

*Hoja perforada, 2009*

# Las fronteras de la vida desde la perspectiva de los extremófilos

♦ Sandra I. Ramírez

Los extremófilos son organismos que no solamente sobreviven sino que se desarrollan exitosamente en las condiciones más inhóspitas e impensables para la vida. Son organismos que no sólo toleran y sobreviven a ciertas condiciones naturales extremas, sino que las requieren para poder crecer y multiplicarse.

El descubrimiento de los organismos extremófilos a mediados de los años setenta ha impulsado el fortalecimiento de proyectos orientados hacia la búsqueda de vida fuera de nuestro planeta; ha abonado en la teoría de la panspermia como una posible explicación del origen de la vida en la Tierra; ha impulsado el desarrollo de la industria biotecnológica, y ha permitido un mejor entendimiento de los factores que sustentan la vida tal como la conocemos.

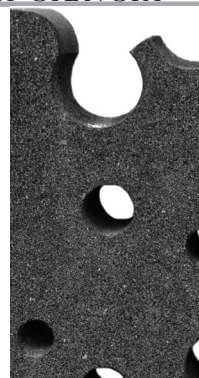
Establecer las características, parámetros y procesos necesarios para identificar vida es una cuestión fundamental en astrobiología, área multidisciplinaria enfocada en el estudio de su origen, evolución y distribución en nuestro planeta, de indicios de vida pasada o presente en diversos objetos planetarios de nuestro sistema solar y de otros sistemas planetarios, así como del análisis del destino de la vida en el universo.

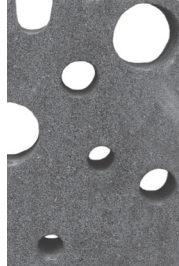
El consenso científico actual es que no existe un parámetro único que permita definir a la vida, y que más bien ésta es el resultado de múltiples eventos y sucesos concertados que ocurrieron en un momento determinado. La vida en la Tierra se distingue de la materia inanimada debido en parte a su complejidad química. Los organismos vivos integran un cierto número de elementos químicos, así como de moléculas y compuestos biológicos cuya interacción les permite mantener una estructura física estable, adquirir recursos externos como nutrientes y utilizar diferentes formas de energía para realizar sus funciones metabólicas. Los elementos biogénicos como carbono (C), hidrógeno (H), nitrógeno (N), oxígeno (O), fósforo (P), azufre (S), hierro (Fe) y magnesio (Mg), forman los tres monómeros básicos para la vida: los azúcares, los aminoácidos y los nucleótidos. Éstos, a su vez, se polimerizan y dan origen a los polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos. Los lípidos forman un cuarto grupo de macromoléculas importantes para la vida, ya que al poseer grupos polares y grupos no polares permiten que se den transformaciones químicas tanto en agua como en disolventes orgánicos.<sup>1</sup> Las funciones metabólicas de un organismo vivo incluyen al conjunto de reacciones químicas que modifican la naturaleza quími-

---

<sup>1</sup> Frank J. Stewart y Lucas J. Mix, "Life's basic components", en Lucas J. Mix (ed.), *Astrobiology*, núm. 5, vol. 6, Mary Ann Liebert Inc. Publishers, 2006, pp. 735-813.

♦ Profesora e investigadora, Centro de Investigaciones Químicas (CIQ), UAEM





ca de las moléculas presentes en sus células. Este conjunto de reacciones puede entenderse como un concierto de reacciones demandantes de energía para lograr la síntesis de biomoléculas o reacciones anabólicas y de reacciones proveedoras de energía que conducen a la degradación de los nutrientes o reacciones catabólicas.

Las particularidades comunes a todos los organismos vivos de la Tierra incluyen: una estructura molecular basada en el carbono, la ocurrencia de reacciones químicas complejas, la presencia de estructuras delimitadas por membranas, un metabolismo biosintético alimentado por fuentes externas de energía y de nutrientes, mecanismos de auto-replicación así como de almacenamiento y transferencia de información genética, y el desarrollo de mecanismos de adaptación progresiva que condujo a la evolución darwiniana. Aun con el reconocimiento de estas particularidades, es difícil avanzar una definición de vida ajena a sesgos antropocéntricos y geocéntricos. En este sentido, uno de los mayores retos para la astrobiología es precisamente llegar a proponer una definición de vida que vaya más allá del conocimiento de los organismos contemporáneos y que permita la inclusión de novedosas formas de organismos vivos que pudieran haber existido o que habiten en lugares más allá de nuestro planeta. Es en este contexto

que el estudio de los organismos extremófilos pretende identificar las fronteras del concepto de la vida en la Tierra, expandirlas y con ello apoyar la exploración del universo.

Es importante hacer mención de que algunos organismos contemporáneos no cumplen con las particularidades establecidas como universales para los organismos vivos. Tal es el caso de los virus, entidades formadas básicamente por un solo tipo de ácido nucleico y rodeadas por una cubierta de proteínas, que no son capaces de reproducirse por sí mismas sino que invaden a una célula huésped, corrompen la *maquinaria* genética del huésped y la utilizan para su propia reproducción. Otro ejemplo es el de los plásmidos, pequeñas hebras circulares de ácido desoxirribonucleico (ADN) que se reproducen en el interior de una célula huésped, pero en este caso sin dañarla. Y está también el caso de los priones, que son moléculas infecciosas formadas sólo por proteínas, que dependen también de una célula huésped para su replicación.<sup>2</sup>

Los recientes avances en biología molecular han descubierto una comunidad biológica o biota impresionantemente diversa en la Tierra, que comparte sin embargo una relación ancestral común. La comparación de secuencias de ADN conservadas y comunes a todos los seres vivos, indican que toda la biota de la Tierra se puede representar en

---

<sup>2</sup> Gerald F. Joyce, "Foreword", en David W. Dreameer y Gail R. Fleischaker (eds), *Origins of Life: The Central Concepts*, Jones and Bartlett, Boston, 1994, pp. XI-XII; Pier Luigi Luisi, "About variations and definitions of life", en *Origins of Life & Evolution Biospheres*, núms. 4-6, vol. 28, 1998, pp. 613-622; Carol E. Cleland y Christopher F. Chyba, "Defining 'life'", en *Origins of Life and Evolution Biospheres*, núm. 4, vol. 32, 2002, pp. 387-393.

un solo árbol familiar, el denominado árbol filogenético propuesto por Carl Woese en 1990.<sup>3</sup> Las estimaciones más recientes indican que la Tierra está habitada por treinta millones de especies de las cuales sólo se tienen identificadas aproximadamente a dos millones.<sup>4</sup> Cada vez que una nueva especie es identificada y se definen sus características la astrobiología se anota un punto a su favor, ya que esa información puede ser utilizada para la búsqueda de vida más allá de nuestro planeta. De las especies conocidas, el 90% corresponde a vida microbiana y se distribuye entre los aproximadamente cuarenta fila del dominio de las bacterias, veinte fila del dominio de las arqueas y doce fila del dominio de los eucariontes unicelulares. El resto se distribuye en los grupos animalia, plantae y fungi, los cuales parecen ser grupos relativamente jóvenes y ampliamente diversificados.<sup>5</sup>

Los astrobiólogos han tenido la oportunidad de modificar la idea de que la vida tal como la conocemos en la Tierra no puede existir en ciertos ambientes ni en condiciones hostiles. El descubrimiento y la caracterización de microorganismos en lugares con temperaturas extremadamente altas

o bajas, condiciones altas de acidez o de alcalinidad, con muy baja o nula concentración de oxígeno, altas presiones hidrostáticas o altos niveles de radiación, han provocado que los límites de las condiciones consideradas como adecuadas para la vida se hayan modificado. El estudio detallado de los microorganismos que habitan estos lugares también ha permitido la comprensión de los mecanismos de tolerancia hacia esas condiciones extremas y han ampliado el entendimiento de los posibles escenarios para el surgimiento de la vida en la Tierra. Se ha propuesto, por ejemplo, que los microorganismos encontrados en ambientes a muy altas temperaturas, como las registradas en las ventilas hidrotermales, fueron los detonadores de los cuales emergió y evolucionó toda la vida. Es de hecho este tipo de microorganismos el que forma la raíz del árbol filogenético de Woese.<sup>6</sup>

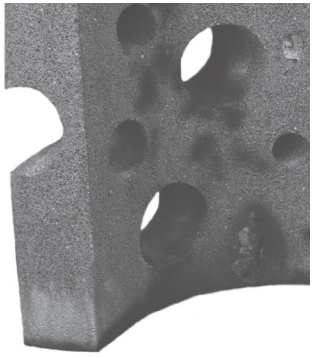
Las provocadoras propuestas de la existencia de vida fuera de nuestro planeta se sustentan principalmente en el conocimiento de las actuales formas extremas de vida en la Tierra. Se propone que la vida identificada en ambientes extremos terrestres, algunos de los cuales pueden tener una analogía

<sup>3</sup> Carl R. Woese, Otto Kandler y Mark L. Wheelis, "Towards a natural system of organisms: proposal for the domains Archaeam Bacteria, and Eucarya", en *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, núm. 12, vol. 87, 1990, pp. 4576-4579.

<sup>4</sup> Orion J. Johnson, "Biodiversity", en Lucas J. Mix (ed.), *Astrobiology, op. cit.*, p. 735; Edward O. Wilson y Frances M. Peter, *Biodiversity*, National Academic Press, Washington DC, 1988; Edward O. Wilson, "The encyclopedia of life", en *Trends in Ecology & Evolution*, núm. 2, vol. 18, 2003, pp. 77-80.

<sup>5</sup> Thomas P. Curtis, William T. Sloan y Jack W. Scannell, "Estimating prokaryotic diversity and its limits", en *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, núm. 16, vol. 99, 2002, pp. 10494-10499; Norman R. Pace, "A molecular view of microbial diversity and the biosphere", en *Science*, núm. 5313, vol. 276, 1997, pp. 734-740; Edward O. Wilson, "On global biodiversity estimates", en *Paleobiology*, núm. 1, vol. 29, 2003, p. 14.

<sup>6</sup> Carl R. Woese *et al.*, "Towards a natural...", *op. cit.*, pp. 4576-4579.



con algún lugar existente en otro objeto planetario, puede proporcionar información sobre la posibilidad de que esta vida extrema subsista o se adapte a ese lugar fuera de la Tierra. Un mejor entendimiento de los límites de la vida en la Tierra amplía las posibilidades de que la vida en otros planetas pueda identificarse, definirse y comprenderse.

Los diversos estudios realizados entre la multitud de formas de vida terrestre han permitido proponer tres aspectos fundamentales para su subsistencia: un medio líquido generalmente acuoso, una fuente de energía que les permita cumplir sus funciones metabólicas y una fuente de nutrientes que les permita construir y mantener sus estructuras celulares.<sup>7</sup> Es claro que existen lugares que, aun cuando cumplan con estos tres requerimientos, no manifiestan la presencia de organismo vivo alguno, lo cual se puede explicar considerando que hay fuerzas físicas y químicas que impactan en la habitabilidad de esos lugares y en la habilidad de los organismos para sobrevivir en ellos. Tal es el caso del desierto de Atacama, en Chile, un lugar con escasa y esporádica disponibilidad de agua líquida, utilizado como un análogo de ambientes lunares o de Marte y que es considerado como un sitio con regiones estériles en nuestro propio planeta.

El descubrimiento de extrañas y novedosas formas de vida en lugares identificados hasta hace pocos años como imposibles para el desarrollo y

subsistencia de éstas, ha modificado los valores preconcebidos como los límites o fronteras de la vida. A medida que estos límites se redefinen, los astrobiólogos van siguiendo más entusiastamente los cambios hacia los nuevos valores. Los organismos extremófilos son precisamente quienes se han encargado de ir delineando estas nuevas fronteras. Los científicos han aprendido que la actividad biológica existe a lo largo de un vasto intervalo de extremos fisicoquímicos, que incluyen por ejemplo temperaturas extremadamente altas o bajas, valores de extrema acidez o de considerable alcalinidad, carencia de oxígeno o de radiación solar, entre muchos otros. Es importante destacar que los límites para la vida se definen en términos de la verificación de actividad metabólica de los organismos a cierta condición extrema y no solamente en términos de sobrevivencia. En este último caso, los límites podrían todavía extenderse a valores más extremos; por ejemplo, los procariontes pueden sobrevivir a temperaturas menores a los  $-20^{\circ}\text{C}$ , límite inferior a la baja temperatura soportada por un organismo, aunque se ha demostrado que a ese nivel los procariontes no se mantienen metabólicamente activos.<sup>8</sup>

### Lo extremo

Los organismos extremófilos habitan lugares con condiciones difíciles, dañinas o hasta letales desde

<sup>7</sup> Ricardo Cavicchioli, "Extremophiles and the search for extraterrestrial life", en *Astrobiology*, núm. 3, vol. 2, 2002, pp. 281-292; Lynn J. Rothschild y Rocco L. Mancinelli, "Life in extreme environments", en *Nature*, núm. 6823, vol. 409, 2001, pp. 1092-1101.

<sup>8</sup> Giles M. Marion, Christian H. Fritsen, Hajo Eiken y Meredith C. Payne, "The search for life on Europa: limiting environmental factors, potential habitats, and Earth analogues", en *Astrobiology*, núm. 4, vol. 3, 2003, p. 785-811.

el punto de vista de organismos mesófilos, que es como se denomina a los organismos no extremófilos, como los seres humanos y la mayoría de las plantas y animales superiores. De la misma manera, las condiciones que son adecuadas para éstos pueden ser difíciles o perjudiciales para muchos de los extremófilos. Siendo así, conviene preguntarse qué es lo que en realidad debe considerarse como extremo y desde cuál punto de vista.

Existen dos alternativas que pretenden responder a estas cuestiones. La primera se sustenta en una perspectiva evolutiva, es decir, parte del principio de que el ambiente primitivo en el que se originó la vida en este planeta es lo que define a un ambiente normal, y toda condición o parámetro que sea distinto a esas condiciones primitivas se debe considerar como extremo. Por lo tanto, si la tesis es que la vida se originó en un ambiente de tipo ventila hidrotermal en donde las condiciones de altas temperaturas, carencia de oxígeno, alta presión y poca radiación solar, eran las imperantes, entonces cualquier ambiente diferente a éste se considera como extremo.<sup>9</sup>

La segunda alternativa es más objetiva para definir un ambiente extremo y es congruente con la definición etimológica del término. Esta alternativa considera que los factores físicos (temperatura, presión, radiación), geoquímicos (deseccación, salinidad, acidez, disponibilidad de oxígeno, potencial de óxido-reducción) y biológicos (nutrientes,

formas de energía), se pueden visualizar como un amplio y continuo intervalo de valores en los que se han identificado organismos o microorganismos adaptados y que sobreviven exitosamente. Las fronteras que enmarcan este intervalo continuo de valores es lo que se identifica como ambiente extremo, y es precisamente en estas fronteras en donde no todos los organismos tienen la posibilidad de sobrevivir, ya que algunos de esos valores extremos pueden, por ejemplo, degradar o destruir ciertas biomoléculas. Los organismos extremófilos se las han ingeniado para proliferar en estos ambientes extremos.<sup>10</sup>

Definir qué tan extremo puede ser un ambiente y qué tan adecuado puede ser para mantener vida es una tarea crucial para los astrobiólogos. Identificar los límites de crecimiento y de sobrevivencia de un organismo indiscutiblemente ayuda en la definición de protocolos de búsqueda de vida tanto en la Tierra como en el resto del universo.

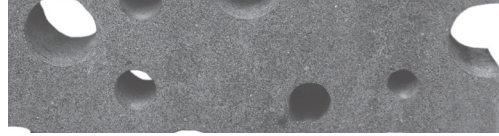
#### Clasificación de los extremófilos

La mayoría de los extremófilos son microorganismos unicelulares, pero también se han identificado organismos eucariontes multicelulares capaces de sobrevivir en ambientes extremos y algunos de ellos inclusive se pueden incluir entre los extremófilos. Por ejemplo, *Alvinella pompejana* es una lombriz o anélido segmentado que vive en las ventilas del suelo oceánico de la dorsal del Pacífico

<sup>9</sup> Lynn J. Rothschild y Rocco L. Mancinelli, "Life...", *op. cit.*, pp. 1092-1101.

<sup>10</sup> *Ibid.*





oriental, en donde está expuesto a las condiciones de las ventilas hidrotermales (350 °C, ausencia de oxígeno, alta acidez, abundancia de CO<sub>2</sub> y sulfuros metálicos), al mismo tiempo que a las condiciones de las aguas del océano profundo (2 °C y bajo contenido de oxígeno).

Los tardígrados u osos de agua son el mejor ejemplo de un organismo multicelular poliextremófilo, es decir, que puede tolerar varios parámetros extremos a la vez. Estos diminutos organismos (0.05-1.5 mm de longitud) que se han identificado en aguas marinas, playas, aguas dulces, hielos del Himalaya, musgos y líquenes, pueden sobreponerse a periodos de desecación de cientos de años, a valores de presión atmosférica 6 000 veces mayores que la recibida en la superficie terrestre, a temperaturas tan bajas como -272 °C o tan altas como de 151 °C y al bombardeo con rayos X en dosis 1 000 veces mayores que las soportadas por un ser humano.<sup>11</sup> Su resistencia radica en su habilidad para detener su metabolismo y reemplazar toda el agua intracelular con el azúcar trehalosa, manteniendo así su integridad celular y su capacidad para continuar creciendo y reproduciéndose al percibir que las condiciones no le son propicias.<sup>12</sup>

Se han identificado organismos extremófilos en los tres dominios del árbol filogenético de Woese.<sup>13</sup> Los hipertermófilos y algunos halófilos se agrupan en el dominio de las arqueas y en el de las bacte-

rias; mientras que los psicrófilos, los acidófilos, los alcalófilos, los piezófilos, los xerófilos y los halófilos son comunes en el dominio de las bacterias y en el de los eucariontes.

#### **Mecanismos de sobrevivencia**

Los extremófilos han desarrollado ingeniosos mecanismos que les permiten soportar las difíciles condiciones a las que están expuestos en su medio ambiente. Estos mecanismos les permiten evitar el congelamiento, la desecación, la falta de nutrientes, los altos niveles de radiación y muchos otros retos ambientales.<sup>14</sup> Algunos de estos mecanismos incluyen el mantener las condiciones extremas ajenas a la célula (formar esporas y mantenerse latente hasta que las condiciones hayan mejorado); alertar a la célula de las condiciones extremas existentes para disparar mecanismos de defensa (hacer funcionar a las bombas de iones para incrementar su presencia en el citoplasma); modificar la química intracelular para producir compuestos que eviten la desecación o la presión osmótica (producción de solutos compatibles); modificar la composición de la membrana para hacerla más resistente (incrementar la producción de ácidos grasos para resistir altas temperaturas); mejorar la capacidad de reparación (reparar rápidamente daños ocasionados a las biomoléculas esenciales como ADN o enzimas).

---

<sup>11</sup> *Ibid.*; Jon Copley, “Indestructible”, en *New Scientist*, núm. 2209, vol. 164, 1999, pp. 44-46.

<sup>12</sup> *Ibid.*

<sup>13</sup> Carl R. Woese *et al.*, “Towards a natural...”, *op. cit.*, pp. 4576-4579.

<sup>14</sup> Annika C. Mosier, “Life in extreme environments”, en Lucas J. Mix (ed.), *Astrobiology*, *op. cit.*, p. 799.

La identificación de las estrategias de adaptación utilizadas por los extremófilos ha sido de gran beneficio para diversas áreas del conocimiento, desde la biología molecular o la biología evolutiva hasta las industrias biotecnológicas en ámbitos como el agrícola, el alimenticio, el farmacéutico o el químico. En años recientes se han desarrollado interesantes y ambiciosos proyectos de investigación y de transferencia de tecnología centrados en el estudio de los extremófilos. Las extremoenzimas o enzimas de algunos de los extremófilos pueden utilizarse en una amplia variedad de aplicaciones.

#### **Ambientes extremos terrestres y extraterrestres**

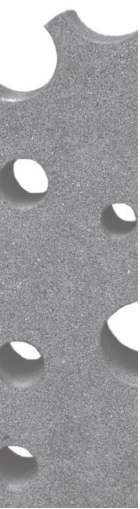
Uno de los objetivos que los astrobiólogos buscan cumplir cuando estudian ambientes terrestres extremos es identificar las características que les permitan proponerlos como análogos de los ambientes existentes en otros planetas o satélites. De esta manera pueden comprender mejor las características de esos lugares extraterrestres remotos y redefinir las estrategias de búsqueda de vida que se pueden aplicar en ellos.

En nuestro planeta existe una gran diversidad de ambientes extremos que albergan diversas y sorprendentes formas de vida; se pueden identificar lugares con altos valores de temperatura, como los desiertos, el interior de volcanes, las aguas termales, el subsuelo terrestre, las ventilas hidrotermales y las chimeneas marinas o *black smokers*. O

con bajos valores de temperatura, como los hielos polares, los hielos alpinos, el suelo oceánico y el sistema de lagos de la Antártida, de donde se destaca el lago Vostok. También existen lugares con altos niveles de radiación, como los reactores nucleares o los tiraderos de desechos químicos tóxicos. En todos ellos ha sido detectada alguna forma de vida extrema y algunos de estos lugares se estudian a detalle con el fin de mejorar las técnicas de exploración de lugares como el planeta Marte o los satélites naturales Titán y Europa, pero sobre todo con el fin de evaluar los mecanismos de detección de vida extraterrestre.

Se cree que el subsuelo de Marte posee una estructura semejante al subsuelo terrestre. El descubrimiento de organismos quimiosintéticos en las profundidades de la corteza terrestre sugiere la posibilidad de que se encuentren organismos similares debajo de la superficie del planeta rojo. Los organismos quimiosintéticos son capaces de convertir compuestos como el bióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) o el metano (CH<sub>4</sub>) en compuestos biológicamente funcionales que les permiten vivir. La posibilidad de encontrar agua líquida en el subsuelo de Marte, en donde los valores de temperatura son mucho más propicios para la vida que los reportados para su superficie, son condiciones que los organismos litoautótrofos terrestres podrían soportar. Se ha propuesto también que el subsuelo marciano podría contener cantidades considerables de hielo de agua. El descubrimiento de organismos psicrófilos





que crecen a  $-10^{\circ}\text{C}$  y realizan sus funciones metabólicas aun hasta  $-20^{\circ}\text{C}$ <sup>15</sup> en las zonas heladas de la Tierra, así como la ventaja que ofrecen estos hielos de preservar restos y señales químicas de la vida que existió hace miles de millones de años en nuestro planeta, sugieren que deben realizarse esfuerzos importantes en la búsqueda de vida o restos de ésta en los hielos de Marte.<sup>16</sup>

Los lagos Vida y Vostok de la Antártida tienen características que permiten identificarlos como análogos al océano del satélite Europa. En ambos casos, una gruesa cubierta de hielo descansa sobre un océano salino. La identificación de una multitud de microorganismos en estos lagos subterráneos terrestres hace pensar que la situación del océano de aquel satélite podría ser similar. Para este océano también se propone la existencia de ventilas hidrotermales. En la Tierra, las ventilas hidrotermales son nichos ecológicos muy activos en donde los microorganismos quimioautótrofos convierten algunos compuestos químicos inorgánicos en energía y biomasa, sustento de una cadena alimenticia formada por ostras, lombrices, camarones, cangrejos, peces y animales mayores.

### Los extremófilos y la astrobiología

El descubrimiento de comunidades de microorganismos que viven dentro de rocas proporciona evidencia suficiente para pensar que la vida en nuestro planeta puede existir aun en lugares totalmente carentes de luz solar y de una fuente externa de nutrientes. Proporciona también evidencias para sustentar la búsqueda de microorganismos en el interior de los meteoritos que continuamente caen en la Tierra; tal es el caso del meteorito marciano ALH84001<sup>17</sup> y de muchos otros que se han recolectado en los hielos de la Antártida. Estos microorganismos podrían servir como un mecanismo de protección y sobrevivencia ante cataclismos de gran escala que pudieran esterilizar a nuestro planeta y como vehículos de intercambio interplanetario en el esquema de la teoría de la panspermia, la cual sostiene que la vida pudo haberse originado en la Tierra como consecuencia de su inoculación por microorganismos provenientes de otro lugar del universo y la posterior colonización, por esos microorganismos, de los océanos y la superficie terrestre.<sup>18</sup> Más aún, se ha calculado que un número significativo de meteoritos pueden viajar de un ob-

---

<sup>15</sup> Corien Bakermans, Alexandre I. Tsapin, Virginia Souza-Egipsy, David A. Gilichinsky y Kenneth H. Nealson, "Reproduction and metabolism at  $-10^{\circ}\text{C}$  of bacteria isolated from Siberian permafrost", en *Environmental Microbiology*, núm. 4, vol. 5, 2003, pp. 321-326.

<sup>16</sup> Giles M. Marion, Christian H. Fritsen, Hajo Eiken y Meredith C. Payne, "The search for life on Europa: limiting environmental factors, potential habitats, and Earth analogues", en *Astrobiology*, núm. 4, vol. 3, 2003, p. 785-811; Jeffrey S. Kargel, Jonathan Z. Kaye, James W. Head, Giles M. Marion, Roger Sassen, James K. Crowley, Olga Prieto Ballesteros, Steven A. Grant y David L. Hogenboom, "Europa's crust and ocean: origin, composition, and the prospects for life", en *Icarus*, núm. 1, vol. 148, 2000, pp. 226-265.

<sup>17</sup> David S. McKay, Everett K. Gibson Jr., Kathie L. Thomas-Keprta, Hojatollah Vali, Christopher S. Romanek, Simon J. Clemett, Xavier D. F. Chillier, Claude R. Maechling y Richard N. Zare, "Search for past life on Mars: possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001", en *Science*, vol. 273, 1996, pp. 924-930.

<sup>18</sup> Paul Davis, "Survivors from Mars", en *New Scientist*, vol. 159, 1998, pp. 24-29; Svante Arrhenius, *Worlds in the Making*, Harper & Brothers, New York, 1908.

jeto planetario a otro en periodos de aproximadamente diez años;<sup>19</sup> pero si este tiempo de viaje interplanetario fuera mayor, hay evidencia suficiente que indica la habilidad de muchos microorganismos para mantenerse viables por periodos de millones de años. Por ejemplo, se han resucitado exitosamente las esporas bacterianas de algunas especies del género *Bacillus* preservadas en ámbar<sup>20</sup> de hace veinticinco a cuarenta millones de años y en cristales encontrados en salinas primitivas<sup>21</sup> que datan de hace 250 millones de años.

Se ha propuesto que el antepasado de todas las formas de vida de la Tierra, es decir, el último ancestro común, fue un organismo amante de los ambientes cálidos —es decir, un termófilo— y que los organismos hipertermófilos actuales aún mantienen muchas de las características atribuidas al último ancestro común.<sup>22</sup> También se ha propuesto que las primeras formas de vida de la Tierra se originaron más bien en ambientes fríos<sup>23</sup> y esta hipótesis, además de la importancia que tiene pa-

ra poder explicar el origen de la vida terrestre, puede proporcionar argumentos importantes para impulsar la búsqueda de vida en lugares como la fría superficie del planeta Marte o el helado océano del satélite Europa.

La capacidad de los extremófilos de sobrevivir a altos niveles de radiación, particularmente radiación UV, y de degradar compuestos tóxicos, ha abierto la discusión sobre el papel que estos organismos pudieran jugar en proyectos de colonización de otros planetas ubicados en sistemas planetarios diferentes al nuestro. La habilidad de algunos organismos terrestres para colonizar ambientes extremos ha ampliado el número de objetos planetarios que pueden ser candidatos para detectar alguna forma de vida o para la búsqueda de registros fósiles de alguna forma de vida pasada. Al cuestionarnos acerca de los lugares en los que puede encontrarse vida extraterrestre, sería muy útil voltear a ver los lugares que albergan vida en nuestro planeta.

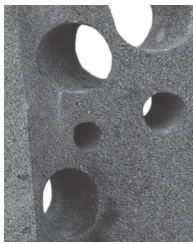
<sup>19</sup> Benjamin P. Weiss, Joseph L. Kirschvink, Franz J. Baudenbacher, Hojatollah Vali, Nick T. Peters, Francis A. Macdonald y John P. Wikswo, “A low temperature transfer of ALH84001 from Mars to Earth”, en *Science*, núm. 5492, vol. 290, 2000, pp. 791-795.

<sup>20</sup> Raúl J. Cano y Mónica Borucki, “Revival and identification of bacterial spores in 25 to 40 million year old Dominican amber”, en *Science*, núm. 5213, vol. 268, 1995, pp. 1060-1064.

<sup>21</sup> Stefan Leuko, Andrea Legat, Sergiu Fendrihan, Heidi Wieland, Christian Radax, Claudia Gruber, Marion Pfaffenhuemer, Gerhard Weidler y Helga Stan-Lotter, “Very similar strains of *Halococcus salifodinae* are found in geographically separated Permo-Triassic salt deposits”, en *Microbiology*, núm. 12, vol. 145, 1999, pp. 3565-3574.

<sup>22</sup> Karl O. Stetter, “Hyperthermophilic prokaryotes”, en *FEMS Microbiology Reviews*, núms. 2-3, vol. 18, 1996, pp. 149-158.

<sup>23</sup> Matthew Levy, Stanley L. Miller, Karen Brinton y Jeffrey L. Bada, “Prebiotic synthesis of adenine and amino acids under Europa-like conditions”, en *Icarus*, núm. 2, vol. 145, 2000, pp. 609-613; Matthew Levy and Stanley L. Miller, “The stability of the RNA bases- implications for the origin of life”, en *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, núm. 14, vol. 95, 1998, pp. 7933-7938.



El estudio de los mecanismos de crecimiento y de sobrevivencia de los organismos extremófilos proporciona información que no puede obtenerse directamente por el simple estudio físico de los ambientes en los que ellos proliferan. Esa información se puede utilizar para desarrollar métodos que permitan resucitar a un organismo en estado latente y métodos de cultivo de formas de vida extraterrestre si ésta llegara a ser descubierta, para comprender, por ejemplo, cómo la vida extraterrestre podría sobrevivir a un viaje interplanetario.<sup>24</sup> También se puede utilizar para definir nuevos biomarcadores que ayuden en la determinación del controversial origen biótico o abiótico de estructuras como las observadas en el meteorito ALH84001,<sup>25</sup> semejantes a estructuras minerales encontradas en cuevas a cinco kilómetros por debajo del lecho marino<sup>26</sup> y también a estructuras descubiertas en cálculos renales humanos.<sup>27</sup>

### Nuevos descubrimientos

El descubrimiento de organismos extremófilos ha expandido nuestro conocimiento de las fronteras de la vida terrestre y ha avivado la idea de que la vida pudo haberse originado en algún otro lugar del universo. Su estudio ha entrado en su etapa más interesante, ya que los resultados recientes han atraído la atención de especialistas en diversas áreas del conocimiento y se ha despertado también la conciencia del potencial comercial que los extremófilos y las extremoenzimas representan. El reconocimiento de todo lo que aún desconocemos en torno a la diversidad microbiana y el mejoramiento de las técnicas de exploración de lugares recónditos, así como de las metodologías analíticas necesarias para la identificación de biomarcadores o de entidades vivas, sugieren que en los años venideros se realizarán muchos más descubrimientos sorprendentes relacionados con los extremófilos.

---

<sup>24</sup> Ricardo Cavicchioli, "Extremophiles...", *op. cit.*, pp. 281-292.

<sup>25</sup> David S. McKay *et al.*, "Search for past life...", *op. cit.*, pp. 924-930.

<sup>26</sup> Philippa J. R. Uwins, Richard I. Webb y Anthony P. Taylor, "Novel nano-organisms from Australian sandstones", en *American Mineralogist*, núms. 11-12, vol. 83, 1998, pp. 1541-1550.

<sup>27</sup> E. Olavi Kajander y Neva Çiftçioglu, "Nanobacteria-an alternative mechanism for pathogenic intra- and extracellular calcification and stone formation", en *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America*, núm. 14, vol. 95, 1998, pp. 8274-8279.