

Organismos extremófilos

Vivir al límite

Por Susana Gallardo | sgallardo@de.fcen.uba.ar

Los organismos capaces de resistir condiciones de vida extremas, como las muy altas temperaturas o la escasez de nutrientes, acaparan la atención de muchos investigadores que no dudan en rastrearlos ya sea en la Antártida o en la Puna andina. Es más, hay quienes piensan que podrían existir organismos similares fuera del sistema solar. Además, los extremófilos tienen interesantes aplicaciones en biotecnología.

Tal vez no simpatizarían con la posición de Aristóteles, que defendía el justo medio entre el exceso y el defecto. Ellos, en cambio, apuestan por la desmesura. Son amantes de las condiciones extremas, por eso se los bautizó “extremófilos”. En general, se trata de organismos unicelulares, aunque algunos miembros del club son pluricelulares, incluso algún vertebrado completó el formulario para pertenecer al grupo.

El hecho es que esos organismos que viven al límite constituyen un interesante objeto de interés para muchos científicos. Por un lado, porque su sola existencia suma sustento a la idea de que hay vida más allá de la Tierra, en lejanos sistemas solares con condiciones bien extremas. Por otro lado, esas bacterias podrían hacer un aporte a la biotecnología, ya que pueden “trabajar” en las duras

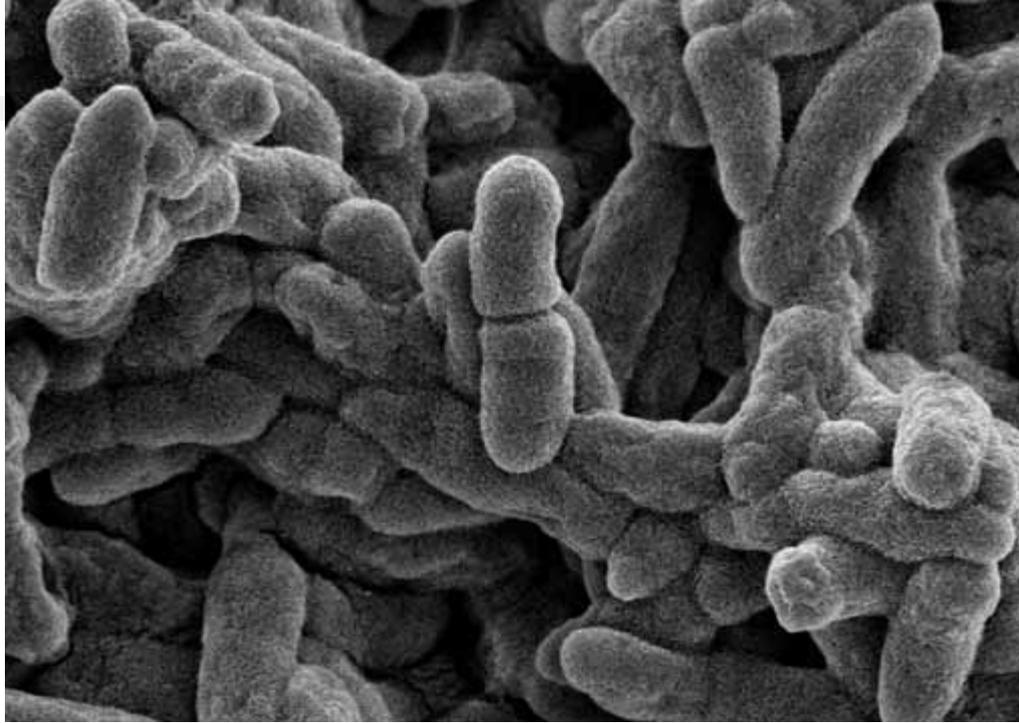
condiciones, por ejemplo de temperatura, que se dan en la industria.

Algunos investigadores los rastrean en lagunas antárticas que permanecen congeladas la mayor parte del año. En su busca, otros exploran los desiertos de la puna andina. Pero también hay quien los somete a duras pruebas para confirmar cuánto aguantan y así poder hipotetizar las probabilidades de que organismos parecidos habiten remotos planetas.

Estromatolitos en la laguna de Socompa, provincia de Salta (Gentileza M.E.Farías)



Pseudomonas extremaustralis. MEB.
(Nancy López)



Soportar lo peor

Pero ¿en qué consiste ser un extremófilo? “Con ese nombre se designa a los organismos que viven en condiciones diferentes a las que sobrelleva la mayoría de los seres vivos que conocemos”, define el doctor Eduardo Cortón, profesor en el Departamento de Química Biológica de la FCEyN. Por ejemplo, hay organismos que viven a temperaturas muy altas o muy bajas en comparación con el promedio de las condiciones en la Tierra. Otros habitan en lugares muy salados (más de 100 gramos de sal por litro) respecto de la salinidad media en los mares, que es de 35 gramos de sal por litro. Respecto del pH, lo normal para un ser vivo es entre 5 y 9. Los que toleran valores por encima (muy alcalinos) o por debajo (muy ácidos) de esos, son extremófilos.

También se define como extremo “aquel ambiente en el que se ve afectada la funcionalidad de las macromoléculas, como el ADN y las proteínas”, detalla la bióloga Ximena Abrevaya, que estudia organismos que soportan condiciones extremas, como parte de su tesis doctoral que realiza en la FCEyN y en el Instituto de Astronomía y Física del Espacio. “Por ejemplo, las bacterias termófilas, que viven a temperaturas que superan el punto de ebullición del agua, poseen mecanismos moleculares especialmente adaptados para evitar que el ADN y las proteínas se desnaturalicen por el calor”, agrega la investigadora.

Hay extremófilos en los tres dominios de la vida, tanto en bacterias y arqueas (bacterias antiguas), como en eucariotas, cuyo material genético está encerrado dentro de una doble membrana que delimita un núcleo celular. Entre los eucariotas, se puede mencionar a los tardígrados, u osos de agua, invertebrados microscópicos de ocho patas, que son capaces de resistir una multiplicidad de condiciones adversas como el vacío y las radiaciones del espacio.

En cuanto a seres vivos más evolucionados, hay algunos que están adaptados a ciertas condiciones en determinada época del año, por ejemplo, por la producción de alguna sustancia anticongelante.

Algunos organismos resisten más de una condición extrema. Los termoacidófilos toleran alta temperatura y ambiente ácido. Los haloalcalófilos, el ambiente salino y acidez alta.

Bajo cero

Irina Izaguirre, investigadora del Departamento de Ecología Genética y Evolución de la FCEyN, estudia el plancton de las lagunas antárticas. Extrae el material y lo analiza desde el punto de vista genético, para identificar las especies y determinar si son endémicas de la zona o si también habitan otras regiones del planeta.

“Encontramos pocas bacterias que sólo fueron registradas en la Antártida; otras poseen secuencias genéticas similares a especies halladas en la Patagonia, y otras se encuentran en ambientes muy fríos, como la alta montaña, los glaciares y el Ártico”, relata Izaguirre.

Esos resultados sustentan la hipótesis de que los microorganismos no reconocen barreras geográficas, porque se dispersan muy fácilmente, transportados por las aves y por el hombre. “Habría una dispersión y una selección de aquellos genotipos que son los más adecuados para vivir en esas condiciones extremas”, explica.

La investigadora halló, entre otros organismos, algas eucariotas y cianobacterias, con diferentes estrategias de supervivencia. Cuando los lagos se congelan, algunas de ellas producen esporas para sobrevivir.

En invierno, por la falta de luz, las algas no pueden hacer fotosíntesis, entonces algunas especies tienen la capacidad de cambiar su metabolismo e incorporar materia orgánica disuelta en el agua, como azúcares y aminoácidos, o hacer fagotrofia ingiriendo bacterias.

Por su parte, la doctora Nancy López, del Departamento de Química Biológica de la FCEyN, está interesada en los compuestos que las bacterias pueden fabricar cuando se hallan en condiciones extremas. Buscando en la Antártida, encontró una nueva especie

RECURSOS PARA LA VIDA EXTREMA

La supervivencia de los extremófilos es posible debido a que sus células tienen componentes y propiedades particulares que les permiten mantenerse estables en el entorno en el que viven. Por un lado, contienen enzimas estables, que no se desnaturalizan ante las altas temperaturas, y soportan también las temperaturas bajo cero, o los pH muy ácidos o muy alcalinos. Por ello se las denomina extremozimas.

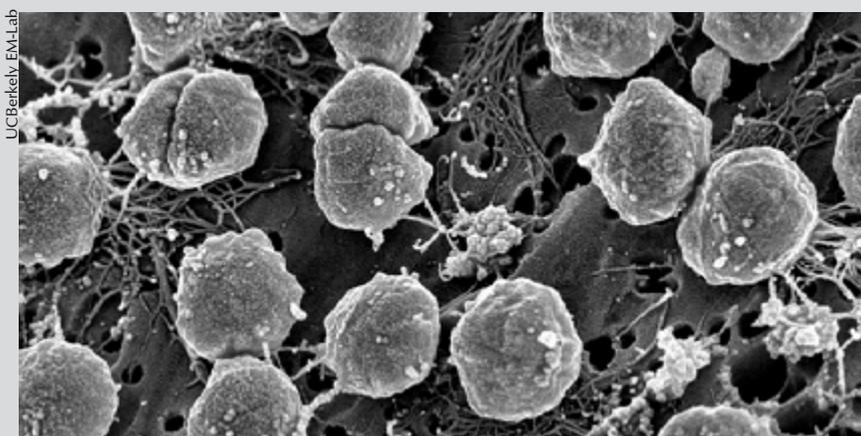
Otra característica protectora es la membrana celular, que no está conformada por una bicapa de lípidos, como en el resto de los seres vivos, sino por una monocapa, con uniones químicas distintas a las de las membranas convencionales, y que otorga mayor estabilidad.

En cuanto a los microorganismos que habitan en ambientes muy salinos, éstos acumulan sales en el interior de la célula, de manera de mantener un equilibrio osmótico con el medio que los rodea y no deshidratarse. Por su parte, los que viven en regiones muy frías acumulan compuestos que impiden el congelamiento.

Entre los extremófilos, como sucede en cualquier grupo social, hay famosos. Ya sea porque fueron los primeros en ser hallados, porque soportan condiciones realmente fuera de lo común, o por ser preferidos por muchos investigadores. Uno de ellos es *Methanococcus jannaschii*, una especie descubierta en las profundidades del océano, en la base de una fuente hidrotermal en el Pacífico Oriental. Resiste muy altas presiones, de alrededor de 200 atmósferas; es anaeróbica y metanogénica, pues produce metano a partir del dióxido de carbono y el hidrógeno.

“*Methanococcus jannaschii*, es una vedette de estos organismos, pues fue el primero en ser estudiado en volcanes submarinos. Pertenece a las arqueas y fue la primera de ellas cuyo genoma fue secuenciado completamente”, señala el doctor Norberto Iusem, profesor en el Departamento de Fisiología y Biología Molecular y Celular de la FCEyN.

Otro que soporta grandes presiones es *Bacillus infernus*, que vive a casi tres kilómetros de profundidad, a alta temperatura (50 grados centígrados) y sin oxígeno. Por su parte, *Thermus aquaticus* es reconocida porque permitió desarrollar la técnica de reacción en cadena de la polimerasa (PCR) que ha sido fundamental para el desarrollo de la ingeniería genética. La bacteria en cuestión es capaz de soportar altas temperaturas. No es para menos: fue hallada en las fuentes termales del parque Yellowstone, en Estados Unidos.



Methanococcus jannaschii

de pseudomonas, que bautizó como *Pseudomonas extremaustralis*. Cabe aclarar que esta bacteria no es patógena para el hombre, a diferencia de su pariente, la *P. aeruginosa*, un bacilo oportunista que infecta, sobre todo, el tracto pulmonar en seres humanos y causa neumonías.

Si bien esta bacteria tiene su crecimiento óptimo a los 28 grados centígrados, se las arregla muy bien en las gélidas condiciones de la Antártida. Es poderosa: resiste el frío, la radiación ultravioleta así como la escasez de nutrientes, y para enfrentar esas duras condiciones ambientales produce una sustancia de reserva que despierta sumo interés: el polihidroxibutirato (PHB), un polímero con el que se puede fabricar plástico biodegradable.

López relata: “Para nuestra sorpresa, encontramos que la bacteria producía una alta cantidad del polímero, más del 80 por ciento del peso seco, que es muy alta en una especie que normalmente produce 40 por ciento, y además un tipo de compuesto que no es habitual en este microorganismo”. El polímero en cuestión es una sustancia de reserva que ayuda a las bacte-

rias a sobrellevar el estrés ambiental.

La “poderosa” bacteria fue sometida a pruebas de resistencia al frío y al congelamiento, y los investigadores observaron que, si mutaban el gen responsable de la producción del polímero, la bacteria no era capaz de crecer en el frío y no soportaba el estrés oxidativo, es decir, era incapaz de hacer frente al aumento de moléculas de oxígeno reactivo que se producen a raíz de los cambios metabólicos debidos a las duras condiciones del entorno.

Vida extraterrestre

Por su parte, Ximena Abrevaya trabaja con un tipo de arqueas, las haloarqueas, que viven en hábitats con altas concentraciones de sal. “Son de relevancia en astrobiología porque se cree que serían similares a los microorganismos que podrían encontrarse en planetas como Marte”, explica Abrevaya. Esa hipótesis se sustenta en el hallazgo de meteoritos marcianos que contienen halitas, rocas de sal similares a algunas encontradas en la Tierra y que tienen millones de años de antigüedad. “Dado que en estos meteoritos se hallaron

halitas y que en nuestro planeta se encontraron estos microorganismos en rocas de sal, uno podría pensar que organismos similares podrían existir en otros planetas que poseen ambientes salinos tales como Marte”, sugiere.

“En la búsqueda de vida fuera de nuestro sistema solar, los planetas que podrían albergar vida son aquellos que orbitan estrellas de tipo M. Estas estrellas emiten en el rojo y poseen una temperatura superficial que va desde los 3100 a los 3900 grados centígrados”, detalla. Las estrellas se clasifican mediante letras en una escala de mayor a menor temperatura, y sus colores van del azul (las muy calientes) hasta las rojas (tipo M), que son mucho más frías, pasando por las amarillas, como el Sol.

La investigadora somete a las arqueas a altos niveles de radiación UV, para determinar si pueden sobrevivir a las condiciones que existirían en algunos planetas extrasolares. En particular, trabaja con radiación UV-C, que es la más nociva por tener más alta energía. Esta no llega a la superficie terrestre gracias a que es retenida por la capa de ozono.

La radiación UV tiene cierta relevancia para la vida. Por un lado, es mutagénica y puede producir la muerte de los microorganismos. Pero, por otro lado, podría tener un efecto beneficioso en el caso de que esas mutaciones otorguen ventajas a los microorganismos, lo cual podría ser importante desde el punto de vista evolutivo.

Los organismos que no son resistentes a los rayos UV mueren a dosis mucho más bajas, por ejemplo, *Escherichia coli* se inactiva luego de unos pocos minutos de ser irradiada. Los microorganismos resistentes, en cambio, tienen sistemas que les



Recolección de muestras en distintos tipos de ambientes con condiciones extremas. Derecha: Recolección de muestras de plancton en un lago antártico (Bahía Esperanza) para análisis moleculares. (Gentileza: Cristina Marinone). Izquierda: María Eugenia Farías estudia las lagunas que se encuentran por encima de los 3600 metros, en la Puna andina (Gentileza M.E.Farías).

permiten bloquear la radiación UV. “Incluso, se vio que las altas concentraciones de sal pueden servir de pantalla a los rayos UV”, comenta la investigadora, que irradiaba las arqueas con dosis muy altas.

Ella trabaja con dos especies de arqueas, una fue aislada en el lago salino Magadi, en Kenia, África. La otra proviene del sedimento del fondo del Mar Muerto. Estas arqueas halófilas que viven en medios salinos, también soportan la desecación. Normalmente, cuando hay mucha sal en el medio, por balance osmótico, el agua tiende a salir de la célula. En cambio, estos organismos pueden retener agua dentro de la célula gracias a las concentraciones de potasio o a la presencia de moléculas orgánicas especiales.

Los organismos extremófilos tienen interés en la biotecnología y la industria debido a sus enzimas. El caso típico es la enzima que se emplea en la técnica PCR, que se mantiene estable a altas temperaturas. En cuanto a los halófilos, se investiga la obtención de proteasas, con aplicación en la industria de alimentos, manufacturas de cueros, y textiles, entre otras.

Puna salteña

En la desértica Puna andina, la microbióloga María Eugenia Farías estudia la vida microscópica que habita las lagunas que están por encima de los 3600 metros sobre el nivel del mar. Allí predominan las condiciones extremas de salinidad, alto índice de radiación UV, baja presión de oxígeno y escasos nutrientes. Además, se producen drásticos cambios de temperatura: de noche, 20 grados bajo cero; de día, alrededor de 30 grados. Allí, en lagunas poco profundas, con alto contenido de arsénico y un pH demasiado ácido

o muy alcalino, viven bacterias, arqueas y algunas pocas algas. Esas condiciones extremas son muy parecidas a las de la Tierra en sus orígenes.

“Estudiamos cómo se adaptan los organismos a la luz ultravioleta, al arsénico, o al exceso de sodio. A nivel molecular, estudiamos los nuevos compuestos que producen y que les permiten adaptarse, como pigmentos, antioxidantes, compuestos fitotóxicos, polisacáridos, entre otros.”

Curiosamente, los investigadores encontraron que esos organismos tienen resistencia a los antibióticos. “Todas las bacterias de estos ambientes fueron resistentes hasta a ocho antibióticos, y en concentraciones mayores a las aceptadas”, afirmó Farías, responsable del Laboratorio de Investigaciones Microbiológicas de Lagunas Andinas, del Conicet.

Y agregó: “De este modo, la idea de que la resistencia es un fenómeno exclusivamente intrahospitalario podría ponerse en duda”.

Dado que esos organismos son resistentes a tantos factores, los antibióticos serían un factor más. “Tal vez, esos ambientes extremos sean reservorios para estas resistencias. Desde el punto de vista epidemiológico, es para tener en cuenta, sobre todo pensando en las aves que migran de un lado a otro”, reflexionó. Los investigadores también observaron a los flamencos que habitan las lagunas. Estas aves viajan y transportan consigo a los microorganismos de la laguna, ya sea en las patas, las plumas o en sus intestinos. Son grandes dispersores de enfermedades.

Rocas con vida

A 4000 metros de altura sobre el nivel del mar, Farías también encontró estromatolitos. Se trata de una asociación de algas y bacterias con minerales, que conforman una roca orgánica.

Hasta el hallazgo de la Puna, se habían registrado estromatolitos sólo en cuatro lugares del mundo: en Cuatro Ciénegas, al norte de México; Shark Bay, Australia; las islas Bahamas y en el parque Yellowstone, Estados Unidos. La mayoría de los que se han descrito están a nivel del mar y asociados con climas tropicales. En cambio, “los que encontramos en la Puna están a 4 mil metros sobre el nivel del mar, un lugar con mucha radiación ultravioleta, grandes cambios de temperatura, y muy pocos nutrientes”, señaló Farías, y agregó: “Se cree que esos organismos viven en condiciones muy parecidas a las de la Tierra en sus comienzos, y también a las de Marte”.

Los estromatolitos son los primeros registros fósiles sobre la Tierra, hace unos 3500 millones de años. Fueron pioneros en el planeta, cuando no había capa de ozono, ni oxígeno, y se producía mucha actividad volcánica.

En aquellas condiciones, la mejor forma que encontró la vida para sobrevivir fue asociándose. Los estromatolitos son asociaciones de organismos que pudieron hacer fotosíntesis y, lentamente, empezaron a liberar oxígeno a la atmósfera formando la capa de ozono. De ese modo, los estromatolitos cubrieron la Tierra, oxigenaron la atmósfera, y dieron lugar a la eclosión de vida que conocemos.

Los organismos extremófilos fueron pioneros en la Tierra. ¿Serán los que apaguen la luz cuando todo se termine? | 17