

## LÍQUENES Y SU IMPORTANCIA EN LA EXPLORACIÓN DEL SISTEMA SOLAR por M.R. LÓPEZ-RAMÍREZ<sup>1</sup>, J. MARTÍNEZ-FRÍAS<sup>2</sup>, R. DE LA TORRE NOETZEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA, DPTO. QUÍMICA-FÍSICA, MÁLAGA. <sup>2</sup>IGEO-CSIC, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE MADRID, MADRID. <sup>3</sup>INTA, INSTITUTO NACIONAL DE TÉCNICA AEROSPACIAL, MADRID  
MRLOPEZ@UMA.ES;TORREN@INTA.ES;J.M.FRIAS@IGEO.UCM-CSIC.ES

**Resumen:** La búsqueda de la vida fuera de nuestro planeta es uno de los objetivos que se propone la astrobiología. Para ello se han llevado a cabo multitud de misiones espaciales de carácter internacional estando muchas de ellas centradas en el planeta Marte. Aunque a partir de los resultados de estas misiones se han resuelto muchos enigmas, también se desarrollan investigaciones en el campo de la astrobiología en laboratorios ubicados en la Tierra y en zonas terrestres que han sido reconocidas como análogos planetarios, caracterizadas por unas condiciones de habitabilidad extrema. Para el estudio de la evolución de la vida en estas condiciones, los líquenes han demostrado ser unos organismos especialmente idóneos para conocer los límites de la vida en el espacio y sobre otros planetas. Las conclusiones de los experimentos con estos organismos demuestran que son capaces de sobrevivir en el espacio.

**Abstract:** *The exploration for life outside our planet is one of the main objectives proposed by astrobiology. Many international space missions have been launched and the most important have been focused on the planet Mars. Although many enigmas have been solved from the results of these missions, a large part of the research carried out in the field of astrobiology is developed at laboratories placed on Earth and through terrestrial areas that have been recognized as planetary analogues characterized by extreme habitability conditions. For the study of the evolution of life under these conditions, lichens have proven to be model organisms to know the limits of life in space and other planets. The main conclusion of the experiments on these organisms shows that they are able to survive in space.*

### Introducción: Retos en astrobiología

Los fundamentos de la astrobiología se basan en la búsqueda de ambientes habitables, dentro o fuera de nuestro Sistema Solar. Del mismo modo, busca evidencias y rastros que demuestren la existencia en el presente o en tiempos pasados de química prebiótica en otros cuerpos planetarios, habiéndose centrado hasta ahora fundamentalmente en Marte. El origen de esa disciplina científica se produjo en 1998, junto con la creación del NASA Astrobiology Institute (NAI) en los EEUU y se puede decir que es una evolución de las ramas de exobiología y de bioastronomía como apoyo a los programas de exploración espacial.

Algunas de las preguntas que los científicos intentan responder son: ¿cómo surgió la vida en la Tierra?, ¿existe o ha existido alguna forma de vida en el universo distinta a la conocida? Si es así, ¿cómo podríamos detectarla? o ¿cuál es el futuro de la vida en la Tierra y en el universo? Todas estas cuestiones, nada fáciles de resolver, necesitan las herramientas y el conocimiento que pueden aportar diversas áreas, es decir, es imprescindible una aproximación multidisciplinar, integrando los conocimientos y métodos de áreas dentro de la biología, geología, física (inclu-

yendo a la astronomía y a la astrofísica), química, matemáticas e ingenierías a distintos niveles y desde distintas perspectivas.

Las investigaciones no siempre se basan en la búsqueda de señales o huellas fuera de nuestro planeta, sino que en laboratorios también se están llevando a cabo multitud de investigaciones sobre el origen y evolución de la vida en la Tierra y se analiza el potencial de las distintas formas de vida presentes en la Tierra para adaptarse a condiciones extremas. En relación con este tema, se ha estudiado con mucho interés una gran variedad de organismos extremófilos y extremotolerantes, con el objetivo principal de extrapolar su capacidad para sobrevivir en ambientes extremos con una posible adaptación para poder sobrevivir, o incluso desarrollarse, en otras zonas del universo con condiciones ambientales distintas a las existentes en la Tierra. En astrobiología se barajan distintas hipótesis sobre el origen de la vida en un planeta siendo una de las más relevantes la hipótesis de la panespermia propuesta por primera vez en 1865 por H. E. Richter<sup>[1]</sup>, desarrollada unos años más tarde por S. Arrhenius<sup>[2]</sup> y actualizada recientemente por Fajardo-Cavazos<sup>[3]</sup> hacia la actual hipótesis de la litopanespermia. Esta hipótesis propone la posibilidad de que distintas formas de vi-

da (microorganismos, estructuras reproductivas, etc.) presentes en las eyecciones de impacto producidas por un meteorito, pudieran desarrollarse en otra zona del universo donde las condiciones fueran favorables. Es una hipótesis que ha suscitado numerosas críticas a lo largo del tiempo transcurrido desde su proposición, con argumentos como que no puede ser demostrada experimentalmente, que ningún organismo vivo podría sobrevivir a las duras condiciones del espacio, o que no resuelve la cuestión sobre el origen de la vida, sino que lo traslada a otro lugar del universo fuera de la Tierra.

Durante décadas, las investigaciones sobre organismos extremófilos han permitido descubrir lo que se han denominado «análogos planetarios» para iden-

tificar zonas de similares características que las encontradas en otros planetas o cuerpos celestes como los análogos a Marte en la Tierra, encontrados en la superficie y en la subsuperficie de la Antártida e Islandia, en desiertos fríos y calurosos (Atacama y Omán), y también como los análogos del océano subsuperficial de hielo de la luna de Júpiter, Europa, como pueden ser algunas zonas de la Antártida donde existen glaciares y lagos debajo del hielo superficial o fuentes hidrotermales. En el suroeste de España tenemos también nuestro particular análogo marciano y se encuentra en el Río Tinto, en la faja pirítica Ibérica, siendo una formación geológica originada por actividad hidrotermal.



**Figura 1:** (a) Plataforma sobre la que se instaló el taladro automático durante la campaña LMAP-2017 en la cuenca del Río Tinto; (b) Fotografía del Río Tinto donde se aprecia la tonalidad rojiza de sus aguas debida a la presencia de minerales ricos en hierro<sup>[4]</sup>; (c) Apilamiento de capas en la zona de «Payson» en la región de Meridiani Planum en Marte. Fuente: NASA.

Se ha sugerido que las características geológicas del río y su entorno podrían ser similares a las de la región de Meridiani Planum (la zona de exploración del rover Opportunity) durante el Noeico, que abarca desde la formación de Marte hasta hace unos 3.800 – 3.500 millones de años. Algunas de las investigaciones llevadas a cabo en esta zona arrojan información sobre la existencia de vida en estas condiciones tan extremas, como los estudios realizados por un grupo de investigación del Centro de Astrobiología (CAB) en Río Tinto los cuales detectaron la presencia de comunidades microbianas asociadas en gran medida a variables abióticas, tales como la mineralogía. Las características del suelo en la zona de Río Tinto han revelado ser muy parecidas al suelo marciano abriendo la puerta a la búsqueda e identificación de biomarcadores de distinta naturaleza para su uso como referentes en futuras misiones al planeta rojo<sup>[4]</sup>.

Así, entre todos los organismos estudiados que se puedan agrupar dentro de los denominados extremófilos se han encontrado desde organismos más sencillos

como protozoos hasta especies eucariotas más complejas. Entre ellos destacan especies de líquenes muy resistentes cuando se han expuesto a condiciones espaciales y, particularmente, a condiciones similares a las de la atmósfera del planeta Marte<sup>[5]</sup>.

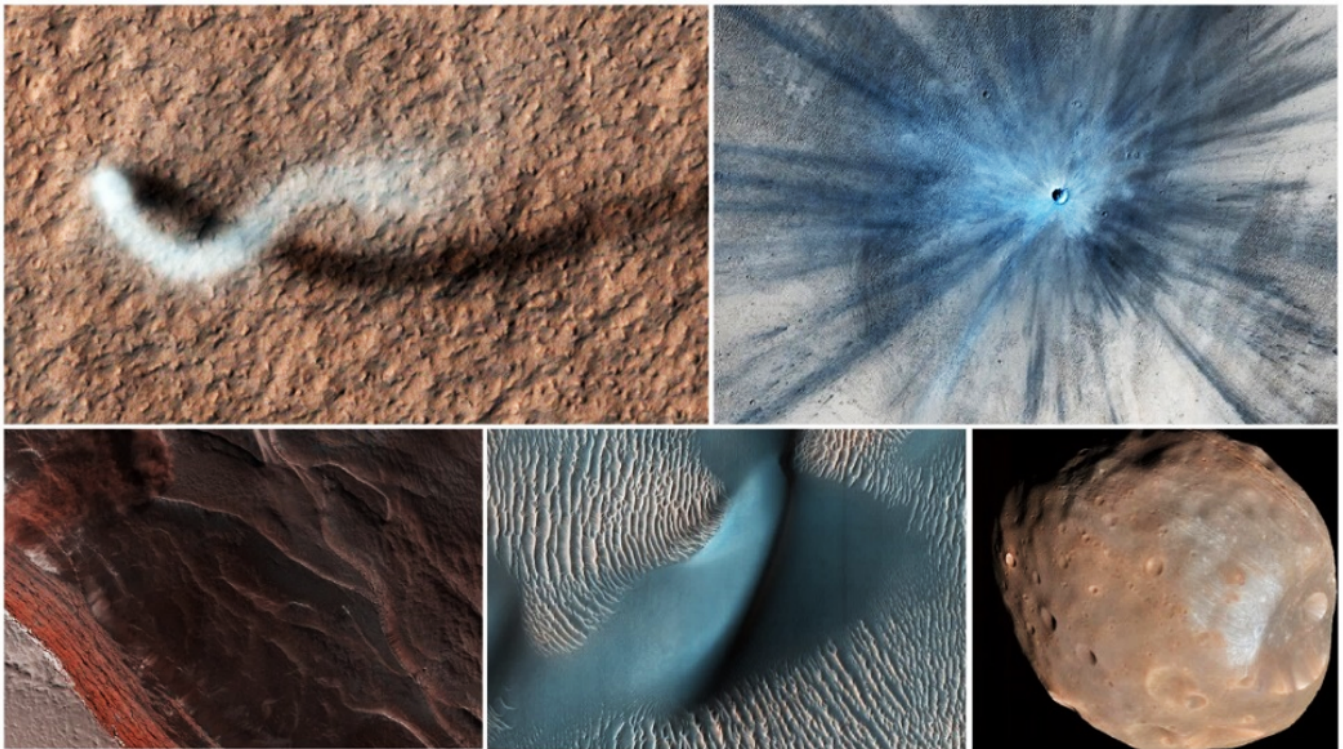
### Marte: un planeta para explorar su habitabilidad

Durante siglos los estudios en profundidad de Marte han estado limitados por la gran distancia que lo separa de la Tierra, situándose una vez cada dos años en su aproximación más cercana (oposición), a unos 55 millones de kilómetros de la Tierra y es entonces cuando somos capaces de capturar imágenes de máxima resolución con telescopios terrestres. El desarrollo de la tecnología espacial ha permitido al ser humano recabar detalles del planeta inimaginables siglos atrás llegando a ser uno de los planetas más investigados. Los estudios revelan la existencia de agua



en el pasado<sup>[6,7,8,9]</sup> y también se ha encontrado presencia de agua a través del reciente descubrimiento de restos de minerales hidratados hallados en las laderas de los cráteres de Marte<sup>[10]</sup> por la sonda orbital Mars Reconnaissance Orbiter (MRO) de la NASA. Esto ha llevado a suponer la existencia de agua subterránea rica en sales que fluye hacia la superficie por medio de «arroyos», dejando como huella sales hidratadas en las estaciones más cálidas, y desapareciendo en las

más frías, por lo que se cree que Marte podría incluso tener un ciclo geológico. Se abre de esta forma, una nueva perspectiva en el estudio de la habitabilidad de Marte. Aún no es posible saber con certeza si la vida emergió e incluso si pudo evolucionar en el pasado acuoso marciano, cuando las condiciones de habitabilidad eran más favorables y también más diversas atendiendo a su mayor vitalidad geológica.



**Figura 2:** Imágenes tomadas con la cámara HiRISE instalada en la sonda «Mars Reconnaissance Orbiter (MRO)». Fuente: NASA/JPL-Caltech/University of Arizona.

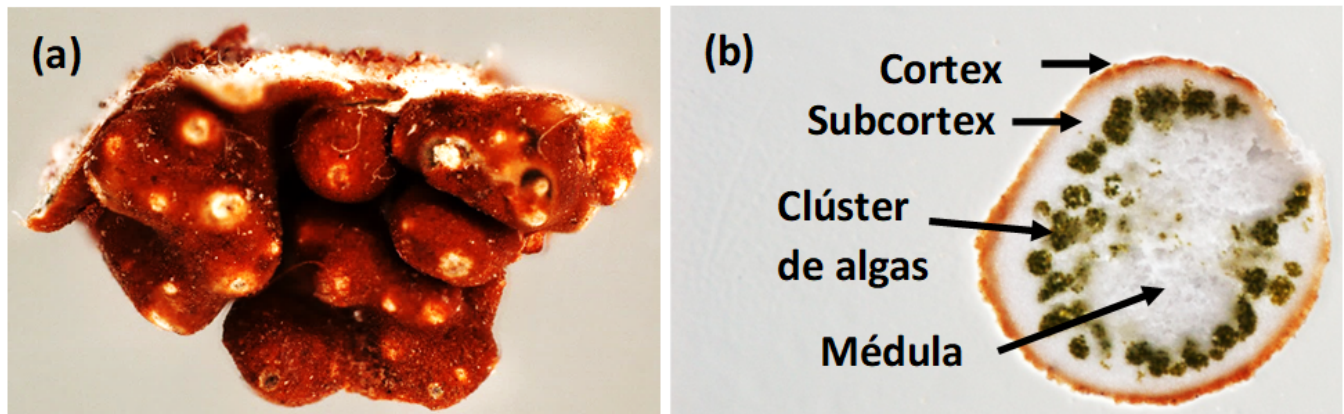
Tampoco se descarta que la vida microbiana pueda existir en la actualidad en el planeta rojo, aunque sería más improbable que en el pasado y, en caso de existir, se encontraría bajo la superficie ya que los parámetros ambientales sobre ella, es decir, la elevada radiación, la composición y presión atmosférica, así como las temperaturas extremas, hacen que Marte sea un escenario difícil para la existencia de vida y resulte perjudicial para la materia orgánica. La elevada resistencia mostrada por algunas especies como, por ejemplo, los líquenes ha permitido identificarlos como organismos modelo en astrobiología.

### Líquenes: extremófilos y referentes planetarios

Los líquenes son organismos en los que un alga o fotobionte y un hongo o micobionte entran en simbio-

sis, nutriendo el alga por medio de los productos de la fotosíntesis, en todo o en parte, al hongo. Se han seleccionado los líquenes para experimentos espaciales debido a su habilidad para colonizar hábitats terrestres en condiciones extremas, como áreas polares o alpinas, favorecida por mecanismos de protección específicos en estas especies.

Muchos de los experimentos realizados con líquenes y también con otros organismos forman parte de misiones espaciales en una órbita terrestre baja (LEO, Low Earth Orbit), bien en satélites o a bordo de la Estación Espacial Internacional (ISS), para estudiar la capacidad de supervivencia a corto y largo plazo de estos organismos de carácter extremófilo o extremotolerantes expuestos al espacio y a condiciones similares a las de Marte como, por ejemplo, las que se describen en la Tabla 1.



**Figura 3:** (a) Trozo del líquen *Circinaria gyrosa* usado en exposiciones a diferentes condiciones espaciales y de Marte; (b) Sección transversal del talo del líquen *Circinaria gyrosa* donde se detalla su estructura interna.

**Tabla 1:** Algunos proyectos que estudian la supervivencia de organismos en condiciones espaciales o planetarias.

Experimento	Muestras estudiadas	Plataforma espacial	Ref.
LICHENS	<i>Rhizocarpon geographicum</i> , <i>Xanthoria elegans</i>	Biopan-5 (FOTON-M2)	[12]
TARDIS	Tardígrados	Biopan-6 (FOTON-M3)	[13]
LITHOPANSPERMIA	<i>Rhizocarpon geographicum</i> , <i>Xanthoria elegans</i> , <i>Circinaria gyrosa</i> , cianobacterias y otros microorganismos	Biopan-6 (FOTON-M3)	[11]
ADAPT	<i>Bacillus subtilis</i> MW01	EXPOSE-E (ISS)	[14]
BIOMEX	Arqueas, bacterias, algas, líquenes, hongos, biomoléculas, biofilms, minerales y substratos	EXPOSE-R2 (ISS)	[15]

En particular, los líquenes poseen una serie de propiedades que les permiten ser unos organismos modelo para estudiar los límites de la vida en el espacio y sobre otros planetas. Diversos experimentos demuestran que los líquenes son los primeros organismos simbiotes que han sido capaces de sobrevivir en el espacio debido a su capacidad de entrar en un estado latente o de inactividad metabólica, característico de organismos que pueden tolerar la desecación extrema (pérdida de hasta un 98 % de su contenido en agua) como también les ocurre a las cianobacterias, musgos y tardígrados («ositos de agua»).

De esta forma los líquenes pasan a formar parte de los organismos más resistentes a la radiación ultravioleta y al vacío espacial. Además, los resultados obtenidos en el proyecto LITHOPANSPERMIA [11] han mostrado que no sólo son capaces de recuperar su actividad metabólica prácticamente al 100 % después del vuelo, sino que también sus esporas son capaces de germinar y de crecer (75-98 %), e incluso el fo-

tobionte o alga puede prosperar sin su compañero simbiótico u hongo protector.

Todos estos estudios sobre extremófilos han demostrado, en definitiva, que las condiciones de viabilidad para encontrar vida extraterrestre son mucho más flexibles de lo que se pensaba y las misiones espaciales se han convertido en una cuestión científica mucho más emocionante. En este sentido, el planeta Marte reserva un buen número de sorpresas fruto de las misiones venideras como la Mars 2020 que se posará sobre su superficie en febrero de 2021 y que cuenta con la colaboración de grupos de investigación españoles.

## Referencias

- [1] Richter, H.E. Zur darwinschen Lehre. *Schmidts Jahrbücher Ges. Med.* 126, 243-249 (1865).
- [2] Arrhenius, S. Die Verbreitung des Lebens im Weltenraum. *Umschau* 7, 481-485 (1903).

- [3] Fajardo-Cavazos, P., Link, L., Melosh, H.J., Nicholson, W.L. Bacillus subtilis spores on artificial meteorites survive hyper-velocity atmospheric entry: implications for Lithopanspermia. *Astrobiology* 5 (6), 726-736 (2005).
- [4] Sánchez-García, L., Fernández-Martínez, M., Moreno-Paz, M., Carrizo, D., García-Villadangos, M., Machado, J.M., Stoker, C.R., Glass, B., Parro, V. Simulating Mars Drilling Mission for Searching for Life: Ground-Truthing Lipids and Other Complex Microbial Biomarkers in the Iron-Sulfur Rich Río Tinto Analog. *Astrobiology* 20(9), 1029-1047 (2020).
- [5] Böttger, U., Meessen, J., Martínez-Frias, J., Hübers, H.-W., Rull, F., Sánchez, F. J., de la Torre, R., de Vera, J.P. Raman Spectroscopic Analysis of the Calcium Oxalate Producing Extremotolerant Lichen *Circinaria gyrosa*. *International Journal of Astrobiology* 00, 1-14 (2013).
- [6] Horneck, G. The microbial world and the case for Mars. *Planet and Space Sci.* 25 48 (11), 1053-1063 (2000).
- [7] McKay, C. P. The search for life on Mars. *Orig. Life Evo. Bioph.* 27, 263-289 (1997).
- [8] Mehta, M., Renno, N.O., Marshall, J., Grover, M.R., Sengupta, A., Rusche, N.A., Kok, J.F., Arvidson, R.E., Markiewicz, W.J., Lemmon, M., Smith, P.H. Explosive erosion exposes the subsurface ice on Mars. *Icarus* 211, 172- 194 (2011).
- [9] Nelli, S.M., Renno, N.O., Murphy, J.R., Feldman, W.C. Simulations of Atmospheric Phenomena at the Phoenix Landing Site with the Ames GCM. *Journal of Geophysical Research, Special Issue on Phoenix*, 115, E00E21 (2010).
- [10] Villanueva, G.L., Mumma, M.J. Novak, R.E., Käufel, H.U., Hartogh, P., Encrenaz, T., Tokunaga, A., Khayat, A., Smith, M.D. Strong water isotopic anomalies in the martian atmosphere: Probing current and ancient reservoirs. *Science* 348 (6231), 218-221 (2015).
- [11] De la Torre, R., Sancho, L.G., Horneck, G., de los Rios, A., Wierzbos, J., Olsson-Francis, K., and Ott, S. Survival of lichens and bacteria exposed to outer space conditions results of the Lithopanspermia experiments. *Icarus* 208, 735-748 (2010).
- [12] Sancho, L.G., de la Torre, R., Horneck, G., Ascaso, C., de los Rios, A., Pintado, A., and Schuster, M. Lichens survive in space: results from the 2005 LICHENS experiment. *Astrobiology* 7, 443-454 (2007).
- [13] Jönsson, I.K., Rabbow, E., O.Schill, R., Harms-Ringdahl, M. and Rettberg, P. Tardigrades survive exposure to space in low Earth orbit. *Curr Biol* 18, R729-R731 (2008).
- [14] Wassmann, M., Moeller, R., Rabbow, E., Panitz, C., Horneck, G., Reitz, G., Douki, T., Cadet, J., Stan-Lotter, H., Cockell, C.S., and Rettberg, P. Survival of spores of the UV-resistant *Bacillus subtilis* strain MW01 after exposure to low-Earth orbit and simulated martian conditions: data from the space experiment ADAPT on EXPOSE-E. *Astrobiology* 12, 498-507 (2012).
- [15] De Vera, J.P. and the BIOMEX-Team, Supporting Mars exploration: BIOMEX in Low Earth Orbit and further astrobiological studies on the Moon using Raman and PanCam technology. *Planetary and Space Science*, 74 (1), 103-110 (2012).