



# Cambio climático, calentamiento global y efecto invernadero, ¿cuál es cuál?

El clima de nuestro planeta está cambiando. El cambio ha provocado un calentamiento global. ¡Pero no se alarmen! Este calentamiento es un fenómeno natural que siempre ha existido en la Tierra. Sin embargo, ahora que como humanidad sobreexplotamos los recursos naturales, ha surgido una nueva cuestión: ¿cuánto estamos influyendo en acelerar el calentamiento? ¡Alármense! La respuesta es: ¡demasiado!

## Lo local afecta a escala global

Ahora más que nunca, muchas de las personas que habitamos el planeta estamos rodeadas de diversas comodidades y artefactos que vuelven más sencillas nuestras actividades cotidianas. Por desgracia, varios de los bienes que poseemos y de las acciones que realizamos son necesidades creadas, promovidas por la mercadotecnia. De manera casi inevitable, la humanidad está siendo arrastrada por la evolución tecnológica. Además, debido a la gran cantidad de población existente en la Tierra (casi 8 000 millones de personas), hay un aumento de la presión ejercida para la explotación de los recursos naturales, lo cual genera una mayor producción de bienes y un incremento en el consumo por persona. Esta situación ha tenido un fuerte impacto en términos climáticos alrededor del mundo.

Veamos un ejemplo. El celular que ahora se encuentra en tu bolsillo o en tu mano ha sido elaborado a partir de 80 elementos químicos, 200 minerales (combinación de elementos químicos) y cerca de 300 aleaciones (combinación de metales). La pantalla a color, ultranítida y de excelente resolución, está compuesta por decenas de elementos raros, como el itrio (Y) y el indio (In), así como otros más conocidos, por ejemplo, el aluminio (Al) y el mercurio (Hg). En la mayoría de los casos, dichos elementos químicos y los minerales no se encuentran expuestos sobre la superficie terrestre, por lo que su obtención implica extraerlos del subsuelo mediante técnicas de minería. A grandes rasgos, el proceso de extracción es el siguiente: en primer lugar, al ubicar un yacimiento (sitio donde se encuentran



minerales de manera natural), se requiere desmontar el área; es decir, se elimina toda la vegetación presente en el lugar. De entrada, esto provoca un aumento en la temperatura local, pues la vegetación deja de absorber la energía proveniente del Sol y el sitio se calienta más de lo normal. Esta variación en la cantidad de energía que es reflejada por una superficie se conoce como albedo, y es uno de los varios factores que promueven el aumento de la temperatura local. Por último, para la extracción se emplean compuestos tóxicos que permiten separar los minerales de interés, pero que provocan graves daños al suelo. Todo esto, por decir poco. Así que hay que reconsiderar nuestras intenciones de cambiar el modelo de celular a cada rato, pues ello puede ayudar a evitar una mayor extracción de minerales, entre otros efectos.

**Troposfera**

Capa que ocupa entre 8 km (en los polos) y 18 km (en la zona intertropical) de la atmósfera terrestre.

■ ■ ■ **¿Qué es el cambio climático y el calentamiento global?**

■ Conforme avanza la apertura económica, social y cultural que une a todas las naciones –también llamada globalización–, cada país se industrializa en mayor medida y aumenta sus niveles de producción de bienes y servicios para la población. Una de las principales consecuencias de este hecho es el incremento de las emisiones de gases contaminantes a la atmósfera del planeta, lo cual genera cambios en el clima, tanto local como planetario. El componente más renombrado y en el cual ha recaído la mayor responsabilidad del cambio climático es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), pues sus concentraciones han aumentado de manera considerable, como veremos más adelante.

El clima de un sitio se determina a partir de la relación que existe entre la precipitación y la temperatura del lugar, considerando los últimos 30 años de información. En la actualidad, el promedio de la temperatura del aire sobre la superficie del planeta, incluido el mar y el suelo, es de aproximadamente 14.5 °C. Esta temperatura promedio se determina a partir de la temperatura presente en la mayor cantidad de sitios en el globo terráqueo; de este modo, podemos notar que la temperatura media del aire ha

incrementado 0.6 °C desde 1861 (Cubasch y cols., 2013). Este aumento de la temperatura se llama calentamiento global. Para que se reconozca la existencia de un cambio climático como éste, el cambio de clima (en este caso, aumento de la temperatura) debe mantenerse en el tiempo (Stocker y Qin, 2013).

■ ■ ■ **Efecto invernadero**

■ El efecto invernadero es un proceso natural que siempre ha ocurrido en la atmósfera terrestre. Los gases presentes en la **troposfera** capturan el calor proveniente del Sol, lo atrapan y no lo dejan salir del planeta. La razón por la cual el calentamiento global se ha intensificado se explica por el aumento en las concentraciones de uno de los principales gases de efecto invernadero: el CO<sub>2</sub>.

Con respecto a este efecto, dentro de un invernadero podemos emular las condiciones que ocurren a escala planetaria. Por ejemplo, el techo del invernadero (vidrio o plástico) cumple la función de los gases en la atmósfera que atrapan el calor; aunque permiten el paso de la luz solar visible, también absorben parte de la radiación infrarroja, lo que hace que se retenga algo de calor.

■ ■ ■ **¿Dónde se genera el dióxido de carbono?**

■ El CO<sub>2</sub> proviene de dos fuentes: las naturales y las antropogénicas. De manera natural es liberado en grandes concentraciones por la vegetación (439 gigatoneladas [Gt] al año) y los océanos (332 Gt); sin embargo, la mayor parte es reabsorbida (788 Gt) por la misma vegetación y los océanos. En cambio, debido a las actividades humanas, las concentraciones de CO<sub>2</sub> en el planeta han aumentado como resultado de la deforestación y la quema de combustibles fósiles (29 Gt), como el petróleo, gas natural y carbón. En el caso de México, se reconoce que las principales fuentes de emisión de CO<sub>2</sub> relacionado con la quema de combustibles fósiles están asociadas con actividades como el transporte (39%) y la generación de electricidad (28%), las cuales son responsables de 67% de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la troposfera.

El  $\text{CO}_2$  es un componente natural de la atmósfera terrestre (con una concentración de 0.033%) y es parte fundamental del mantenimiento de la vida en el planeta, ya que prácticamente todos los seres vivos dependemos directa o indirectamente de las plantas, las cuales requieren de  $\text{CO}_2$  para llevar a cabo la fotosíntesis. Asimismo, el  $\text{CO}_2$  desempeña un papel muy importante en el control del clima planetario; se ha estimado que su ausencia reduciría 30 °C la temperatura del aire, lo que haría más frío el globo terráqueo. Por el contrario, el aumento en sus concentraciones está provocando una acumulación de gases de efecto invernadero en la atmósfera (particularmente en la troposfera) y multiplicando su capacidad de retención de energía, lo que ha originado un calentamiento global como resultado del efecto invernadero.

### ■ ¿Cómo sabemos que las cosas han cambiado en el planeta?

■ Existen sitios en el mundo donde se conserva aire atrapado desde hace miles de años; en estos lugares

se han obtenido muestras (trozos de hielo) que han permitido conocer las concentraciones históricas de los gases en la atmósfera terrestre. Por ejemplo, los glaciares de la Antártida y Groenlandia contienen en el hielo espacios de aire atrapado que datan de hace 400 000 años; su análisis ha permitido conocer las concentraciones de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera desde ese entonces y hasta la fecha. Gracias a ello se sabe que la concentración de este gas ha oscilado entre 180 y 300 **partes por millón** (ppm) en el tiempo.

Las concentraciones de  $\text{CO}_2$  habían sido constantes desde hace 400 000 años; incluso hace 10 000 años, con el final de la última era de hielo en el planeta, las concentraciones no rebasaban 285 ppm. Sin embargo, hoy día se ha reconocido un aumento en las concentraciones, marcado a partir de la Revolución Industrial en 1760. Desde ese momento y hasta 2016, el  $\text{CO}_2$  llegó a superar la considerable cifra de 400 ppm (véase la Figura 1). Esto prueba que el aumento de las concentraciones de  $\text{CO}_2$  va de la mano con la creciente actividad industrial, producto del desarrollo tecnológico de la humanidad.

Partes por millón (ppm)  
Unidades de una sustancia presentes por cada millón de unidades del todo, por ejemplo, cantidad de  $\text{CO}_2$  en el aire.

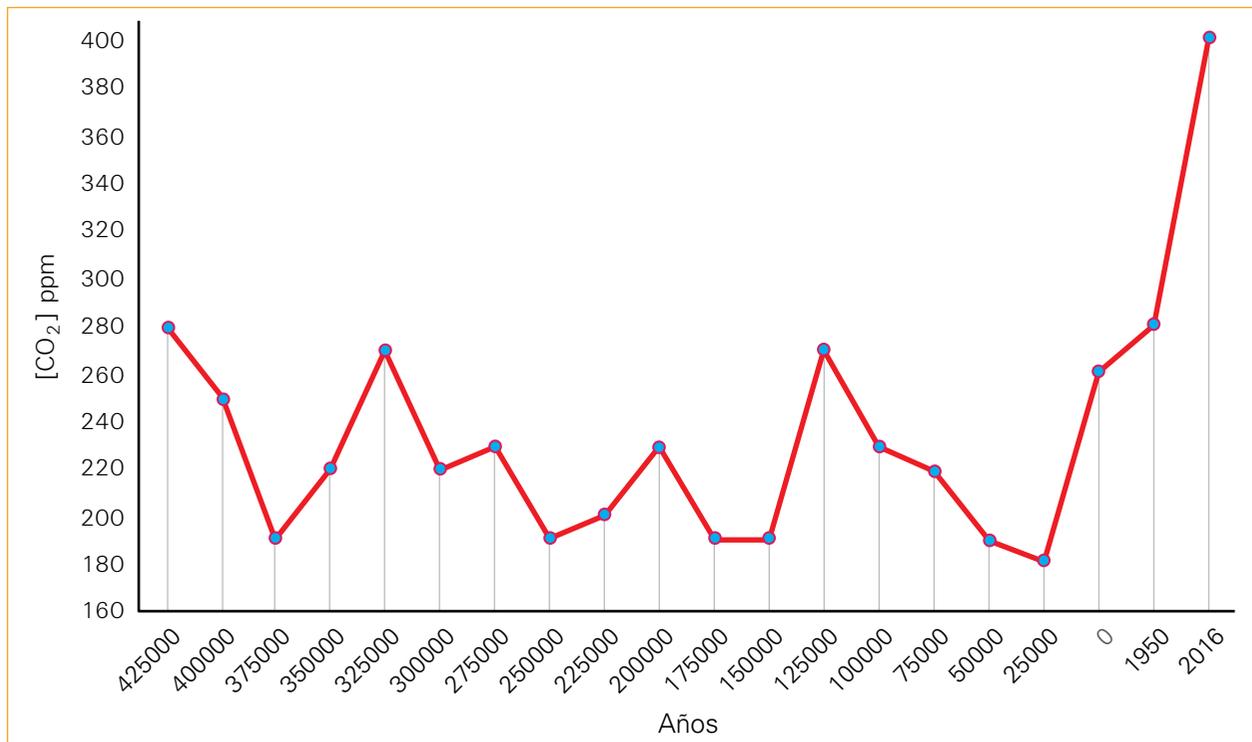


Figura 1. Reconstrucción histórica de la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera terrestre. Fuente: NOAA (2019).

**Otros gases “culpables” del cambio climático**

El CO<sub>2</sub> es el más popular de los gases que provocan el efecto invernadero en el planeta. Sin embargo, no es el único; ni siquiera es el que tiene más capacidad de atrapar el calor. Se han identificado otros gases que intensifican el efecto invernadero, como los clorofluorocarbonos (CFC), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Por ejemplo, tan sólo el metano posee 25 veces mayor capacidad que el CO<sub>2</sub> de absorber la radiación proveniente del Sol, lo cual ayuda a generar y promover el calentamiento global.

Del mismo modo que con el CO<sub>2</sub>, las concentraciones de metano han aumentado. En la era pre-industrial, su concentración oscilaba entre 0.3 y 0.7 ppm, mientras que en la actualidad ha alcanzado 1.8 ppm. Se estima que año con año las concentraciones aumentan 1%. Las actividades humanas, en especial la agricultura y la ganadería, están asociadas

hasta en dos terceras partes con este fenómeno. Además, existen procesos naturales que aportan metano; por ejemplo, los ecosistemas anegados (inundados de agua), como humedales y pantanos, así como los ecosistemas marinos donde existe casi por completo ausencia de oxígeno, como en el fondo marino.

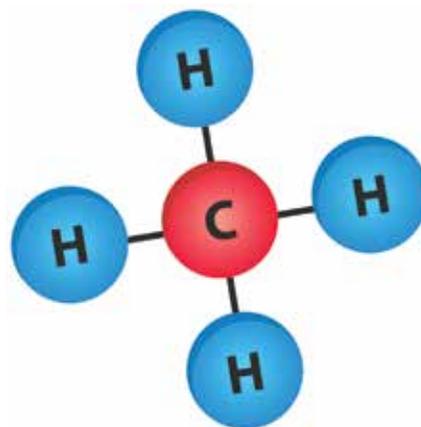
Las actividades agrícolas, como la siembra de arroz, promueven la generación de metano cerca de las raíces de la planta. Esto se debe a que en dichos sistemas agrícolas existen cantidades bajas de oxígeno, condición aprovechada por las bacterias anaerobias (aquellas que no requieren oxígeno para sobrevivir) para producir metano. Sucede lo mismo con el desarrollo de actividades ganaderas, debido a que los sistemas digestivos de las vacas y otros rumiantes, como ovejas, cabras, venados, caballos, asnos, entre muchos otros, producen como desechos digestivos considerables cantidades de metano. Esto

**Recuadro 1.**

**Una reserva de metano que puede cambiar la historia del planeta**

En la presente década se ha descubierto que la superficie de los fondos oceánicos se encuentra saturada de grandes reservas de hidrato de metano, una combinación de agua y metano que a bajas temperatura existe como cristales. El Servicio Geológico Británico estima que dichas reservas de metano contienen más energía que la proporcionada por la suma del petróleo, carbón y gas natural del planeta. No obstante, esta situación representa un arma de dos filos. Primero, el aprovechamiento de estas reservas puede proporcionar energía para las actividades humanas por los siguientes siglos; sin embargo, la liberación accidental de estas reservas podría traer consecuencias catastróficas para el planeta debido a la capacidad del metano como promotor del efecto invernadero, el calentamiento global y el cambio climático. Por otro lado, se ha observado que las actuales condiciones climáticas promovidas por las altas concentraciones de CO<sub>2</sub> han acelerado el

proceso natural de liberación de metano del fondo marino. Al igual que la temperatura del aire en la superficie terrestre, las aguas oceánicas se han calentado, lo cual ha provocado que las enormes masas de hielo que contienen los hidratos de metano se desplacen a mayores profundidades y liberen cantidades considerables de metano.





último resulta relevante debido a que la humanidad ha promovido la crianza y el aumento de las poblaciones de bovinos (vacas) para el consumo humano, con lo cual también se ha favorecido el aumento de dicho gas. Así es que, la próxima vez que pidas una hamburguesa de tamaño “mega” (en caso de que sea de carne real) considera tu aportación al efecto invernadero y al calentamiento global.

### **El planeta nos ofrece una salida**

 De manera natural, los ecosistemas del planeta aprovechan el  $\text{CO}_2$  y otros gases presentes en la atmósfera. Incluso, la mayoría del  $\text{CO}_2$  generado por las actividades humanas puede ser absorbida por los ecosistemas terrestres y acuáticos; tanto los océanos como los bosques comparten tal capacidad. Sin embargo, existe un problema fácil de reconocer: la cantidad de  $\text{CO}_2$  producido por la humanidad sobrepasa la capacidad de los ecosistemas para absorber la totalidad de las emisiones. Por lo tanto, el excedente de este gas se acumula en la atmósfera y participa en el calentamiento global.

El aprovechamiento del  $\text{CO}_2$  por parte de los ecosistemas pertenece a un proceso natural denominado ciclo del carbono, el cual, paso a paso, define el destino de las moléculas de carbono en todo el planeta. Por ejemplo, el  $\text{CO}_2$  de origen antropogénico puede ser capturado por la vegetación que, en presencia de agua y luz, convierte el carbono a moléculas orgáni-

cas como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, lo cual permite el crecimiento de las plantas y aumenta la masa vegetal.

No obstante, en este punto surge otro problema: el carbono almacenado en los bosques es liberado, inconscientemente, durante un proceso llamado deforestación, que consiste en la eliminación de los bosques para el establecimiento de áreas agrícolas y ganaderas, que tienen como objetivo la provisión de alimentos para la humanidad. Entonces, surge otra cuestión, ya que con el aumento de la población mundial se requieren cada vez más áreas para la siembra de cultivos y para la cría de ganados. Otro punto menos para la humanidad. Además, la degradación y la pérdida de los ecosistemas disminuyen la capacidad del planeta para capturar  $\text{CO}_2$ , ya que prácticamente una tercera parte de este gas en la atmósfera es capturada por los ecosistemas terrestres, mientras que los océanos se encargan de un porcentaje similar.

Se estima que los bosques (jóvenes y maduros) tienen la capacidad de absorber 30% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  antropogénicas. En el caso de los océanos, este valor corresponde a 25%. Es decir, en total, 55% de las emisiones de  $\text{CO}_2$  producto de las actividades humanas es reabsorbido por los bosques y los océanos. Por el contrario, 45% de las emisiones restantes no pueden ser reabsorbidas y se mantienen en la atmósfera participando en el efecto invernadero y el calentamiento global.

■ **Efectos del cambio climático**

■ El calentamiento global promovido por las actividades humanas ha alterado las condiciones climáticas existentes en la historia del planeta. Esta condición ha comenzado a manifestarse en diversas partes del mundo. Por ejemplo, una de las alteraciones más notables es el aumento de la temperatura. Se ha demostrado que el efecto invernadero ha provocado el calentamiento del aire en la atmósfera, lo que ha aumentado la temperatura promedio del globo terráqueo. Las estimaciones más recientes sugieren que la temperatura del planeta al final del siglo XXI aumentará entre 2 y 4 °C.

Este aumento ha permitido la presentación de catástrofes meteorológicas, como tormentas de viento, huracanes y precipitaciones más intensas, así como inundaciones en áreas habitables. Por el contrario, en otras regiones del planeta ocurren sequías más intensas y prolongadas, las cuales han promovido los incendios forestales, tanto de origen natural como artificial. Además, el aumento de la temperatura está provocando el derretimiento de hielo en los polos, lo cual suscita una reducción de los glaciares y una mayor aportación de agua dulce hacia los océanos. De acuerdo con los pronósticos, esta aportación provocará un aumento del nivel medio del mar, desde algunos metros hasta decenas de metros para algunas zonas costeras vulnerables.

Por último, una de las consecuencias más relevantes del cambio climático para la vida en el planeta es la extinción masiva de especies. La modificación de las condiciones climáticas vuelve vulnerables a diversas especies que no soportan los cambios climá-

ticos bruscos (fríos o calores más intensos). Además, el cambio climático reduce el hábitat de las especies y facilita su desaparición. Por el contrario, se ha reconocido que muchas especies están siendo favorecidas por el calentamiento climático, en especial las especies denominadas invasoras; esto es, aquellas plantas o animales que se introducen en hábitats en los que nunca han vivido, pero que se adaptan completamente a sus nuevas condiciones y desplazan a las especies locales.

■ **Acciones individuales para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>**

■ Muchas actividades que realizamos a diario implican el consumo de combustibles fósiles: la producción de la electricidad para el uso cotidiano, la quema del gas para cocinar los alimentos, el consumo del combustible por parte de los autotransportes. Aunque varias de las actividades son difíciles de sustituir, existen algunas formas en las que cada persona puede ayudar a reducir el impacto sobre el calentamiento global.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), una organización internacional encargada del estudio del cambio climático, hace las siguientes recomendaciones que permitirán reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> desde el núcleo familiar:

1. En lugar del coche, emplea transportes alternativos, como la bicicleta o caminar. Se estima que 3 km caminados permiten ahorrar 1 k de carbono.
2. En caso de ser inevitable el uso del automóvil, verifica que las llantas estén bien infladas, con la presión adecuada; esto optimiza el consumo de gasolina.
3. Evita los viajes que no son estrictamente necesarios. Si es posible, realizar una videoconferencia en lugar de un viaje aéreo para una reunión presencial siempre será preferible. Los aviones aportan 12% de los contaminantes emitidos por los medios de transporte.
4. Usa las actuales tecnologías de comunicación e información. Solicita a tu banco, y a tus de-



más proveedores de servicios (teléfono, internet, etc.), que te envíen tus recibos por correo electrónico; con ello se eliminarán las hojas de papel que llegan a casa y el consumo de combustible para su transportación.

5. Revisa las instalaciones eléctricas de tu casa y, sobre todo, emplea focos ahorradores para disminuir el consumo energético; de esta manera pagarás menos por el recibo de luz y apoyarás a la reducción de las emisiones al planeta.
6. Aplica las tres R: recicla, reutiliza y reúsa. Los productos de cartón, papel y vidrio son amigables con las tres R. También considera emplear productos elaborados con insumos reciclados.
7. Planta un árbol de tu región. Cada árbol plantado captura CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Se estima que durante su vida un árbol puede atrapar entre 350 y 3 500 k de carbono.
8. Promueve las tecnologías verdes. Exige a las autoridades gubernamentales que instalen paneles solares o molinos de viento para abastecer de electricidad a las poblaciones locales.
9. Prefiere comprar productos que se elaboran cerca de tu hogar, en lugar de productos del extranjero. Es mejor consumir la producción local debido a que los productos foráneos requieren ser transportados grandes distancias, lo cual implica un aporte de contaminantes considerable.

En este sentido, modificar nuestro estilo de vida y realizar las acciones antes sugeridas reducirá nuestras emisiones de carbono hacia la atmósfera del planeta. Como humanidad tenemos un compromiso: asegurarnos de que nuestras decisiones nos proveerán de recursos naturales de cantidad y calidad suficientes para nosotros y, sobre todo, para las futuras generaciones (nuestros hijos, nietos, bisnietos, tataranietos, choznos [trastataranietos], etc.).

### Francisco Guerra Martínez

Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Mérida, Universidad Nacional Autónoma de México.

francisco.guerra@enesmerida.unam.mx

### Referencias específicas

- Anderson, R. (2014), "Hidrato de metano, la energía oculta en el hielo", BBC. Disponible en: <[https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140421\\_ciencia\\_verde\\_hidratos\\_metano\\_energia\\_hidrocarburos\\_np](https://www.bbc.com/mundo/noticias/2014/04/140421_ciencia_verde_hidratos_metano_energia_hidrocarburos_np)>, consultado el 10 de abril de 2019.
- Cubasch, U., D. Wuebbles, D. Chen, M. C. Facchini, D. Frame et al. (2013), "Introduction", en T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen et al. (eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge y Nueva York, Cambridge University Press. Disponible en: <[https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5\\_Chapter01\\_FINAL.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2017/09/WG1AR5_Chapter01_FINAL.pdf)>, consultado el 10 de abril de 2019.
- Hautala, S. L., E. A. Solomon, H. P. Johnson, R. N. Harris y U. K. Miller (2014), "Dissociation of Cascadia Margin Gas Hydrates in Response to Contemporary Ocean Warming", *Geophysical Research Letters*, 41(23):8486-8494.
- NASA (2019), "Cambio climático global. Signos vitales del planeta", *National Aeronautics and Space Administration*. Disponible en: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>>, consultado el 10 de abril de 2019.
- NOAA (2019), "Reconstrucción de la concentración de CO<sub>2</sub> a partir de núcleos de hielo", *National Center for Environmental Information*. Disponible en: <<https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/>>, consultado el 10 de abril de 2019.
- Stocker, T. F. y D. Qin (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge, Cambridge University Press.
- Sulpis, O., B. P. Boudreau, A. Mucci, C. Jenkins, D. S. Trossman et al. (2018), "Current CaCO<sub>3</sub> dissolution at the seafloor caused by anthropogenic CO<sub>2</sub>", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(46):11700-11705.