



La biósfera que respira y la contribución humana

hhmi | BioInteractive

Haz clic & aprende
Materiales para el educador

DESCRIPCIÓN GENERAL

En el Haz clic & aprende [La biósfera que respira y la contribución humana](#), los estudiantes exploran los factores que contribuyen a los patrones vistos en la **Curva de Keeling**: un registro continuo de CO₂ atmosférico que comienza en 1958, medido en el observatorio de Mauna Loa en Hawái.

- La primera pestaña, “**Los procesos naturales**”, se enfoca en los procesos de la respiración y la fotosíntesis. Los estudiantes ajustan los parámetros en un modelo de estos procesos para hacer coincidir el modelo con los datos de Mauna Loa.
- La segunda pestaña, “**La contribución humana**”, muestra los datos originales de Mauna Loa. Los estudiantes ajustan un parámetro de contribución humana en el modelo para que coincida con la Curva de Keeling.

La “Hoja de trabajo para el estudiante” que acompaña este recurso guía a los estudiantes a través del Haz clic & aprende. Los estudiantes usan la Curva de Keeling para explorar procesos que agregan y extraen CO₂ de la atmósfera. También manipulan el modelo para probar diferentes aportes y salidas y descubrir cómo las predicciones coinciden con las observaciones. Al final de la hoja de trabajo, los estudiantes deben poder explicar los procesos y las causas de los patrones en la Curva de Keeling.

Se puede encontrar información adicional relacionada con la pedagogía y la implementación en [la página web de este recurso](#), incluida la audiencia sugerida y el tiempo estimado.

CONCEPTOS CLAVE

- La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera se puede medir directamente y existe un registro continuo de mediciones de dióxido de carbono que se remonta a 1958.
- La cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera responde a procesos naturales, que pueden añadir y quitar dióxido de carbono de la atmósfera.
- Los procesos naturales de fotosíntesis y respiración no pueden explicar el aumento general del dióxido de carbono atmosférico desde 1958.
- Las actividades humanas liberan dióxido de carbono a la atmósfera y han aumentado significativamente los niveles generales de dióxido de carbono.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE PARA EL ESTUDIANTE

- Usar un simulador para ajustar los parámetros en un modelo a fin de que coincida con los niveles de dióxido de carbono observados.
- Describir los procesos que liberan y capturan dióxido de carbono a la atmósfera, respectivamente.
- Usar el ajuste del modelo para estimar la contribución antropogénica de dióxido de carbono a la atmósfera.

CONOCIMIENTO PREVIO

Los estudiantes deben tener un conocimiento general de:

- el ciclo del carbono, específicamente procesos que liberan carbono a la atmósfera (fuentes de carbono) y procesos que capturan carbono de la atmósfera (sumideros de carbono)
- la fotosíntesis, específicamente sus productos de entrada/de salida y los patrones estacionales/geográficos en las tasas fotosintéticas

La biósfera que respira y la contribución humana

- la respiración, específicamente sus productos de entrada/de salida y el hecho de que es el proceso “inverso” de la fotosíntesis
- cómo los seres humanos contribuyen a las emisiones de carbono
- la interpretación de gráficas de líneas

MATERIALES

- copias de la “Hoja de trabajo para el estudiante”
- acceso al Haz clic & aprende [La biósfera que respira y la contribución humana](#)

INFORMACIÓN GENERAL

Carbono

Aunque el dióxido de carbono es esencial para mantener la temperatura global a nivel habitable, también es el principal gas de efecto invernadero que contribuye al cambio climático antropogénico (inducido por los humanos). Existen muchas soluciones para disminuir las emisiones de carbono a fin de reducir el impacto de la actividad humana en el medio ambiente.

La Curva de Keeling

La Curva de Keeling es una medición continua de los niveles de CO₂ atmosférico de la Tierra tomada en el observatorio de Mauna Loa en la cima del volcán Mauna Loa en Hawái. Lleva el nombre del científico Charles Keeling, quien fundó el programa que toma estas medidas. Este programa, llamado programa de CO₂ de Scripps, ha estado registrando los niveles de CO₂ atmosférico en Mauna Loa desde 1958. Aunque Keeling falleció en 2005, el programa continúa bajo el liderazgo de su hijo Ralph F. Keeling.

La Curva de Keeling ilustra la fluctuación en los niveles de CO₂ atmosféricos estacionales, así como un aumento general en los niveles de CO₂ debido a las acciones humanas (como la quema de combustibles fósiles). Es importante destacar que fue uno de los primeros ejemplos de medición de un ciclo biogeoquímico a escala global. Los datos de la curva han resultado en investigación crítica y continua sobre los impactos ambientales del aumento de CO₂ y las acciones para mitigar la tendencia actual.

CONSEJOS DIDÁCTICOS

Implementación del recurso

- La sección “Procedimiento” proporciona un método de muestra para implementar el Haz clic & aprende con la “Hoja de trabajo para el estudiante” que lo acompaña.
- Si te preocupa la participación de todos los estudiantes en las discusiones, después de hacer cada pregunta, animálos a hablar con un compañero antes de solicitar respuestas de toda la clase.

Aclaraciones y advertencias

- En la pestaña “Procesos naturales” del Haz clic & aprende, se ajustaron los datos para eliminar la contribución de la actividad humana. Esto se hizo eliminando el aumento anual y asumiendo un modelo de estado estacionario en el que la fotosíntesis y la respiración están en equilibrio.
- Las pestañas “Procesos naturales” y “Contribución humana” tienen un “puntaje de ajuste” que se calcula comparando las estimaciones de los estudiantes con el valor óptimo de cada parámetro. En este puntaje entran cuatro parámetros: mes y tasa máximos de fotosíntesis y mes y tasa máximos de respiración. Cada parámetro se califica en una escala de 0 a 1, siendo 1 el ajuste perfecto al modelo. Luego, las cuatro puntuaciones se multiplican para dar el puntaje de ajuste general.

Materiales adicionales y extensiones

- El cortometraje de BioInteractive [La ciencia del cambio climático](#) presenta la Curva de Keeling. Puedes usar este video para mostrar a los estudiantes cómo se realizan las mediciones de CO₂ atmosférico y cómo los datos forman parte de registros más extensos de CO₂ tomados de núcleos de hielo y sedimentos marinos.
- Los estudiantes interesados en desarrollar una comprensión más profunda del ciclo del carbono (particularmente aquellos que actualmente están tomando, o tomarán más tarde, biología en bachillerato especializado (AP) o biología de nivel universitario) pueden completar el ejercicio [Earth Systems Activity](#) (recurso en inglés).

PROCEDIMIENTO

El procedimiento a continuación es solo una forma de implementar este recurso, específicamente con una clase de biología general o avanzada a nivel secundaria. Debes sentirte facultado para usar este recurso de una manera que responda a las necesidades de aprendizaje de tus estudiantes y que también apoye tus capacidades docentes. Es posible que debas ajustar la implementación según lo que tus estudiantes hayan aprendido anteriormente o a las ideas preconcebidas que tengan.

Calentamiento

Antes de presentar el recurso principal, revisa los conceptos según sea necesario en la sección “Conocimiento previo”.

En particular, los estudiantes deben estar familiarizados con los reactantes y productos de **la respiración celular y la fotosíntesis**, particularmente el oxígeno y el dióxido de carbono. Es importante que entiendan de dónde provienen los reactantes y a dónde van los productos, para identificar correctamente las fuentes o los sumideros de carbono.

- Como repaso, podrías hacer que los estudiantes escriban la ecuación química de cada proceso, identifiquen de dónde provienen los reactantes e indiquen a dónde van los productos una vez que se generan. Discutan con toda la clase una vez que todos los estudiantes hayan escrito algo.
- También puedes usar la animación [Fotosíntesis](#) para presentar o repasar la fotosíntesis.

Los estudiantes también podrían ayudarse con un breve tutorial o con un repaso sobre la **interpretación de gráficas**. La estrategia [Identify and Interpret \(I²\)](#) o Identificar e Interpretar (recurso en inglés) desarrollada por BSCS Science Learning es un enfoque altamente efectivo para interpretar gráficas.

Parte 1

Comienza describiendo brevemente la Curva de Keeling, incluida su historia y el tipo de datos que muestra. Esto puede ser especialmente importante para los estudiantes que están poco familiarizados con el ciclo del carbono.

- Puedes utilizar el *Punto de datos* [Tendencias en dióxido de carbono atmosférico](#) para presentar la Curva de Keeling a los estudiantes. Usa los puntos de discusión en la “Recursos para el educador” del punto de datos para proporcionar a los estudiantes los principios fundamentales de la curva y su importancia.
- Ten cuidado de no revelar las respuestas a las preguntas de la Parte 1 en la “Hoja de trabajo para el estudiante”.

Distribuye la “Hoja de trabajo para el estudiante” y pide a los estudiantes que trabajen en parejas para responder cada una de las preguntas de la Parte 1. Una vez que todos los estudiantes hayan tenido la

oportunidad de escribir sus ideas iniciales, reagrupa la clase. Anima a los estudiantes a compartir sus ideas y guíalos para que lleguen a las respuestas correctas.

Esta será una oportunidad importante para determinar qué conceptos equivocados persisten sobre la respiración celular/fotosíntesis, y si los estudiantes pudieron establecer conexiones entre las rutas metabólicas a pequeña escala y los ciclos biogeoquímicos a gran escala.

Parte 2

Antes de que los estudiantes pasen a la Parte 2 de la “Hoja de trabajo para el estudiante”, se recomienda darles un recorrido por el Haz clic & aprende [La biósfera que respira y la contribución humana](#); en particular, una demostración de cómo usar el modelo en la pestaña “Procesos naturales”.

- Puedes proyectar tu pantalla (si la clase es en persona) o compartirla (si es en línea) para mostrar el Haz clic & aprende a toda la clase.
- Puedes promover la participación de los estudiantes al cambiar la configuración del modelo y pedirles que expliquen qué tendencias observan, lo que también funciona para practicar la interpretación de gráficas.
- También puedes pedirles a los estudiantes que te indiquen qué configuraciones debes manipular o cómo manipular ciertas configuraciones para reflejar distintas condiciones ambientales.

Haz que los estudiantes trabajen individualmente en computadoras, tabletas o dispositivos móviles para interactuar con el Haz clic & aprende y responder las preguntas de la Parte 2 de la hoja de trabajo.

- Si hay pocos dispositivos, varios estudiantes pueden compartir.
- Si los estudiantes necesitan más tiempo para terminar la Parte 2, puedes asignarla como tarea (siempre y cuando todos los estudiantes tengan acceso al Haz clic & aprende) o bien terminarla en la clase siguiente.

Una vez que los estudiantes hayan completado la Parte 2, puedes hacer un repaso proyectando/compartiendo tu pantalla y configurando el modelo como se indica en la actividad. Pide a los estudiantes que contribuyan con sus respuestas a cada una de las preguntas.

Parte 3

La Parte 3 de la “Hoja de trabajo del estudiante” se puede reutilizar como una evaluación formativa que cada estudiante deberá completar individualmente en clase. Esta parte hace referencia a cada uno de los objetivos de aprendizaje de los estudiantes, por lo que puedes usar sus respuestas para determinar qué conceptos clave requieren un repaso adicional antes de una evaluación sumativa.

ORIENTACIÓN PARA LA EVALUACIÓN

PARTE 1: Carbono en la atmósfera

1. Describe dos patrones principales de la Figura 1.
Las respuestas van a variar. Los estudiantes deben mencionar el patrón de dientes de sierra y el aumento general del CO₂.
2. La Figura 1 muestra que la cantidad de CO₂ en la atmósfera varía a lo largo del tiempo.
 - a. Con base en lo que ya sabes, ¿cuáles son los procesos que *agregan* CO₂ a la atmósfera?
La respiración celular es el proceso clave de esta actividad. Otras respuestas incluyen descomposición, emisiones de combustibles fósiles, manufactura de cemento, deforestación, cambios en el uso del suelo, volcanes y el intercambio con el océano.

La biósfera que respira y la contribución humana

- b. ¿Cuáles son algunos procesos que *capturan* CO₂ de la atmósfera?
La fotosíntesis es el proceso clave de esta actividad. Otras respuestas incluyen el intercambio con el océano y la meteorización de rocas.

3. Relaciona los siguientes procesos y ecuaciones con las letras en el modelo. Anota las letras en la tabla.

Proceso o ecuación	Letra
$6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía lumínica} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2$	D
$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{O}_2 \rightarrow 6\text{CO}_2 + 6\text{H}_2\text{O} + \text{energía química}$	C
Fotosíntesis	B
Respiración	A

4. Relaciona los siguientes escenarios con cada una de las gráficas. Anota las letras de las gráficas en la tabla.

Escenario	Gráfica
Respiración = Fotosíntesis	B
Respiración > Fotosíntesis	C
Respiración < Fotosíntesis	A

PARTE 2: Variaciones estacionales en los procesos naturales

5. Una vez que encuentres el mejor ajuste posible, registra tus configuraciones y el puntaje de ajuste en la tabla siguiente.

Configuración/Puntaje	Valor
Tasa máxima de fotosíntesis	4.35 ppm/mes
Mes de fotosíntesis máxima	junio
Tasa máxima de respiración	2.7 ppm/mes
Mes de respiración máxima	junio
Puntaje de ajuste	1

6. Los datos observados en el simulador provienen del observatorio de Mauna Loa en Hawái, que se encuentra en el hemisferio norte. ¿Esperarías el mismo patrón de un observatorio en la Antártida? Explica tu respuesta.

Las respuestas van a variar dependiendo del conocimiento previo de los estudiantes. Puede que digan que las estaciones son opuestas en el hemisferio sur, por lo que el patrón puede tener la misma forma, pero variar en unos cuantos meses. Los estudiantes también podrían decir que hay menos vegetación en la Antártida, por lo que las tasas de fotosíntesis y respiración serían menos pronunciadas.

PARTE 3: La contribución humana

7. Además de las variaciones estacionales, la Curva de Keeling (Figura 1) también muestra un aumento general de CO₂ desde 1958. Según lo aprendido en las preguntas anteriores, ¿se puede explicar este aumento con el equilibrio natural de la respiración y la fotosíntesis? Explica tu respuesta.

Las respuestas van a variar. Los estudiantes deben mencionar que, si la respiración y la fotosíntesis están en equilibrio, entonces no debería haber un aumento general de CO₂ en la atmósfera. Por lo tanto, estos procesos naturales no pueden explicar el aumento observado.

8. ¿Qué proceso de la Figura 2 es el que tiene más probabilidad de ser responsable del aumento de CO₂ atmosférico? (Sugerencia: busca el mayor *desequilibrio* en el movimiento de carbono a la atmósfera)
Lo más probable es que las emisiones de combustibles fósiles sean responsables del aumento de CO₂ atmosférico, ya que causan el mayor desequilibrio en el movimiento de carbono a la atmósfera (9 mil millones de toneladas por año).

La biósfera que respira y la contribución humana

9. Una vez que encuentres el mejor ajuste posible, registra tu configuración y puntaje de ajuste en la siguiente tabla.

Configuración/Puntaje	Valor
Contribución humana anual	2.6 ppm/año
Puntaje de ajuste	1

10. La actividad humana libera el CO₂ excedente a la atmósfera, lo que está provocando el cambio climático global. ¿Cuáles son algunas acciones que cada persona y la sociedad pueden tomar para reducir las emisiones de CO₂?

Las respuestas van a variar dependiendo del conocimiento previo de los estudiantes. Los estudiantes podrían mencionar acciones individuales, como reducir el uso de energía, cambiar a un automóvil híbrido, usar transporte público, comer una dieta basada en plantas, etc. También podrían mencionar acciones colectivas y sistémicas, como implementar el precio del carbono, hacer la transición a fuentes de energía renovable, mejorar las prácticas agrícolas, etc.

REFERENCIAS

Keeling, C. D., S. C. Piper, R. B. Bacastow, M. Wahlen, T. P. Whorf, M. Heimann, and H. A. Meijer. "Exchanges of atmospheric CO₂ and ¹³CO₂ with the terrestrial biosphere and oceans from 1978 to 2000." I. Global Aspects. *UC San Diego: Library – Scripps Digital Collection* (2001). <https://escholarship.org/uc/item/09v319r9>.

CRÉDITOS

Escrito por Mark Nielsen, Carlie Frydman, HHMI

Editado por Esther Shyu, HHMI

Revisión científica por Steve Getty, Colorado College, CO

Traducido al español por Jamillah Echeverria, Vialux Media y editado por Lorena Villanueva-Almanza, Freelance Editor y Zulmarie Pérez Horta, HHMI.

Créditos de imágenes:

- ["Mauna Loa Record" \(Keeling Curve\)](#) por Scripps Institution of Oceanography at UC San Diego, usada bajo [CC BY 4.0](#)
- ["Mauna Loa Mauna Kea"](#) por NASA, usada bajo el dominio público