

LA INVESTIGACIÓN SOBRE EL ORIGEN DE LA VIDA Y SU BÚSQUEDA FUERA DE LA TIERRA

RESEARCH ON THE ORIGIN OF LIFE AND ITS SEARCH BEYOND EARTH

por CARLOS BRIONES

DEPARTAMENTO DE EVOLUCIÓN MOLECULAR. CENTRO DE ASTROBIOLOGÍA (CSIC-INTA, ASOCIADO AL PROGRAMA DE ASTROBIOLOGÍA DE LA NASA)

Palabras clave: Química prebiótica, Mundo ARN, LUCA, Astrobiología, Marte, Mundos oceánicos.

Keywords: Prebiotic chemistry, RNA world, LUCA, Astrobiology, Mars, Ocean worlds.

Resumen: La astrobiología es una disciplina joven e interdisciplinar que combina los avances de distintos campos de la física, la química, la geología, la biología y la ingeniería, sin perder de vista la filosofía. En ese contexto, estudiamos cómo comenzó la vida en nuestro planeta a partir de las condiciones existentes hace al menos 3.900 millones de años, considerando también las moléculas que pudieron llegarnos desde el exterior a bordo de meteoritos o cometas. En paralelo, investigamos si la transición entre la química y la biología pudo darse en otros entornos que consideramos “habitables” dentro del Sistema Solar. Entre ellos, se buscan biomarcadores en Marte, en las nubes de Venus, y en los satélites de Júpiter y Saturno que poseen océanos de agua líquida bajo su superficie, como Europa, Encélado o Titán. Fuera de nuestro vecindario cósmico, la búsqueda de señales de vida llega a los planetas extrasolares, de los que ya se conocen más de 6.000. Así, entre el azar y la necesidad, actualmente nos preguntamos si es más probable que estemos solos... o que el Universo se encuentre lleno de seres vivos.

Abstract: *Astrobiology is a young and interdisciplinary field that combines advances from various branches of physics, chemistry, geology, biology, and engineering, while also maintaining a philosophical perspective. In this context, we study how life began on our planet under the conditions that existed at least 3.9 billion years ago, also considering the molecules that may have reached us from space aboard meteorites or comets. At the same time, we investigate whether the transition between chemistry and biology could have taken place in other environments considered “habitable” within the Solar System. Among these are the search for biomarkers on Mars, in the clouds of Venus, and on the moons of Jupiter and Saturn that possess subsurface oceans of liquid water, such as Europa, Enceladus, and Titan. Beyond our cosmic neighborhood, the search for signs of life extends to extrasolar planets, of which more than 6,000 are already known. Thus, between chance and necessity, we now ask ourselves whether it is more likely that we are alone... or that the Universe is full of living beings.*

Las dos principales preguntas científicas que tenemos planteadas en Astrobiología son cómo comenzó la vida y si pueden existir seres vivos fuera de nuestro planeta (Figura 1). Charles R. Darwin ya reflexionó sobre la transición entre la química y la biología, pero la primera obra que trató específicamente sobre este tema fue publicada por el bioquímico ruso Alexandr I. Oparin en 1924 (Oparin, 1924). El segundo autor que convirtió el origen de la vida en una disciplina científica (sin haber conocido previamente la publicación de Oparin) fue el biólogo evolutivo y genetista inglés John B. S. Haldane, en 1929.

Tres décadas más tarde comenzó la “química prebiótica” como una disciplina experimental, gracias al

trabajo de otros dos científicos pioneros: el químico norteamericano Stanley L. Miller y el bioquímico y astrobiólogo español Joan Oró. Miller, en su famoso experimento de 1953, demostró cómo los gases que entonces se pensaba que habían formado la atmósfera terrestre primitiva (vapor de agua, metano, amoníaco e hidrógeno), al ser sometidos a descargas eléctricas, producían gran número de moléculas orgánicas, entre ellas varios aminoácidos de los que constituyen las proteínas. Por su parte, Oró sintetizó en 1960 la base nitrogenada adenina (presente en los nucleótidos del ARN y del ADN) a partir de cinco moléculas de ácido cianhídrico (HCN) en disolución.



Figura 1. Representación esquemática del campo de estudio de la Astrobiología, siguiendo una línea “en S” desde el origen y la evolución temprana del Universo (esquina superior izquierda) hasta la biodiversidad actual (esquina inferior derecha). En la esquina inferior izquierda se sitúa el ámbito de trabajo del origen de la vida. Crédito: Centro de Astrobiología (CAB, CSIC-INTA).

Durante las siguientes décadas se fueron sucediendo los avances teóricos y experimentales sobre el origen de la vida. Así, diferentes líneas de investigación han propuesto cómo desde hace unos 4.400 millones de años (Ma), con agua líquida ya disponible en la superficie de nuestro planeta, pudieron formarse numerosas moléculas de interés prebiótico. Éstas, junto a las aportadas desde el espacio por meteoritos y núcleos de cometas, irían formando una “sopa prebiótica” (metáfora que también debemos a Oparin) cada vez más rica y variada. A lo largo de los últimos años estamos promoviendo experimentos en medios heterogéneos y en condiciones geoquímicas prebióticamente plausibles (un campo que denominamos “química de sistemas prebiótica”), con los cuales es posible sintetizar un número creciente de monómeros y polímeros biológicos. Entre estos últimos destaca el ácido ribonucleico (ARN), que en el origen de la vida pudo funcionar como genotipo (molécula con información genética heredable) y fenotipo (gracias a su plasticidad estructural y versatilidad funcional) (Ruiz-Mirazo *et al.*, 2014).

Por tanto, actualizando lo que inicialmente planteaba la hipótesis del Mundo ARN, quizá los primeros seres vivos (es decir, sistemas químicos complejos capaces de autorreproducirse y evolucionar por selección natural) fueron “ribocitos”: protocélulas con membranas muy simples y genoma de ARN, cuyo metabolismo sería realizado por enzimas de ARN (lla-

madras ribozimas) ayudadas por catalizadores inorgánicos y por péptidos cortos formados abióticamente. A partir de ellos se originaron, tal vez hace unos 3.900 Ma., células con el flujo de información genética en el sentido ADN \rightarrow ARN \rightarrow proteínas, y las distintas fases de la expresión génica se irían regulando de forma cada vez más precisa (Joyce and Szostak, 2018).

Como producto de la evolución de algunas de esas células ancestrales se originaría una especie (o una comunidad de ellas) que conocemos como LUCA (acrónimo de “Last Universal Common Ancestor”), de la que deriva todo el árbol de la vida (Figura 2). Inicialmente se bifurcó en los dominios filogenéticos de las bacterias y arqueas, que fueron explorando diferentes tipos de metabolismos y adaptándose a distintos medios: tanto con condiciones moderadas como extremas desde el punto de vista fisicoquímico. Hace aproximadamente 2.000 Ma, por fusión y endosimbiosis de algunos de sus linajes, se originó el dominio de los eucariotas. Y hace unos 300.000 años, en una de las múltiples ramas de los eucariotas pluricelulares, de los animales y de los primates, surgieron los *Homo sapiens*: una especie más de los cientos de millones que forman la biodiversidad actual... pero la única cuyo desarrollo cerebral le ha permitido construir tecnología e iniciar una evolución cultural que avanza en paralelo (y mucho más rápidamente) que la biológica.

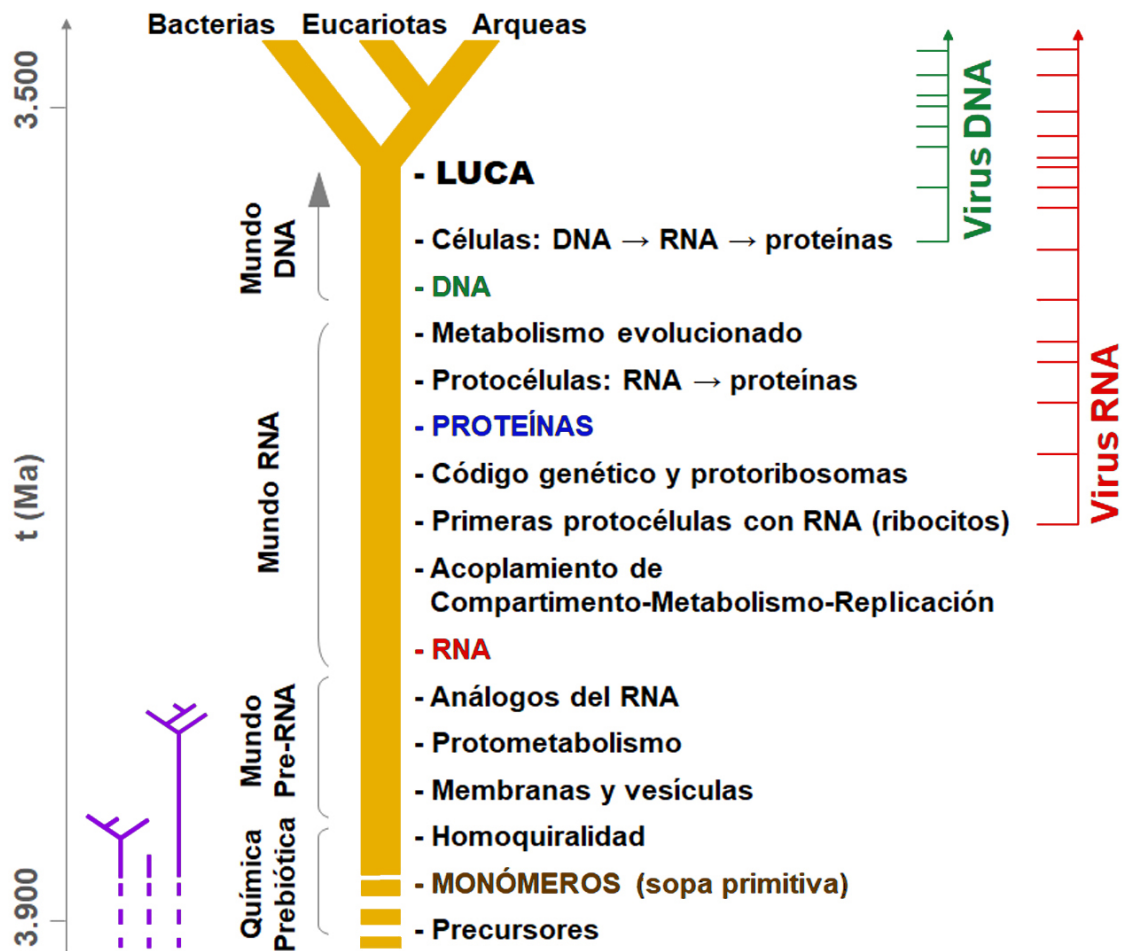


Figura 2. Esquema de los principales procesos que (según los datos disponibles actualmente) pudieron sucederse a lo largo del tronco común del árbol de la vida. Los árboles pequeños de color morado indican la posibilidad de que se produjeran distintos orígenes de la vida en paralelo, en diferentes entornos del planeta, aunque sólo prevaleció el que condujo a LUCA. Crédito: Adaptado de (Briones, 2020).

Los múltiples avances producidos en distintos campos científicos durante las últimas décadas, catalizados por el origen de la Astrobiología a finales del siglo XX, nos permiten plantear que la vida también podría haber surgido en otros planetas o satélites. Esto está avalado por varios hechos: la constatación de que la Tierra no es un planeta especial en cuanto a sus características geológicas y químicas, la detección de diferentes entornos extraterrestres potencialmente habitables por algún tipo de vida microbiana, y el descubrimiento de un número creciente de organismos

extremófilos. Todo ello apoya la idea de que la vida (quizá similar a la terrestre, o tal vez muy diferente) también podría haber surgido y evolucionado en algunos de los ambientes presentes en otros planetas o satélites (Figura 3). Así, actualmente se buscan en distintos lugares moléculas biomarcadoras de vida extraterrestre: compuestos que sólo se producen por el metabolismo de los seres vivos y que las reacciones químicas abióticas no podrían sintetizar (Briones, 2020).

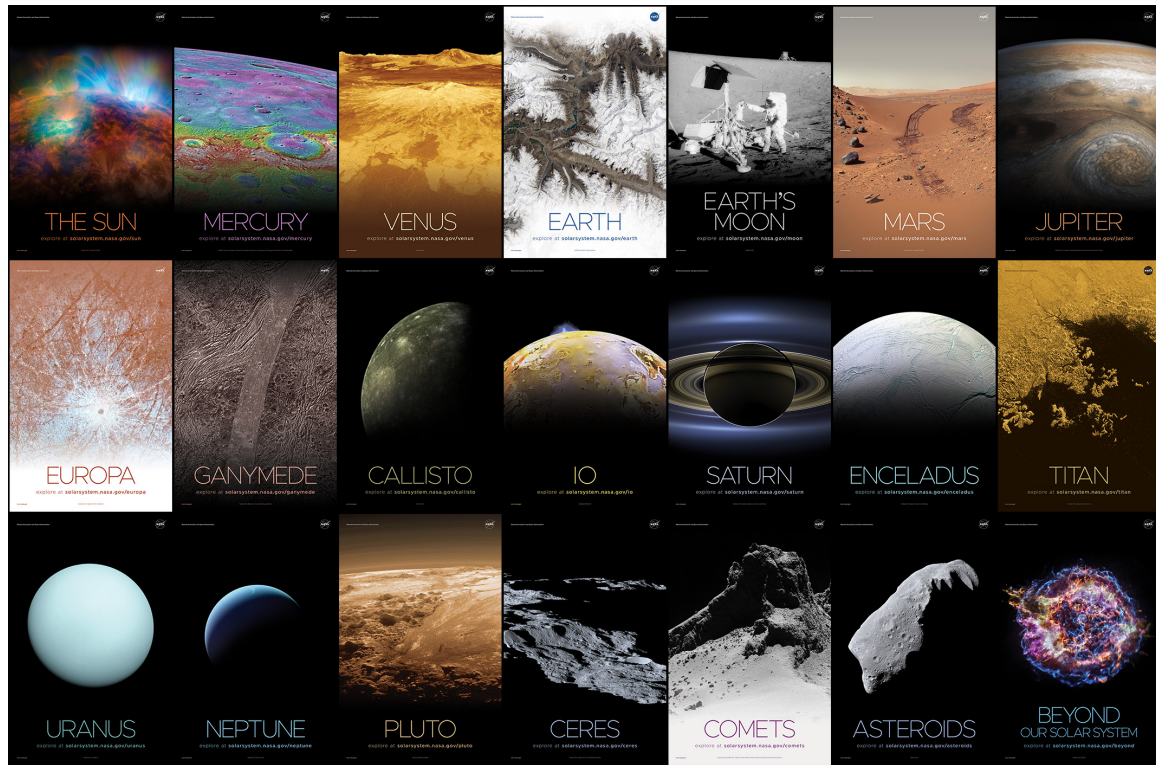


Figura 3. Principales planetas, satélites y cuerpos menores a los que han llegado misiones de exploración espacial o que están siendo estudiados por la Astrobiología. Crédito: NASA.

Marte es el planeta que más interés despierta para la Astrobiología ya que en él pudo surgir la vida en la misma época que en la Tierra, pues hace aproximadamente 4.000 Ma tenía un campo magnético protector, y sus características geológicas y químicas eran similares a las de nuestro planeta. De hecho, un océano de agua líquida cubría gran parte de su hemisferio norte. Sin embargo, debido a diversos factores su superficie dejó de tener condiciones de habitabilidad hace unos 3.000 Ma, y si existía allí algún tipo de microorganismos tuvieron que refugiarse bajo una superficie que cada vez era más seca, fría y sometida a dosis crecientes de radiación.

La investigación sobre la posible existencia de vida (pasada o presente) en el planeta rojo se ha realizado desde la década de 1970 mediante el envío de misiones espaciales que han alcanzado su órbita o su superficie, y en paralelo analizando algunos fragmentos de rocas marcianas que nos han llegado en forma de meteoritos. Uno de los entornos donde se ha propuesto que los seres vivos podrían seguir desarrollándose en la actualidad son las salmueras subterráneas, que desde 2012 se han ido detectando a una profundidad de aproximadamente 1,5 kilómetros (Dzurilla and Teece, 2024).

En el caso de Venus, la vida no pudo existir actualmente en su abrasadora superficie (que se encuentra a unos 460 °C), pero tal vez podría estar desarrollándose en su densa atmósfera, concretamente en

su capa media de nubes, entre unos 50 y 60 km de altura y a temperaturas comprendidas entre los 40 °C y -30 °C, respectivamente.

Lugares alternativos donde los seres vivos podrían haberse desarrollado son algunas de las lunas de Júpiter y Saturno, que se conocen genéricamente como “Mundos oceánicos” dado que poseen mucha agua líquida bajo sus superficies heladas (Theiling *et al.*, 2022). Los dos más prometedores son Europa (en el sistema de Júpiter) y Encélado (satélite de Saturno), cuyas cortezas de hielo esconden grandes océanos de agua salada que podrían albergar alguna forma de vida en la actualidad.

Otro mundo oceánico que orbita Saturno es Titán: el único cuerpo del Sistema Solar que posee masas líquidas superficiales, pero sus lagos y mares no son de agua sino de metano. El resto de su superficie es de hielo de agua recubierto por materia orgánica compleja (pero de origen meramente químico y no biológico), que se acumula formando grandes dunas en torno al ecuador del satélite. Bajo su corteza también existe un océano de agua líquida, rica en sales y tal vez en amoníaco. Otra particularidad de esta luna es que posee una atmósfera densa y opaca, formada mayoritariamente por nitrógeno molecular (N₂). En conjunto, se considera que Titán podría estar funcionando como un gran reactor de química prebiótica que tal vez dé lugar a la aparición de la vida en los próximos cientos de millones de años.

Por último, la Astrobiología también busca señales de vida en los planetas extrasolares. Desde el descubrimiento en 1995 del primer exoplaneta que orbita una estrella similar al Sol, ya son más de 6.000 los que se han podido detectar en nuestro vecindario cósmico. En torno al 4 % de ellos son rocosos y su tamaño es similar al de la Tierra. Actualmente se investigan con especial atención los que están en la banda de habitabilidad de sus estrellas y por tanto podrían tener agua líquida superficial. Aún más relevantes son los que poseen atmósfera, dado que sería posible detectar biomarcadores moleculares en ellas (Schwieterman *et al.*, 2018).

En cualquier caso, todavía no se ha descubierto ninguna señal de vida extraterrestre dentro o fuera del Sistema Solar. Pero el número de exoplanetas en el Universo observable se estima en unos 10^{23} , por lo que las opciones para otras biología son inmensas. Recordando al famoso astrónomo y divulgador científico Carl Sagan: “Si estamos solos en el Universo, sin duda sería un terrible desperdicio de espacio”.

Sobre el autor

Carlos Briones es investigador, divulgador científico y escritor. Doctor en Ciencias Químicas e Investigador Científico del CSIC, dirige un grupo en el Centro de Astrobiología (CSIC-INTA, asociado al NASA Astrobiology Program) que investiga sobre el origen y la evolución temprana de los seres vivos, y el desarrollo de biosensores para caracterizar la vida terrestre o buscarla fuera de nuestro planeta. Es coautor de más de 100 artículos en revistas internacionales y coinventor de 10 patentes. Ha participado en 28 Proyectos de Investigación competitivos, nacionales o internacionales, siendo IP de 13 de ellos.

Es miembro de las Juntas Directivas del European Astrobiology Institute y de la Sociedad Española de Virología. Posee amplia experiencia en divulgación científica como conferenciante, autor de varios libros y colaborador en diferentes medios de comunicación. En 2024 ha recibido el Premio AlumniUAM de Ciencia, Tecnología y Ciencias de la Salud, y el Premio COSCE a la Difusión de la Ciencia.

Bibliografía

Briones C (2020). ¿Estamos solos? En busca de otras vidas en el Cosmos. Ed. Crítica, Barcelona.

Dzurilla KA, Teece BL (2024). Discriminating between extinct and extant life detection: implications for future Mars missions. *Front. Astron. Space Sci.* 11: 1452362.

Joyce GF, Szostak JW (2018). Protocells and RNA self-replication. *Cold Spring Harb. Perspect. Biol.* 10: a034801.

Oparin AI (1924). *Proiskhozhdenie zhizny*. Moscow: Izd. Moskovhii RabochiI. [Primera traducción al inglés: Oparin AI (1938). *The origin of life*. Macmillan, New York.]

Ruiz-Mirazo K, Briones C, de la Escosura A (2014). Prebiotic systems chemistry: New perspectives for the origins of life. *Chemical Reviews* 114: 285-366.

Schwieterman EW, Kiang NY, Parenteau MN, *et al.* (2018). Exoplanet biosignatures: A review of remotely detectable signs of life. *Astrobiology* 18: 663-708.

Theiling BP, Chou L, Da Poian V, *et al.* (2022). Science autonomy for ocean worlds Astrobiology: A perspective. *Astrobiology* 22: 901-913.