



Proxecto de Educación Ambiental CAMBIO CLIMÁTICO

Libro Didáctico **3**:

AGUA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Capítulo 3. Historia, presente y futuro
del agua en la Tierra

978-84-453-4994-6

Francisco Sóñora Luna (coordinador)
Francisco Anguita Virella



XUNTA DE GALICIA

LIBRO 3 AGUA Y CAMBIO CLIMÁTICO

1. UNA SUBSTANCIA UNIVERSAL

2. EL AGUA EN MOVIMIENTO

contenido del documento actual

3. HISTORIA, PRESENTE Y FUTURO DEL AGUA EN LA TIERRA

4. EL AGUA, FUENTE DE VIDA DESDE LOS OCÉANOS HASTA LA TIERRA FIRME

5. EL AGUA EN LA HISTORIA DE LA HUMANIDAD

6. EL CAMBIO CLIMÁTICO EN UNA SOCIEDAD SEDIENTA

7. EL AGUA, UN RECURSO CRÍTICO EN LA SOCIEDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

8. UN CAMBIO DE DIRECCIÓN EN BASE AL USO SOSTENIBLE DEL AGUA EN LA SOCIEDAD DEL CAMBIO CLIMÁTICO

3. HISTORIA, PRESENTE Y FUTURO DEL AGUA EN LA TIERRA

Responde con lo que sabes ahora

- ¿Crees que siempre hubo mares en la Tierra?
- ¿Sabes qué papel tienen los océanos en el clima del planeta?
- ¿Conoces la causa de que haya corrientes oceánicas?
- ¿Sabes cuál es el principal efecto del cambio climático sobre la vida marina?
- Desde el punto de vista del medio ambiente, ¿cuál crees que es la principal diferencia entre un mar abierto (como el océano Atlántico) y un mar interior (como el Mar Muerto)?



Océano Atlántico



Mar Muerto

La aparición del agua en la Tierra

Tan acostumbrados estamos a ver el mar, que nos parece que tiene que haber estado siempre ahí. Pero no es así: como todo, los mares tuvieron un comienzo. Cuando se formó, la Tierra era un sitio muy caliente: tanto, que durante varios millones de años estuvo cubierta por completo de lava, y envuelta por una atmósfera varios cientos de veces más densa que la actual.

Pero ya sabemos que todos los cuerpos calientes se enfrían. Cuando la temperatura de nuestro planeta bajó un poco, el vapor de agua de su atmósfera se transformó en agua líquida, depositándose sobre la superficie, que ya era sólida. De esta primera lluvia, que duró varios miles de años, nacieron los océanos [Figura 1].





Figura 1. La primera lluvia: cuando la Tierra se enfrió por debajo de unos 300 °C, el vapor de agua de la atmósfera se condensó, formando mares en las depresiones.

Según los científicos, estos primeros mares no eran muy buenos para bañarse: el agua podía alcanzar los 150 °C...

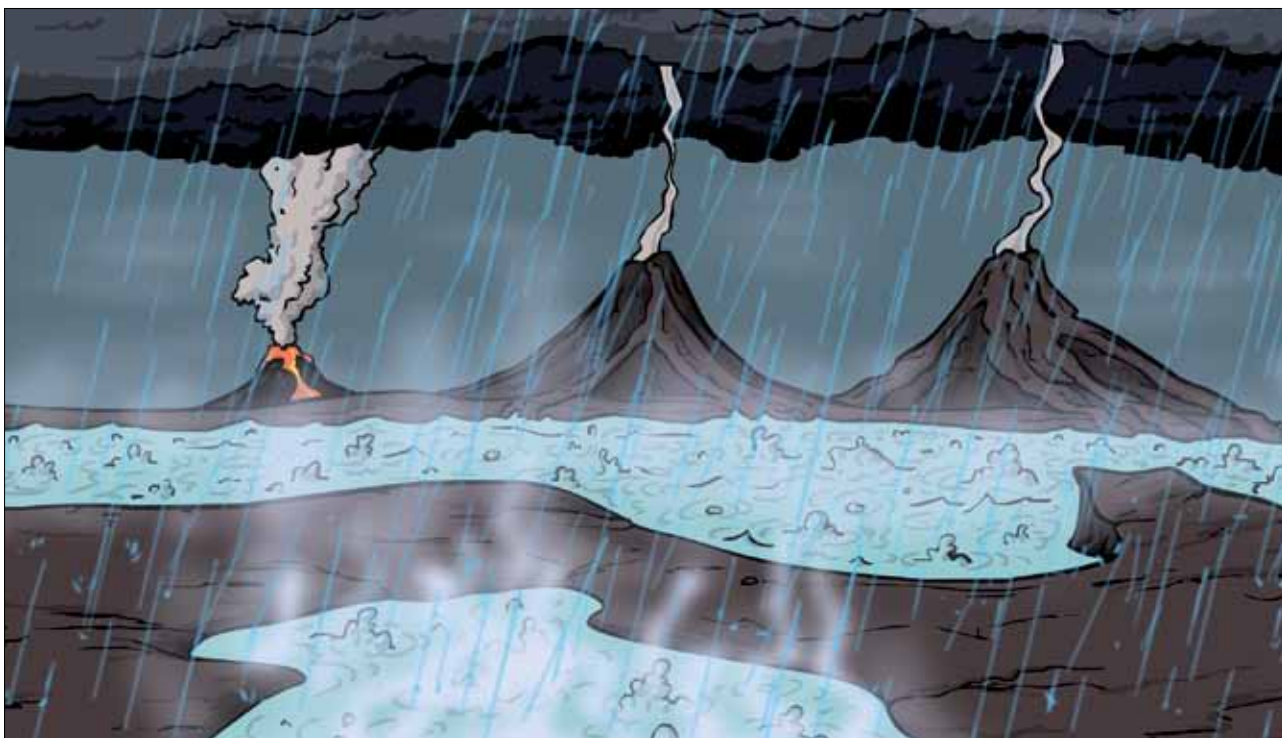


Figura 2: Así era la Tierra cuando nacieron los mares: un planeta lleno de volcanes.

- ¡Eh, pensemos un momento sobre 4 cuestiones para entender mejor esto!
 - ¿No hierve el agua a 100 °C?
 - Si el mar estuviera en efervescencia, ¿quedaría agua?
 - Si después de una noche lluviosa, a lo largo de la mañana se evaporan los charcos, ¿indica eso que el agua estuvo en algún momento a 100 °C?
 - ¿Puede evaporarse el agua a otras temperaturas diferentes a 100 °C? ¿Y hervir? Justifica las respuestas.
- Después de estas reflexiones, ¿qué conclusiones sacas sobre la posible composición de ese antiguo océano que podía alcanzar los 150 °C?

Como decíamos, el agua estaba demasiado caliente para cualquier ser vivo: las bacterias llamadas **termófilas**, que son los organismos vivos que mejor aguantan el calor, no pueden vivir por encima de 113 °C (por encima de esta temperatura, las proteínas se descomponen).

- Busca el origen de la palabra “termófilo”.
- Aprovechamos para aclarar la propiedad más conocida del agua de mar. ¿Por qué es salada? Marca con una X la respuesta correcta.
 - Porque los volcanes submarinos han aportado al mar los elementos de la sal.
 - Porque los ríos han llevado al mar sales a lo largo de la historia de la Tierra.
 - Como el agua la trajeron los asteroides, la sal también.

Al mismo tiempo que se enfriaban, algo sucedía en su fondo: la mayoría de los volcanes submarinos se alineaba a lo largo de grandes grietas, por las que surgían enormes masas de lava [Figura3]. Esto sucedía porque, con el enfriamiento, la corteza de la Tierra se volvió más gruesa y más quebradiza.

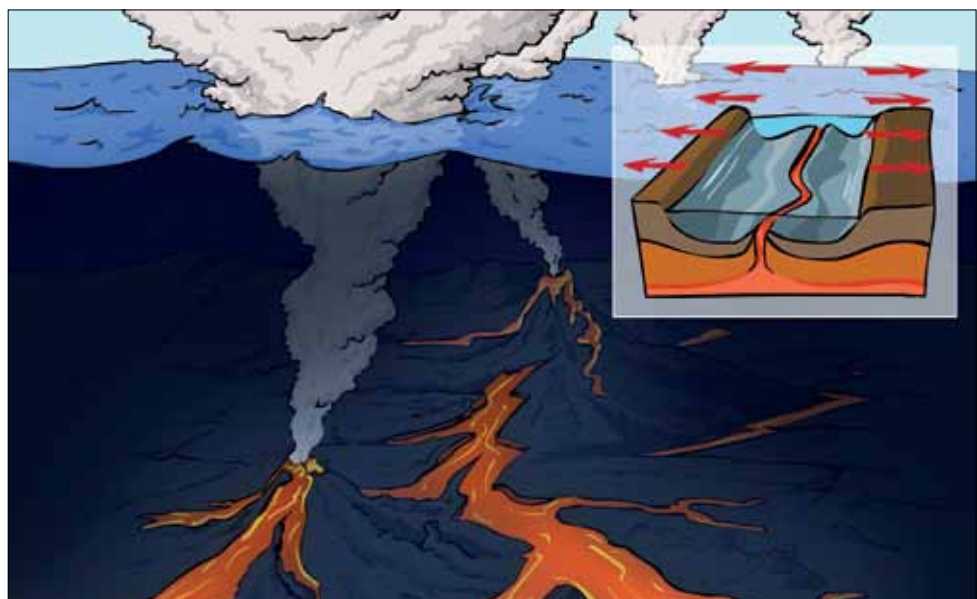


Figura 3. La lava que surge del fondo marino empuja los continentes, ensanchándose así el océano.

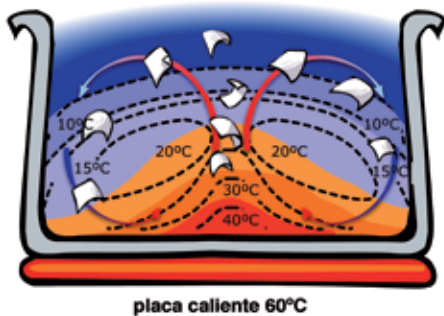




- Piensa en al menos tres situaciones de la vida corriente en las que se produzcan fenómenos parecidos a éste.

Las masas de lava que surgían de las grietas empujaban hacia los lados el fondo marino, así que el océano se ensanchaba, moviendo también los continentes, que podían acabar chocando unos con otros. Y eso es lo que sigue pasando ahora: los continentes siguen moviéndose. A principios del pasado siglo, cuando los científicos comenzaron a encontrar pruebas de los movimientos continentales, creyeron que se movían como barcos a la deriva. Por eso aquella primera teoría se llamó **deriva continental**. Sin embargo, según acabamos de ver, los continentes están como soldados a los fondos oceánicos, que los arrastran.

- ¿Conoces algún episodio famoso de la historia de las exploraciones por mar en el que un barco se comportase como los continentes en sus movimientos?



La causa de estos movimientos de los continentes y los fondos de los océanos es que el interior de la Tierra sigue estando muy caliente, lo que da lugar a diferencias de densidad y, por ello, a corrientes que tienden a igualarlas. Es lo mismo que pasa cuando ponemos agua a calentar: antes de que rompa a hervir, se forman corrientes, que se pueden ver bien poniendo papelitos en la superficie.

- Realiza este pequeño experimento cambiando las condiciones, y anota...
 - ... lo que pasa si al principio dejamos que los papeles floten, o si los hundimos con la mano.
 - ...cómo se comportan los papeles antes, durante y después de que el agua hierva.
 - ...si algo de lo que sucede se puede comparar al choque de dos continentes, o al nacimiento de un océano.

La gran diferencia es que la parte externa de la Tierra es rígida, por lo que estos movimientos la rompen en piezas, a las que los científicos han llamado **placas**. De ahí el nombre de la teoría que explica las causas y efectos de estos movimientos: **tectónica de placas** (tectónica quiere decir 'estructura').

Pero es interesante que la **tectónica de placas** se llame también a veces tectónica global: con este nombre se subraya que lo que le pasa a una pieza afecta también a las demás, porque todas están relacionadas, igual que lo están las piezas de un rompecabezas. Por el mismo motivo llamamos calentamiento **global** a la evolución actual del clima: las consecuencias se notan en todo el planeta.

Lógicamente, estos dos fenómenos globales están relacionados entre sí: en seguida veremos cómo la tectónica de placas, o sea, los movimientos de los continentes y los fondos oceánicos, puede cambiar el clima de todo el planeta.

Mares que han perdido la vida biológica con el paso del tiempo

Como veremos en el capítulo 4, el agua y la vida van siempre de la mano, y cuando queremos entender la evolución siempre tenemos que volver a pensar en la evolución de los mares.

Aplicada a la historia de la Tierra, la tectónica de placas significa que los mares y océanos que conocemos hoy no han existido siempre. Para comprobarlo, vamos a viajar en el tiempo con el equipo de exploradores de Climántica:



Sí, los viajes al pasado de la Tierra nos deparan grandes sorpresas, y muchas de ellas están relacionadas con los mares. Los océanos aparecen y desaparecen a medida que los continentes se rompen o chocan y quedan unidos. Sumando todos los viajes a los antiguos mares, podemos decir que:

- En varias épocas (por ejemplo, hace 500 y 250 millones de años) todos los océanos de la Tierra fueron uno sólo, al que los científicos han llamado **Panthalassa**. Esto significa que todos los continentes estaban también juntos, formando una **Pangea**.

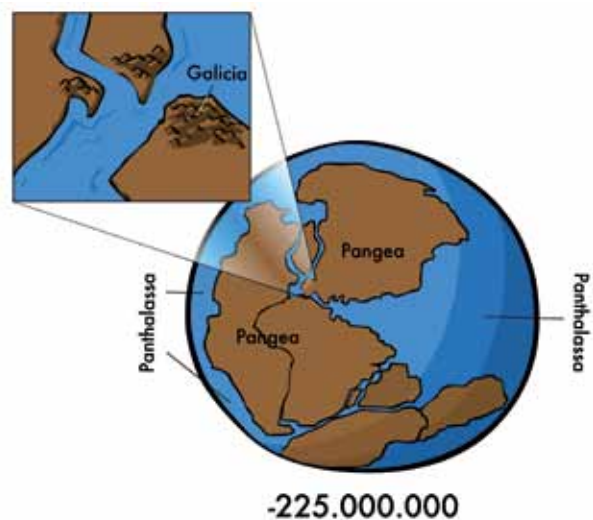


Figura 4. Geografía de Europa occidental y Norteamérica hace 275 millones de años. Galicia y Terra Nova son vecinas: el choque de los dos continentes ha formado grandes cadenas de montañas.





- El único océano que ha existido siempre es el Pacífico, aunque su extensión y forma han cambiado mucho.
- El océano Índico empezó a formarse hace 100 millones de años, y sólo alcanzó su extensión actual hace 70.

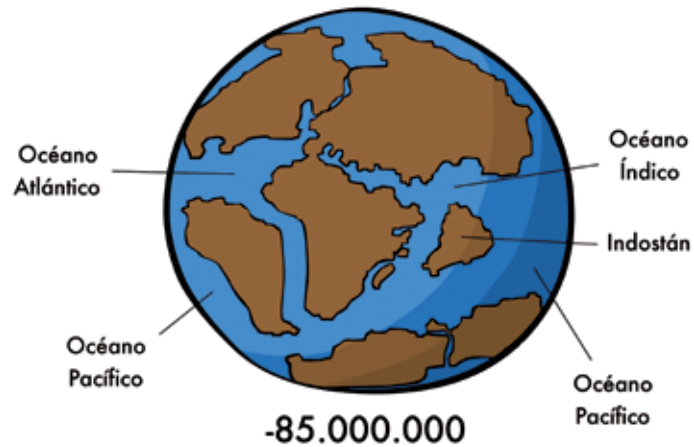
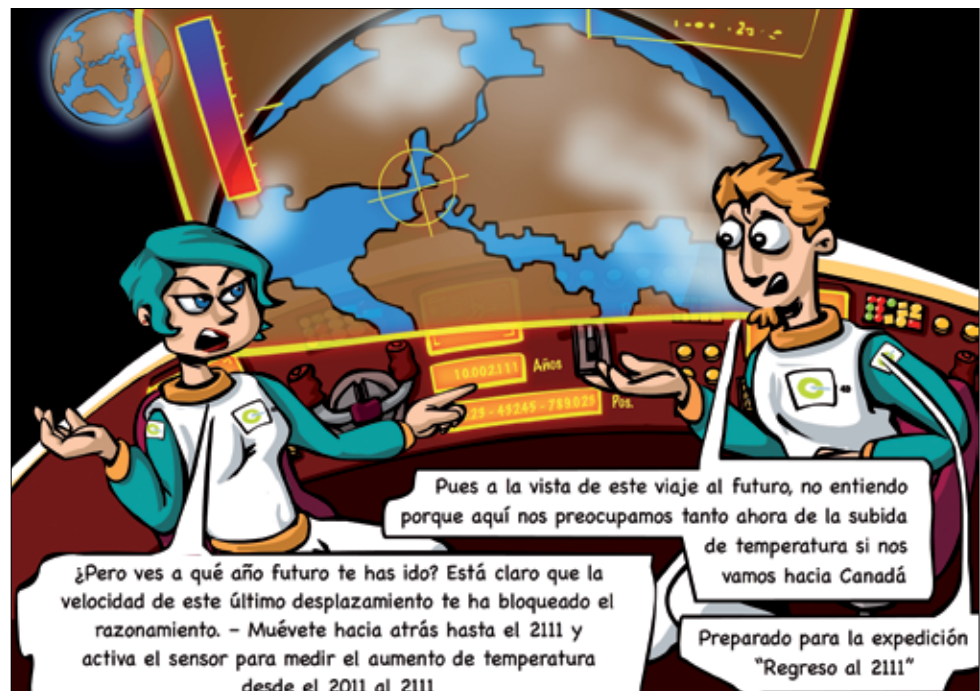


Figura 5. El océano Índico hace 83 millones de años: la India, que antes estaba unida a la Antártida, es una isla que camina hacia el norte. Dentro de diez millones de años chocará con el sur de Asia, dando origen al Himalaya.

● Más diccionario: busca paleo-, Panthalassa y Pangea.

Lo que ha sucedido antes, se repetirá: el Océano Atlántico volverá a cerrarse, otra vez seremos vecinos de los canadienses y volverá a haber otra Panthalassa, aunque todo ello dentro de cientos de millones de años. Pero es importante quedarse con una idea: igual que pueden reconstruir lo que pasó hace millones de años, los científicos que estudian la Tierra pueden predecir lo que pasará en futuros muy lejanos. Es como si de verdad pudiesen viajar en la Nave del Tiempo de Climántica...





Ahora a nuestro protagonista le quedó claro lo que significan 4º de diferencia de temperatura media en un plazo de 100 años. De hecho entre los pueblos del Sur y del Norte peninsular siempre hubo diferencias de esa magnitud, pero con un aumento de 4 º C por el calentamiento global, la adaptación de los pueblos del Sur tiene que ser más compleja

- ¿Por qué en la viñeta los ventiladores humidificadores estarán conectados con recipientes que ponen "desalinizadores"? ¿Qué inconvenientes ambientales podría conllevar esta tecnología de adaptación al cambio climático?

El agua y el clima en una misma historia: el papel del agua en las épocas glaciales y en las épocas de invernadero

En la Unidad Didáctica 1 (¿Cambia el clima?) ya aprendiste muchas cosas sobre el clima de la Tierra y sus cambios. Allí vimos algunos procesos relacionados con el agua; ahora





vamos a recordarlos, y a estudiar algunos otros que también tienen como protagonista a nuestro líquido favorito. Esta discusión es muy importante para que tengas ideas claras sobre el cambio climático. ¿Por qué? Porque uno de los mayores argumentos de los que niegan que este fenómeno tenga algo que ver con la actividad humana es que siempre ha habido grandes cambios en el clima, mucho mayores que el actual y mucho antes de que el ser humano hubiese aparecido sobre la Tierra. ¿Podrían tener razón? Para poder contestar a esta pregunta necesitamos saber qué papel juega el agua en el clima.

- Imagina situaciones en las que el agua influye en el clima. Pistas: 1) El agua tiene un alto calor específico. 2) El agua altera las rocas, y en este proceso se consume dióxido de carbono. 3) El vapor de agua es un gas de invernadero.

En el Capítulo 1 de esta unidad didáctica aprendimos que los dos planetas del Sistema Solar más próximos a la Tierra, que son Venus y Marte, han experimentado grandes variaciones climáticas: Venus perdió toda su agua líquida, que se evaporó y se dispersó en el espacio. El agua marciana se congeló y está ahora enterrada por espesas capas de polvo. Nada tan terrible ha sucedido en la Tierra: su historia, registrada en las rocas, prueba que nuestro planeta ha disfrutado de agua líquida desde aquella primera lluvia que comentamos al principio de esta lección. Ésta es una cualidad esencial para el mantenimiento de vida, que requiere precisamente agua líquida.

Un científico inglés, James Lovelock, ha propuesto una teoría, a la que ha llamado Gaia, según la cual han sido precisamente los seres vivos los responsables de que el clima no se aparte de las condiciones adecuadas para la 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 galardonó 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 o descartar la teoría Gaia. Pista: puedes usar la Nave del Tiempo de Climántica.

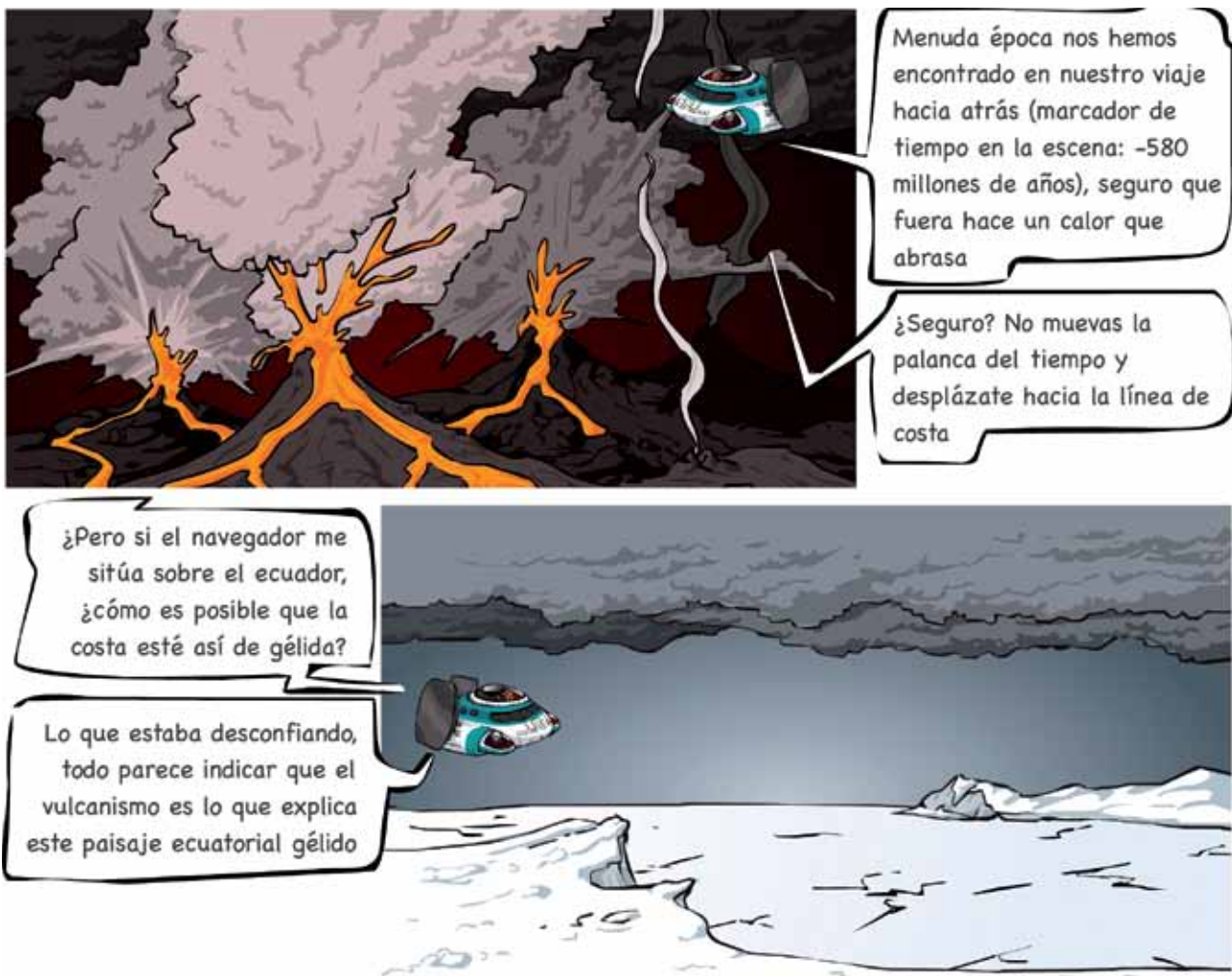
Pero, aunque su clima actual no sea tan extremo como el de otros planetas, es cierto que la Tierra ha experimentado muy serias variaciones climáticas. Hace cien millones de años nos hubiésemos podido bañar en las aguas del Ártico (aunque hubiésemos tenido que cuidarnos de los grandes reptiles marinos, Figura 6); en cambio, más atrás en el tiempo (entre 850 y 580 millones de años) todos los continentes se cubrieron por completo de hielo varias veces [Figura 7]. Los climatólogos han denominado **Gran Invernadero** y **Tierra Blanca** a estos dos periodos de clima extremo.



Figura 6. Hace 100 millones de años, la temperatura del océano Ártico hubiese permitido los baños; sin embargo, la fauna no era siempre amistosa.

Las causas de estas enormes variaciones en la temperatura de nuestro planeta sólo han comenzado a comprenderse recientemente. Contra lo que podría pensarse, no se ha descubierto ninguna influencia del Sol en estos grandes cambios climáticos. Al contrario, parece que son los planetas los responsables de su clima: el Sol se limita a enviarles grandes cantidades de energía, y los planetas la administran. El regulador son los gases de efecto invernadero, cuya concentración, que varía mucho, origina una cascada de efectos en cadena; o sea, lo que en teoría de sistemas se llama un **efecto dominó**. Por ejemplo, el Gran Invernadero parece ser el resultado de un periodo de vulcanismo muy intenso que llenó la atmósfera de CO_2 . Este efecto ya lo estudiamos en la Unidad Didáctica 1 (página 63).





La Tierra Blanca es una **glaciación**, o sea, un periodo (como el actual) con grandes masas de hielo en los continentes. Sobre el origen de las glaciaciones ha habido muchos debates, pero hay actualmente un acuerdo general en que se deben a un descenso en la cantidad de CO_2 en la atmósfera causado, por ejemplo, por una menor actividad volcánica.

Las discusiones han sido especialmente intensas sobre la glaciación de la Tierra Blanca, y esto por dos motivos. Uno, que se trata de una idea muy joven: este episodio no se descubrió hasta 1998. Y dos, que casi trescientos millones de años de glaciaciones no son fáciles de justificar. En primer lugar, ¿qué pruebas tenemos de que la Tierra estuvo tanto tiempo cubierta de hielo? En la Unidad Didáctica 1 ya estudiamos los llamados indicadores paleoclimáticos, que en esta glaciación abundan, como el depósito glacial de la Figura 7. Pero además, analizando las rocas formadas justo después de que los glaciares hubiesen desaparecido, se ha encontrado una huella muy especial de una glaciación tan especial como ésta [Figura 8].



Figura 8. Este esquema es lo que los geólogos llaman una columna litológica, y representa distintos tipos de rocas sedimentarias apiladas unas sobre otras. La unidad de color azul representa rocas depositadas por los glaciares. A la derecha, la concentración de iridio, un elemento parecido al platino que se encuentra en los asteroides; concentración que, como vemos, se triplica justo después de formarse los depósitos glaciares.

- ¿Puedes interpretar estos análisis como han hecho los climatólogos? Te sugerimos tres posibilidades, para que las critiques y las ordenes por orden de probabilidad:
- Porque después de la glaciación cayó un asteroide.
 - Porque cuando se fundió el hielo, todo el iridio que se había acumulado en él se concentró en la siguiente roca sedimentaria.
 - Que, en este caso particular, el iridio no provenga de asteroides, sino de una gran erupción volcánica, cuyas lavas tenían mucho iridio.

Ahora que la Tierra Blanca ya está confirmada, veamos cómo se explica. Ya hemos visto en el apartado anterior que los continentes, movidos por las corrientes profundas del interior terrestre, cambian de posición con el tiempo. Estudiando el magnetismo de las rocas, los científicos pueden hallar las posiciones antiguas de los continentes. El mapa de la Figura 9 representa la geografía de hace 600 millones de años. Como puedes ver, y a diferencia de lo que sucede ahora, todos los continentes estaban cerca del ecuador. Podríamos pensar que ésta es la situación menos favorable para una glaciación. Sin embargo, no es así. Veamos por qué.



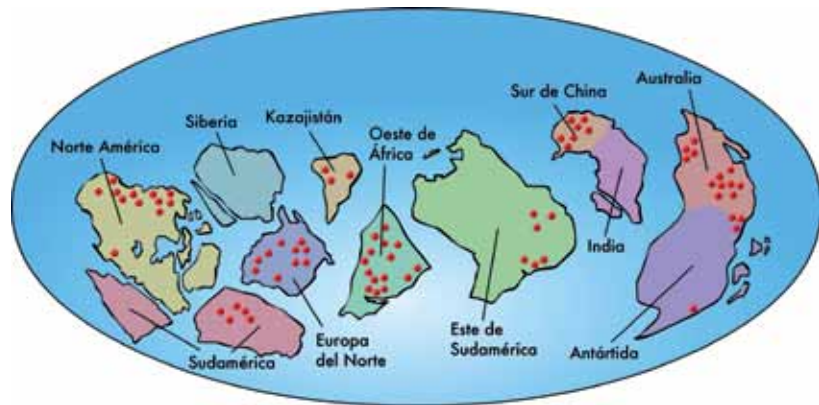
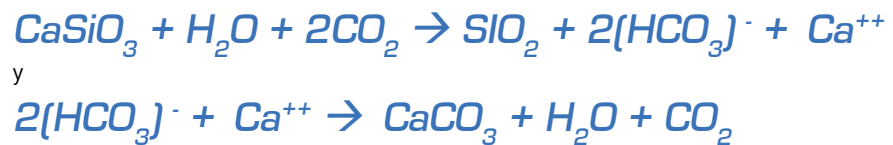


Figura 9. La geografía de la Tierra Blanca. Todos los continentes estaban próximos al ecuador y casi todos tienen depósitos glaciares (puntos de color).

Hace 600 millones de años, igual que ahora, las regiones ecuatoriales eran áreas muy lluviosas. Sabemos, con sólo mirar los monumentos, que la lluvia descompone las rocas. El ejemplo más sencillo de alteración es



Aquí, el silicato de calcio representa un mineral de una roca, que se altera al contacto con agua de lluvia que lleva CO₂ disuelto. Pero fíjate en el dióxido de carbono: en las reacciones químicas entran dos moléculas, pero sólo se libera una. En otras palabras, en la alteración de las rocas se consume dióxido de carbono, el más conocido de los gases de efecto invernadero. Así que una posición ecuatorial de los continentes, con una intensa alteración de las rocas, despoja a la atmósfera del principal de los componentes que retienen el calor solar. Resultado a largo plazo: glaciación. Que terminaría cuando los volcanes extrajesen del interior del planeta más CO₂ para restablecer el efecto invernadero.

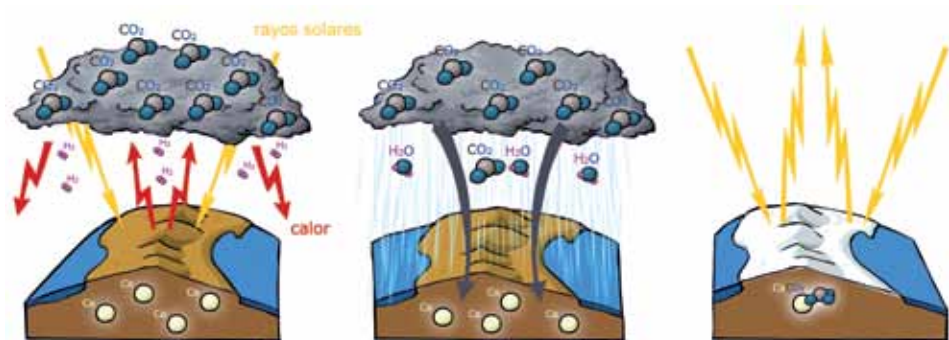


Figura 10. Paisajes de la Tierra Blanca: en un periodo de máximo frío, y cuando los volcanes lograron vencer al hielo.

- Expón los posibles razonamientos que piensas que está siguiendo la chica para relacionar el vulcanismo con la observación de la Tierra Blanca en la costa de latitudes ecuatoriales.

Así pues, vuelve a ser el agua (en este caso, la humilde agua de lluvia, aunque ayudada por la dinámica interna del planeta) la protagonista de un enorme cambio —quizás el mayor de toda la historia de la Tierra— en el clima. Pero el debate sobre la Tierra Blanca no ha terminado. Algunos climatólogos defienden que también los mares se congelaron: en este caso, los océanos hubiesen quedado aislados de la atmósfera por una capa de hielo, sus aguas no habrían podido oxigenarse y hubiese sobrevenido una gran extinción. Es cierto que en esta época la diversidad del plancton decrece, pero esto no ha logrado convencer a la mayoría de los historiadores de la Tierra.

Por último, nos queda por explicar la glaciación más importante de todas para nuestra especie, la que ha condicionado la evolución del ser humano y su colonización del planeta: la llamada **Glaciación Neógena**, en medio de la cual nos encontramos aún. La Figura 11 nos dice que el CO₂ ha disminuido desde hace unos 50 millones de años.

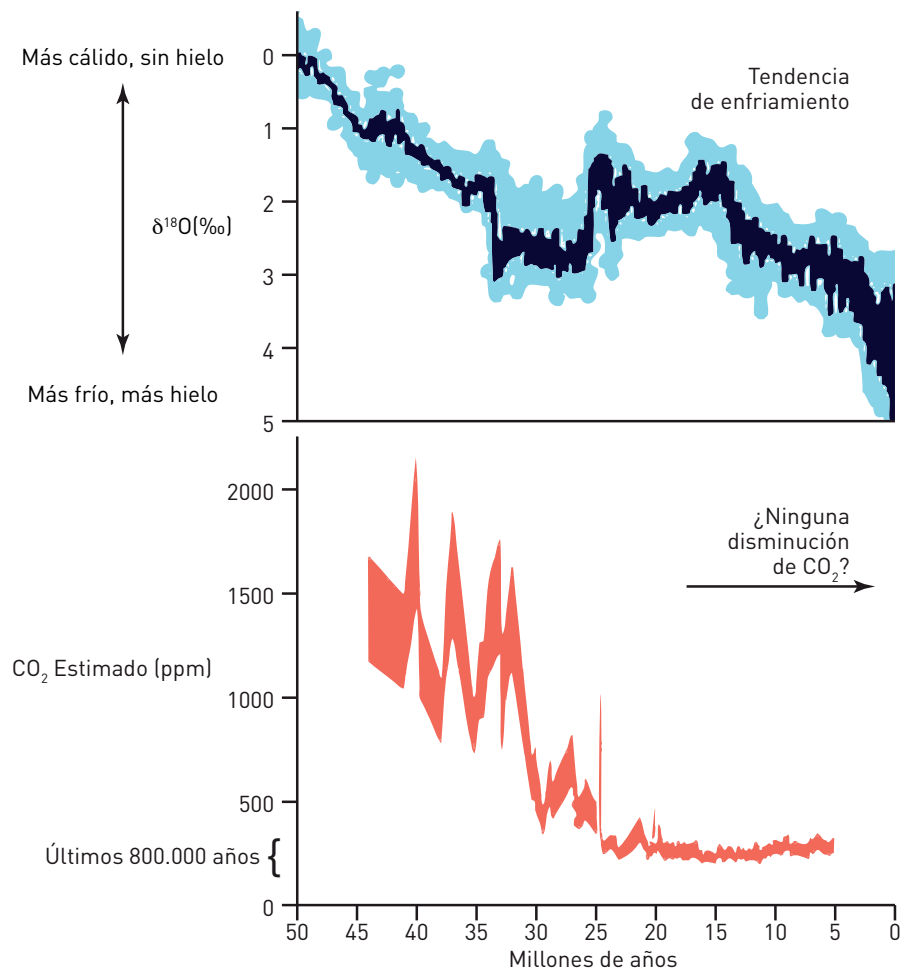


Figura 11. La variación de la concentración de CO₂ en los últimos 50 millones de años. Están revisándose actualmente los datos de los últimos 20 millones de años porque algunos de los indicadores proporcionan datos discordantes.





- Según la Figura 11, la concentración de CO₂ está disminuyendo. Sin embargo, también decimos (por ejemplo, en las figuras de las páginas 70 y 107 de la Unidad Didáctica 1) que está aumentando. ¿Crees que este gráfico es compatible con aquéllos? Razónalo.

Pero sólo hace 34 Ma empezó a haber glaciares en la Antártida. En el inicio de esta glaciación, el agua tuvo un papel protagonista: antes de esa edad la Antártida estaba unida a Suramérica, pero la dinámica terrestre no descansa y poco después el istmo que unía los dos continentes se rompió. A partir de ese momento, la rotación terrestre entró en juego: alrededor de la Antártida se formó una poderosa corriente oceánica, la **corriente circunantártica** [Figura12], que gira en sentido opuesto al del planeta, o sea, hacia el este.

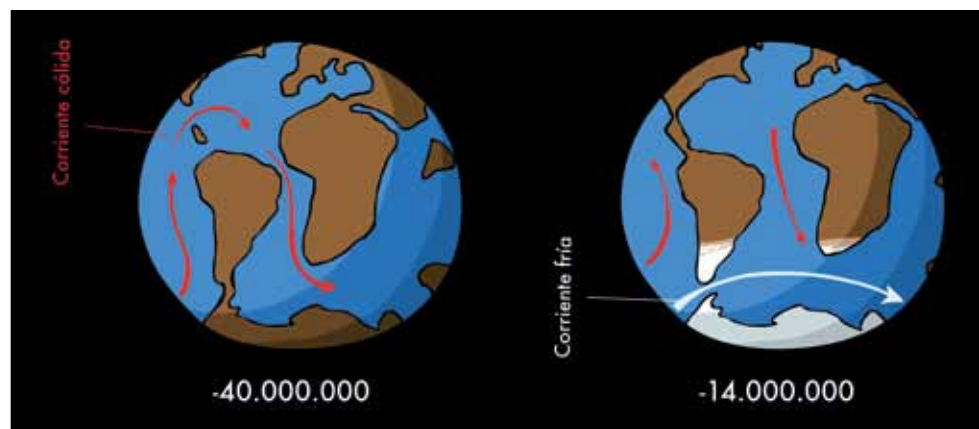


Figura 12. El comienzo de la corriente circunantártica. Hace 50 millones de años (mapa superior) la Antártida estaba bañada por aguas cálidas. Hace 35 millones de años (mapa inferior) el continente queda aislado y se establece una corriente fría que lo rodea, generándose un casquete de hielo.

- ¿No debería una corriente propulsada por la rotación girar en el mismo sentido que el planeta?

Este simple hecho cambió el clima terrestre y con él la historia de la humanidad. La corriente circunantártica impidió la llegada a las costas de la Antártida de agua tropical procedente de los otros océanos. Así, el clima del continente polar se hizo cada vez más frío, hasta que, hace 14 millones de años, todo él estaba cubierto por el hielo. Sin embargo, en el hemisferio norte no hubo glaciares hasta hace 2,7 millones de años. La causa de este retraso es muy discutida: para algunos climatólogos, también tiene que ver con los océanos, porque ésta es la edad de la elevación del actual istmo de Panamá, que, al cerrar la conexión Atlántico-Pacífico, podría haber causado el enfriamiento tanto de Eurasia como de Norteamérica.

- Explica por qué este tipo de cambios climáticos se han llamado *efecto dominó*.

Otros, sin embargo, creen que la concentración de CO₂ continuó descendiendo hasta que la glaciación se propagó al hemisferio norte. Los datos no son concluyentes.

En la glaciación neógena hay, como en todas las glaciaciones, intervalos más o menos fríos (**periodos glaciales** o **interglaciales**) en los que el hielo avanza o retrocede [están explicados en la Unidad Didáctica 1, pág. 58]. Hoy vivimos en un periodo interglacial llamado Holoceno, que empezó hace 10.000 años y está durando mucho más que otros periodos interglaciales. *Homo sapiens*, nuestra especie, ha aprovechado este largo periodo menos frío para extenderse por todo el planeta y colonizarlo. Casi seguro que no lo hubiese conseguido si el Holoceno hubiese durado menos. Ahora, *Homo sapiens*, corre el riesgo de, en sólo doscientos años, desalterar este clima favorable y convertirlo en otro inviable para su civilización.

- Una de las preocupaciones sobre el cambio climático consideradas alarmistas es la posibilidad de que actualmente estemos solapando un periodo glacial con nuestras emisiones. Busca los elementos alarmistas de esta preocupación.
- En el caso de que el próximo periodo glacial tenga su inicio normal dentro de miles o incluso millones de años, ¿podría mitigar y facilitar nuestra adaptación al cambio climático.

La historia común del agua y el clima contada desde el océano

El mar se calienta

Como los grandes almacenes de calor que son, los océanos influyen decisivamente en el clima. Ahora vamos a comprobar que, en efecto, la hidrosfera se está calentando, y luego vamos a estudiar dos consecuencias de este cambio. Respecto a lo primero, en la página 101 de la Unidad Didáctica 1 se incluyen datos sobre el calentamiento de los mares que bañan Galicia. Aquí, la Figura 13 recoge los datos globales más recientes, que han dado lugar a una cierta polémica.

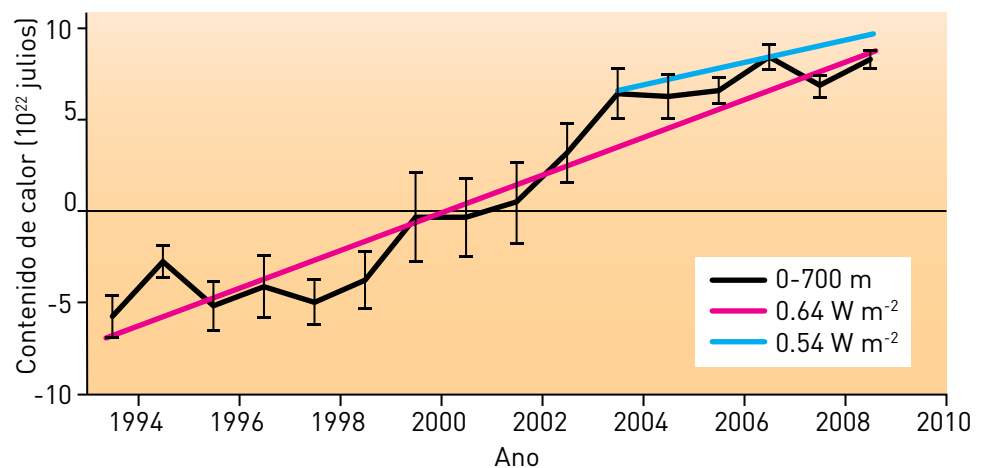


Figura 13. El calentamiento de los océanos. Las mediciones en agua superficial (hasta 700 m, línea negra y barras de error) indican un calentamiento indiscutible en los últimos quince años (media, línea roja); sin embargo, hay algunos periodos (por ejemplo, 1995-98, y 2003-05) de temperatura estable, e incluso de ligero enfriamiento. La línea azul señala las mediciones en aguas profundas, hasta 2.000 m, e indicaría que las zonas abisales de los océanos están empezando a calentarse.

- ¿A ti te parecen conflictivos estos datos? ¿Por qué?





La variación anual de la temperatura de las aguas superficiales es importante, y en algunos años no se ha producido calentamiento; sin embargo, el calentamiento de las aguas profundas, que reciben muy poca influencia térmica de la atmósfera, parece significar que el conjunto de la masa de la hidrosfera está experimentando ya los efectos del cambio climático.

Los mares ácidos

El mayor impacto del cambio climático en los mares tiene que ver con la química del agua. A medida que aumenta el CO_2 en la atmósfera, se eleva también la cantidad de gas que se disuelve en el mar. Las reacciones químicas que se producen son:



Este último paso es el importante, porque significa que el carbonato empezará a escasear en el agua. Entonces, todos los seres vivos que lo necesitan para hacer sus esqueletos, desde el plancton hasta los corales, pasando por los animales con concha, se encontrarán con un serio problema.

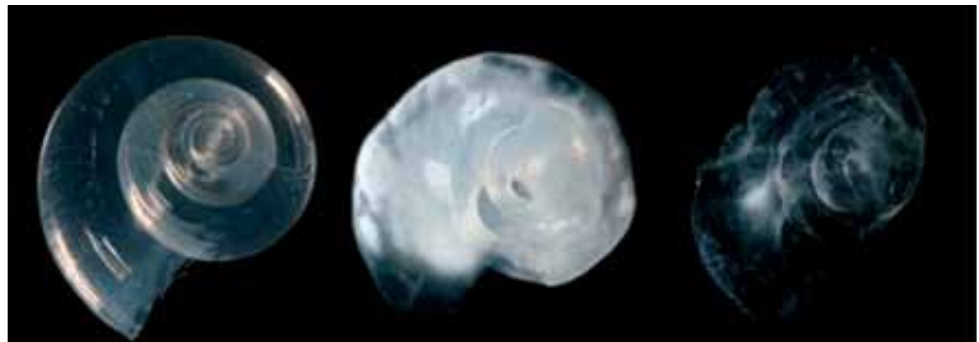


Figura 14. Un experimento temible: sumergida en agua con la acidez que pueden llegar a tener los mares a finales de este siglo, la concha de este pequeño molusco marino se disolvió en pocas semanas.

No es la primera vez en la historia del planeta que los océanos se acidifican. Hace 56 millones de años, los volcanes y (quizá) los pantanos liberaron a la atmósfera una enorme cantidad (entre 2.000 y 7.000 gigatoneladas, o sea 2 a $7 \cdot 10^{11}$ Tm) de carbono, como CO_2 y CH_4 (metano). Esta cifra se parece a las $2,2 \cdot 10^{11}$ Tm de carbono que queda en las reservas de combustibles fósiles. La diferencia está en el ritmo: lo que la Naturaleza hizo en miles de años, la humanidad lo está llevando a cabo en sólo dos o tres siglos, y esto significa que los seres vivos no tienen tiempo de adaptarse. No hubo extinciones masivas hace 56 millones de años, pero sí está habiendo una ahora mismo. Por término medio, los océanos son actualmente un 30% más ácidos que antes de la era industrial, y esta proporción podría llegar al 150% a fines del siglo XXI.

- Los mares polares se están acidificando más deprisa que los tropicales. Recurre a todos tus conocimientos de Química para explicar por qué:
 - ❑ Porque el agua fría disuelve más CO_2 .
 - ❑ Porque los mares fríos tienen menos corrientes que diluyan el CO_2 .
 - ❑ Porque, como hay menos vida, hay menos organismos fotosintéticos que puedan absorber CO_2 .

Es imposible predecir las consecuencias para la vida en la Tierra, pero algunos científicos defienden que este efecto puede ser el más peligroso del cambio climático.

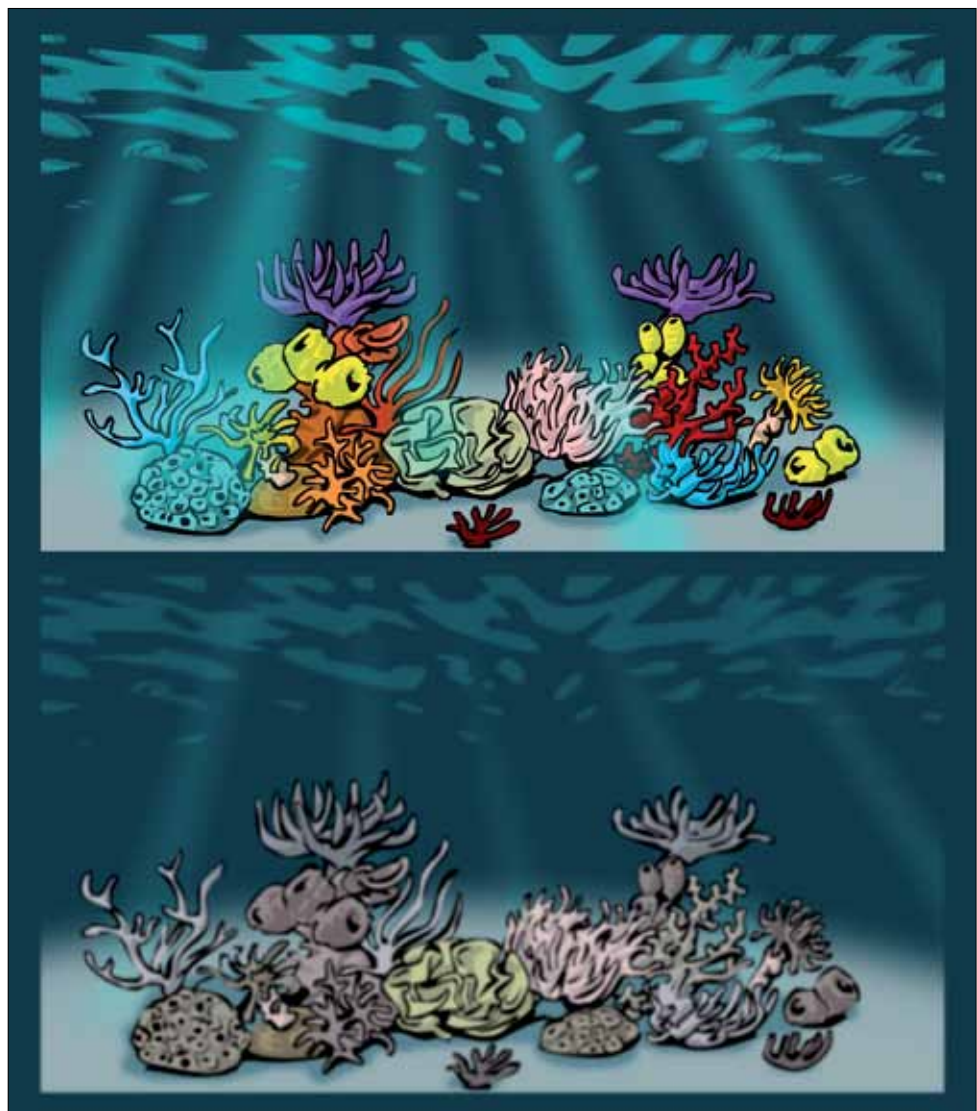


Figura 15. Corales: peligro de muerte.

- ¿Cómo puede afectar la acidificación a la biodiversidad y a la economía de las rías gallegas?





¿Se están parando los océanos?

Otra posible consecuencia de la alteración del clima en los océanos se detectó en el año 2004. En esa fecha, varios equipos de oceanógrafos midieron una deceleración de la corriente del golfo, el río de aguas cálidas que (propulsado, igual que la corriente circunantártica, por la rotación terrestre) circula desde el Golfo de México hasta el Atlántico Norte. Al llegar a este último, el agua se enfría, gana densidad y se hunde, transformándose en una corriente fría que recorre el fondo del Atlántico hacia el sur.

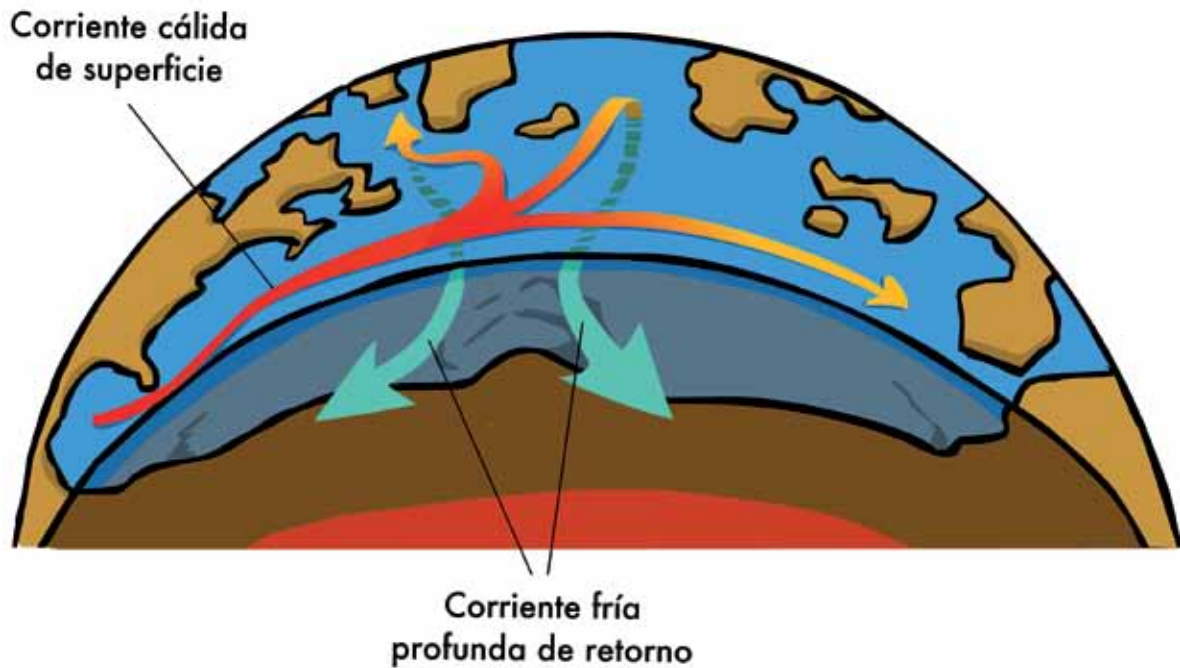


Figura 16. La corriente del Golfo. Las aguas calentadas por el sol en el Mar Caribe inundan el Atlántico Norte, donde se enfrían, descienden y fluyen hacia el sur como una corriente profunda.

Desde la mitad del siglo XX, este movimiento se ha generalizado en lo que se suele llamar “la cinta transportadora oceánica” [Figura17 (véase también la Unidad Didáctica 1, pág. 104)], que distribuiría por todo el planeta el calor adquirido por los océanos. Así que la interrupción de una de las partes de esta corriente global podría tener consecuencias en toda la Tierra.

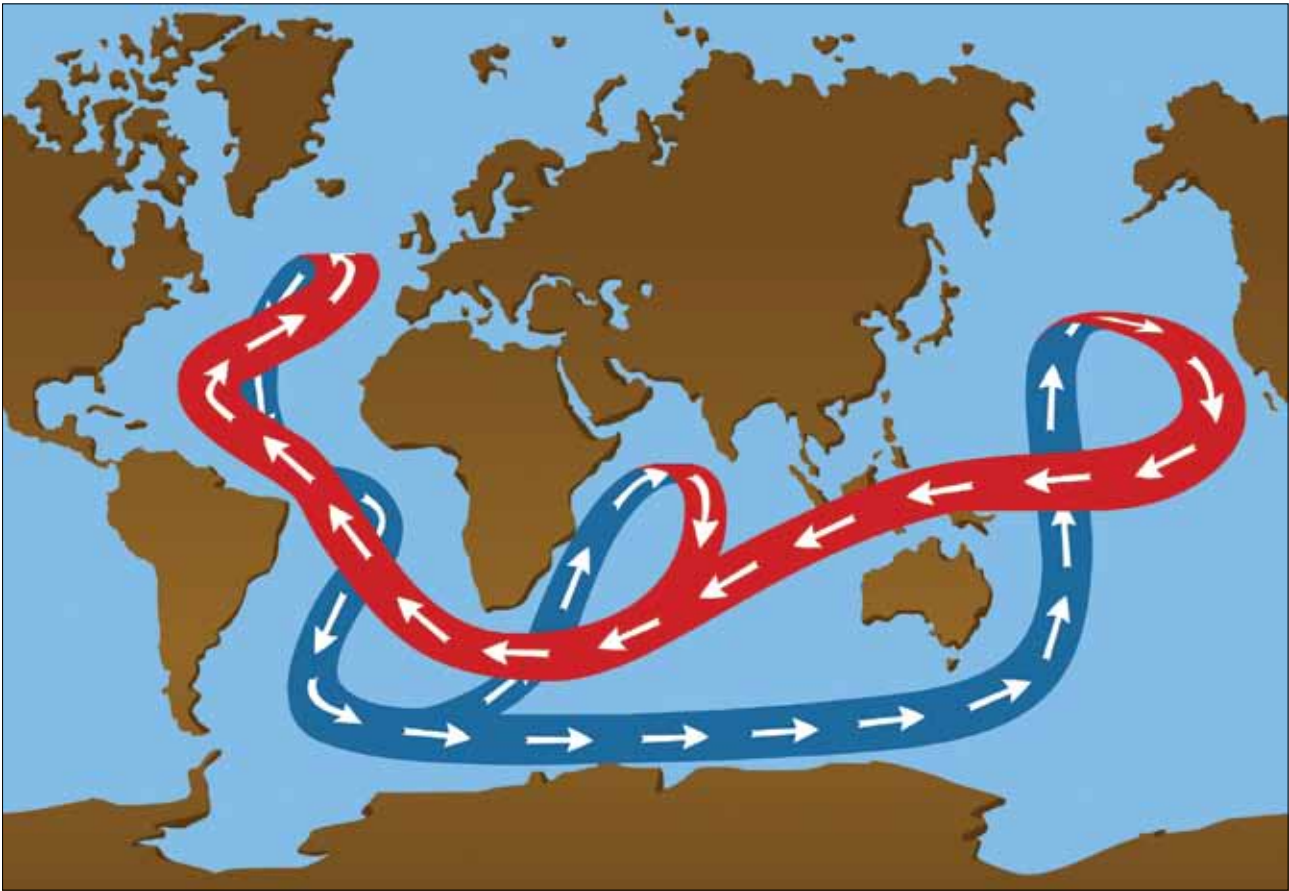


Figura 17. La cinta transportadora oceánica, que enlaza las corrientes someras cálidas y las profundas frías. Este concepto se ve hoy como una simplificación excesiva, que no refleja la realidad de la circulación oceánica.

El frenazo detectado en 2004 puede tener dos causas. La primera es que, como la atmósfera está más caliente, el agua apenas puede enfriarse, y si no lo hace no gana densidad y no se hunde, acumulándose en la superficie e impidiendo la llegada de más agua. La segunda es que, si los ríos que afluyen al Atlántico Norte llevan más caudal (p. ej., porque se funda más hielo en Canadá), este exceso de agua dulce rebajará la salinidad y, por tanto, la densidad del agua marina, impidiendo también su hundimiento.

Esto significa que la deceleración de la corriente podría estar causada por el calentamiento global. Varios estudios parecieron confirmar esta conexión. Por ejemplo, entre 1990 y 2000 la velocidad de la corriente varió con la temperatura atmosférica [Figura18]: a más calor, menos velocidad. Además, en 2005 se había acumulado en el Atlántico Norte una gran cantidad de agua dulce, tanto como la descarga anual de ocho misisipis.



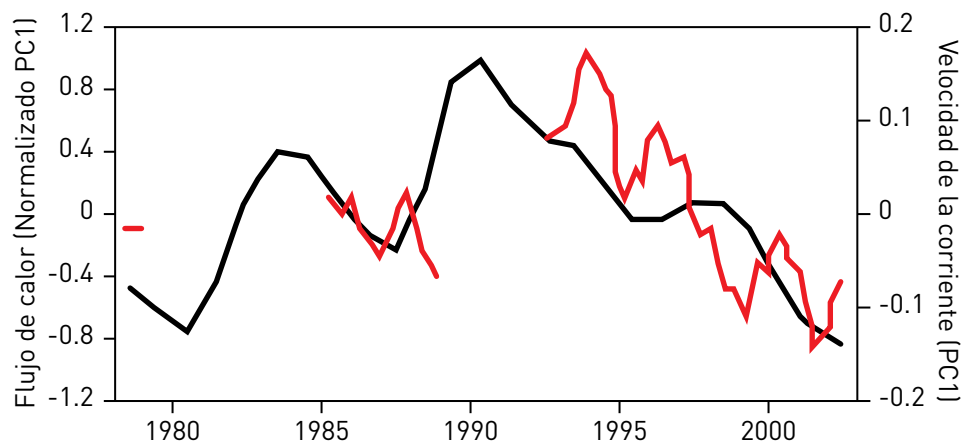


Figura 18. Cuando, a partir de 1990, la atmósfera empezó a calentarse, el agua del Atlántico Norte pudo cederle menos calor (curva negra). Al mismo tiempo, la corriente del Golfo (curva roja) perdió velocidad. Sin embargo, no hay pruebas de que esta deceleración sea una consecuencia del cambio climático.

Las alarmas saltaron. ¿Iba a desaparecer la corriente oceánica que suaviza el clima de Europa? ¿Cuáles podrían ser las consecuencias? Estudiando el pasado, hemos aprendido que otras situaciones parecidas de gran flujo de agua dulce al océano Atlántico dieron lugar a periodos de clima muy frío en Europa, el más conocido duró desde 1300 hasta 1850 y se llamó **Pequeña Edad de Hielo**. Así que, en primer lugar, habría que prever un enfriamiento del clima en toda Europa, especialmente en el centro y el norte. Además, habría menos huracanes en el Atlántico e intensas sequías en el África subsahariana. Y algo inesperado: las poblaciones atlánticas de plancton podrían colapsar, ya que dependen del intercambio de agua somera y profunda, esta última rica en nutrientes.

- Si se frena esta corriente por el calentamiento global, ¿qué previsiones climáticas tendría Galicia? ¿Coincide con la tendencia a la variación de temperatura a nivel global?
- Valora la veracidad de esta afirmación: “En una situación de calentamiento global pueden aparecer glaciaciones a nivel regional”.

Sin embargo, estas previsiones chocan de frente con los datos actuales, que dicen que nuestro continente está calentándose y que los huracanes atlánticos son cada vez más frecuentes. ¿Entonces...? Cuando los científicos obtienen datos contradictorios sobre un problema que puede traer consecuencias graves para la sociedad, ésta se moviliza para que los mismos científicos propongan soluciones. En este caso, lo primero que se hizo fue poner en marcha tecnologías que sirviesen para confirmar si la deceleración era un fenómeno irreversible. En 2006 se instalaron en todos los océanos sensores [Figura 19] que se mueven desde el fondo marino hasta la superficie, desde donde envían sus datos a satélites. Por primera vez en la historia, los oceanógrafos han podido estudiar en detalle lo que pasa dentro de un océano.

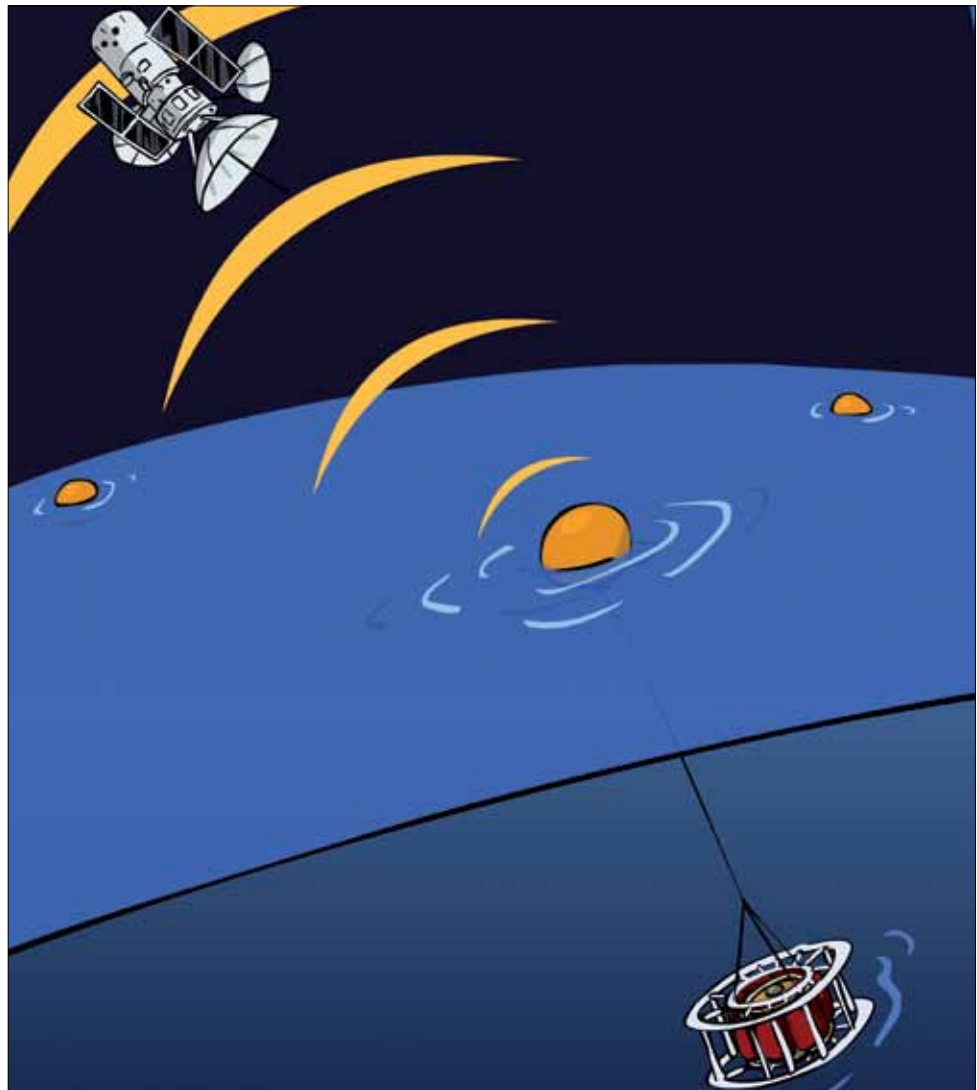


Figura 19. Un sensor anclado en el fondo del Atlántico. Un cable permite su movimiento en la vertical y, por tanto, tomar datos a distintas profundidades.

El resultado ha sido tranquilizador: la velocidad de la corriente del Golfo es enormemente variable y su frenazo en los años 90 entra dentro de esa variabilidad natural. Así que, por el momento, no tenemos que temer por nuestro clima ni por nuestro plancton. Sin embargo, esta tranquilidad puede ser pasajera. Los modelos de supercomputadores que usan los climatólogos sugieren que la corriente reducirá su velocidad un 25% en lo que queda de siglo, y algunos de ellos muestran un umbral, un punto térmico por encima del cual la circulación de la corriente es insostenible. Además, otras corrientes, como la que conecta el Pacífico con el Índico, también se han debilitado recientemente.

Los nuevos datos han ocasionado otra víctima: la cinta transportadora oceánica se ve cada vez más como un concepto teórico, que no refleja la complejidad real de la circulación del agua en los océanos. El papel del viento y el de las turbulencias complican mucho la situación, y explican las grandes variaciones de velocidad medidas ahora. Al mismo tiempo, nos hacen ver nuestra hidrosfera como un sistema sujeto a muchas influencias y por ello frágil.

Los oceanógrafos trabajan ya para construir mejores modelos de los océanos.





● Reflexiona sobre la imagen que tienes de los científicos. ¿Te decepciona que se equivoquen?

Los mares interiores: el caso del Mar Muerto

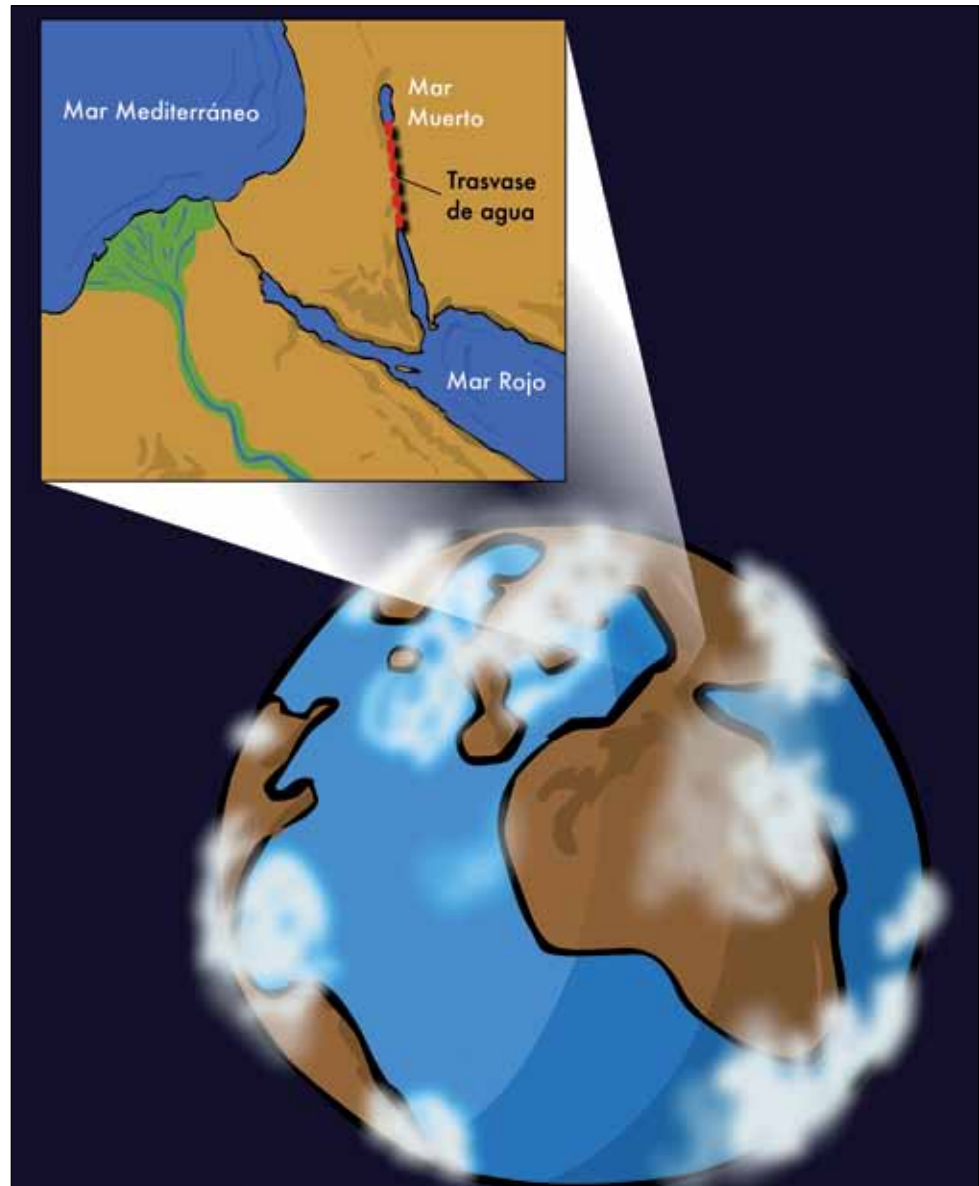


Figura 20. El Mar Muerto, en la parte superior de esta imagen de satélite, junto con el trazado propuesto para el trasvase de agua desde el Mar Rojo, situado en la parte inferior.

¿Mar o lago? A pesar de estar aislado en medio de un desierto [Figura 20], a 180 kilómetros del mar más cercano, su agua saturada en sales habla de su pasado marino. Pero los países ribereños están agotando este antiguo mar: Israel, Siria y Jordania están bebiéndose el río Jordán, que ya sólo lleva al Mar Muerto 100 millones de metros cúbicos al año. Parecerían muchos si no se comparasen con los 1.200 millones de metros cúbicos originales, y si no se tuviese en cuenta que se trata de aguas de desecho urbano y agrícola. Con el aporte tan disminuido y la temperatura media en ascenso, el nivel del agua ha descendido 30 metros en

los últimos 50 años [Figura 21]. Además, tanto Jordania como Israel tienen instaladas en las orillas salinas comerciales, cuyas piscinas de evaporación tienen la culpa de hasta un 30% del descenso del nivel del agua.

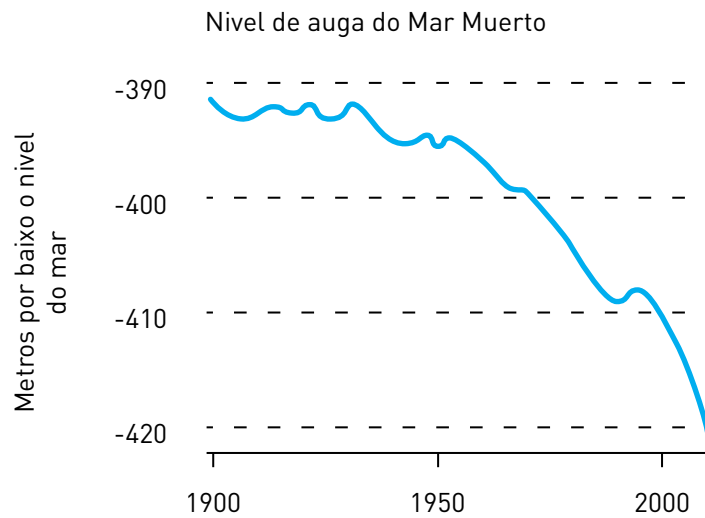


Figura 21. El declive del nivel del agua del Mar Muerto entre 1900 y 2010.

El retroceso de la línea de costa ha dejado al descubierto sedimentos tan llenos de sales que ninguna planta puede crecer sobre ellos. ¿Desaparecerá el Mar Muerto? No, porque a medida que la evaporación avanza, el agua, que se hace más salina, se evapora más lentamente. Pero se calcula que su nivel, ahora a 425 metros bajo el del mar, podría descender otros 150 metros en este siglo.

Existe un proyecto de ingeniería para restablecer el antiguo nivel. Un túnel o un acueducto llevarían agua del Mar Rojo hasta el Mar Muerto [Figura 22]. En el trayecto se construirían una planta desalinizadora y una central hidroeléctrica.

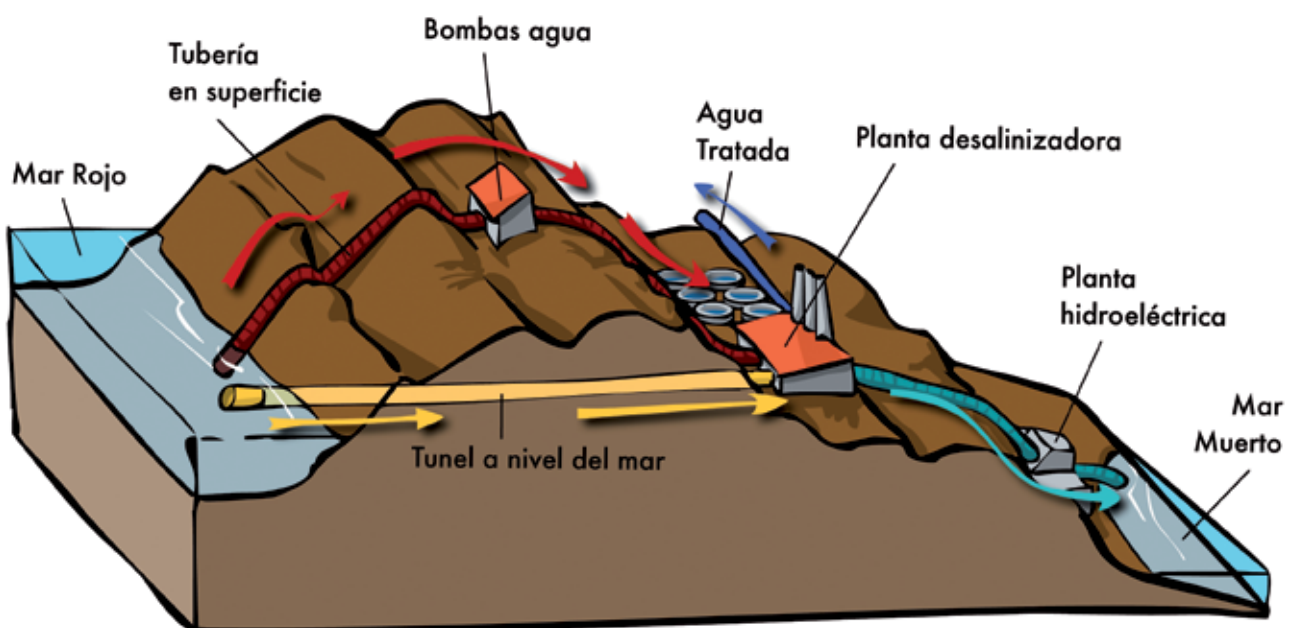


Figura 22. Esquema del proyecto de un acueducto (en rojo) o un túnel (amarillo) para llevar agua del Mar Rojo al Mar Muerto.





- Analiza este proyecto desde el punto de vista medioambiental, teniendo en cuenta los siguientes datos:
 - Se tomarían 2.000 millones de metros cúbicos al año de agua del Mar Rojo, en una zona con 110 especies de corales.
 - El conducto llevaría agua muy salina por un valle con poblaciones de gacelas y que está recorrido por una falla activa.
 - Un multimillonario israelí quiere aprovechar la construcción del conducto para instalar en la zona una ciudad parecida a Las Vegas.

Grupos ecologistas de los tres países implicados están presionando para que, en vez de construir el conducto al Mar Rojo, Jordania e Israel economicen agua en usos urbanos y en agricultura. Calculan que eso podría restablecerse el curso del río Jordán entre 400 y 600 millones de metros cúbicos al año.

Cuando se unen ríos y mares: los deltas

Los deltas se forman cuando un río desemboca en una **plataforma continental** amplia, donde empiezan a acumularse los sedimentos que arrastra. Éstos quedan sometidos a la influencia marina, sobre todo a las **corrientes de deriva litoral**, que arrastran parte de los sedimentos y los reparten a lo largo de las costas (así se forman las playas); también a los cambios en el nivel del mar. Por eso los deltas son sistemas muy inestables: como mucho duran 5.000 o 6.000 años. Desde el punto de vista humano, los deltas son zonas muy valoradas para la agricultura, porque la llegada de sedimentos aporta continuamente al suelo nuevos nutrientes. El mejor ejemplo de este uso es el delta del río Nilo [Figura 23], en el que viven más de 50 de los 66 millones de egipcios.

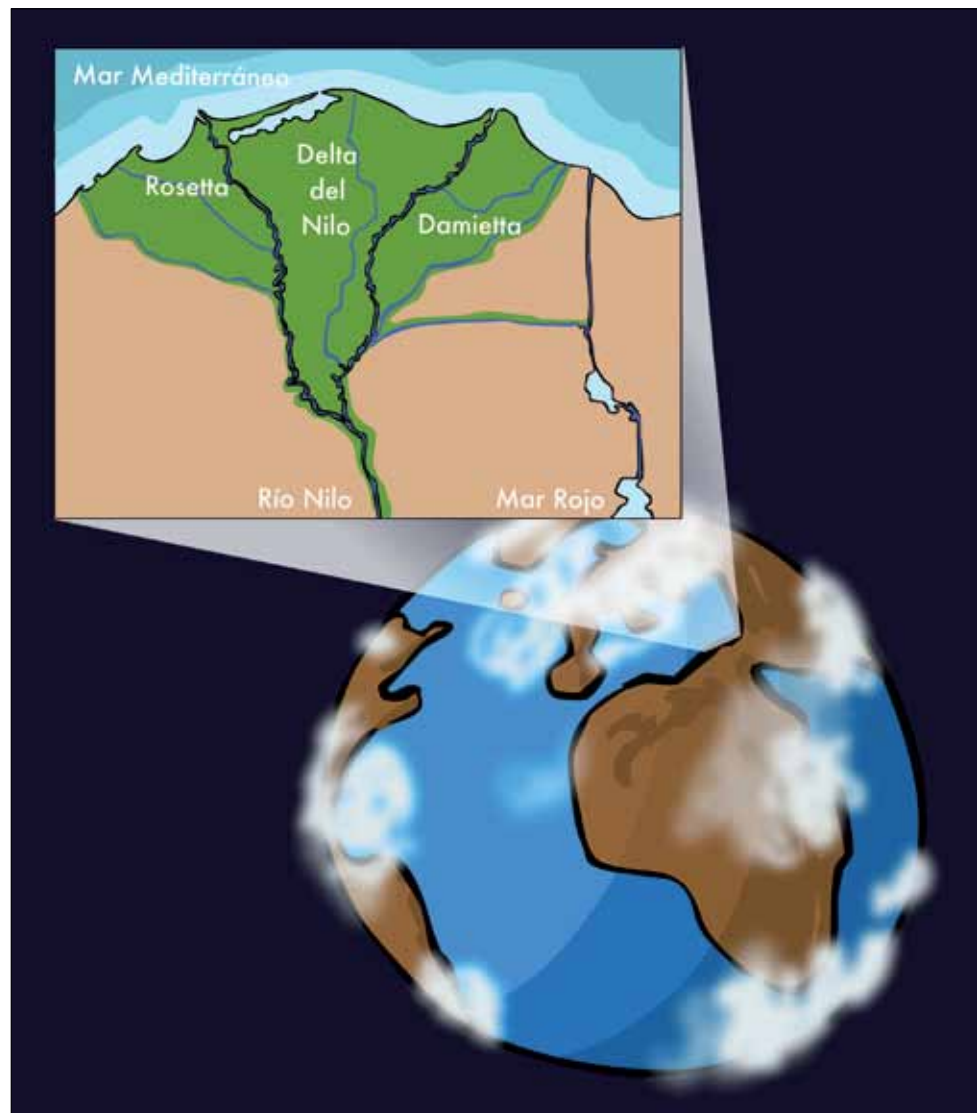


Figura 23. El delta del Nilo. Se distinguen los dos brazos principales, el de Damietta a la izquierda y el de Rosetta a la derecha.

A las influencias naturales en la evolución de los deltas hay que sumar la acción humana. Actualmente apenas quedan ríos que no estén alterados, sobre todo por la construcción de presas. Éstas son útiles por varios motivos:.

- Evitan las crecidas, que en algunos ríos son fenómenos muy peligrosos.
- Asimismo, en periodos de sequía permiten disponer, para riego, del agua almacenada.
- Algunas sirven para producir energía hidroeléctrica, que es una fuente de energía limpia y renovable.

Junto a estas ventajas, las presas tienen serios inconvenientes, que afectan sobre todo a los deltas. Una presa actúa como una trampa para sedimentos, que se acumulan en su fondo en vez de depositarse en el curso bajo y el delta del río. Al dejar el delta de recibir aportes, las corrientes de deriva litoral y el oleaje lo erosionan, sin que nada pueda contrarrestar su acción destructiva. Todos los deltas se hunden porque, al ser cubiertos los sedimentos por otros





nuevos, los primeros pierden volumen al expulsar el agua. Pero cuando una presa impide la llegada de nuevos aportes, el hundimiento no es equilibrado por el crecimiento y, por lo tanto, se acelera. El 85% de los deltas del mundo se están hundiendo cada vez más rápidamente.

También el delta del Nilo es un buen ejemplo de este proceso. Al construirse en 1964 la gran presa de Asuán, el delta dejó de recibir sedimentos y, a partir de entonces, se hunde a velocidades crecientes, especialmente a favor de varias fallas.

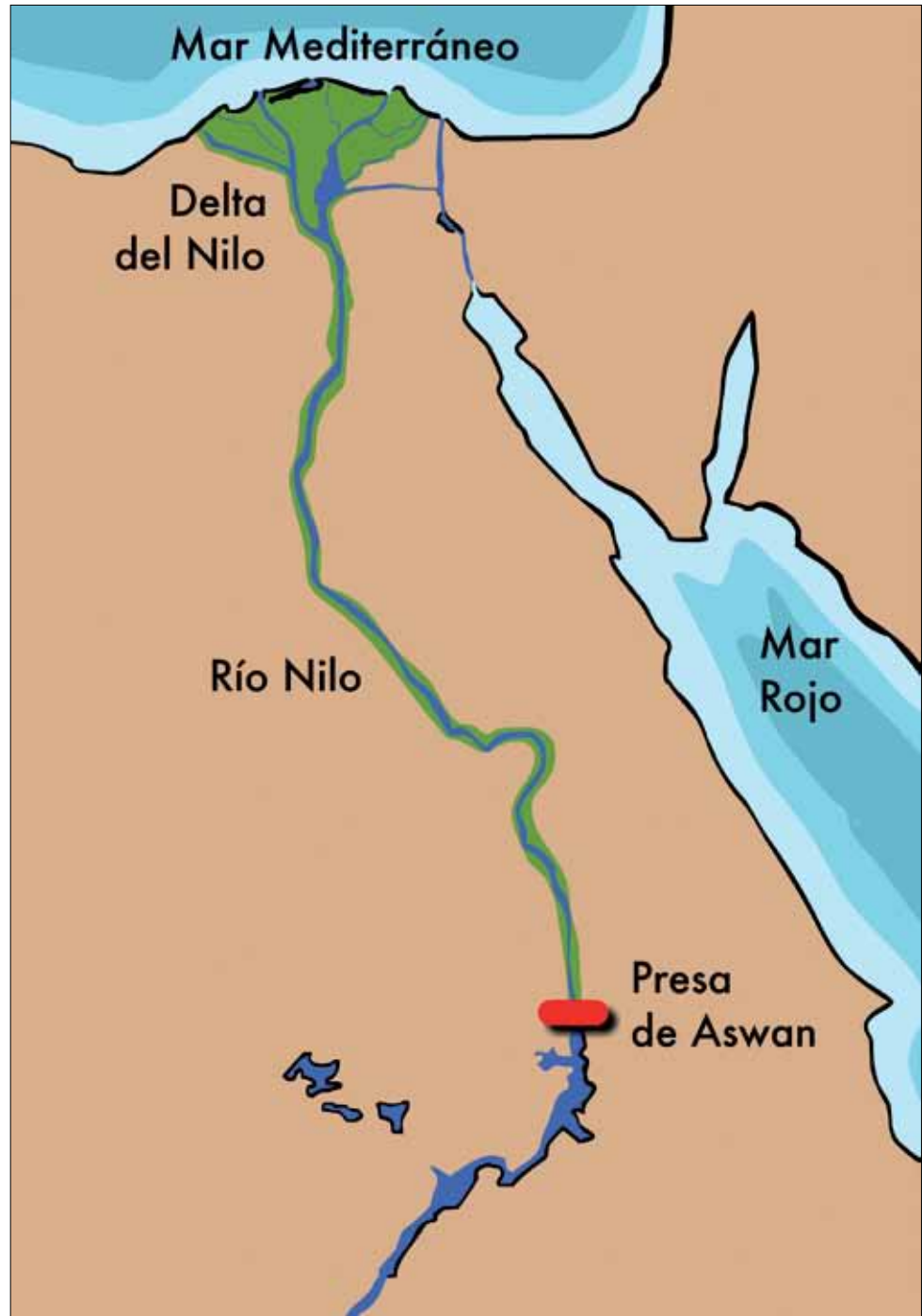


Figura 24. El curso medio y la desembocadura del río Nilo, con el delta y la situación de la presa de Asuán.

En este momento, 30% del área del delta está a sólo un metro sobre el nivel del mar. Pero el cambio climático puede empeorar el problema: las previsiones del Comité Internacional para el Cambio Climático apuntan a una elevación de un metro en el nivel del Mediterráneo hacia 2050. Es evidente que eso significaría la pérdida de un tercio de la superficie del delta, y por tanto el colapso de buena parte de la agricultura egipcia, además de la evacuación de decenas de millones de campesinos.

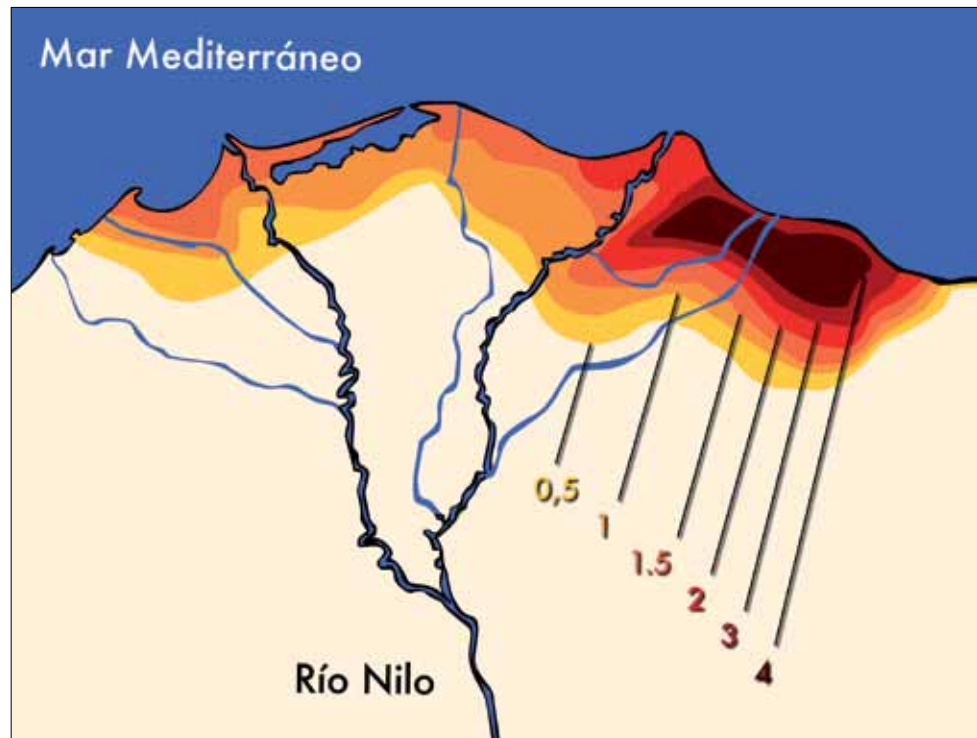


Figura 25. Esquema del delta del Nilo y velocidades de hundimiento (en milímetros/año) de cada zona. La zona de la derecha, delimitada por dos fallas (líneas de color), se está hundiendo más rápidamente. Los datos, de 1990, están desfasados: la velocidad de hundimiento se ha duplicado, y ya alcanza 1 cm/año.

- La presa de Asuán ha elevado el nivel de vida de los egipcios, proporcionándoles abundante energía eléctrica, así como seguridad frente a las inundaciones y sequías del Nilo. Discute si, a pesar de ello y a la vista de los actuales problemas en el delta, sería mejor no haberla construido.

Este dilema se plantea ahora en todo el planeta: las presas han prestado un gran servicio a la humanidad, pero casi todas se construyeron en un tiempo en el que sólo importaba el desarrollo económico. Ahora que también nos preocupa el medio ambiente, y en un momento en el que hemos comprobado que nuestra huella en el planeta empieza a ser peligrosa, la tendencia ha cambiado: se siguen construyendo presas (sólo en algunos casos tras estudios medioambientales cuidadosos), pero también se destruyen. Por ejemplo, en Estados Unidos se eliminan entre 20 y 50 presas cada año. En nuestro país aún no se ha alcanzado esa fase, y está prevista la construcción de 120 nuevos embalses.



