



Atmósfera y biósfera: esferas entrelazadas

Dra. Dara Salcedo
 Facultad de Ciencias UMDI-Juriquilla, UNAM

La presencia y la historia de la atmósfera y de la vida en nuestro planeta están íntimamente entrelazadas. Por un lado, el efecto «ricitos de oro» implica que la Tierra tiene la temperatura perfecta para el desarrollo de la vida tal como la conocemos. Nuestros planetas vecinos, que se formaron de manera similar a la Tierra y con la cual comparten más de una característica, son muy fríos (Marte tiene una temperatura de 47°C) o muy calientes (la temperatura de Venus es de 450°C); en cambio, la temperatura promedio de nuestro planeta (15°C) permite la presencia de agua líquida, de la cual dependemos los organismos vivos. Dicha temperatura está determinada por el efecto

permanentemente la superficie terrestre, causando niveles insostenibles de mutación en las células expuestas. Y así como la atmósfera es fundamental para la vida, el desarrollo de la vida en la Tierra ha modificado la atmósfera de manera substancial, haciéndola diferente a la atmósfera de cualquier otro planeta en el sistema solar. La atmósfera terrestre tiene 78% de nitrógeno (N₂) y 21% de oxígeno (O₂) en su composición; en cambio, las atmósferas de Marte y Venus están compuestas principalmente de dióxido de carbono (CO₂), con pequeñas cantidades de N₂ y escaso O₂. Esta diferencia fue generada por la actividad fotosintética de los primeros microorganismos que habitaron la Tierra y que, a lo largo de miles de millones de años, transformó la superficie de nuestro planeta. (Figura 1)

el espacio por la alta temperatura. Al mismo tiempo se generó un núcleo caliente, líquido y muy activo que produjo una emisión significativa de gases, probablemente muy similar a las emisiones de los volcanes actuales: agua (H₂O), CO₂, N₂ y H₂ en menores cantidades, monóxido de carbono (CO) y algunos compuestos de azufre. Cuando el proceso de acreción terminó y la Tierra comenzó a enfriarse, el agua liberada se condensó y generó los océanos, mientras que el CO₂ formó rocas sedimentarias de carbonatos, lo que permitió que el N₂ se convirtiera en la especie más abundante de la atmósfera. De este modo se constituyó una atmósfera secundaria, con composición muy diferente a la de la nébula solar primitiva, en la cual comenzó la vida. En la atmósfera prebiótica, la concentración de CO₂ era quizá 600 veces mayor que en el presente.

mente el formaldehído (HCHO) y el cianuro de hidrógeno (HCN), los cuales son necesarios para la síntesis de azúcares y aminoácidos, respectivamente. En los años 50, los bioquímicos Stanley Miller y Harold Urey realizaron un experimento para demostrar que éstos y otros compuestos se podían haber formado en la atmósfera temprana a partir de reacciones químicas entre compuestos inorgánicos sencillos. Ellos colocaron metano (CH₄) y HCN en un reactor que contenía agua líquida (imitando los océanos y la atmósfera primitiva), dentro del cual generaron descargas eléctricas para simular rayos. Después de una semana, encontraron que algunos aminoácidos se habían formado en el reactor. Actualmente se cree que aún en ausencia de CH₄ en la atmósfera, HCHO y el HCN se pudieron haber formado por reacciones fotoquímicas o descargas eléctricas

azúcares que se formaban en la atmósfera. Estos primeros organismos producían metano y dióxido de carbono como desechos. Ésta es una combinación de gases que no podría existir de manera natural en la atmósfera de un planeta, considerando sólo las fuentes volcánicas, por lo que los astrobiólogos (científicos que buscan vida en otros cuerpos celestes) buscan su existencia como criterio para encontrar otros planetas en el universo en donde podría haber vida. Eventualmente aparecieron en la Tierra microorganismos fotosintéticos (probablemente cianobacterias) que generaban oxígeno como desecho. Inicialmente el oxígeno liberado por las cianobacterias se combinó con el hierro disuelto en los océanos, formando óxidos insolubles que precipitaban al fondo formando rocas sedimentarias. Existen pruebas geológicas

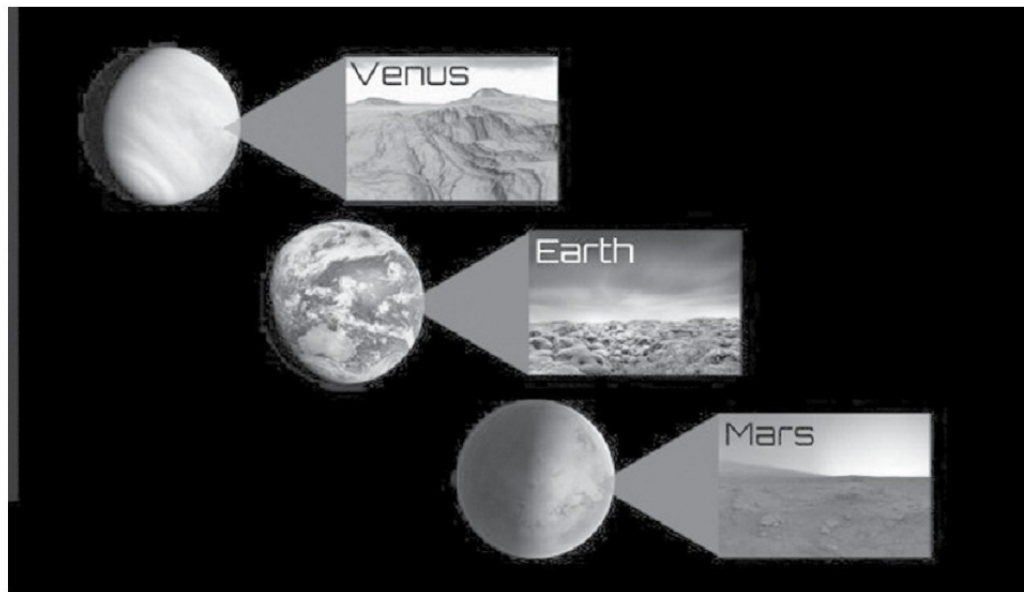


Figura 1. Imágenes de la Tierra y sus planetas vecinos. Tomada de: <https://futurism.com/why-was-the-human-race-born-on-earth-instead-of-venus-or-mars/>; Composite image: Jaime Trosper/FOTQ Imágenes de Venus: NASA/JPL; Earth: PHL @ UPR Arcibo, NASA, EUMETSAT, NERC Satellite Receiving Station, U. Dundee; Marte: NASA/Curiosity; Vestor: GrahamTG via DeviantArt

La Tierra es un planeta rocoso que, junto con Mercurio, Venus y Marte, se formó en la nébula del Sol primitivo por la colisión entre pequeños fragmentos de masa, que se adherían entre sí por fuerzas electrostáticas y gravitacionales, generando fragmentos cada vez más grandes, en un proceso llamado acreción. Las colisiones, junto con el decaimiento radiactivo de algunos elementos, causaron que el joven planeta se calentara. Durante su formación, los elementos más ligeros (hidrógeno, H₂) e inertes (He, Ne, Ar, Kr, Xe), de los cuales era rica la nébula solar, se perdieron de nuevo hacia

Además, probablemente contenía pequeñas cantidades de óxidos de nitrógeno (NO) formado por relámpagos, H₂, CO, H₂O, compuestos de azufre, y O₂ (generado por fotólisis del agua). En ese entonces (hace aproximadamente 4,600 millones de años) el Sol era 25 a 30% más débil que en el presente. Por ello, la presencia de CO₂ en grandes cantidades fue importante para que la temperatura del planeta se mantuviera por arriba de la congelación del agua, incluso con un Sol más joven y menos brillante. Dos compuestos clave para el inicio de la vida fueron probable-

cas, a partir solamente de N₂, H₂O, CO₂, H₂ y CO. Existe evidencia fósil de vida desde hace 3,500 millones de años. Sin embargo, se cree que la vida en nuestro planeta inició 500 millones de años antes. Los primeros seres vivos en la Tierra deben haber sido microorganismos anaeróbicos heterotróficos. Anaeróbicos significa que no respiraban oxígeno, debido a que no era un componente preponderante en la atmósfera. De hecho, el oxígeno debió haber sido veneno para ellos. Heterotróficos significa que no generaban su alimento, por lo que consumían los aminoácidos y

que consumían los aminoácidos y

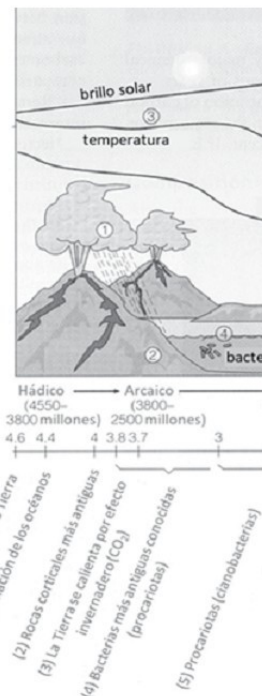


Figura 2. Adaptada de Skinner, B.J., and Murck, B.W. The blue planet, and introduction to earth System Science, fig 11.2.

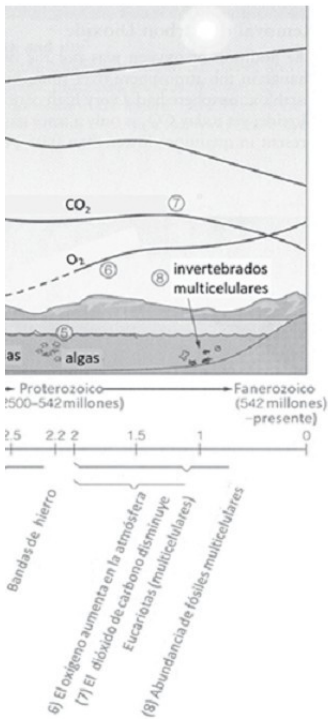
de este proceso, conocidas como «Formaciones de Hierro Banded», que tienen una edad entre 2,400 y 1,800 millones de años. Una vez que la cantidad de hierro disminuyó considerablemente en los océanos, el oxígeno pudo finalmente llegar a la atmósfera, iniciando lo que se conoce como la «Gran Oxidación» o «Catástrofe de Oxígeno». En este tiempo, gran parte de la vida en la Tierra probablemente murió debido a que el O₂ es un compuesto tóxico para

ACADEMIA DE CIENCIAS DE MORELOS, A.C.

¿Comentarios y sugerencias?, ¿Preguntas sobre temas científicos? CONTÁCTANOS: editorial@acmor.org.mx



los microorganismos generadores de metano. Dichos microorganismos migraron a lugares oscuros y lejanos (cavernas subterráneas y lodos profundos) en donde todavía se les puede encontrar. Los primeros microorganismos en la Tierra, como las cianobacterias, eran procariotas (células sin núcleo). Los récords fósiles de células eucariotas (con núcleo, y que requieren grandes cantidades de oxígeno para sobrevivir) más antiguos datan de hace 1,400 millones de años. Para que estos organismos pudieran sobrevivir, la concentración de oxígeno tuvo que alcanzar 0.01 veces la concentración actual. Esta concentración de oxígeno permitió que se formara la proteína fibrosa de colágeno, lo que preparó la escena para la formación de especies multicelulares. Al mismo tiempo que la vida



evolucionaba con el aumento de la cantidad de oxígeno en la atmósfera, la presencia de este gas generó la capa de ozono. El ozono se forma por una reacción fotoquímica del O₂ con luz UV. Al aumentar la concentración de oxígeno, el O₂ se fue también acumulando con lo que permitió la migración de la vida desde el agua hacia la superficie de la Tierra. La vida probablemente se inició en albercas de agua y lagos a una profundidad de 10 metros, en donde el agua funcionaba como filtro de luz UV, pero aún permitía que la luz visible llegara para realizar la fotosíntesis. La vida no pudo haber

CONCENTRACIÓN PROMEDIO MENSUAL DE CO₂ EN MAUNA LOA

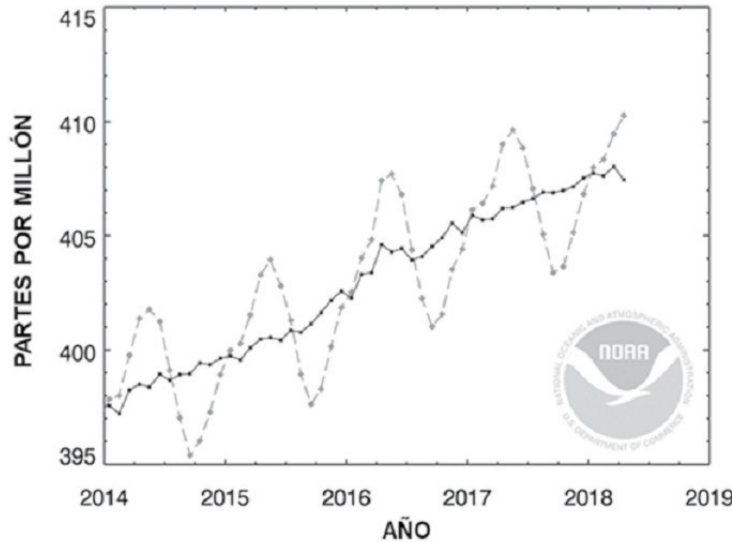


Figura 3. Concentración promedio de CO₂ medida en el Observatorio de Mauna Loa. Los puntos en color rojo corresponden a los valores mensuales promedio de las mediciones diarias y los los símbolos negros son el promedio mensual corregido con las fluctuaciones estacionales de los años vecinos. Tomado de: Earth System Research Laboratory, Global Monitoring Division <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>

surgido en los océanos porque el movimiento acarrea a los microorganismos a la superficie. Sin embargo, conforme la concentración de O₃ aumentaba en la atmósfera y filtraba cada vez más luz UV, los organismos pudieron acercarse a una capa más superficial del agua y extenderse en los océanos. Al tener una mayor disponibilidad de luz visible, la generación de oxígeno aumentó, acelerando la generación de la capa de ozono. Una

vez que la capa de ozono llegó a los niveles actuales, la protección del agua ya no fue necesaria y los organismos pudieron surgir de los océanos y poblar los continentes, hace más o menos 400 millones de años. (Véase Figura 2) El dióxido de carbono sufrió el efecto contrario del oxígeno, disminuyendo su concentración hasta los valores actuales. Este gas fue removido de la atmósfera a través del ciclo del carbono, en

donde el CO₂ es secuestrado en forma de rocas calizas (formadas de carbonatos), o como materia orgánica en depósitos de combustible fósiles (carbón, gas natural, o petróleo). La atmósfera como la conocemos es, entonces, la tercera atmósfera que ha tenido nuestro planeta y ha existido sólo durante los últimos 500 millones de años. Su presencia e historia han estado íntimamente entrelazadas con

la evolución de la vida, y lo sigue estando hasta la fecha. Por ejemplo, a lo largo de un año, se observa que las concentraciones de CO₂ aumentan y disminuyen de acuerdo con la actividad estacional de las plantas. Las mediciones de CO₂ en la estación Mauna Loa en Hawaii, muestran concentraciones mínimas de CO₂ durante el verano, cuando la actividad fotosintética es máxima como se muestra en la Figura 3. Como la respiración ocurre durante todo el año, durante el invierno ésta domina sobre la fotosíntesis, generando concentraciones máximas del gas. Finalmente, es necesario mencionar que en la actualidad la actividad humana está cambiando la composición de la atmósfera a través de la quema de combustibles fósiles, la cual está liberando el dióxido de carbono (CO₂), que había estado almacenado en la corteza terrestre durante miles de millones de años, a una velocidad sin precedentes. (Véase Figura 4) Las concentraciones de CO₂ que se han observado en la última década sobrepasan las concentraciones de bióxido de carbono de los últimos 800,000 años (que es el periodo en el que se tiene registro). Como resultado del efecto invernadero causado por el exceso de CO₂, la temperatura promedio del planeta está en aumento, con consecuencias importantes sobre el clima de la Tierra. Es de esperar que los cambios en temperatura local, patrones de lluvia, extensión de las estaciones que se esperan (algunos de los cuales ya son perceptibles) tendrán un efecto significativo en la biosfera, y la pregunta es: ¿hasta dónde será capaz la vida de adaptarse a los cambios que se avecinan?

CO₂ durante los últimos 800,000 años

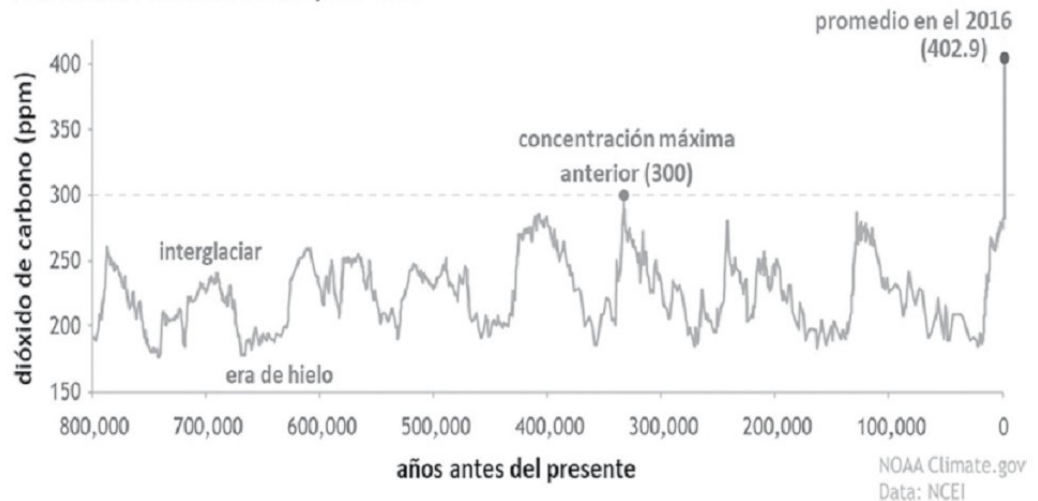


Figura 4. <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-atmospheric-carbon-dioxide>