

Escanee la imagen del arrecife de coral con la aplicación móvil LinkReader para ver más sobre los océanos ácidos.



MARES ÁCIDOS:

¿Cómo el dióxido de carbono está cambiando los océanos?

Por George Hale

ALEXA AJUSTA SU ESNÓRQUEL, MÁSCARA Y ALETAS MIENTRAS SE PREPARA para sumergirse en el agua clara y azul. Ella y otros cuatro estudiantes de escuela superior de Estados Unidos están a dos millas de Isla Ballena, una isla frente a la costa del Pacífico de Costa Rica. Las aguas que rodean la isla—parte del Parque Nacional Marino Ballena de Costa Rica—contienen arrecifes de coral que atraen a visitantes de alrededor del mundo. Los estudiantes asisten al Campamento Océano, un programa de investigación de dos semanas patrocinado por una universidad que expone a los estudiantes a la oceanografía y a la biología marina. Aquí, Alexa y sus compañeros de clase aprenderán de primera mano sobre la vida marina, así como también comprobar la salud de los arrecifes y las 18 especies de coral.

Junto con sus instructores y un guía de buceo con esnórquel, los estudiantes nadan pasando por pólipos de coral con forma de tentáculos oscilantes y peces coloridos. Al mismo tiempo, ellos observan de cerca los corales que se han descolorido o que parecen estar debilitados o desmoronándose. Alexa y sus compañeros de clase han aprendido que estos son señales de corales no saludables, los cuales están siendo amenazados por el calentamiento y los océanos cada vez más ácidos debido a los rápidos cambios en el clima de la Tierra. Aunque los corales generalmente se desarrollan en aguas cálidas, si el océano se calienta demasiado les causa

demasiado estrés. Esto hace que pierdan sus bellos colores y se pongan blancos, como blanqueados. Y un océano más ácido puede dificultar que los corales obtengan los materiales que necesitan para crecer, y eso les causa que se debiliten y se desmoronen.

Esto es preocupante ya que los arrecifes de coral constituyen menos del 1% de la superficie de la Tierra, juegan un papel crucial en el ecosistema marino—los corales proporcionan albergue para tal vez un cuarto de las especies oceánicas. Ésta es la razón por la cual los investigadores estudian el cambio de las aguas oceánicas y se hacen la importante pregunta: ¿cómo afectará un océano más cálido y más ácido a los corales y qué significa eso para la salud de nuestros océanos?

El efecto invernadero

Una de las lecciones que los instructores del Campamento Océano dieron a principio de esa semana cubrió el cambio climático y cómo éste afecta el océano. **Un responsable del calentamiento y la acidificación del océano es el aumento en el dióxido de carbono y otros gases que juegan un papel crucial en el clima de la Tierra en lo que se conoce como el efecto invernadero: sin ellos, el planeta sería frío e inhóspito.** Estos gases atmosféricos y un invernadero funcionan de maneras muy diferentes, pero el efecto resultante, temperaturas más altas en ambos casos, ha llevado



a esta descripción. Aunque este término es engañoso, se usa comúnmente.

Un invernadero es un edificio que se calienta con radiación solar para que pueda mantenerse caliente incluso en invierno. La luz del sol pasa a través del techo de vidrio para calentar las plantas y el suelo dentro del invernadero. Estos objetos luego emiten radiación infrarroja, es decir calor. La energía térmica queda atrapada en el invernadero, manteniendo el edificio caliente. El efecto invernadero es un proceso natural que calienta la superficie de la Tierra. Cuando la energía del sol alcanza la atmósfera de la Tierra, parte de ella se refleja de vuelta hacia el espacio y el resto es absorbido por la tierra y los océanos, calentando la Tierra. La superficie de la Tierra pierde energía de vuelta en el espacio al emitir radiación infrarroja, pero los gases de efecto invernadero absorben algo de esta luz infrarroja, reteniendo la energía en la Tierra y así, manteniéndola lo suficientemente cálida para sostener la vida.

Las actividades humanas, como la quema de combustibles fósiles, la agricultura y el desmonte de tierras, están aumentando la cantidad de gases de invernadero, como el dióxido de carbono, liberados a la atmósfera. Esto atrapa el exceso de calor, causando que

1. $\text{CO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{ac})$

El gas dióxido de carbono se disuelve en el agua.

2. $\text{CO}_2(\text{ac}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HCO}_3^-(\text{ac}) + \text{H}^+(\text{ac})$

El dióxido de carbono disuelto reacciona con el agua y se disocia en un ion de bicarbonato (HCO_3^-) y un ion de hidrógeno (H^+). Debido a que el océano tiene un pH básico (alrededor de 8.2), la concentración de H^+ es relativamente baja. Como resultado, este equilibrio se desplaza casi completamente hacia la derecha. Solo el 0.5% del CO_2 es encontrado en el agua de mar como CO_2 disuelto. La mayoría, 89.5% se encuentra en forma de ion bicarbonato. Añadir más CO_2 de la atmósfera aumenta la cantidad de H^+ presente por medio de esta reacción y contribuye a reducir el pH del océano.

3. $\text{HCO}_3^-(\text{ac}) \rightarrow \text{CO}_3^{2-}(\text{ac}) + \text{H}^+(\text{ac})$

Es más difícil para el segundo H^+ separarse del ion bicarbonato (no es muy ácido) y como resultado, solo el 10% del CO_2 disuelto es $\text{CO}_3^{2-}(\text{ac})$.

4. $\text{Ca}^{2+}(\text{ac}) + 2 \text{HCO}_3^-(\text{ac}) \rightarrow \text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{CO}_2(\text{ac}) + \text{H}_2\text{O}$

Los corales, el plancton y los crustáceos usan iones de calcio (Ca^{2+}) e iones de carbonato (CO_3^{2-}) para construir sus esqueletos y conchas de carbonato de calcio, un proceso conocido como calcificación. La ecuación 4 muestra la reacción de precipitación de iones de calcio y carbonato de hidrógeno, que reaccionan en el océano para formar carbonato de calcio. A medida que aumenta la acidez del océano, la concentración de H^+ aumenta, hay menos HCO_3^- y más $\text{CO}_2(\text{ac})$ disponibles (ver ecuación 2), y este equilibrio se desplaza hacia la izquierda. Las especies menores de carbonato (en la ecuación 3) también puede reaccionar con el ion de calcio para formar carbonato de calcio, pero a la vez, hay relativamente menos de éste con el aumento del H^+ . Por lo tanto, es más difícil que se forme el carbonato de calcio, lo que significa que las conchas no pueden formarse tan fácilmente



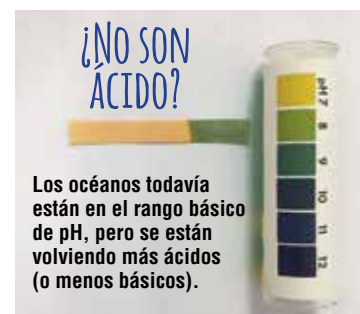
Blanqueamiento en la Bahía Kaneohe en Hawaii

la temperatura de la Tierra aumente. Estas temperaturas en aumento causan cambios ambientales, como el derretimiento de glaciares y capas de hielo.

El exceso de calor no se limita al aire. **Las temperaturas del océano también han aumentado, lo que afecta a los arrecifes de coral alrededor del mundo. Cuando el agua se calienta demasiado, los corales pueden estresarse, y expulsar las algas simbióticas que viven en sus tejidos.** Sin las algas, el coral pierde su fuente principal de alimento, se vuelve blanco o muy pálido, y es más susceptible a las enfermedades.

LA OCEANÓGRAFA
KATHRYN SHAMBERGER
DICE QUE EL PH DEL
OCÉANO HA DISMINUIDO
DE 8.2 A 8.1.

Sin embargo, los efectos del dióxido de carbono en el océano van más allá del calentamiento. El océano ha disuelto una gran cantidad de dióxido de carbono, lo que lo mantiene fuera de la atmósfera. Pero a medida que aumenta la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, aún más es añadido al océano, y esto cambia la química del agua. **Como se muestra en la primera ecuación, el dióxido de carbono gaseoso se disuelve en el agua oceánica superficial para producir dióxido de carbono acuoso.** El dióxido de carbono reacciona con las moléculas de agua y libera iones de hidrógeno, aumentando el pH.



Cambio de pH del océano

Como resultado de cambiar el equilibrio carbonato-bicarbonato, el pH del océano también está cambiando. La oceanógrafa de la Universidad Texas A & M, Kathryn Shamberger dice que el pH del océano ha disminuido de 8.2 a 8.1. Continuar liberando dióxido de carbono a la velocidad actual significará que los océanos continuarán aumentando en acidez.



Coral en Samoa Americana antes, durante, y después de un evento de blanqueamiento de corales.

La pérdida de los hábitats de los arrecifes y el daño a las especies, ya sea directamente o a través de interrupciones en la cadena alimentaria, también podrían afectar a las poblaciones humanas. En muchas áreas del mundo, los arrecifes de coral bloquean y desvían parte de la energía de las olas oceánicas, lo que significa que el agua entre la orilla y el arrecife es más tranquila de lo que sería de otra manera. Si las estructuras de coral se debilitan, podrían verse dañadas por las tormentas, lo que reduciría drásticamente este efecto calmante. Además, la pérdida de hábitat para el 25% de las especies oceánicas que llaman hogar a los arrecifes de coral podría tener grandes repercusiones.

La acidificación de los océanos también presenta riesgos económicos. Un océano acidificante podría dañar a los peces y mariscos que los humanos comen, ya sea directamente o eliminando las fuentes de alimentos para especies de peces comercialmente valiosas.

Además, alrededor del 12% de la población mundial se gana la vida pescando, representando casi \$150 mil millones en todo el mundo en el 2014. Por lo tanto, la acidificación de los océanos es otro factor que las pesquerías deberán tener en cuenta al planificar para el futuro.

Trayendo todo a casa


Estos estudiantes tienen mucho en qué pensar cuando regresen de Costa Rica. En el transcurso de dos semanas, han aprendido cómo los océanos interactúan con el clima en general y cómo las actividades humanas pueden afectar la vida oceánica.



Estudiantes investigando y documentando los arrecifes de coral.

Los futuros científicos necesitarán entender cómo la contaminación, el calentamiento y la acidificación de los océanos afectan la vida marina y encontrar formas de reducir el dióxido de carbono en la atmósfera y su impacto en los océanos.

Los estudiantes ven que, aunque dañina, la acidificación de los océanos afecta a los arrecifes de coral de manera diferente alrededor del mundo, posiblemente debido a las variaciones en el pH o a la química del océano. Ellos aprendieron cómo el agua del océano, los sedimentos del fondo del mar, e incluso el hielo Ártico y Antártico muestran a los científicos que el dióxido de carbono atmosférico y el pH del océano están cambiando más rápido ahora que en el pasado. Alexa y sus compañeros de clase descubrieron cómo el aumento de dióxido de carbono en el aire afecta al océano a través de cambios en las concentraciones de iones de carbonato y bicarbonato, y el pH, cómo estos cambios podrían afectar los arrecifes de coral, y qué podría significar para el resto del océano, así como para la vida marina y la población humana.

Las lecciones que estos estudiantes aprendieron y las actividades en las que participaron, particularmente su recorrido de buceo con esnórquel por un arrecife de coral, darán nuevas perspectivas sobre los océanos y la oceanografía. Lo que ellos aprendieron servirá como una guía para su curso de estudio después de la escuela superior, porque a pesar de que sabemos bastante sobre el cambio climático y los océanos, todavía hay mucho por descubrir. 

REFERENCIAS SELECCIONADAS

- Barkley, H. et al. Changes in Coral Reef Communities across a Natural Gradient in Seawater pH. *Science Advances*, *Science*, June 2015, 1 (5): <http://advances.sciencemag.org/content/1/5/e1500328>.
- Coral Reefs in Palau Surprisingly Resistant to Naturally Acidified Waters. Woods Hole Oceanographic Institution, Jan 16, 2014: <https://www.whoi.edu/news-release/palau-coral>.
- Wisshak, M. et al. Ocean Acidification Accelerates Reef Bioerosion. *PLoS One*, Sept 18, 2012: <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0045124>.
- What Is Ocean Acidification? Woods Hole Oceanographic Institution: <http://www.whoi.edu/ocean-acidification/>.
- Kolbert, E. Unnatural Selection. *The New Yorker*, April 18, 2016: <https://www.newyorker.com/magazine/2016/04/18/a-radical-attempt-to-save-the-reefs-and-forests>.
- Costa Rica: Snorkeling Tour at Marino Ballena National Park. Anywhere.com: <http://www.anywherecostarica.com/destinations/uvita/tours/snorkeling-at-the-marino-ballena-national-park>.
- The Oceans Today. Marine Stewardship Council: <https://www.msc.org/healthy-oceans/the-oceans-today/the-oceans-today>.

George Hale es un escritor de ciencia que vive en Pearland, Texas. Éste es su primer artículo en *ChemMatters*.