



## **INVESTIGA I+D+i 2016/2017**

### **GUÍA ESPECÍFICA DE TRABAJO SOBRE "Vida en ambientes extremos"**

**Texto del Dr. Felipe Gómez**

**Octubre de 2016**

## 1. Definiendo la vida

---

La vida es una tremenda paradoja de difícil definición. Como vemos, a priori parecería sencillo definir un sistema vivo, pero cuando lo analizamos en profundidad encontramos que existen organismos que no cumplen algunos de los principios básicos que caracterizan a la vida (animales que no pueden reproducirse y no por ello dejan de ser organismos vivos) y sistemas no vivos, como por ejemplo el fuego, que cumplen alguno. Varios han sido los científicos que han pretendido definir “la vida”. Una de las definiciones, bajo mi punto de vista, que mejor representan el proceso físico-químico que conocemos como “vida” es la del físico Erwin Schrödinger. En cualquier caso, los científicos no nos ponemos de acuerdo en la respuesta a esa famosa pregunta “¿Qué es la vida?”.

## 2. Ambientes extremos

---

La vida se basa en la química del carbono como elemento constitutivo. Los límites para la misma, esto es, los rangos de los parámetros ambientales físico-químicos (rangos de temperatura, de presión, etc.) que es capaz de soportar son, por tanto, debidos a los límites que le impone el carbono y, más concretamente, los que le imponen los enlaces covalentes que el carbono establece consigo mismo o con otros elementos que forman parte de los sistemas vivos. Estos enlaces covalentes o de intercambio de los electrones externos del elemento químico están sujetos a unas leyes físicas que imponen unos límites. Fuera de esos límites se dificulta el intercambio electrónico y, por tanto, el enlace de los elementos que conforman las macromoléculas que construyen la materia de los sistemas vivos.

Por tanto, es la presencia de algún parámetro físico-químico “extremo” lo que define un ambiente extremo para la vida. Así, podemos encontrar ecosistemas extremos por temperatura como los ecosistemas que encontramos en los polos terrestres, o en las chimeneas submarinas de los fondos oceánicos donde aparecen surgimientos de aguas a altas temperaturas. Pueden ser ambientes extremos los que presentan acidez elevada (bajo pH), altas concentraciones de sal o altas presiones, como ocurre, de nuevo, con los ecosistemas del fondo marino o bajo la corteza terrestre, donde la columna de agua en el primer caso, o de roca en el segundo, generan valores de presión muy elevados. Ambientes extremos también son los lugares donde existe escasez de agua, como los desiertos, en los que los organismos se ven sometidos a condiciones de sequedad. Estos microorganismos son conocidos como xerófilos. Aún así, en todos estos ambientes encontramos microorganismos que son capaces de crecer y desarrollarse. Para ello utilizan mecanismos de adaptación a estos parámetros anormales. Un ejemplo lo tenemos en los microorganismos que crecen a temperaturas superiores a la del punto de ebullición del agua. Necesitan técnicas de supervivencia que les permitan disponer de agua estable y no en ebullición, también necesitan proteínas especiales que no se desnaturalicen por la elevada temperatura (proteínas de “choque térmico”).

Tenemos que distinguir entre organismos que toleran o se adaptan a unas condiciones extremas y aquellos que requieren esas condiciones extremas para su óptimo desarrollo. Así, serán tolerantes a esa condición los primeros, mientras que los segundos serán extremófilos estrictos. Por tanto, tolerantes son los microorganismos que pueden crecer bajo un parámetro extremo pero su óptimo de crecimiento ocurre bajo condiciones más suaves. De esta forma un organismo tolerante al ácido es aquel que puede crecer a bajo pH pero crece mejor si las condiciones ambientales no son muy ácidas. Por el contrario un extremófilo estricto es aquel que requiere estrictamente la presencia de esas condiciones no habituales para su óptimo crecimiento, y sin ellas no alcanza los rendimientos de desarrollo adecuados. Otro punto importante es el de los multi-extremos. Generalmente hablamos de microorganismos extremófilos acidófilos o alcalófilos si un microorganismo tiene su hábitat óptimo a bajo pH (en un ambiente muy ácido) o a alto pH (ambiente alcalino) respectivamente. Es decir, hablamos de microorganismos que se adaptan o necesitan un solo parámetro extremo (en el caso que hemos comentado el bajo o alto pH) pero es muy normal que nos encontremos extremófilos que lo son por desarrollarse en ambientes con dos o más parámetros extremos. Así, en ciertos hábitat de los fondos oceánicos viven microorganismos que soportan altas presiones por un lado, pero también bajos pHs o altas temperaturas por otro, o, como en el caso de las chimeneas submarinas, los tres parámetros a la vez.

Los microorganismos extremófilos han supuesto una revolución en áreas tan dispares como son:

- Astrobiología: Los datos que nos llegan de los orbitadores que estudian Marte indican similitudes geológicas y mineralógicas entre ciertos ambientes terrestres y algunas zonas de Marte. La agencia espacial NASA envió en el año 2003 dos vehículos para análisis "in situ". Se confirman los datos previos y la superficie de Marte resulta ser más sorprendente de lo que a priori cabría haber esperado. Caso de existir vida en la corteza del planeta debe ser vida adaptada a condiciones extremas. El estudio de microorganismos extremófilos y sus nichos ecológicos en la tierra toma gran importancia para las agencias espaciales NASA y ESA (Agencia Espacial Europea).
- Industria. El descubrimiento de microorganismos extremófilos supone una revolución para la industria y la biotecnología. El aprovechamiento de sus bioproductos para procesos industriales potencia el campo de la extremofilia.
- Biología molecular. Se realizaron importantes descubrimiento sobre las adaptaciones a nivel molecular que tenían lugar en los microorganismos extremófilos bajo condiciones adversas.

Como ya hemos visto, la vida tiene unos requisitos para su establecimiento en un lugar: el elemento principal o "sine qua non" de la vida es el agua líquida, elemento necesario para que la vida se establezca. Otro requerimiento es una fuente de energía y el control del flujo energético para poder desarrollar un sistema estable. La química redox es universalmente utilizada por todos los sistemas vivos conocidos para el control de los flujos energéticos. La vida utiliza la química orgánica para constituir su biomasa, por tanto esta química debe poder tener lugar para que exista vida. Estos son los puntos que limitan los parámetros de temperatura, presión, etc bajo los que se

pueden desarrollar los seres vivos. O, por decirlo de otra forma, cualquier extremófilo tiene como límite para su desarrollo unos rangos en los que debe existir agua líquida y la posibilidad de desarrollar un metabolismo con el que abastecerse de carbono y de energía. Aún así, y demostrando como verdadera esta última aseveración, la vida se presenta en rangos amplios de los parámetros físico-químicos. Ciertas circunstancias que permiten, por ejemplo que el agua esté en forma líquida por encima del punto de ebullición, permiten que exista vida por encima de los 100 grados centígrados. Un ejemplo son las chimeneas submarinas, ecosistemas de los fondos abisales oceánicos donde, por encima de los 100 grados centígrados, encontramos una amplia biodiversidad que incluye, como se ha descrito recientemente, ciertos animales pluricelulares, además de bacterias. La alta presión a la que se encuentran estos ecosistemas dada la profundidad donde se desarrollan permite que el agua esté líquida a altas temperaturas. Estas chimeneas requieren que nos detengamos específicamente en su explicación más adelante por presentar una serie de características que las hacen muy interesantes desde el punto de la vida en condiciones extremas.

Los extremos ambientales que nos encontramos en el planeta Tierra son amplios. El rango de temperatura puede oscilar en condiciones normales entre los 30 °C por encima de cero (en condiciones no tan normales se han aislado microorganismos viviendo a temperaturas de 110 °C) y los 20 a 40 °C bajo cero de las cotas más altas del planeta (en el Everest, por ejemplo a 8850 m de altitud), o los 89.2 bajo cero que se han llegado registrar en el lago Vostok. La cota de mayor profundidad la encontramos a 10.924 m bajo el nivel de mar, en la fosa Mariana (Challengerdeep) en el Océano Pacífico. La presión atmosférica oscila pues enormemente entre ambas cotas, desde los 1100 bares de la fosa abisal a los 330 milibares que encontramos en la cota más alta del monte Everest. Entre estos rangos extremos encontramos toda una diversidad de ambientes donde de una forma u otra se han aislado microorganismos que viven bajo las más inverosímiles condiciones ambientales.

### 3. Temperatura

---

Todos entendemos de forma intuitiva cuán adverso puede llegar a ser un ambiente donde haga mucho frío o mucho calor. Para el ser humano temperaturas por debajo de los 10 °C o por encima de los 35 °C pueden ser mortales. Los montañeros que se enfrentan a expediciones a los picos más altos del planeta o los aventureros que se adentran en los territorios de los polos terrestres saben que cualquier desliz que deje su cuerpo a la intemperie y sin la protección de una buena ropa de aislamiento puede ser mortal. Este rango de temperatura es muy estrecho si lo comparamos con el rango en el que se desarrollan los organismos criófilos (amantes del frío) o los termófilos (amantes del calor). El valor inferior publicado es – 12 °C para bacterias aisladas de los valles de la Antártida y 121 °C como cota superior para bacterias aisladas de la dorsal oceánica Juan de Fuca.

El mayor reto que los extremos en temperatura presentan para la vida, ya sea por el límite superior o por el límite inferior, es la disponibilidad del agua líquida y la destrucción de estructuras biológicas. Hasta hace poco tiempo el record de alta temperatura lo tenía *Pyrolobus fumarii*, microorganismo amante de las altas

temperaturas (termófilos). Pero recientemente se lo ha arrebatado un microorganismo aislado de un surgimiento hidrotermal o agua caliente en la dorsal oceánica Juan de Fuca, en el Pacífico. El aislado 121, como lo han denominado sus descubridores, es capaz de crecer de forma óptima a 121 °C y permanece estable por encima de los 130 °C. Fue descubierto al observar crecimiento bacteriano en una muestra que había sido esterilizada en el autoclave, el horno donde los microbiólogos esterilizan las herramientas de trabajo y las muestras al someterlas a una temperatura de 121 °C y una sobrepresión de 1 atmósfera. Hasta entonces ningún otro microorganismo había soportado tales condiciones. El profesor Derek Lovley y un investigador posdoctoral, Kazem Kashefi, de la Universidad de Amherst en Massachusetts no salían de su asombro al comprobar crecimiento en la muestra, en teoría, esterilizada.

La coloración de la nieve que a veces se observa en lugares donde permanece algún tiempo sin derretirse puede ser debida a organismos eucariotas fotosintéticos. Algunos miembros de los géneros *Chlamydomonas*., *Chloromonas* y algunos dinoflagelados pueden crecer a bajas temperaturas y poseen coloraciones muy características.

#### 4. pH

---

Una solución se convierte en ácida o básica cuando se rompe el equilibrio natural entre protones y radicales hidroxilo que componen el agua. El pH se define como el exponente negativo de la concentración de protones ( $H^+$ ) y nos da una medida cuantitativa de la acidez del sistema. Cuando el equilibrio natural se rompe y la concentración de protones se hace más alta, aumentando la acidez de la solución, este exponente disminuye. Es más ácida (tiene mayor concentración de protones) una solución de pH 2 que una de pH 5. Si, por el contrario, la solución se hace más básica el valor de pH aumenta (aumenta la concentración de  $OH^-$ ), encontrándonos valores de pH por encima de 7.

Los sistemas vivos estabilizan su maquinaria celular en soluciones a pH neutro. Mínimas variaciones en el pH interno provoca desarreglos en el funcionamiento del sistema vivo. Los extremófilos acidófilos se encuentran, por tanto, con una solución interna neutra (o cerca de la neutralidad ya que existen algunos casos de interior celular ligeramente ácido) y tienen que obtener energía y materia del exterior que se encuentra a pH ácido. Las membranas celulares de estos microorganismos se enfrentan con gradientes (diferencias) de pH, esto es, de concentración de  $H^+$ , de varios órdenes de magnitud. Esto supone un desafío que estos microorganismos solventan con técnicas moleculares que trataremos en detalle más adelante.

Los alcalófilos, o microorganismos que viven a pH básico (por encima de pH 7) no comparten ningún parecido con los acidófilos. Incluso son microorganismos de grupos y géneros diferentes. Los alcalófilos suscitan gran atención pues son microorganismos de interés desde el punto de vista industrial. Intervienen también en procesos de descomposición de alimentos envasados. Gran parte de estos microorganismos pertenecen al género *Bacillus*, microorganismos esporulantes y por tanto más resistentes a esterilización, aunque no son los únicos que aparecen en estos

ambientes. También aparecen diferentes especies de hongos entre los microorganismos aislados a partir de ambientes alcalinos.

En el caso de los extremófilos alcalófilos encontramos ejemplos de pH interno celular por encima de 7, siendo posible valores de 8-8,5. Aún así, el pH exterior en los ambientes alcalinos supera el valor de 9 (generalmente suele ser un valor de pH entre 9 y 11). Entre las adaptaciones para el mantenimiento de los valores correctos de pH internos encontramos bombas de protones en las membranas de estos microorganismos que mantienen las concentraciones adecuadas de los mismos.

## 5. Halófilos

---

Los microorganismos halófilos son aquellos que viven en ambientes con altos contenidos en sal (ClNa). Son normales ambientes salinos con 10 veces la concentración de sal presente en el agua del mar. Un ambiente salino muy conocido es el Mar Muerto o el Gran Lago Salado de UTAH (Estados Unidos). Otro ambiente salino muy conocido es el del río Tinto, en España.

El principal problema al que tienen que hacer frente estos microorganismos extremófilos es el de la presión osmótica. Si la concentración salina es mucho más alta en el interior celular, el solvente del exterior tiende a entrar en la célula para equiparar las presiones. Si la diferencia es grande el líquido sigue entrando hasta que la célula revienta lo que conlleva la muerte celular. Los microorganismos halófilos han desarrollado sistemas para sobrevivir en ambientes tan extremos como lo son los ricos en sal. Estos microorganismos tienen genes que codifican para proteínas especiales que almacenan en el interior celular y que hacen que se iguale la presión interior respecto a la exterior de un ambiente salino. También presentan cubiertas proteicas exteriores que les protegen del estrés que supone un exceso de sal.

## 6. Alta presión

---

Los microorganismos que viven a alta presión se conocen como barófilos (del griego baro- presión y philos- amante de). Son microorganismos que viven en el subsuelo terrestre o en el fondo oceánico. La columna de roca o agua que tienen encima hace que aumente la presión. Existen tres tipos de estos microorganismos: barotolerantes, son los microorganismos extremófilos que soportan altas presiones de hasta 400 atmósferas pero que viven mejor si la presión del ambiente es de una atmósfera (que es la presión en la superficie terrestre), barófilos son aquellos extremófilos que viven mejor si en el ambiente que les rodea hay una presión de entre 500 y 600 atmósferas. Por último están los barófilos extremos, que crecen mejor si están sometidos a una presión de por encima de 700 atmósferas, aunque pueden sobrevivir si se les deja bajo la influencia de una presión ambiental de 1 atmósfera.

Cada 10 metros de descenso en el océano se incrementa la presión en 1 atmósfera. Esto significa que los extremófilos barotolerantes pueden sobrevivir a una profundidades que oscilan entre la superficie del océano y mas de 1-2 km, los barófilos

a más de 5 – 6 km y los barófilos extremos por debajo de los 7.000 m de profundidad. Debido a que los fondos marinos son fríos estos extremófilos suelen presentar multiextremofilia, como ya mencionamos en capítulos anteriores. Viven mejor bajo alta presión y baja temperatura.

Un ecosistema que trataremos más en profundidad es el de las dorsales oceánicas. En este ambiente se desarrollan organismos que soportan altas presiones y contrastes de temperatura muy fuertes. Se establece una cadena trófica basada en los quimiolitótrofos como productores primarios. Otro ambiente importante para los barófilos es el interior de la corteza terrestre. Hace años se pensó que el subsuelo sería un ambiente estéril. Los trabajos de Todd Stevens, de la Universidad de Illinois, demostraron que no era así. El tiempo dibujó un panorama completamente diferente. La biodiversidad presente en el subsuelo se ha ido demostrando cada vez más amplia.

## 7. Ambientes secos

---

Existen unos microorganismos que se desarrollan óptimamente en ambientes muy secos, con porcentajes de humedad muy bajos. Se les conoce como xerófilos y son importantes por tratarse de microorganismos de interés económico (estropean alimentos liofilizados o curados por desecación) y de interés astrobiológico. En el desierto de Atacama, uno de los lugares más secos del planeta, se han realizado experimentos para la localización de microorganismos que viven en esas condiciones. Este desierto es uno de los lugares de la tierra que más se parecen al planeta Marte. Se parece no por tener una geología similar sino por ser un suelo con muy bajos contenidos de agua, al igual que el planeta Marte. Caso de demostrarse la presencia de vida en la superficie del planeta rojo, debería tratarse de microorganismos que requieran muy baja presencia del líquido elemento.

Son formas de vida microbiana las que colonizan ambientes secos, fundamentalmente hongos. Sus hifas o células alargadas características de los hongos, les hacen más fácil la invasión de este tipo de ambientes en busca del poco agua constituyente que pudiera existir. La forma de vida que mejor se adapta a estos ambientes son los líquenes, que no es un único organismo sino la simbiosis, o asociación beneficiosa para ambos organismos, entre un hongo y un alga. Toman coloraciones verdes debido a la clorofila del alga lo que les sirve para hacer fotosíntesis y extraer energía química a partir de la radiación solar. Esta es la base de la alimentación de la asociación de ambos organismos.

## 8. Altas radiaciones

---

Existe un grupo de microorganismos extremófilos que han llamado especialmente la atención de los científicos. Son aquellos que resisten altas dosis de radioactividad. No se entiende muy bien el sentido práctico de esta adaptación al no existir sobre el planeta Tierra de forma natural ningún ecosistema con altas dosis de radiación ambiental. Algunos autores afirman que se trataría de una consecuencia añadida a otras extremofilias, es decir, que los mecanismos que sirvan para que algunos

organismos resistan ambientes extremos determinados servirían para adaptarse a otros ambientes.

La estrella de los adaptados a altas dosis de radiación es *Deinococcus radiodurans* (literalmente significaría pequeña semilla que resiste la radiación que fue aislado de muestras de carne y más tarde encontrado en los tanques de refrigeración de centrales nucleares. Esta bacteria soporta dosis de radiación superiores a los 6 kilorads por hora cuando está en crecimiento continuo. Soporta estas altas dosis en crecimiento continuo porque posee varias copias de su genoma que usa como moldes para reparar aquella que sufra daños debidos a la alta radiación. Por estadística las posibilidades de que una determinada base de su genoma se vea afectada por la radiación en varias a todas las copias que posee es realmente baja, por tanto, estas copias que quedan a salvo son utilizadas como moldes para reparar las afectadas. Además, algunos de sus sistemas de copia del DNA, los enzimas polimerasas, presentan elevadas capacidades de reparación del material genético. Otro mecanismo usado por esta bacteria para soportar altas dosis de radiación son los pigmentos que sintetiza y que le dan coloraciones anaranjadas y que son atenuadores de radiaciones ultravioletas fundamentalmente.

La vida, por tanto, es un fenómeno que tiene una versatilidad muy elevada, se distribuye en ambientes muy distintos donde aparece el agua líquida sin importar demasiado el resto de condiciones ambientales del ecosistema. El siguiente gran reto de la humanidad será poder identificar de forma fehaciente rastros de vida fuera del planeta Tierra. Las posibilidades de que la vida se haya podido originar y desarrollar en otras partes del Universo a tenor de las lecciones que hemos aprendido de los microorganismos extremófilos abren un campo infinito de conocimiento por alcanzar.

## 9. Cuestiones de debate

---

Propongo las siguientes líneas de discusión para iniciar el espacio de reflexión. Bien en las discusiones de mis encuentros con vosotros, bien en los trabajos que os propongo, inicio ese espacio de discusión con las siguientes ideas:

- ¿Que es la vida?: Habréis leído a lo largo de mi texto con anterioridad los trabajos del físico Erwin Schrodinger y de otros autores que han intentado definir ese proceso tan característico que conocemos como "vida". ¿Qué creéis vosotros que es la vida? ¿habéis pensado alguna vez que este ejemplo de vida que conocemos sobre el planeta Tierra tuvo que tener un origen, un principio? ¿cómo pudo ser?. ¿Creéis que podemos definirla?
- Límites de la vida: ¿Creéis, a tenor de lo que habéis leído en este texto, que la vida tiene límites?
- Ambientes Extremos: ¿Os gustaría poder viajar a alguno de los ambientes extremos del planeta?, ¿qué tipo de investigación creéis que es necesaria para entender la diversidad de ecosistemas extremos del planeta? ¿Pueden los



ambientes extremos ayudarnos a entender un poquito más la posible presencia de vida fuera de la Tierra?

- ¿Puede existir vida fuera del planeta Tierra?: ¿Creéis que es científico (serio) pensar en la posible existencia de vida presente o pasada en el planeta Marte?

## 10. Fuentes de información

---

En Inglés:

- AmaralZettler L. A., Gómez F., Zettler E., Keenan B. G., Amils R. & Sogin M. L. (2002) Eukaryotic diversity in Spain's river of fire. *Nature* 417, 137.
- Brock, T.D., K. M. Brock, R. T. Belly and R. L. Weiss (1972) *Sulfolobus*: a new genus of sulfur-oxidizing bacteria living at low pH and high temperature. *Arch. Mikrobiol*, 84, 54-68.
- Cavicchioli, R. (2002) Extremophiles and the Search for Extraterrestrial Life. *Astrobiology* 2, (3) 281-292.
- Farlow 1867, 1886 Rep. U. S. Comm. Of Fish and Fisheries, 1867, 969-979. Vegetable parasites of codfish (Bull. U. S. Fish Comm. 1886, 6, 1-4).
- Gómez, F. Rodríguez-Manfredi, J. A., Rodríguez, N., Fernández-Sampedro, M. Caballero-Castrejón, F. J. and R. Amils. Habitability: where to look for life? Halophilic habitats: earth analogs to study Mars habitability. (2012) *Planetary and Space Science*, 68, 1 doi:10.1016/j.pss.2011.12.021
- Gomez, F; Mateo-Marti, E; Prieto-Ballesteros, O, et al. Protection of chemolithoautotrophic bacteria exposed to simulated Mars environmental conditions. *ICARUS Volume: 209 Issue: 2 Pages: 482-487 (2010)*
- Gómez, F., E. González-Toril, Nuria Rodríguez, D. Fernández-Remolar, A. Aguilera, Moustafa Malki and R. Amils. (2002) The Tinto River: an extreme acidic environment under control of iron. *ESA ISBN: 92-9092-828-X*.
- Horneck, G., Walter, N., Westall, F., Grenfell, J.L., Martin, W.F., Gomez, F., Leuko, S., Lee, N., Onofri, S., Tsiganis, K., Saladino, R., Pilat-Lohinger, E., Palomba, E., Harrison, J., Rull, F., Muller, C., Strazzulla, G., Brucato, J.R., Rettberg, P., Capria, M.T. *AstRoMap European Astrobiology Roadmap (2016) Astrobiology*, 16 (3), pp. 201-243.
- <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84962005504&partnerID=40&md5=c6e21dd8f79968431cc4d44b9559f7a8> DOI: 10.1089/ast.2015.1441
- Horneck, G., Rettberg, P., Walter, N., Gomez, F. European landscape in astrobiology, results of the AstRoMap consultation (2015) *Acta Astronautica*, 110, pp. 145-154. Cited 2 times.
- <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84922554265&partnerID=40&md5=fd513b0a7115f4dc95c42654ca23a894> DOI: 10.1016/j.actaastro.2015.01.01

- Poulsen 1879-1880 VidenskMeddelfra d. naturh. I Kjobenhaven f. 1879-1880, 231-254.
- Rothschild, L. J. and Mancinelli, R. L. (2001) Life in Extreme Environments. Nature 409, 1092-1101.
- Wächtershäuser, G. Pyrite formation, the first energy source for life: a hypothesis. Syst. Appl. Microbiol. 10: 207-210.
- Ventosa A, Oren A, Ma Y. (eds.) (2011). Halophiles and Hypersaline Environments. Current Research and Future Trends. Springer, Heidelberg.
- de la Haba RR, Sánchez-Porro C, Ventosa A. (2011). Taxonomy, phylogeny, and biotechnological interest of the family Halomonadaceae. En: Halophiles and Hypersaline Environments. Current Research and Future Trends. A. Ventosa, A. Oren and Y. Ma (eds.). Springer, Heidelberg.

En Español:

M. Guerrero Sánchez, A. I. López Archilla, J. Antón Botella. Ecosistemas 14 (2): 1-2. Mayo 2005. <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=124>

Recursos en internet:

- <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/libros/703/exploracion.pdf>
- <http://www.biologia.edu.ar/bacterias/arqueobacterias.htm>
- [http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160429\\_desierto\\_depresion\\_danakil\\_extraterrestre\\_expedicion\\_finde\\_dv](http://www.bbc.com/mundo/noticias/2016/05/160429_desierto_depresion_danakil_extraterrestre_expedicion_finde_dv)
- <http://www.agenciasinc.es/Noticias/Una-microalga-de-ambientes-extremos-es-capaz-de-producir-biocombustible>