

SPACE

awareness

ACIDIFICACIÓN DE LOS OCÉANOS

Aprende cómo el dióxido de carbono acidifica los océanos

Markus Nielbock, Haus der Astronomie



Tema del plan de estudio

Océano, biodiversidad

La gran idea de la ciencia

La Tierra es un sistema de sistemas que influye y es influenciado por la vida en el planeta

Palabras clave

Ciclo del carbono, acidificación, océanos, dióxido de carbono, química, valores de ph, capas superficiales, piedra caliza, exoesqueletos

Edades

10 - 16

Nivel del sistema educativo

Escuela Secundaria, Bachillerato

Tiempo

45min

Tamaño del grupo

Grupo

Supervisión de seguridad

Con supervisión

Gasto

Medio (5 - 25 EUR)

Ubicación

Interior (habitación pequeña por ejemplo una clase)

Competencias básicas

Formulación de preguntas, desarrollo y utilización de modelos, planificación y desarrollo de investigaciones, análisis e interpretación de datos, elaboración de explicaciones, fomentar la argumentación basada en evidencias, comunicación de la información

Tipo de actividad de aprendizaje

Indagación completa

BREVE DESCRIPCIÓN

En esta actividad, los alumnos utilizarán velas como fuente de CO₂. Este gas reacciona con el agua en la que están las velas parcialmente inmersas. Las velas se apagan tan pronto el oxígeno se acaba en el recipiente cerrado. La reacción del CO₂ con el agua se observa mediante el cambio de color del indicador añadido al agua. Este experimento demuestra la relación entre la combustión de fuentes de carbono y la disolución del CO₂ en los océanos y cómo afecta a los ecosistemas de la tierra.

OBJETIVOS

Los alumnos aprenderán que el dióxido de carbono procedente de la combustión reacciona con la superficie del agua. Como resultado, se reduce el valor de pH hacia el área ácida. El agua salada se ve menos afectada por este proceso, pero aún así, se demuestra que un aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera incrementa la acidificación de los océanos.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

Los alumnos comprenderán que el experimento es un modelo simplificado del proceso de acidificación que ocurre en la naturaleza. Este modelo es suficiente, al menos cualitativamente, para obtener conclusiones a partir de los resultados y ampliarlos también a una escala global. El experimento también es útil para dar un ejemplo de una cadena de acciones y reacciones que lleva a consecuencias indeseadas, a veces inesperadas y potencialmente dañinas.

EVALUACIÓN

Antes de la actividad

Tras introducir el tema, como se sugiere en la descripción de la actividad, el profesor puede sondear el conocimiento de los estudiantes mediante la formulación de una serie de preguntas (también mencionadas en la descripción).

Pregunta: ¿Qué sustancias conoces que contengan carbono?

Posibles respuestas: carbón, petróleo, fuel, lápices, azúcar, dióxido de carbono, metano....

Pregunta: ¿Conoces sustancias sólidas, líquidas o gaseosas que contengan carbono?

Posibles respuestas: (ver arriba)

Pregunta: ¿Cuál es el gas más simple que contiene carbono y es un producto de la combustión o la descomposición orgánica? incluso los exhalas cuando respiras.

Respuesta: dióxido de carbono (CO₂)

Pregunta: ¿Qué ocurre con el dióxido de carbono cuando se disuelve en el agua, tal y como ocurre en los océanos en la Tierra?

Posibles respuestas: agua carbonatada, el agua se enriquece con ácido carbónico

Pregunta: ¿Has probado a ver qué sucede cuando colocas un huevo en vinagre? El vinagre es un ácido débil.

Posibles respuestas: el vinagre disuelve la cáscara del huevo. Está hecho de piedra caliza.

Durante la actividad

Pregunta: ¿Cuál es el valor del pH del agua? ¿Es el líquido ácido o básico?

Respuesta: el valor del pH es 8, lo que significa que es neutra o ligeramente básica.

Pregunta: ¿Porqué las velas se apagan?

Respuesta: el oxígeno se consume hasta que se agota

Pregunta: ¿Qué gas se produce? lo exhalamos cuando respiramos.

Respuesta: el oxígeno reacciona con el carbono para formar dióxido de carbono, CO₂.

Pregunta: ¿Cómo cambia el color? ¿Qué pH representa? ¿La solución se vuelve básica o ácida?

Respuesta: la disolución verde está manchada de amarillo. El valor del pH está entre 5 y 6, por tanto ligeramente ácido.

Después de la actividad

Pregunta: ¿Qué les ocurre a las criaturas marinas con exoesqueletos hechos de caliza cuando el agua se hace más ácida?

Posibles respuestas: La caliza es disuelta por el ácido carbónico.

Pregunta: Si te fijas atentamente, ¿Cambia el color en toda el agua? (depende de cuanta agua se use).

Respuesta: la reacción sólo tiene lugar en la superficie donde el dióxido de carbono toca la superficie del agua.

Pregunta: Cuando piensas en dióxido de carbono reaccionando con los océanos, ¿Dónde esperarías los ver los valores de pH más bajos?

Respuestas: en las capas cercanas a la superficie o/y en aguas poco profundas.

MATERIALES

El número de materiales necesarios depende de dónde se realice la actividad, como experimento demostrativo realizado sólo por el profesor o por los estudiantes de forma individual o en grupos.

- Agua destilada o desmineralizada
- Bol transparente (ignífugo)
- Bol transparente o pecera para usar como tapa (ignífugo)
- 4 velas pequeñas
- Cerillas o encendedor
- indicador universal (<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac50075a004>), ver también <http://www.hometrainingtools.com/universal-indicator-30-ml> y http://experilab.co.za/catalog/index.php?main_page=product_info&products_id=602

INFORMACIÓN DE REFERENCIA

El ciclo de carbono

La Tierra es un sistema dinámico que intercambia energía y materiales entre diferentes esferas y espacio exterior. Uno de los importantes sistemas de circulación es el ciclo de carbono.

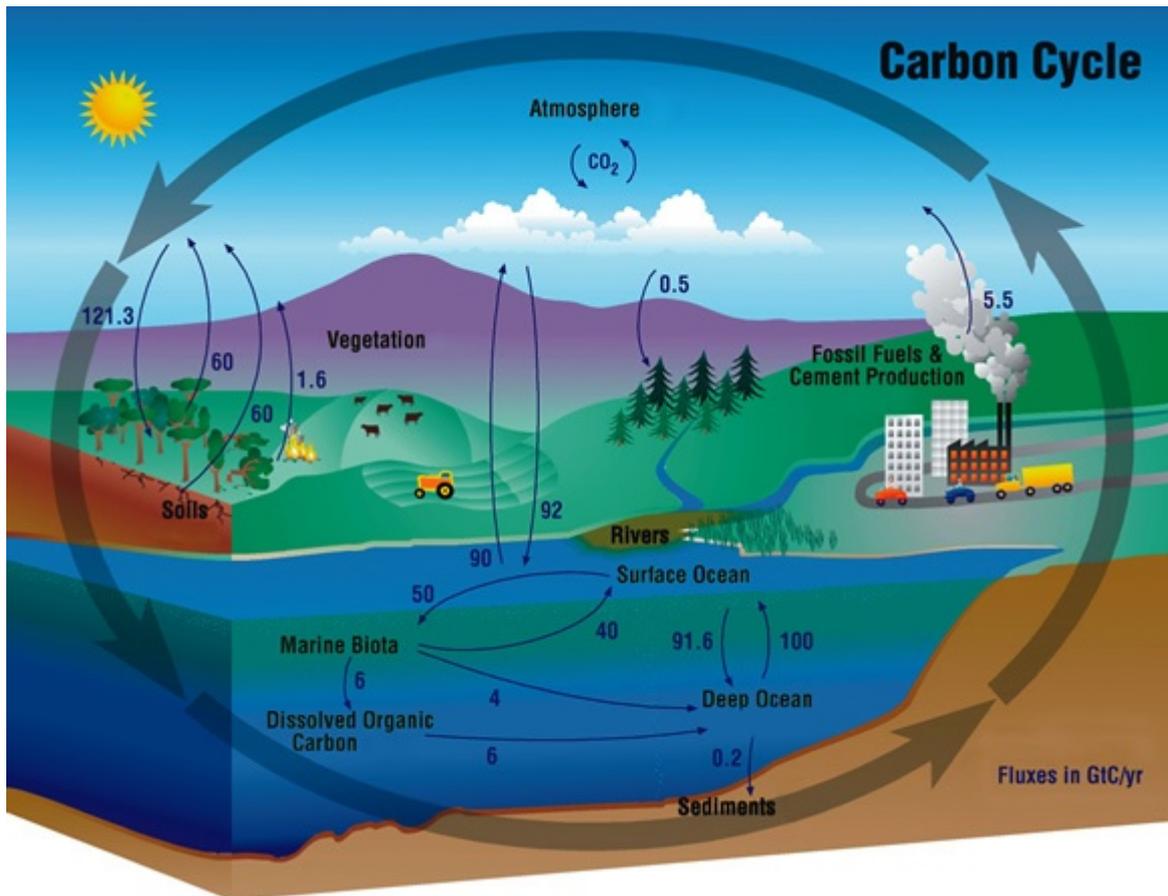


Figura 1: El flujo anual de CO₂ en Giga toneladas (Gt) o billones de toneladas entre cada reservorio terrestre. Cada reservorio sirve tanto como fuente como sumidero de carbono, como indican las flechas. El carbono liberado por la combustión de combustibles fósiles es una contribución no compensada a la cantidad global de carbono. La contribución total debida a la quema de combustibles fósiles se ha incrementado desde 5.5 Gt a 7 y 8 Gt desde 2003 a 2007 (Créditos: NASA/AIRS, <https://www.flickr.com/photos/atmospheric-infrared-sounder/8265010034>, <https://creativecommons.org/licenses/by/2.0/legalcode>).

El carbono se altera químicamente y sus compuestos alcanzan diferentes estados físicos. Normalmente el intercambio de carbono entre la litosfera, la hidrosfera, la biosfera y la atmósfera se mantiene en un equilibrio natural y delicado, con fuentes de carbono y sumideros en constante interacción. Los sumideros y las fuentes son subsistemas definidos de captura o liberación de carbono en la atmósfera donde actúan como gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono o metano.

Tabla 1: Fuentes y sumideros de carbono naturales y artificiales.

Carbon sources	Carbon sinks
Volcanos	Oceans and lakes
Organic decay	Vegetation by photosynthesis
Natural forest/bush fires	Reforestation
Fossil fuel production and combustion	Precipitation
Deforestation by fire clearing	Industrial winning of atmospheric gases
Waste incineration	Carbon capture and storage methods
Gas hydrates	
Waters	
Livestock	
Rice farming	
Manure management	
Waste management	
Industrial manufacturing	

Carbon Sinks & Sources

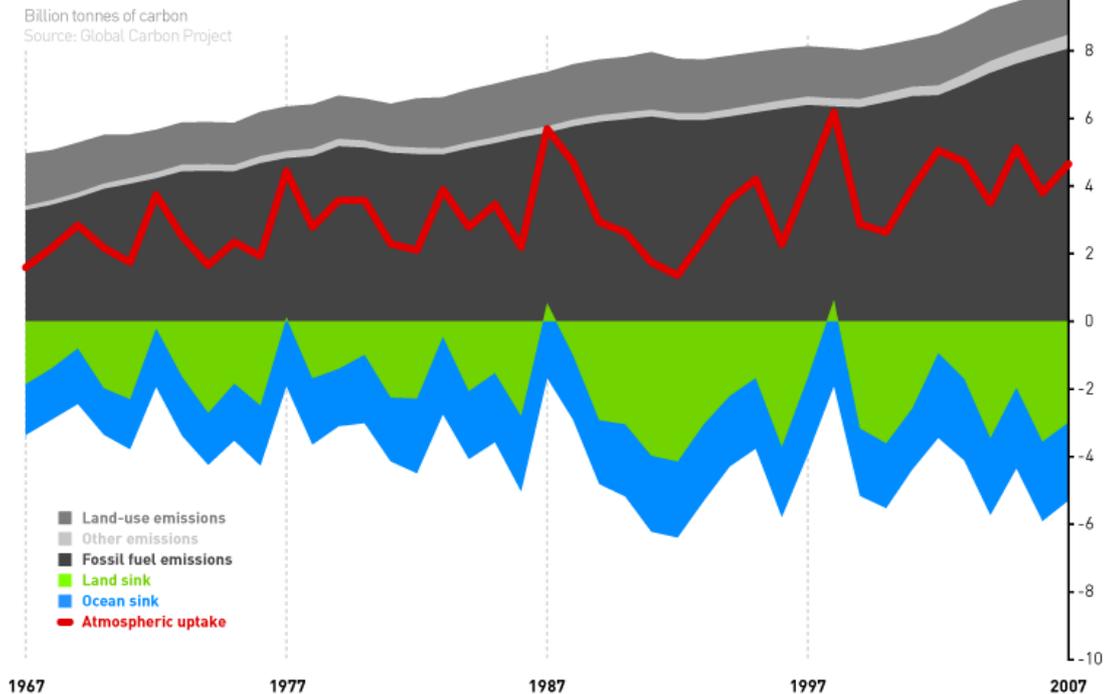


Figura 2: Evolución de la cantidad de fuentes y sumideros de carbono (Créditos: climatesafety, <https://www.flickr.com/photos/climatesafety/4745854611>, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/2.0/legalcode>).

Sin embargo, la intromisión de la actividad artificial humana incrementa constantemente el balance neto hacia las fuentes de carbono dando una creciente concentración de gases de efecto invernadero basados en el carbono.

Como ilustra la Figura 3, el CO₂ atmosférico se ha incrementado de forma dramática desde el comienzo del siglo XX. El ritmo de crecimiento no tiene precedentes en los últimos cientos de miles de años. Existe un amplio consenso entre los climatólogos de que esto contribuye de forma significativa al calentamiento global que medimos hoy. La concentración de dióxido de carbono se puede medir tanto con sensores en tierra como con sondas desde el espacio mediante teledetección. Los exitosos programas espaciales de monitoreo de los gases invernadero de forma global son el Envisat en Europa, el GoSat en Japón así como los satélites OCO-2 de la NASA. El programa europeo Copernicus con los satélites Sentinel ayudarán a entender los efectos del incremento del nivel de los gases de efecto invernadero liberados a la atmósfera.



Figura 3: Este gráfico, basado en la comparación de muestras atmosféricas contenidas en núcleos de hielo y medidas directas más recientes, provee evidencias de que el CO₂ atmosférico se ha incrementado desde la revolución industrial hasta Febrero de 2016. (Créditos: Vostok ice core data/J.R. Petit et al.;OAA Mauna Loa CO2 record/NASA/JPL, <http://climate.nasa.gov/evidence/>, dominio público).

El valor del pH

El valor del pH es una medida de la fuerza de los ácidos. Su valor representa la concentración de hidrógeno libre (H⁺) o hidronio (H₃O⁺). Su valor se define como:

$$pH = -\log_{10} \left(\frac{c(H_3O^+)}{\frac{\text{mol}}{l}} \right)$$

La concentración de iones hidronio $c(H_3O^+)$ viene dado en unidades de mol por litro. El mol es una unidad estándar para la cantidad de una sustancia dada. Hay indicadores que cambian su color dependiendo del valor del pH de la disolución. Esto permite medir el valor del pH.

El océano como sumidero de carbono

Más del 30-40% del dióxido de carbono de procedencia humana es capturado por los océanos, ríos y lagos. El gas se disuelve muy bien en el agua. Por tanto, los océanos son un sumidero de carbono muy significativo.

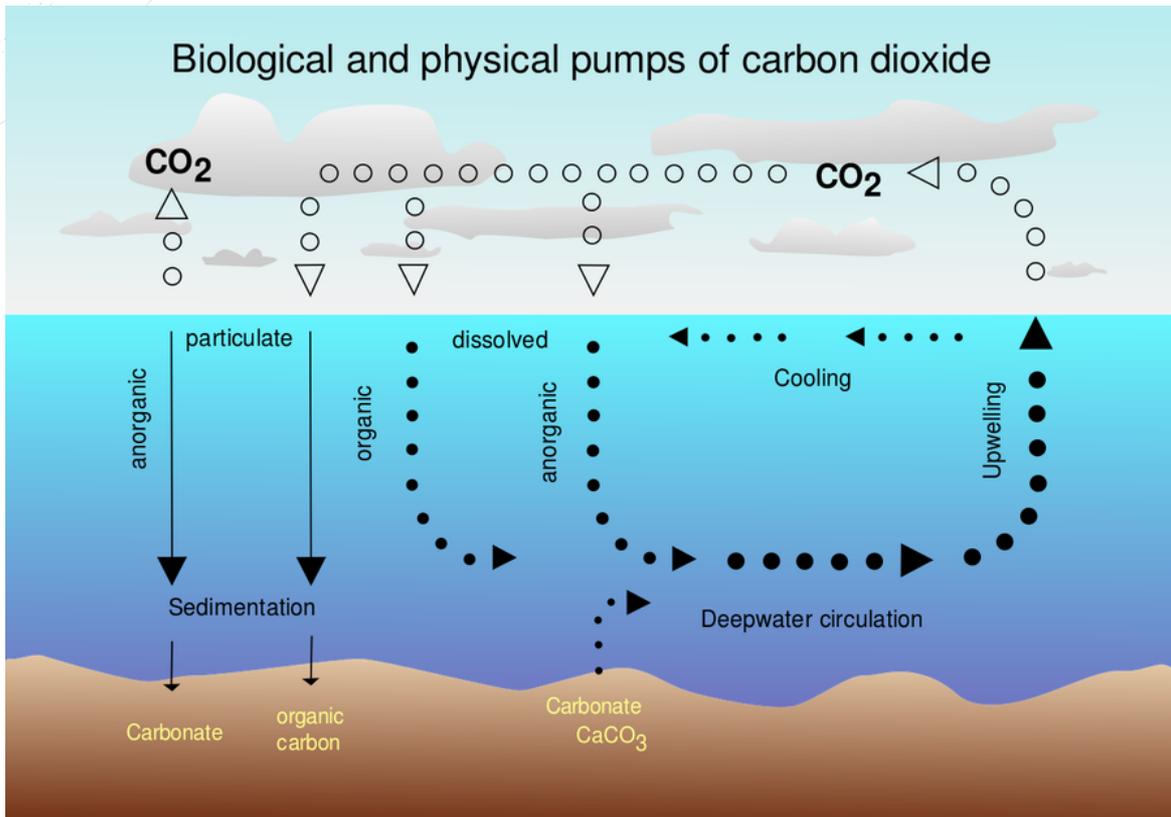
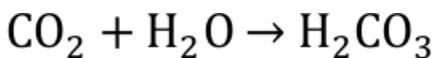


Figura 4: intercambio de dióxido de carbono entre el aire y el mar (Créditos: McSush (modified), Hannes Grobe (original), https://commons.wikimedia.org/wiki/File:CO2_pump_hg.svg, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/2.5/legalcode>).

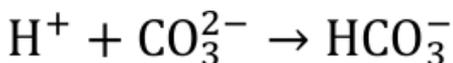
Si bien la capacidad del agua de capturar y almacenar CO₂ ayuda a reducir los gases de efecto invernadero, se paga un alto precio. Disolver CO₂ en agua cambia su química. Como resultado, el agua se vuelve más ácida. La acidificación y sus consecuencias se pueden estudiar mediante tres reacciones químicas. Primero el dióxido de carbono y el agua forman ácido carbónico.



El ácido es inmediatamente separado en sus iones, de los cuales el ión H⁺ reacciona para formar el ión hidronio H₃O⁺. El hidrógeno libre o los iones hidronio son una característica de la formación de ácidos. Esto se muestra en la definición del valor del pH (ver arriba).



La disolución ácida reacciona con los iones carbonato que son abundantes en el agua del océano. Son los bloques que construyen por ejemplo los exoesqueletos de los crustáceos como caracoles, mejillones y corales.



Estas reacciones ocurren en la superficie del agua como la de los océanos. Como resultado, se dificulta la formación de compuestos de carbonato, o en casos extremos, los exoesqueletos existentes pueden disolverse. La ecuación neta de la cadena de reacciones se muestra en la Figura 5.

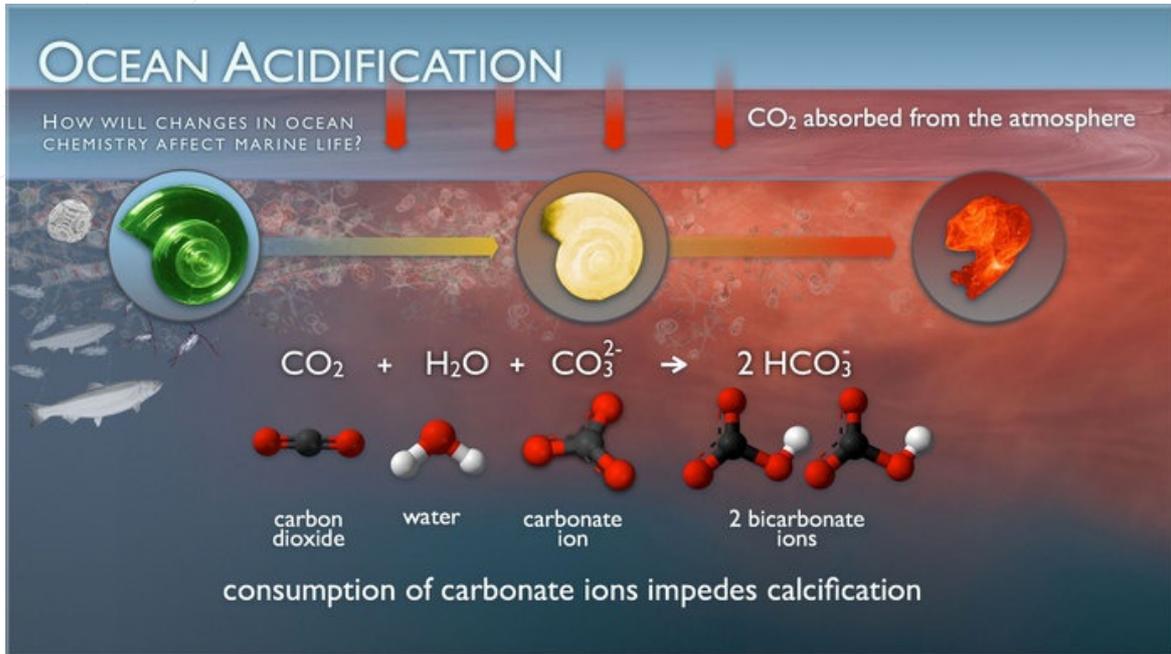


Figura 5: ilustración que muestra como el CO₂ disuelto en agua consume iones carbonato. Esto impide la calcificación o incluso puede dar lugar a la descalcificación de las conchas de animales marinos. (Créditos: NOAA PMEL Carbon program, dominio público).

Si bien el grado de salinidad del agua de mar mitiga el efecto de acidificación, la tendencia aún continúa. Además de las medidas in situ, existen nuevas tecnologías para determinar el pH de los océanos a escala global utilizando teledetección desde satélites de observación de la Tierra. (Figura 6)

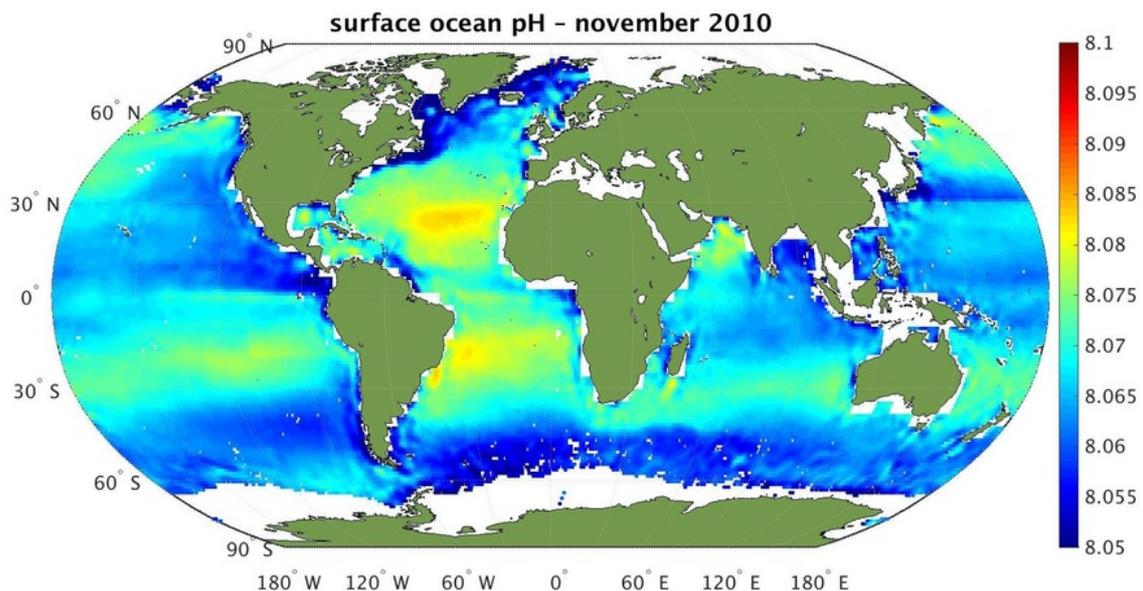


Figura 6: Este mapa muestra la primera estimación del pH superficial oceánico usando datos de salinidad de los satélites SMOS de la ESA con mediciones de la temperatura superficial del mar y datos auxiliares adicionales. Hay una variación espacial del pH a través del globo. Las aguas frías cercanas a los polos tienden a ser más ácidas debido a la capacidad del agua fría de disolver el dióxido de carbono mejor que las aguas cálidas. (Créditos: ESA/R. Sabia, http://www.esa.int/spaceinimages/Images/2015/01/Surface_ocean_pH, <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/igo/legalcode>).

Este mapa también indica que especialmente las regiones polares más fuertemente afectadas por la acidificación que las aguas cálidas. Esto puede explicarse por el hecho de que el agua fría disuelve CO_2 mejor que el agua cálida. Se sabe que un amplio rango de corrientes conectan los océanos del mundo. En consecuencia, el agua se intercambia entre latitudes y así el agua ácida y rica en CO_2 es transportada desde los polos a la región ecuatorial. El agua es calentada durante el camino y libera parte del CO_2 acumulado. Los océanos, entonces, también pueden ser considerados como fuentes regionales de carbono.

Esta influencia de la temperatura del agua se confirma por los modelos que predicen los datos históricos y la evolución futura de los niveles de pH global tal y como se señala en los informes del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, ver Figura 7). Todas las previsiones señalan una acidificación intensa en las regiones polares en comparación a otras regiones de la Tierra. Esto puede tener un efecto en la cadena alimenticia. La dieta de un pez incluye mariscos que normalmente posee un exoesqueleto (por ejemplo mejillones, crustáceos) que son vulnerables a entornos ácidos.

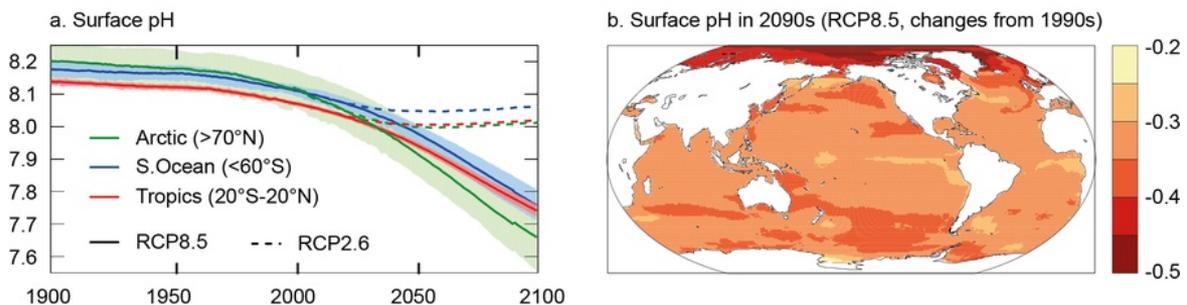


Figura 7: Evolución histórica y futura de los niveles superficiales de pH de los océanos. Los modelos se calcularon para el supuesto más optimista (RCP2.6, Representative Concentration Pathways) y el más pesimista (RCP8.5) de la evolución del CO_2 atmosférico. (a) Serie temporal del pH superficial mostrado como una media (línea sólida) y un rango de modelos, dada como área media ponderada sobre el océano Ártico (verde), los océanos tropicales (rojo) y los océanos del Sur (azul). (b) Mapa de la media de los cambios en los modelos de pH desde 1990 a 2090 (Créditos: IPCC Report, 2013, Working Group I, Chp. 6, p. 532, reproducción con permiso de los autores).

DESCRIPCIÓN COMPLETA DE LA ACTIVIDAD

Introducción

Introduce el tema comentando a los alumnos que el carbono es el principal elemento que conforma los seres vivos. Cada compuesto contiene átomos de carbono.

Pregunta: ¿que sustancias conoces que contienen carbono?

Pregunta: ¿Conoces sustancias sólidas, líquidas o gaseosas que contengan carbono?

información: Muchas sustancias que se queman contienen carbono (por ejemplo velas, madera, gas natural, combustibles, carbón).

Pregunta: ¿Cuál es el gas más simple que contiene carbono y se produce por la combustión o la descomposición orgánica? incluso lo exhalamos cuando respiramos.

La atmósfera de la Tierra contiene dióxido de carbono cuya abundancia está en constante aumento.

Pregunta: ¿qué ocurre con el dióxido de carbono cuando se disuelve en el agua tal y como ocurre en los océanos de la Tierra?

Esto es lo que descubriremos en esta actividad. Se convierte en ácido

Pregunta: ¿Has probado alguna vez a investigar que ocurre cuando se pone un huevo en vinagre? El vinagre es un ácido débil.

Información:

La fuerza de un ácido se mide a través del valor del pH. La escala va de 1 a 14. Una sustancia neutra, que no es ni ácida ni básica, tiene un valor cercano a 7. Cuanto más bajo sea el valor del pH más fuerte es el ácido. Valores altos de pH indican base. El pH puede medirse con indicadores que cambian de color de acuerdo a su valor.

Actividad

Lista de material

El número de materiales necesarios dependen de si la actividad se llevará a cabo sólo por el profesor o por los estudiantes de forma individual o en grupo.

- Agua destilada o desmineralizada
- Bol transparente (ignífugo)
- Bol transparente o pecera para usar como tapa (ignífugo)
- 4 velas pequeñas
- Cerillas o encendedor
- indicador universal (<http://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac50075a004>), ver también <http://www.hometrainingtools.com/universal-indicator-30-ml> y http://experilab.co.za/catalog/index.php?main_page=product_info&products_id=602

Reparte el material entre los estudiantes. Déjalas que realicen la actividad paso a paso.

Paso 1: Deposita algo de agua en el bol transparente. El nivel de agua debería ser algo menor que la altura de las velas.



Figura 8: Items necesarios para esta actividad.

Paso 2: Añade unas gotas de indicador hasta que la disolución se vuelva verde.



Figura 9: Agua destilada en el bol tras añadirle algo de indicador universal.
De acuerdo con el color, el pH estará entre 7 y 8.

Pregunta: ¿Cuál es el valor de pH? ¿Es el líquido ácido o básico?

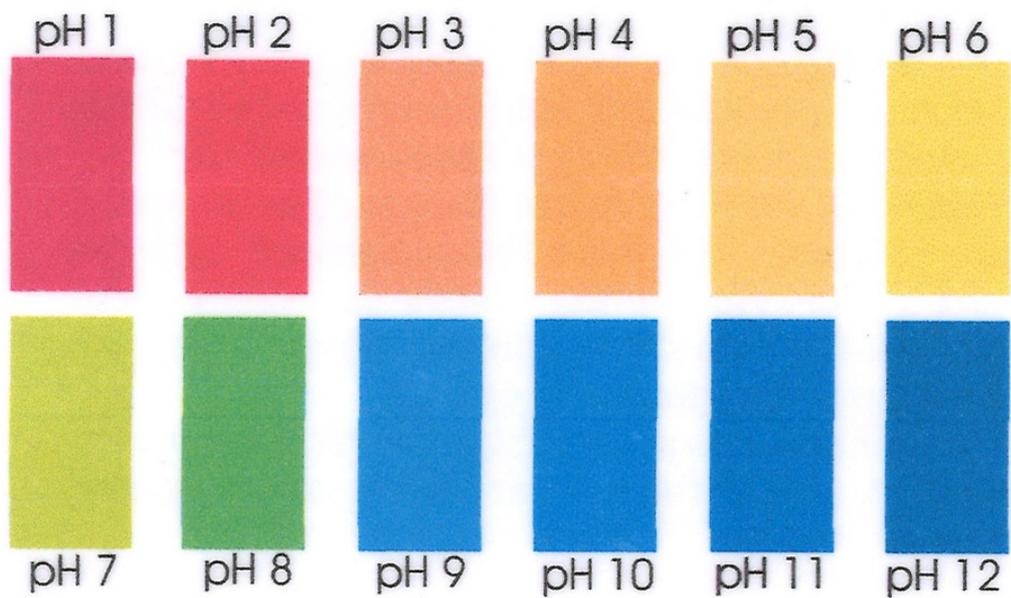


Figura 10: Colores del indicador universal para los valores de pH

Paso 3: Coloca las velas en el interior del bol.

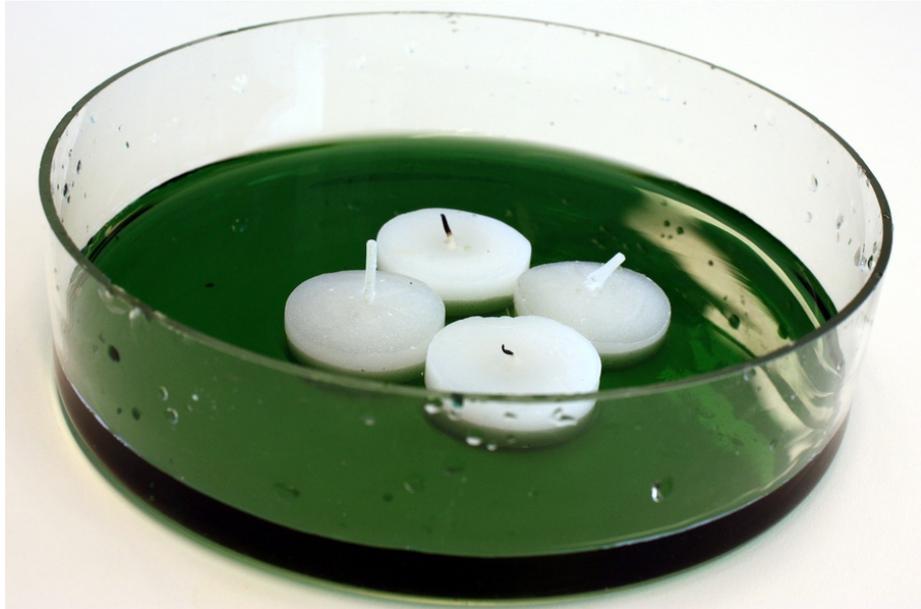


Figura 11: Velas en el interior del bol.

Paso 4: Enciende las velas. Espera hasta que su llama se estabilice y coloca en segundo bol, más grande, sobre el primero.



Figura 12: Las velas se encienden y el bol se cubre con otro resistente al fuego.

Paso 5: Espera a que las velas se apaguen.



Figura 13: Después de unos minutos, las velas se apagan por falta de oxígeno.

Pregunta: ¿Porqué se apagan las velas?

Pregunta: ¿Qué gas se produce? Lo exhalamos al respirar.

Paso 6: Espera unos minutos y observa el color de la disolución.



Figura 14: Después de unos minutos con el bol grande aún cubriéndolo, la solución con el indicador comienza a cambiar de color.

Paso 7: Retira la cubierta del bol pequeño tras 10 o 15 minutos después de que se hayan apagado las velas.



Figura 15: Tras 10 o 15 minutos, el cambio de color ha progresado lo suficiente para quitar el bol que hace de tapa. El color ha cambiado de verde a amarillo indicando un cambio en el valor del pH de neutro a ácido.

Pregunta: ¿Cómo cambia el color? ¿Qué valor de pH representa? ¿La solución se vuelve ácida o básica?

Información: En este caso, el dióxido de carbono producido por las velas se convierte en ácido carbónico. En la naturaleza, este producto reacciona con la caliza que químicamente es carbonato de calcio. Es el ladrillo fundamental de los exoesqueletos de muchas criaturas marinas como caracoles, mejillones o corales.

Pregunta: ¿Qué ocurre con las criaturas marinas con exoesqueletos hechos de caliza cuando el agua se vuelve más ácida?

Pregunta: Si miramos con atención, ¿Cambia el color de forma uniforme desde la parte superior hasta el fondo? (Esto depende de cuánta agua se haya usado).

Pregunta: Cuando reflexionas sobre el dióxido de carbono reaccionando con los océanos ¿Dónde esperarías los valores de pH más bajos?

Información: El nivel actual de acidificación está muy relacionado con la temperatura y la salinidad del agua. Altas temperaturas y altos valores de salinidad reducen el proceso de acidificación; bajas temperaturas y bajas concentraciones de sal lo mantienen. Esto significa que, especialmente el océano Ártico es vulnerable a la acidificación. El agua está muy fría y el hielo fundente es constantemente reemplazado por agua dulce que permanece en la superficie.

PLAN DE ESTUDIO

Currículum de Space Awareness (EU y South Africa)

Nuestro frágil planeta, océanos, biodiversidad.

CONCLUSIÓN

La combustión de las velas producen dióxido de carbono que reacciona con la capa superficial del agua. Un indicador de pH permite controlar el cambio de pH. Este experimento es una analogía bastante buena del lo que ocurre en el agua cuando es expuesta a los principales gases de efecto invernadero, dióxido de carbono por ejemplo. Éste se disuelve y el agua se vuelve más ácida. Esto constituye una amenaza para especies marinas como los corales y los caracoles quienes construyen exoesqueletos de estructuras de caliza. La caliza es disuelta por el ácido carbónico.



Este recurso fué seleccionado y revisado por Space Awareness. Space Awareness está financiada por el Programa de la Comisión Europea de Horizonte 2020 con la subvención nº 638653