

Diego Santiago Alarcón, Rafael Ojeda Flores y Gerardo Suzán Azpiri

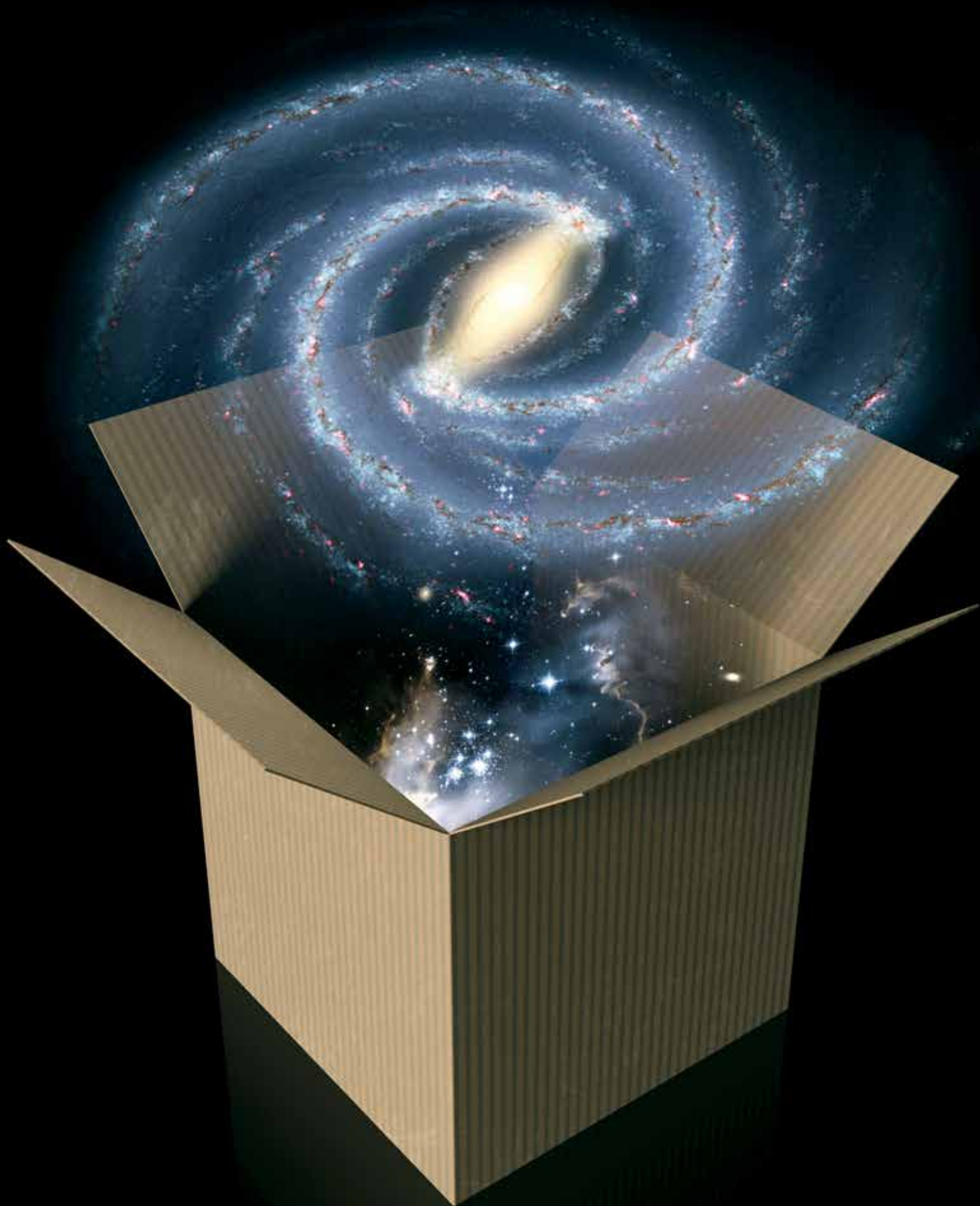
La vida: sus propiedades, orígenes y búsqueda

La vida es un sistema químico autónomo con información genética que le permite adaptarse y evolucionar. La sopa primordial es la teoría del origen de la vida más conocida, pero existen otras, como el mundo de ARN y las ventilas hidrotermales. La primera evidencia de vida tiene 2 500 millones de años. Por otra parte, los científicos buscan vida en otros planetas y lunas, como Marte y Europa, respectivamente, que tienen agua.

Propiedades de la vida

Los elementos químicos básicos asociados con la vida en la Tierra son carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre (C, H, O, N, P y S), que representan 99%, mientras que el restante 1% lo conforman los bioelementos calcio (Ca), potasio (K), sodio (Na), cloro (Cl), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu), flúor (F), yodo (I), molibdeno (Mo), cobalto (Co), manganeso (Mn), zinc (Zn), aluminio (Al), boro (B), vanadio (V), silicio (Si), estaño (Sn), níquel (Ni) y cromo (Cr). Sabemos que con hidrógeno y oxígeno se forma agua, la cual es el sustrato en el que se lleva a cabo la mayoría de las reacciones químicas. En la actualidad existe un amplio acuerdo en torno a que la vida debe estar basada en el carbono y en la disponibilidad de agua, dado que ésta es muy estable y forma fuertes enlaces entre sus moléculas, en comparación con sus enlaces a otras sustancias. Por otra parte, el carbono puede formar largas cadenas de compuestos químicos (por ejemplo, el ADN), así como enlaces químicos sencillos, dobles y triples, lo que le permite unirse fuertemente a muchos otros elementos. Además, tiene la capacidad de formar estructuras tridimensionales y es el cuarto elemento más abundante en el universo, después de hidrógeno, helio y oxígeno.

Otra de las propiedades de la vida consiste en que cada organismo posea un metabolismo; esto es, la capacidad de transformar y utilizar la materia obtenida del ambiente, degradar dicho material mediante diferentes procesos químicos y luego regresar una parte al ambiente en una forma modificada. Si recordamos nuestras





clases de Física, el término *entropía* se utiliza para definir una medida de desorden; es decir, cómo se dispersa espacialmente la energía. De acuerdo con la segunda ley de la termodinámica, sabemos que la entropía en el universo nunca disminuye. Entonces, algo que está vivo debe mantener un orden para poder funcionar adecuadamente (es decir, un nivel bajo de entropía); en otras palabras, necesita utilizar la energía libre de su ambiente (por ejemplo, luz solar) para mantenerse funcional. El que un organismo se mantenga vivo por un tiempo a pesar de la fuerza física de disipación de la materia y energía (entropía) significa que es capaz de extender su funcionalidad (mantenerse vivo) más allá de lo que se esperaría por la segunda ley de la termodinámica.

La estructura y función metabólica de los organismos está codificada en su información genética, la cual ha evolucionado a lo largo de generaciones desde un ancestro común. Dicha información es vital para que un organismo pueda vivir y adaptarse a su ambiente. Por lo tanto, otra propiedad esencial de la vida es la evolución. Lo anterior nos lleva a plantear que la vida es un sistema químico capaz de automantenerse y que, mediante la transmisión de su información genética (genoma), puede transformarse y adaptarse a las condiciones cambiantes de su ambiente.

■ Teorías del origen de la vida

■ No se sabe exactamente cómo se originó la vida. Se ha propuesto que pudo ser en la Tierra, o bien que fue acarreada de forma extraterrestre por polvo cósmico o meteoritos (panspermia); aunque esta última, por supuesto, no soluciona el problema de explicar cómo se originó la vida. Pero hay amplio consenso en que el origen de la vida debió ser precedido por un periodo de evolución química.

Durante la década de 1920 Alexander Oparin y John B. S. Haldane sugirieron que el ambiente en el que apareció la vida carecía de oxígeno (O_2), lo cual es algo bueno, puesto que una atmósfera libre de oxígeno permite la formación de moléculas complejas, como el ARN; de otra manera, el oxígeno transforma la materia orgánica en dióxido de car-



bono (CO_2). Estos mismos autores sugirieron que durante la etapa temprana de la Tierra (hace aproximadamente de 3 500 a 4 000 millones de años), los gases de la atmósfera eran transformados en moléculas orgánicas por medio de luz ultravioleta (UV) y descargas eléctricas en forma de rayos. Dicha teoría fue puesta a prueba de manera experimental por Stanley Miller en la década de 1950. El resultado fue impactante, ya que en dichas condiciones fue posible obtener moléculas orgánicas conformadas por anillos hexagonales de carbono, nitrógeno y átomos de hidrógeno; es decir, el tipo de anillos encontrados en los ácidos nucleicos que conforman el material genético. Esto llevó a Miller y a su asesor, Harold Urey, a proponer que la vida comenzó en una sopa primordial alimentada por la química atmosférica.

Sin embargo, esta famosa teoría se ha encontrado con problemas. Por ejemplo, algunos científicos sugieren que durante la etapa temprana de la Tierra la atmósfera no era adecuada para generar la química necesaria, pues contenía poco hidrógeno, mucho vapor de agua y mucho dióxido de carbono. Además, como todos los componentes están flotando en un inmenso mar a la deriva, no existen las condiciones físicas necesarias para hacer que reaccionen químicamente. Para contestar a estas críticas, se ha propuesto que el ARN —el cual funciona como intermediario en la transmisión de la información del ADN

y como catalizador— pudo ayudar al proceso de síntesis de las moléculas orgánicas en la sopa primordial. A esta teoría se le conoce como mundo de ARN. Desafortunadamente, esta explicación se vuelve circular, ya que el ARN es una molécula compleja y a la fecha existen dudas respecto de los procesos y mecanismos necesarios para que estas reacciones se lleven a cabo.

Otra famosa teoría, conocida como fumarolas negras, sugiere que la vida debió generarse en las ventilas hidrotermales de los fondos oceánicos, sitios donde emerge agua caliente desde el interior del piso oceánico, que a su paso recoge sustancias producidas por reacciones químicas entre el agua y las rocas, tales como hidrógeno, azufre (S) y hierro. Cuando el agua acidificada entra en contacto con el agua oceánica fría, se produce una fumarola negra de precipitados de partículas de hierro azufrado (FeS). Los proponentes de esta teoría sugieren que dichas partículas funcionan como catalizadores, lo cual propiciaría el origen de la vida. Sin embargo, esta explicación se ha descartado, básicamente, por las mismas razones que la teoría de la sopa primordial y por las altas temperaturas de dichas ventilas (350 °C). En su lugar, se propone a las ventilas hidrotermales alcalinas, las cuales tienen una menor

temperatura (90 °C), como mejores candidatas para explicar el origen de la vida.

Se reconoce que hay seis propiedades básicas indispensables para la vida que comparten todas las células en la Tierra:

1. Una fuente continua de carbono para sintetizar moléculas orgánicas.
2. Energía disponible para mantener un metabolismo bioquímico (formación de proteínas, lípidos, etcétera).
3. Catálisis para acelerar y canalizar las reacciones metabólicas.
4. Excreción de desechos.
5. Compartimentos para separar el interior de la célula de su exterior.
6. Material hereditario (ADN, ARN).

Se ha propuesto que todos estos requerimientos se hallan en grietas microscópicas de las superficies rocosas de las ventilas hidrotermales alcalinas, las cuales actúan como membranas semipermeables que facilitan la creación de **gradientes de protones**, lo que genera energía (quimiosmosis) en forma de ATP (adenosín trifosfato, que es el combustible para

Gradientes de protones

La diferencia en la concentración de protones en lados opuestos de una membrana; dicha concentración es resultado de la carga eléctrica y la concentración de iones (H⁺) a través de la membrana.





la vida), la cual es necesaria para llevar a cabo la síntesis de las moléculas orgánicas. Sin embargo, al igual que otras teorías, las ventilas hidrotermales alcalinas no han logrado librar todos los obstáculos. Algunos experimentos han demostrado la incapacidad de sintetizar moléculas orgánicas en ambientes hidrotermales. Además, diferencias de pH en membranas minerales, como las propuestas, no generan gradientes quimiosmóticos capaces de capturar energía. Finalmente, la evidencia teórica y comparativa (es decir, organismos vivos metabólicamente sencillos) indica que el último ancestro común universal (LUCA, por sus siglas en inglés; se estima su origen hace 3 500 millones de años) debió poseer una complejidad bioquímica pobre (por ejemplo, falta de síntesis de algunos lípidos, aminoácidos y nucleótidos), incapaz de cubrir algunos de los seis requerimientos antes mencionados, lo que sugiere que cualquier tipo de ente con capacidad de replicarse que pudiese generarse en las ventilas alcalinas debe ser bioquímicamente más sencillo que LUCA.

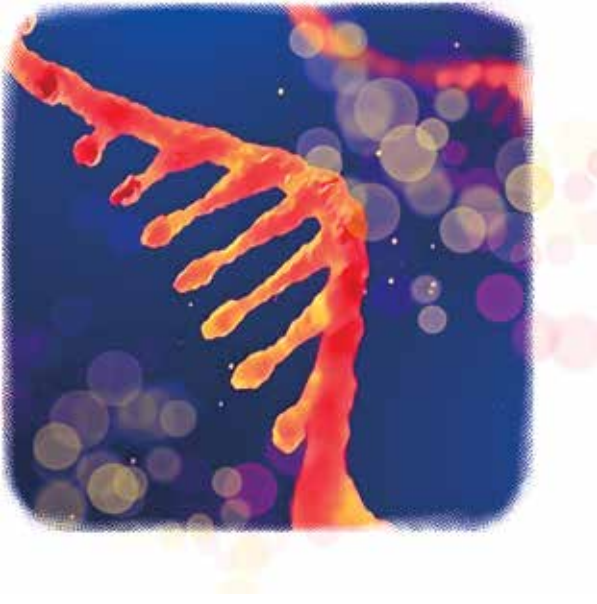
■ **Condiciones ambientales del origen de la vida en la Tierra**

■ El efecto invernadero fue esencial para dar pie a una atmósfera viable para el desarrollo de la vida en la Tierra. La superficie de los planetas se calienta por la radiación solar; una parte de ésta se absorbe y otra parte es enviada de vuelta a la atmósfera, en donde es absorbida debido a que la atmósfera tiende a ser semipermeable a la radiación infrarroja que proviene de la superficie del planeta. Entonces, la atmósfera se calienta e irradia nuevamente parte de la misma sobre el planeta, lo que genera un aumento en la temperatura. El metano (CH_4) es un importante gas de invernadero, pero en la atmósfera terrestre actual hay muy poco (2 partes por millón o 0.00017%) porque reacciona con el oxígeno (O_2), el cual es el segundo gas más abundante hoy (21%), después del nitrógeno (N_2 ; 78%). Pero las cosas eran diferentes en la Tierra primitiva (hace 2 500 a 4 000 millones de años), pues había una mayor cantidad de metano (aproximadamente de 7 a 100 partes por millón o de 0.17 a 3.5%), el cual actuaba como gas de efecto

invernadero, y había muy poco oxígeno (menos de 1 parte de O_2 por millón de partículas). El metano no se acumulaba infinitamente en la atmósfera porque era descompuesto por la luz UV, lo cual abrió la puerta para la síntesis de compuestos químicos basados en hidrógeno y carbono, que son pilares de la vida. En la atmósfera primitiva de la Tierra también había grandes cantidades de nitrógeno (de 70 a 80%; esto ha sido estable por cientos de millones de años), derivado de la actividad volcánica. El nitrógeno, junto con el metano, etano, dióxido de carbono y vapor de agua, proveyeron un efecto invernadero suficiente para contrarrestar la poca brillantez del Sol en esa época. No obstante, conforme fue aumentando la edad de dicha estrella también fue aumentando su brillantez, en aproximadamente 7-9% cada 1 000 millones de años; por lo tanto, la Tierra primitiva habría resultado demasiado fría para la vida sin una atmósfera como la ya descrita.

En gran parte de la historia del planeta, los niveles de oxígeno fueron muy bajos, hasta hace aproximadamente 2 300 a 2 400 millones de años, cuando ocurrió el gran evento de oxidación. Hoy, casi todo el oxígeno atmosférico es de origen biológico y resulta del proceso de fotosíntesis por plantas, algas y cianobacterias, que son los únicos organismos unicelulares sin núcleo (procariontas) capaces de realizar fotosíntesis mediante el uso del oxígeno; el resto se produce cuando la luz UV rompe moléculas de dió-





xido de carbono y vapor de agua en la atmósfera. Antes de que las plantas y las algas evolucionaran, organismos similares a las cianobacterias eran los responsables de la producción de oxígeno. El primer oxígeno fotosintético se remonta a hace 2 700 a 2 800 millones de años. Durante el gran evento de oxidación se formó la capa de ozono de la Tierra, la cual protege a la superficie de los rayos UV. Hace unos 1 800 millones de años el oxígeno atmosférico se estabilizó entre 0.2-2% y permaneció en ese rango por 1 000 millones de años. Hace aproximadamente 750 millones de años, el oxígeno atmosférico comenzó a aumentar por segunda vez a niveles que excedieron 3%; de esta forma, se oxigenó el mar profundo. Alrededor de hace 400 millones de años hubo un tercer incremento en el nivel de oxígeno, el cual se debió a la colonización de los continentes por plantas vasculares, que se caracterizan por tener raíces verdaderas, tallos, hojas y un sistema vascular por el que circulan agua y nutrientes. El nivel de oxígeno aumentó en la atmósfera entre 10 y 30%, lo que permitió la persistencia de los animales y, eventualmente, la aparición de nuestro linaje, los primates, hace aproximadamente 65 millones de años.

Aparentemente, las primeras señales de vida se encuentran en rocas sedimentarias en el sur de Groenlandia (de hace aproximadamente 3 800 millones de años), pero hay mejor evidencia de vida en el noroeste de Australia (de aproximadamente 3 500

millones de años), representada por estromatolitos. Los estromatolitos son estructuras sedimentarias en forma de láminas hechas de comunidades microbianas fotosintetizadoras. No obstante, la evidencia irrefutable de vida (aproximadamente 2 500 millones de años) se encuentra en forma de microfósiles hallados en África del Sur que contienen carbono orgánico. Indicios de animales y fósiles pequeños datan de hace unos 630 millones de años, pero es sólo a partir de hace 580 millones de años que se encuentran fósiles de organismos complejos que iban desde centímetros hasta metros en tamaño. Esos primeros organismos no tenían bocas o músculos y debieron depender de la difusión de nutrientes por medio de su piel para cubrir sus requerimientos metabólicos; colectivamente se les conoce como la biota Ediacara. Hace aproximadamente 541 millones de años, ocurrió la gran explosión Cámbrica, en la que rápidamente se diversificaron especies de animales con nuevas arquitecturas corporales, en un intervalo de 10 a 30 millones de años. Durante esa época ya existían los representantes de la mayoría de los grupos modernos de animales, incluidos aquellos con esqueletos. De los animales del Cámbrico, *Pikaia* era un tipo de gusano nadador de unos cuantos centímetros de largo, que pertenecía muy probablemente a un grupo del cual todos los animales vertebrados descienden, entre ellos, los humanos.

Sin embargo, los incrementos en el nivel de oxígeno también tuvieron consecuencias para el desarrollo de la vida. El gran evento de oxidación y el segundo incremento en el nivel de oxígeno están asociados a glaciaciones globales, épocas en las que los océanos estaban completamente cubiertos por hielo. Dicho estado, conocido como Tierra bola de nieve, durante el Precámbrico (hace más de 542 millones de años), fue mucho más severo que las edades del hielo del periodo Cuaternario, que iniciaron hace aproximadamente 2.5 millones de años, ya que las glaciaciones se extendían hasta los trópicos. Se sugiere que esta etapa concluyó por la actividad volcánica, la cual generó dióxido de carbono que se acumuló en la atmósfera y provocó el aumento de la temperatura, lo cual derritió las capas de hielo y evaporó el agua hacia la atmósfera.



Aunado a este proceso de glaciación, el registro fósil indica que la vida ha atravesado por cinco extinciones masivas durante los últimos 500 millones de años. Las dos más grandes fueron aproximadamente hace 251 millones de años (Pérmico) y 65 millones de años (Cretácico); éstas eliminaron a más de 50% de las especies. Este tipo de catástrofes acaban con muchos organismos exitosos del planeta, pero al mismo tiempo dan oportunidades al florecimiento de otras líneas evolutivas, como fue el caso de los mamíferos tras la extinción de los dinosaurios.

■ **Vida fuera de la Tierra**

■ La exploración espacial se ha enfocado mayormente en predecir e identificar la presencia de agua líquida y la existencia de los elementos CHONPS, que forman 99% del material viviente. En particular, el agua y el carbono son de interés porque ambos se encuentran en las zonas de formación de los planetas. Sin embargo, existen especulaciones acerca de algunos tipos hipotéticos de bioquímica basados en elementos diferentes al carbono y disolventes diferentes al agua. Entre los primeros destaca el silicio, que al ser un elemento que comparte muchas propiedades químicas con el carbono (como los mismos cuatro enlaces) se ha propuesto como el principal elemento alternativo. Por otra parte, el disolvente alternativo más aceptado es el amoníaco (NH_3), pues éste, además de tener propiedades químicas adecuadas, permite que el agua se mantenga en forma líquida a temperaturas por debajo de 0°C , como

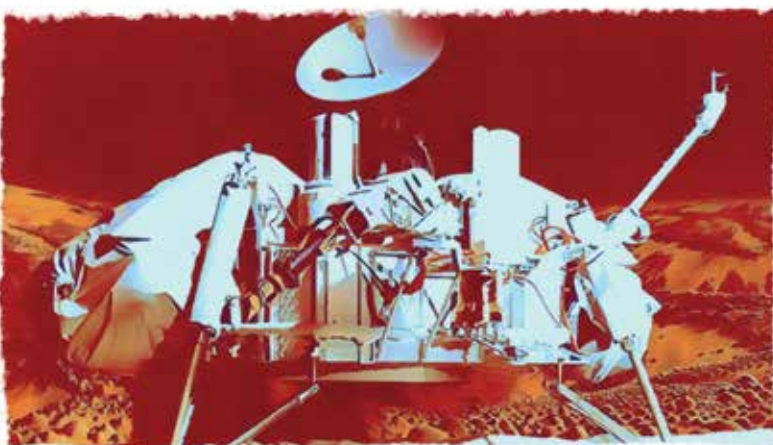
las condiciones presentes en ciertas lunas heladas de Saturno y Júpiter; se especula que el amoníaco no se encuentra en su estado puro en dichas lunas, sino más bien combinado con agua. También se ha propuesto al metano junto con otros hidrocarburos como posibles disolventes capaces de soportar una bioquímica hipotética.

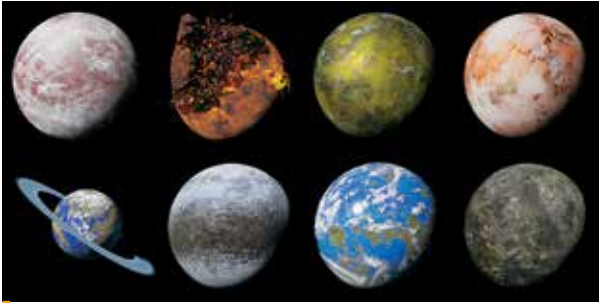
El requerimiento número uno para la vida como la conocemos es el agua, principalmente por su alta capacidad para retener calor, porque se mantiene líquida en un amplio rango de temperatura y porque es capaz de disolver un gran espectro de compuestos; por lo tanto, lo primero es buscar dicho elemento en otros lugares. Se sugiere que en el Sistema Solar la vida podría encontrar condiciones para existir en Marte; en las lunas de hielo Europa, Ganimedes y Calisto, del planeta Júpiter; las lunas Encélado y Titán, de Saturno; la luna Tritón, de Neptuno, y en Plutón, debido a la presencia de agua líquida, congelada, o bien de un océano bajo la superficie, así como a la existencia de compuestos orgánicos.

Marte ha recibido atención mediante el programa *Viking*, el cual envió una serie de robots para llevar a cabo experimentos y determinar, primero, si existían microbios marcianos que puedan obtener carbono del aire; segundo, la existencia de intercambio de gases, y, por último, realizar un experimento en el cual no se detectó material orgánico en el suelo. La evidencia indica que todavía no hay señales de vida en Marte.

En general, la propuesta para encontrar vida en otros planetas o sus lunas habitables se basa en la búsqueda de compuestos generados por la vida, como las biomoléculas (por ejemplo, el experimento Life Marker Chip). Sin embargo, también debemos estar alertas a las señales que indican la ausencia de vida; por ejemplo, grandes cantidades de hidrógeno o monóxido de carbono en la atmósfera implican que no hay vida microbiana en ese lugar, ya que los microbios rápidamente consumirían dichos compuestos.

Todo lo que observamos en el universo tiene su origen en la llamada gran explosión o *Big Bang*, que sucedió hace aproximadamente 13 800 millones de años. El universo está en expansión y las distancias





Exoplanetas.

son tan vastas que se miden en **años luz**. La Vía Láctea, que contiene un aproximado de 300 000 millones de estrellas (una de las cuales es el Sol), tiene un diámetro de entre 100 000 y 180 000 años luz. Más allá del Sistema Solar, los astrónomos han descubierto aproximadamente 3 800 exoplanetas, y el número sigue creciendo. De hecho, a finales de 2016 se descubrió un sistema planetario a una distancia aproximada de 40 años luz (aproximadamente 380 billones de kilómetros), cuya estrella es una enana roja llamada Trappist-1, que comparada con el Sol tiene una luminosidad 100 veces menor y una temperatura aproximada de entre 3 000 y 4 000 grados Kelvin. Dicho sistema está conformado por siete planetas rocosos, el más alejado tiene un periodo de órbita alrededor de su estrella de 20 días; es decir, todos los planetas están muy cerca de la estrella (menos de 0.07 **unidades astronómicas** o 4.6 millones de kilómetros).

Los astrónomos han desarrollado métodos directos e indirectos para la búsqueda de exoplanetas en el universo. Los cuatro métodos indirectos son astrometría, efecto Doppler estelar, tránsito astronómico y microlente gravitacional. Los métodos directos son aquellos que utilizan telescopios para capturar la luz proveniente de un planeta.

Para la búsqueda de vida fuera de la Tierra, los planetas más importantes son aquellos que se encuentran en la llamada zona habitable, la cual es una región de órbita alrededor de una estrella en la que pudiese existir un planeta con una atmósfera semejante a la terrestre y agua líquida en su superficie.

Como el tamaño y la brillantez de las estrellas cambian con el tiempo, dicha zona no es estática, por lo que se ha acuñado el término de zona habitable continua, que es una región alrededor de una estrella en la que un planeta podría permanecer habitable durante la mayor parte de la vida de su estrella (por ejemplo, el Sol tiene 4.6 billones de años y estrellas como ésta viven entre 9 y 10 billones de años).

Diego Santiago Alarcón

Red de Biología y Conservación de Vertebrados, Instituto de Ecología, A. C.

diego.santiago@inecol.mx

Rafael Ojeda Flores

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

ojedar@unam.mx

Gerardo Suzán Azpiri

Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Nacional Autónoma de México.

gerardosuz@gmail.com

Año luz

La luz viaja a aproximadamente 300 000 km/s; entonces, un año luz es la distancia recorrida al viajar a dicha velocidad, lo que equivale a 9.5 billones de kilómetros.

Referencias específicas

- Catling, D. C. (2013), *Astrobiology: a very short introduction*, Reino Unido, Oxford University Press.
- Domagal-Goldman, S. D. y K. E. Wright (2016), "The Astrobiology Primer v2.0", *Astrobiology*, 16(8):561-653. doi: 10.1089/ast.2015.1460
- Jackson, J. B. (2017), "The 'Origin-of-Life Reactor' and reduction of CO₂ by H₂ in inorganic precipitates", *Journal of Molecular Evolution*, 85:1-7. doi: 10.1007/s00239-017-9805-9
- Lane, N. (2016), *The vital question: energy, evolution, and the origins of complex life*, Estados Unidos de América, W. W. Norton & Co.
- Lazcano, A. (2012), "Frontier or fiction: maintaining the plausible", *Nature*, 488:160-161.
- Weiss, M. C. et al. (2016), "Reply to 'Is LUCA a thermophilic progenote?'"', *Nature Microbiology*, 1: 16230. doi: 10.1038/NMICROBIOL.2016.230

Unidad astronómica

La distancia promedio entre la Tierra y el Sol, que corresponde a aproximadamente 150 millones de kilómetros.