



Somos polvo de estrellas: el origen cósmico de la vida

Jesús Miguel Jáquez-Domínguez¹, Marcela Sofía Vaca-Sánchez², Luis Manuel Jáquez-Domínguez³

¹Instituto de Radioastronomía y Astrofísica, UNAM.

²Escuela Nacional de Estudios Superiores, Unidad Morelia, UNAM. ³Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California.

Contacto: jaquez.miguel24@gmail.com



Resumen

Desde tiempos antiguos, la humanidad ha observado el cielo preguntándose por su origen y el de la vida. Hoy sabemos que los elementos esenciales —como el carbono, oxígeno y nitrógeno— se formaron en el interior de las estrellas. Somos, en esencia, polvo de estrellas. Este artículo explora cómo estos astros funcionan como hornos cósmicos que forjan los ingredientes fundamentales de la vida, y cómo este legado permitió el surgimiento de organismos en nuestro planeta.

Palabras clave: estrellas, nucleosíntesis, vida, química.

Las estrellas: hornos cósmicos de elementos

Los elementos químicos necesarios para la vida se formaron, en su mayoría, dentro de las estrellas. Estas nacen cuando nubes densas de gas -principalmente hidrógeno- colapsan por gravedad. En su centro, la temperatura alcanza cerca de diez millones de grados Celsius, lo que permite la fusión de átomos de hidrógeno en helio, liberando enormes cantidades de energía y encendiendo así la nueva estrella. (Fig. 1)



Figura 1. Recreación artística de una nube molecular: regiones donde se forman las estrellas. Imagen: Adobe Firefly.

A medida que la estrella evoluciona, en su núcleo se acumulan los elementos más pesados, lo que aumenta la temperatura. Cuando se alcanzan temperaturas de cien millones de grados, el helio comienza a fusionarse para formar carbono y oxígeno. En estrellas con masas más grandes que la de nuestro Sol, estos elementos, más pesados que el helio, se hunden hacia el centro y desencadenan nuevas reacciones que producen átomos más complejos: neón, sodio, magnesio, silicio, azufre y calcio. Este ciclo de fusiones continúa, produciendo elementos cada vez más pesados, hasta que se forma un núcleo de hierro. La fusión de elementos hasta el hierro libera energía, pero intentar fusionar hierro en elementos más pesados la consume, lo que provoca el colapso de la estrella. Ese colapso desencadena la supernova, una explosión tan violenta que en sus instantes más extremos se forjan los elementos más pesados que el hierro –como el oro, la plata o el yodo– mediante procesos de captura rápida de neutrones (proceso-r). Así, prácticamente todos los elementos de la tabla periódica, desde el oxígeno que respiramos hasta los metales preciosos, tienen su origen en las estrellas y en su muerte, mostrando cómo estos hornos cósmicos hicieron posible la vida tal como la conocemos [1]. (Fig. 2)

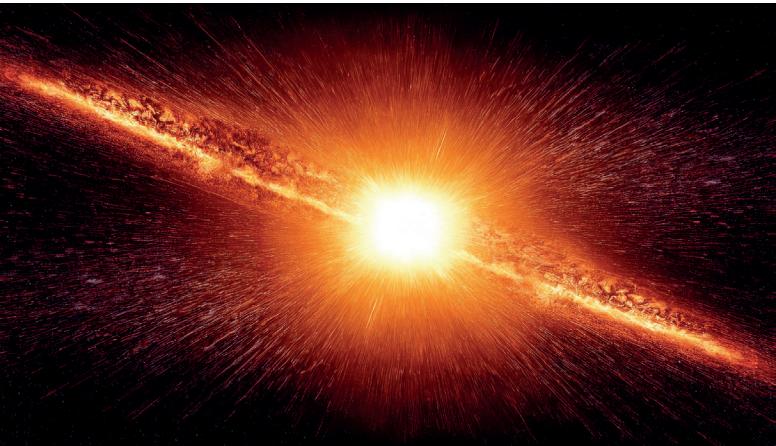


Figura 2. Recreación artística de la explosión de una estrella y el lanzamiento de elementos químicos al universo. Imagen: Adobe Firefly.

Aunque la muerte de una estrella pueda parecer una tragedia cósmica, en realidad marca el comienzo de un nuevo ciclo de creación. Durante esta etapa final, las capas exteriores se enfrian lo suficiente para que los átomos puedan unirse y formen moléculas. Al explotar, la estrella arroja estos átomos y moléculas al espacio, donde se mezclan con el hidrógeno primordial y enriquecen las nubes que formarán nuevas estrellas con elementos pesados y compuestos químicos complejos. Nuestro Sol es un ejemplo de una estrella que nació de las cenizas de otras estrellas ya que su atmósfera contiene fracciones significativas de elementos más pesados que el hidrógeno y el helio [1].

Polvo de estrellas

Este material enriquecido se mezcló con la nebulosa primordial a partir de la cual, miles de millones de años después, se formarían nuestro Sol y los planetas del sistema solar mediante el proceso de acreción. Así, los ingredientes para la vida quedaron incorporados desde el inicio en los bloques constitutivos de la Tierra: carbono para nuestras células, oxígeno para respirar, hierro para nuestra sangre y calcio para nuestros huesos. Cada átomo de nuestro cuerpo alguna vez formó parte de una estrella. Por eso, podemos decir que todos somos, literalmente, polvo de estrellas. En los asteroides que viajan alrededor del sistema solar los astrónomos han descubierto que contienen compuestos y moléculas orgánicas que, al incorporarse a los planetas en formación, podrían haber jugado un papel clave en la aparición de la vida en la Tierra [2]. La presencia de moléculas orgánicas complejas en el medio interestelar revela una fascinante evidencia del vínculo entre la muerte de las estrellas y el surgimiento de la vida en la Tierra.

¡Comienza la vida!

Con un poco de suerte, el planeta Tierra se formó justo a la distancia perfecta del Sol para tener agua líquida y, con el tiempo, océanos. Esta etapa, llamada Eón Hídico (hace cuatro mil millones de años), fue la más temprana en la historia de la Tierra y estuvo llena de caos. Su nombre viene de Hades, el dios griego del inframundo, porque las condiciones eran infernales: volcanes en erupción, impactos de meteoritos y una atmósfera sin oxígeno, compuesta por metano, amoníaco, vapor de agua y dióxido de carbono. Aun así, en esos océanos turbulentos comenzaron a formarse las primeras moléculas orgánicas o biomoléculas como carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, dando los primeros pasos hacia la vida [3]. En la década de 1920, Alexander Oparin y John Haldane, de forma independiente, propusieron la famosa hipótesis de la sopa primordial, que propone que las primeras moléculas orgánicas se habrían formado durante esta etapa geológica de la Tierra; donde océanos jóvenes, ricos en metano, amoníaco, agua y otros compuestos, en combinación con la energía proveniente de rayos, volcanes y radiación solar, pudo dar origen a moléculas más complejas como aminoácidos, nucleótidos y lípidos; siendo los ladrillos esenciales que componen a los seres vivos [4]. Posteriormente, la teoría de la sopa primordial de Oparin y Haldane fue apoyada por el experimento de Miller-Urey en 1953, el cual demostró que es posible sintetizar aminoácidos y otras biomoléculas bajo condiciones que se creían similares a las de la Tierra primitiva.

Hoy, sin embargo, el debate científico ha avanzado y se han propuesto nuevos escenarios para el origen de las biomoléculas. Entre ellos se encuentran las hipótesis que sitúan las primeras reacciones prebióticas en fuentes hidrotermales

submarinas [5], en superficies minerales catalíticas [6] o incluso en entornos extraterrestres como cometas y meteoritos [7]. Estos modelos no contradicen necesariamente la idea de la sopa primordial, sino que la complementan, mostrando que la vida pudo haber surgido a partir de una combinación de procesos químicos en distintos ambientes del joven planeta. (Fig. 3)

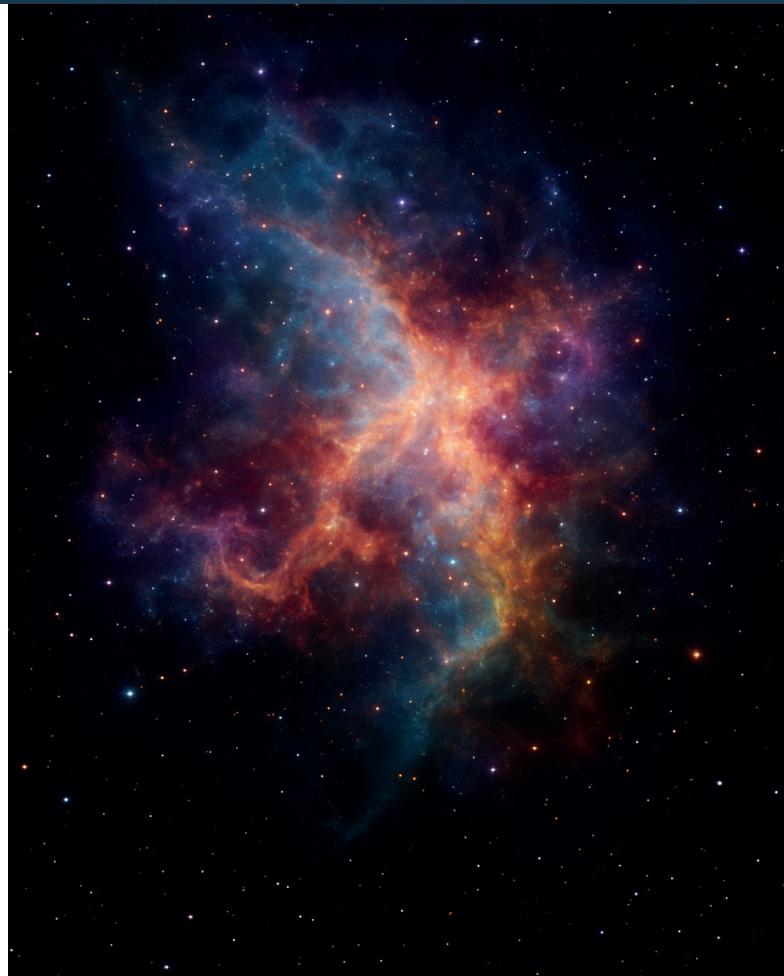


Figura 3. Recreación artística de la Tierra primitiva. Imagen: Adobe Firefly.

De moléculas a células

El siguiente paso hacia la vida fue la formación de estructuras más complejas. Imaginemos los océanos primitivos no como los actuales, sino más bien como una vasta red de charcos cálidos y ricos en nutrientes, llenos de moléculas flotando: azúcares, grasas y los primeros ácidos nucleicos como un Ácido Desoxirribonucleico (ADN) primitivo; los cuales fueron los “manuales de instrucciones” químicos. El ADN funciona como un libro de recetas que guarda toda la información para construir y mantener a los seres vivos. Con el tiempo, algunas de estas moléculas comenzaron a organizarse. Los lípidos (grasas) formaron burbujas microscópicas, que atrapaban en su interior otras moléculas importantes. Dentro de esas burbujas primitivas ocurrió algo revolucionario: aparecieron ácidos nucleicos como el Ácido Ribonucleico (ARN) que resultaron ser extraordinariamente versátiles. A diferencia del ADN (que solo almacena información), el ARN puede hacer ambas cosas: guardar instrucciones genéticas (como una memoria USB biológica) y acelerar reacciones químicas (como una herramienta molecular). Esto lo convirtió en el candidato perfecto para iniciar la vida. Estas moléculas de ARN comenzaron a actuar como manuales de autoensamblaje: podían copiarse a sí mismas y, al mismo tiempo, ayudar a producir otras moléculas necesarias.

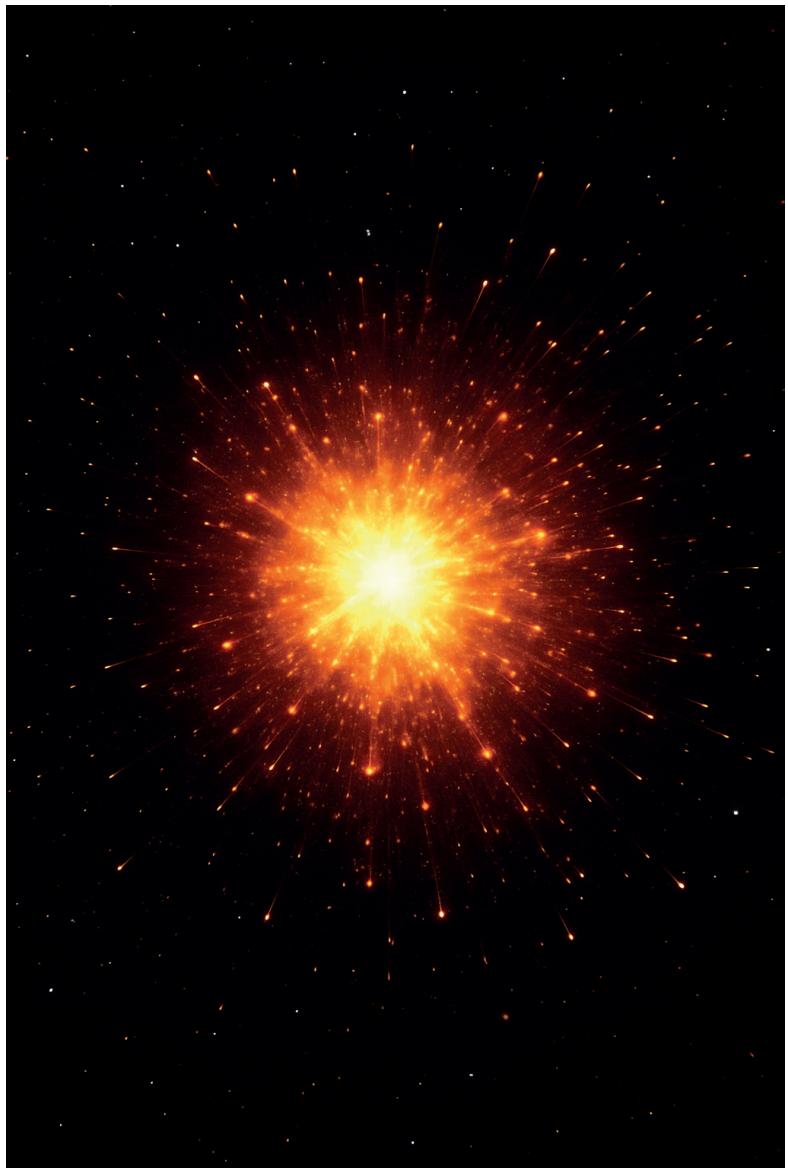
La hipótesis del Mundo de ARN, propuesta por Walter Gilbert en 1986, explica precisamente esto. Sugiere que antes del ADN y las proteínas complejas, el ARN gobernaba la escena biológica primitiva. Pruebas de esto existen hoy: en nuestras células, los ribosomas (fábricas de proteínas) usan ARN para su trabajo, y algunos virus aún emplean ARN como su material genético. Estos serían los fósiles moleculares de esa era primitiva [8]. Las primeras unidades de vida eran estructuras



diminutas, autónomas y rodeadas por membranas. Con el tiempo, evolucionaron en organismos unicelulares más complejos. Los fósiles más antiguos que conocemos son unas estructuras llamadas estromatolitas (capas rocosas formadas por colonias de microbios atrapados en sedimentos, como un arrecife microbiano fosilizado), que tienen unos asombrosos 3.5 mil millones de años [9]. Estas fueron creadas principalmente por cianobacterias -unos microbios azul-verdosos que fueron los primeros en realizar fotosíntesis, liberando oxígeno a la atmósfera y cambiando para siempre el planeta [10]. Este “gran evento de oxigenación” fue como encender el motor de la evolución en la Tierra, permitiendo que eventualmente apareciera la increíble biodiversidad que vemos hoy.

Estrellas y vida: preguntas abiertas y nuevos horizontes

Las estrellas no solo forjaron los elementos que hacen posible la vida, también nos marcan el camino hacia nuevas preguntas. Hoy, diversas disciplinas se unen en esta búsqueda: la química prebiótica recrea en el laboratorio cómo moléculas simples pudieron transformarse en los primeros ladrillos de la vida; la biología molecular estudia organismos primitivos para imaginar cómo eran las primeras formas vivientes; la astrobiología explora planetas y lunas en busca de señales de vida más allá de la Tierra; y la astrofísica investiga cómo se forman en el espacio los ingredientes esenciales para la existencia. A estas exploraciones se suman telescopios de última generación, como el James Webb (JWST), que analiza atmósferas de exoplanetas en busca de huellas químicas, y el ngVLA, que revelará cómo nacen las moléculas orgánicas en el espacio. Cada avance abre una ventana hacia lo desconocido y nos acerca a responder una de las preguntas más profundas: ¿estamos solos en el universo? El futuro de la investigación promete no solo desvelar el origen de la vida, sino también recordarnos nuestra pertenencia a un ciclo cósmico grandioso, en el que las estrellas son las narradoras de la historia de la existencia.



Referencias bibliográficas

1. Carroll BW, Ostlie DA. An Introduction to Modern Astrophysics. 2nd Edition. San Francisco: Addison-Wesley; 2006.
2. Glavin DP, Dworkin JP, Alexander CMO, et al. Abundant ammonia and nitrogen-rich soluble organic matter in samples from asteroid (101955) Bennu. *Nature Astronomy*, 2005, 9: pp. 199-210. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41550-024-02472-9>
3. Ruiz-Mirazo K, Briones C, de la Escosura A. Prebiotic Systems Chemistry: New Perspectives for the Origins of Life. *Chemical Reviews*, 2014, 114(1): pp. 285-366. Disponible en: <https://doi.org/10.1021/cr2004844>
4. Tirard S. Origin of Life and Definition of Life, from Buffon to Oparin. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 2010, 40: pp. 215-220. Disponible en:<https://doi.org/10.1007/s11084-010-9202-5>
5. Baross JA, Hoffman SE. Submarine hydrothermal vents and associated gradient environments as sites for the origin and evolution of life. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 1985, 15(4): pp. 327-345. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/BF01808177>
6. Wächtershäuser G. Pyrite formation, the first energy source for life: a hypothesis. *Systematic and Applied Microbiology*, 1988, 10(3): pp. 207-210. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S0723-2020\(88\)80001-8](https://doi.org/10.1016/S0723-2020(88)80001-8)
7. Wickramasinghe NC, Wickramasinghe J, Napier, W. Comets and the Origin of Life. World Scientific. 2009.
8. Higgs PG, Lehman N. The RNA World: Molecular Cooperation at the Origins of Life. *Nature Reviews Genetics*, 2015, 16(1): pp. 7-17. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/nrg3841>
9. Bosak T, Knoll AH, Petroff AP. The meaning of stromatolites. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2013, 41(1): pp. 21-44. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-042711-105327>
10. Ostrander CM, Johnson AC, Anbar, A. D. Earth's first redox revolution. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 2021, 49(1), 337-366. Disponible en: <https://doi.org/10.1146/annurev-earth-072020-055249>