

## “Los termómetros de oxígeno de la Tierra”

### Simulación de cómo los testigos de sondeos en sedimentos oceánicos y en hielos continentales registran los cambios de temperatura de la Tierra en el pasado.

Existen dos formas estables de átomos de oxígeno (isótopos) útiles para la investigación de cambios pasados en el clima de la Tierra: el oxígeno-16 ( $^{16}\text{O}$  - con 8 protones y 8 neutrones en el núcleo), más ligero, y el oxígeno-18 ( $^{18}\text{O}$  - con 8 protones y 10 neutrones), ligeramente más pesado. De ellos, el  $^{16}\text{O}$  es el más común, siendo unas 500 veces más abundante en la naturaleza que la forma más pesada. En las aguas oceánicas, esta proporción varía con los cambios de temperatura del agua. El análisis químico de los átomos de oxígeno de las capas de carbonato cálcico ( $\text{CaCO}_3$ ) de los microfósiles marinos o de las muestras de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) de los testigos de hielo permite estimar la temperatura de la Tierra en el pasado. (Fig. 1).

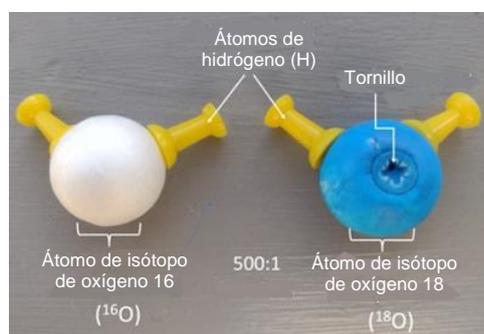


Fig. 1: Modelos de dos moléculas de agua que simulan diferentes isótopos de oxígeno. (Pete Loader)

#### La simulación

Los isótopos de oxígeno de las moléculas de agua pueden simularse utilizando bolas de poliestireno de dos colores (en este caso blanco y azul) con un pequeño peso (un tornillo o una chincheta) insertado en las bolas azules del isótopo  $^{18}\text{O}$  para hacerlas más pesadas. Las bolas de ambos colores se mezclan en un recipiente transparente (que representa el agua de mar del océano) con una proporción 50:50 de blanco y azul (para facilitar la comparación). Se recuerda a los alumnos que cada una de las bolas blancas de  $^{16}\text{O}$  es 500 veces más abundante en la naturaleza que las bolas azules de  $^{18}\text{O}$ . (Los átomos de hidrógeno se omiten en la simulación para simplificar).

- Pida a los alumnos qué predigan qué ocurrirá si el recipiente del océano se agita energicamente arriba y abajo: las bolas más ligeras tienen más probabilidades de escapar que las más pesadas.
- Demuéstrelo dejando que las bolas escapen hacia la tapa de una caja que representa las nubes.
- Explique que esto representa la evaporación del agua del océano a la atmósfera y su almacenamiento en las nubes.
- Demuestre que, inevitablemente, el "agua del océano" se fraccionará, con una mayor proporción de bolas blancas más ligeras que escapan más fácilmente hacia las "nubes" que las bolas azules que dominan el agua del océano. (Fig. 2).



Fig. 2: Fraccionamiento de los isótopos de oxígeno durante la evaporación (Pete Loader)

A continuación, se pueden explorar dos escenarios: uno con la Tierra sometida a condiciones interglaciares más cálidas, como ahora, (con pocas capas de hielo sobre la tierra) y otro con condiciones glaciares (con extensas capas de hielo sobre la tierra).

#### **Períodos interglaciares (con pocas capas de hielo sobre la tierra centradas en los polos)**

Tras agitar energicamente el recipiente, el agua recogida en las "nubes" se transfiere a otro recipiente que representa la precipitación sobre la tierra en forma de lluvia. Una inspección del balance de  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  muestra que hay una mayor proporción de bolas de  $^{16}\text{O}$  que llegan a la tierra, lo que contrasta con la mayor proporción de bolas de  $^{18}\text{O}$  en el océano. Sin embargo, como esta agua vuelve finalmente al océano a través de los ríos, la proporción en el océano sigue siendo la normal (50:50 en esta simulación).

Devuelva las bolas de la "tierra" al océano para demostrarlo.

Explique que cualquier microorganismo marino incluirá por tanto esta proporción en el  $\text{CaCO}_3$  de sus caparazones durante este tiempo. Cuando estas criaturas mueren, sus caparazones se acumulan en el fondo del océano en forma de sedimento y registran el equilibrio de oxígeno del océano (aquí 50:50). Demuéstrelo tomando una muestra representativa de bolas del océano en un vaso de plástico transparente para representar una muestra obtenida de un testigo de un sondeo perforado en el sedimento oceánico.

**Períodos glaciares (con extensas capas de hielo que avanzan desde los polos hasta cubrir los continentes).**

Esta vez, el agua recogida de las "nubes" se transfiere a otro recipiente transparente en la tierra que representa la caída de nieve sobre una capa de hielo. Una inspección del balance de  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  muestra de nuevo que hay una mayor proporción de bolas blancas de  $^{16}\text{O}$  que llegan a la tierra en comparación con la mayor proporción de  $^{18}\text{O}$  azul en el océano. Esta vez, sin embargo, el agua rica en  $^{16}\text{O}$  quedará atrapada en la capa de hielo y no volverá al océano.

Explique que las conchas de los microorganismos que se acumulan en los sedimentos del fondo oceánico durante este tiempo mostrarán, por tanto, una mayor concentración de  $^{18}\text{O}$  en el  $\text{CaCO}_3$  de sus conchas que durante los periodos interglaciares. Demuéstrelo tomando una muestra representativa de bolas del océano en un vaso de plástico transparente para representar un testigo de un sondeo perforado en el sedimento oceánico. (Fig. 3).



Fig. 3:  $^{16}\text{O}$  atrapado en un casquete polar i registrado en sedimentos oceánicos (Pete Loader)

Ambas simulaciones se repiten 3 o 4 veces para representar el crecimiento y la reducción de las capas de hielo durante las condiciones glaciares/interglaciares. Cada vez se coloca una nueva muestra (en un vaso de plástico) sobre la anterior para representar la secuencia que podría

encontrarse en un testigo de sondeo de sedimentos oceánicos profundos. (Fig. 4).

Pida a los alumnos que dibujen un gráfico de estas diferentes proporciones en función de la profundidad del testigo (véase la ELI - "Interpretación de las temperaturas de la Tierra a partir de testigos simulados de hielo y aguas profundas"). Esto demuestra los cambios en la temperatura de la Tierra a lo largo del tiempo, reflejando la presencia, el volumen y la extensión de las capas de hielo en la tierra. (Fig. 5).

**Análisis de testigos de hielo**

Pida a los alumnos que predigan los cambios probables en el equilibrio isotópico de oxígeno  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  que podrían registrarse en un testigo de una capa de hielo en los polos a medida que la temperatura de la Tierra primero se enfría, y luego se calienta, con el tiempo - las proporciones en un testigo de hielo serán opuestas a las de los sedimentos oceánicos profundos - cuanto más fría sea la temperatura, menos  $^{18}\text{O}$  contendrá (y viceversa). (Fig. 4).

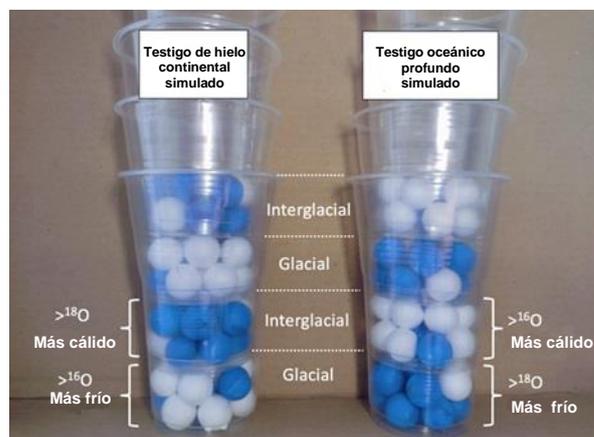


Fig. 4: Testigo de hielo continental comparado con uno de sedimentos oceánicos profundos (Pete Loader)

**Ficha técnica**

**Título:** "Los termómetros de oxígeno de la Tierra"

**Subtítulo:** Simulación de cómo los testigos de sondeos en sedimentos oceánicos y en hielos continentales registran los cambios de temperatura de la Tierra en el pasado.

**Tema:** Simulación de cómo el análisis de isótopos de oxígeno de sedimentos oceánicos profundos y de testigos de hielo continentales proporciona un registro de los cambios pasados en las temperaturas de la Tierra.

**Edad de los alumnos:** de 15 años en adelante

**Tiempo necesario:** 20 minutos

**Aprendizajes de los alumnos:** Los alumnos pueden:

- mostrar cómo las proporciones relativas de dos isótopos de oxígeno ( $^{18}\text{O}$  y  $^{16}\text{O}$ ) en la naturaleza afectan a la densidad del agua de los océanos;
- explicar por qué el equilibrio de isótopos  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  en los sedimentos oceánicos proporciona una aproximación a la temperatura de la Tierra en el momento de su formación;
- explicar que las concentraciones más altas de  $^{18}\text{O}$  (más bajas de  $^{16}\text{O}$ ) en los sedimentos oceánicos profundos demuestran la existencia de condiciones glaciares más frías en la Tierra, mientras que las condiciones interglaciares más cálidas están representadas por concentraciones más bajas de  $^{18}\text{O}$  (más altas de  $^{16}\text{O}$ ).
- trazar un gráfico de las temperaturas más cálidas/frías de la Tierra a partir de un testigo simulado de sedimentos oceánicos profundos.
- explicar por qué un análisis de la relación  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  de los datos de los testigos de hielo es opuesta a la de

los sedimentos oceánicos profundos, respecto al fraccionamiento durante el ciclo del agua.

**Contexto:** Las pruebas contradictorias sobre las proporciones de los isótopos  $^{18}\text{O}$  en relación con las de  $^{16}\text{O}$  en los sedimentos oceánicos profundos y los testigos de hielo pueden inducir a error. Esta simulación es una simplificación de los procesos implicados que aporta pruebas de cambios climáticos de la temperatura de la Tierra.

**Ampliación de la actividad:** Los alumnos pueden avanzar a la Earthlearningidea, "La simulación de los isótopos de oxígeno con chuches". Demostración de cómo el indicador indirecto de los isótopos de oxígeno registra las temperaturas de la Tierra en el pasado y la Earthlearningidea correspondiente, "Interpretando las temperaturas de la Tierra a partir de testigos simulados de hielo y aguas profundas. Usar chuches para simular proporciones de los isótopos de oxígeno en los testigos" para obtener un enfoque diferente y más sofisticado de este tema.

### Principios subyacentes

- En la naturaleza se dan dos isótopos estables del oxígeno ( $^{18}\text{O}$  y  $^{16}\text{O}$ ) con una proporción  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  de aproximadamente 1:500. Este registro del equilibrio  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  se almacena en el carbonato de las conchas de los sedimentos oceánicos profundos y en las moléculas de agua de las capas de hielo.
- La composición isotópica del agua oceánica cambia con la temperatura y el crecimiento y la fusión de las capas de hielo.
- A medida que el agua oceánica se evapora durante el ciclo del agua se produce un proceso de fraccionamiento natural, con más moléculas de agua  $^{16}\text{O}$ , más ligeras, precipitadas sobre la tierra dejando el océano con una mayor proporción de moléculas de agua  $^{18}\text{O}$ , más pesadas.
- Durante los periodos interglaciares más cálidos, el equilibrio  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  se mantiene, ya que el agua de lluvia es devuelta rápidamente al océano por los ríos.
- Durante los periodos glaciares más fríos, el equilibrio se altera porque la humedad atmosférica no se devuelve tan rápidamente al océano al quedar atrapada en las capas de hielo.
- - Este equilibrio queda registrado en las conchas y esqueletos de los organismos marinos. Éstos se enriquecen en  $^{18}\text{O}$  durante los periodos glaciares más fríos, cuando el volumen de hielo en tierra es

grande, y menor en  $^{18}\text{O}$  durante los interglaciares más cálidos. (Fig. 5).

- El equilibrio  $^{18}\text{O}:^{16}\text{O}$  en los testigos de hielo es el opuesto. Un  $^{18}\text{O}$  relativamente más alto representa periodos interglaciares más cálidos (y viceversa).

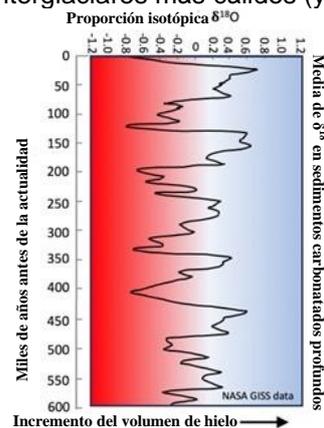


Fig. 5: Cambios en las proporciones de  $^{18}\text{O}$  registrados en sedimentos carbonatados oceánicos (datos del GISS de la NASA)

**Desarrollo de habilidades cognitivas:** La simulación permite desarrollar un patrón a través de la construcción; se produce un conflicto cognitivo porque un mayor contenido de  $^{18}\text{O}$  en un testigo de sedimento indica la temperatura opuesta a la de un núcleo de hielo. La metacognición requiere el desarrollo de habilidades puente entre la simulación y la realidad.

### Material:

- bolas de poliestireno de 2 cm (o similar)
- pintura (para distinguir entre isótopos, si es necesario)
- tornillos autoperforantes/chinchetas
- recipientes transparentes de plástico (ver fotografía)
- bandejas/tapas de cajas de cartón (para representar la tierra y recoger las bolas)

### Enlaces útiles:

- [http://www.earthlearningidea.com/PDF/275\\_Spanish.pdf](http://www.earthlearningidea.com/PDF/275_Spanish.pdf)
- [http://www.earthlearningidea.com/PDF/276\\_Spanish.pdf](http://www.earthlearningidea.com/PDF/276_Spanish.pdf)

**Fuente:** Escrita por Pete Loader del Equipo de ELI y basada en una idea de Duncan Hawley, publicada previamente como Earthlearnigideas (ver enlaces útiles).

© El equipo de Earthlearningidea. El equipo de Earthlearningidea se propone presentar una idea didáctica cada semana de coste mínimo y con recursos mínimos, útil para docentes y formadores de profesores de Ciencias de la Tierra, a nivel escolar de Geología y Ciencias, juntamente con una "discusión en línea" sobre cada idea con la finalidad de desarrollar una red de apoyo. La propuesta de "Earthlearningidea" tiene escasa financiación y depende mayoritariamente del esfuerzo voluntario.

Los derechos (copyright) del material original de estas actividades han sido liberados para su uso en el laboratorio o en clase. El material con derechos de terceras personas contenido en estas presentaciones sigue perteneciendo a las mismas. Cualquier organización que quiera hacer uso de este material, deberá ponerse en contacto con el equipo de Earthlearningidea.

Se han hecho todos los esfuerzos posibles para localizar a las personas o instituciones que poseen los derechos de todos los materiales de estas actividades para obtener su autorización. Si cree que se ha vulnerado algún derecho suyo, póngase en contacto con nosotros; agradeceremos cualquier información que nos permita actualizar nuestros archivos.

