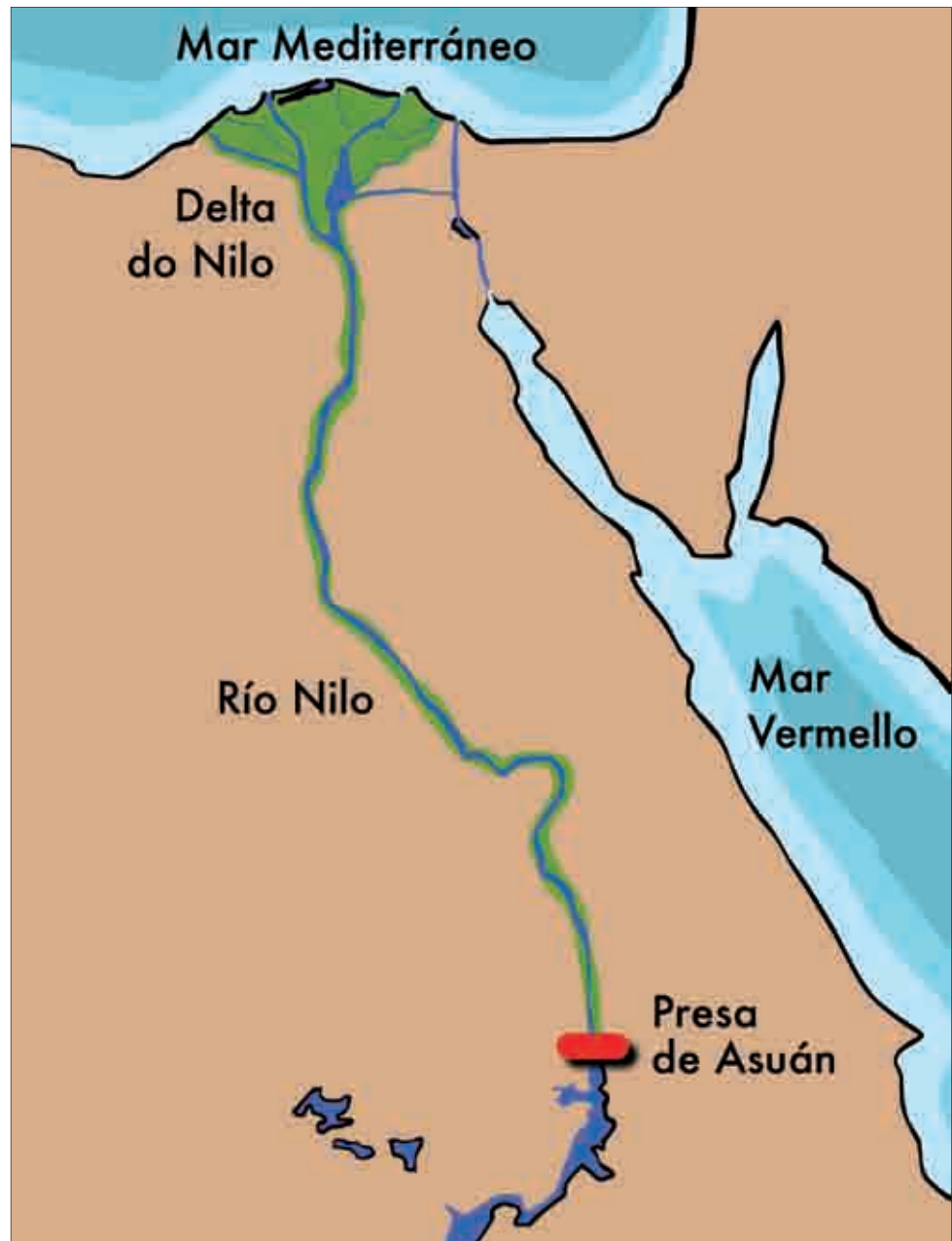


Figura 24. O curso medio e a desembocadura do río Nilo, co delta e a situación do encoro de Asuán..

Neste momento, o 30 % da área do delta está a só un metro sobre o nivel do mar. Pero o cambio climático pode agravar o problema: as previsións do Comité Internacional para o

Cambio Climático apuntan a unha elevación dun metro no nivel do Mediterráneo cara ao 2050. É evidente que iso significaría a perda dun terzo da superficie do delta e, xa que logo, o colapso de boa parte da agricultura exipcia, ademais da evacuación de decenas de millóns de labregos.

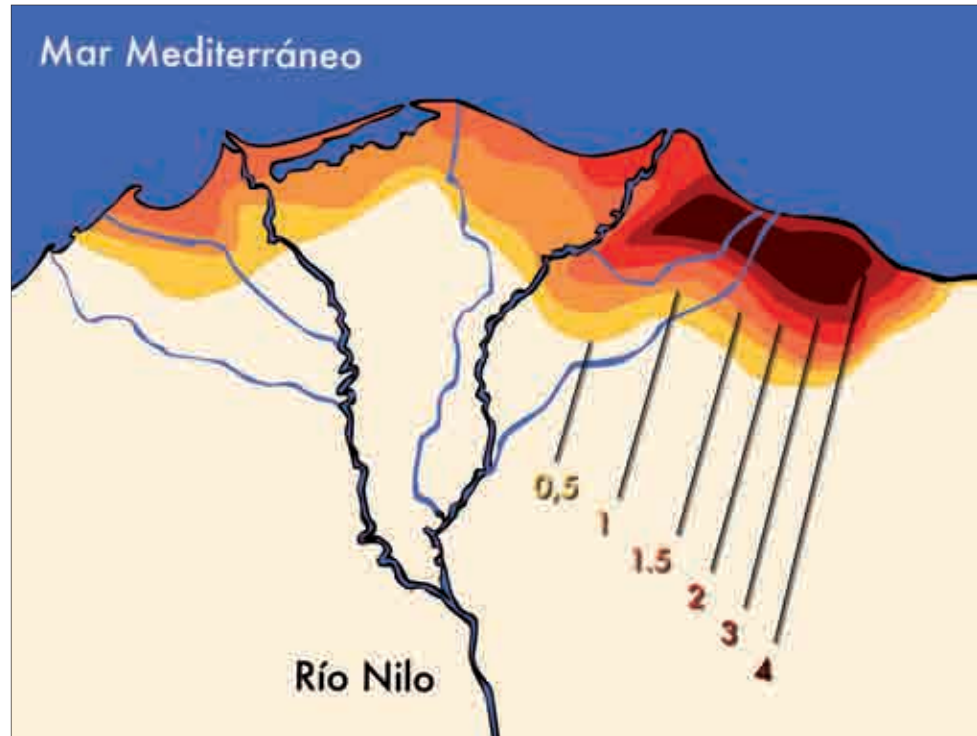


Figura 25. Esquema do delta do Nilo e velocidades de afundimento (en milímetros/ano) de cada zona. A zona da dereita, delimitada por dúas fallas (liñas de cor), estase a afundir máis rápido. Os datos, de 1990, están desfasados: a velocidade de afundimento duplicouse e xa chega a 1 cm/ano.

- O encoro de Asuán elevou o nivel de vida dos exipcios, proporcionándolles abundante enerxía eléctrica, así como seguridade fronte ás inundacións e secas do Nilo. Comenta se, malia isto, e á vista dos problemas actuais no delta, sería mellor non o ter construído.

Este dilema preséntase agora en todo o planeta: os encoros prestaron un gran servizo á humanidade, inda que case todos se construíron nun tempo en que só importaba o desenvolvemento económico. Agora que tamén nos preocupa o medio natural, e nun momento en que comprobamos que a nosa pegada no planeta comeza a ser perigosa, cambiou a tendencia: séguense a construír encoros (só nalgúns casos, tras estudos ambientais coidadosos), mais tamén se destrúen. Por exemplo, en Estados Unidos elimínanse entre 20 e 50 encoros cada ano. No noso país aínda non se alcanzou esa fase e está prevista a construción de 120 novos encoros. Todos os impactos se multiplican nos mares cerrados e con pouco volume de auga, pero en especial os impactos que implican cambios químicos.

- Responde co estudado neste apartado ás cuestións iniciais: “RESPONDE CO QUE SABES AGORA”.



