

El origen de la vida: ¿todo lo que hay que saber?

José Antonio González Oreja^{1*}

¹ Facultad de Ciencias Biológicas, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla

* Dirección para correspondencia: jgonzorj@hotmail.com

Origin of Life es el poco original título de un interesante libro de David W. Deamer publicado en 2020. El autor es un reconocido investigador sobre el origen de la vida, que comenzó su carrera académica en 1967, y que desde 1994 ha estado adscrito a la Universidad de California en Santa Cruz, donde ha desarrollado una importante labor sobre biofísica de membranas y química de vesículas.

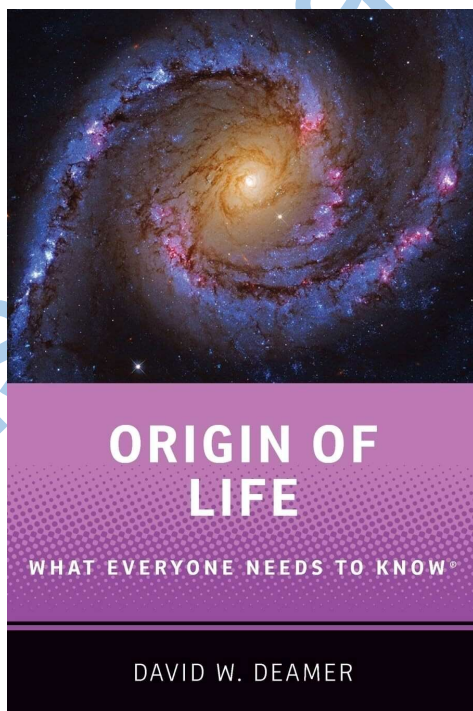


Figura 1. Portada de *Origin of Life*, el libro de Deamer (2020) aquí reseñado.

En relación con el origen de la vida, David Deamer estuvo entre los primeros en demostrar que se pueden formar vesículas membranosas estables a partir de moléculas más sencillas que los fosfolípidos que hoy día dan forma a las membranas celulares de los seres vivos. Después, Deamer extendió sus estudios a ciertos compuestos anfifílicos¹ hallados en meteoritos carbonáceos, y mostró que también pueden formar vesículas microscópicas (Luisi 2016). Así pues, la obra que ahora reseño se suma a la ya larga lista de libros publicados sobre el tema, como los que aparecen en el Cuadro 1.1 de Luisi (2016), a los que hay que añadir los títulos editados desde entonces (por ejemplo: Aguilera, 2017 o Chatterjee, 2023).

Estructura de la obra

El libro de Deamer (Figura 1) es una obra corta (124 páginas), bien escrita y ricamente ilustrada con una veintena de figuras en blanco y negro y otras tantas láminas a color, dispersas por todo el libro. El libro presenta una amplia colección de preguntas relacionadas con el origen de la vida en la Tierra, para las cuales el autor ofrece primero una respuesta y después nos explica cómo lo sabemos.

La primera pregunta es todo un desafío: ¿Por qué íbamos a querer saber (más) sobre el origen de la vida? Sin duda, la respuesta más simple es la que ofrece el propio autor: por simple curiosidad. Y se refiere aquí a la conocida obra de Kauffman (1993), *At Home in the Universe* (es decir, “En Casa en el Universo”), y la profunda satisfacción que nos inunda (al menos, ¡a muchos de nosotros!) cuando

empezamos a comprender cómo nuestra vida en la Tierra está conectada con el resto del universo. Una comprensión que está llena de sorpresas y revelaciones. Además, Deamer añade las aplicaciones prácticas que se derivan de algunos descubrimientos científicos relacionados con el origen de la vida.

La historia del pensamiento científico en relación con el origen de la vida se inicia en 1924 con las ideas de Alexander Oparin, y continúa en 1929 con las reflexiones de J. B. S. Haldane. Ambos llegaron, de forma independiente, a la conclusión de que el origen de la vida puede entenderse en términos químicos, y desde entonces esta idea ha guiado la investigación al respecto. Recientemente, la astrobiología ha enriquecido el panorama y ha ampliado nuestras perspectivas más allá de la Tierra y su biosfera. Hoy día, según Deamer, tenemos una idea razonablemente buena de cómo la Tierra se convirtió en un planeta habitable, y de por qué es probable que la vida esté distribuida por toda la Vía Láctea, con sus miles de millones de estrellas y planetas, algunos de los cuales serán seguramente habitables (*sic*).

Aun así, quedan muchas piezas por encajar en este enorme rompecabezas que es el origen de la vida, y hay muchas maneras de unirlos para que formen una “imagen global” (*a big picture*). Algunas de estas piezas están sólidamente fundadas en conocimientos científicos propios de la química y la física. Otras son suposiciones más o menos razonables sobre las características de la Tierra primitiva, de hace unos 4 Ga.² Y quedan aún algunos grandes huecos en el *puzzle*, justo allí donde los científicos muestran opiniones que a veces resultan radicalmente

diferentes. No olvidemos, además, que en relación con el tema que nos ocupa abundan las meras conjeturas (en ocasiones, sin una base científica firme) y escasean los datos robustos (que, en todo caso, son menos abundantes de lo que desearíamos).

Por ejemplo, muchos estarán de acuerdo en que el agua líquida es un requisito esencial para la vida tal y como la conocemos, pero ¿se encontraba inicialmente presente en ambientes ligados a las fumarolas submarinas de los profundos fondos oceánicos, o era más bien una fuente de agua dulce (*freshwater*), asociada a las masas de rocas volcánicas ya emergidas? Estas y otras preguntas relacionadas, muchas todavía sin respuesta, resultan verdaderamente excitantes para un científico, tanto como para querer dedicar toda una vida a intentar resolverlas. Y aunque nunca vamos a saber con certeza cómo se originó la vida en la Tierra, la investigación al respecto nos ayudará a entender cómo se puede originar la vida en un planeta habitable, como la Tierra primitiva.

A continuación, pasaré revista a algunos de los temas cubiertos en las tres secciones en las que se estructura el libro.

Cómo ensamblar un planeta habitable

La primera parte del libro, que presenta conocimientos astrofísicos y astrobiológicos relacionados con la formación de los primeros elementos químicos, el origen de la Tierra y el de los elementos utilizados por la vida, comienza de forma impactante,

pues el autor nos ofrece la siguiente definición del elemento químico más sencillo:

“El hidrógeno es un gas incoloro e inodoro que, cuando se le da un tiempo suficiente, se transforma en personas. ¿Cuánto tiempo? ¡13.8 mil millones de años!”

En efecto, los átomos de hidrógeno que encontramos en nuestros cuerpos (donde suponen ca. 70 % del número total de átomos, y que como dice Deamer forman parte de nosotros solo porque no han sido atrapados en una estrella) tienen la misma edad que el propio universo, pues se formaron hace unos 13.8 Ga en el Big Bang, el origen del espacio, el tiempo, la materia y la energía. Por su parte, los átomos más pesados que el hidrógeno, como los de carbono, oxígeno o nitrógeno, pero también azufre, fósforo y otros que encontramos en las proteínas, los ácidos nucleicos o las membranas celulares de los seres vivos, también tienen miles de millones de años de antigüedad... pero menos. Pues no se formaron en el Big Bang, sino que fueron sintetizados después a partir del hidrógeno, en un proceso complejo conocido como nucleosíntesis estelar. En esencia, si una estrella que está agotando su combustible estelar tiene una masa menor a unas 10 veces la del sol termina por convertirse en una enana blanca, que se enfría lentamente. Pero, si la estrella moribunda tiene una masa mayor a unas 10 veces la del sol, entonces se expande primero en una gigante roja y colapsa después, explotando de forma masiva como una supernova y liberando finalmente la mayor parte de su masa en forma de partículas microscópicas que dan lugar al polvo interestelar (véase, por ejemplo, Franknoi y colaboradores, 2022). Estas cenizas de estrellas que murieron tiempo atrás son ricas en diversos compuestos químicos, incluyendo los elementos que

forman la Tierra y la vida. Y es que, como dijo Carl Sagan, el reconocido científico y popularizador de la ciencia, estamos hechos de polvo de estrellas. Este polvo interestelar es el origen de los átomos y las moléculas de la vida en el Sistema Solar, y presumiblemente en otros sistemas planetarios.

En el polvo interestelar se han detectado desde moléculas tan simples como el agua (H_2O) hasta otras tan complejas como la glicina ($\text{CH}_2\text{NH}_2\text{COOH}$), pasando por dióxido de carbono (CO_2), amoníaco (NH_3), formaldehído (HCHO), ácido fórmico (H-COOH), ácido acético (CH_3COOH), y así a través de una larga lista con más de 100 compuestos. Estos compuestos, y otros todavía más complejos, fueron transportados a través del espacio y se encontraron finalmente en la Tierra en formación, hace unos 4.57 Ga, mientras que otros se sintetizaron después en nuestro planeta por medio de reacciones químicas muy diversas que tuvieron lugar en la atmósfera primitiva, en los océanos y en las masas de tierra emergidas. El lector interesado en saber más sobre nuestras raíces químicas en el cosmos puede consultar el trabajo de Bachiller (2019).

Deamer defiende firmemente que la vida en la Tierra no pudo haberse formado antes de que existiesen grandes océanos de agua líquida; y lo sorprendente es que tales océanos pudieron existir tan pronto como hace 4.4-4.3 Ga, tal y como se deduce de la datación geoquímica con zircones. Nuestro planeta, entonces, presentaba un océano rico en sales, con masas emergidas (islas) de rocas volcánicas, y una atmósfera compuesta principalmente de nitrógeno y pequeñas cantidades de CO_2 . A partir de un estado fundido anterior, la Tierra aún

estaba enfriándose; pero, en cuanto el ciclo del agua fue posible, la precipitación (lluvia) generó pozas de agua dulce en la superficie de aquellas islas volcánicas, pozas que estuvieron sujetas a un ciclo de evaporación (por calor geotérmico) y precipitación (por enfriamiento a temperatura ambiente). Es razonable pensar que la vida, dice Deamer, emergió por primera vez en nuestro planeta en un ambiente similar a este, hace entre 4.2 y 3.8 Ga.

De (algo que está) no vivo a (algo que está) casi vivo

La segunda sección del libro comienza también de forma sorprendente. “Si está leyendo este libro esperando saber cómo comenzó la vida”, aclara Deamer, “siento decirle que nadie sabe la respuesta”. A continuación, el autor hace un repaso muy breve de algunas hipótesis (históricas y actuales) propuestas para dar cuenta del origen de la vida, y deja para el final la que él mismo defiende (véase más abajo). En este recorrido aparecen reflejadas la panspermia (por ejemplo, González Oreja 2016), los coacervados de Oparin, o el famoso experimento de Stanley Miller bajo la dirección de Harold Urey, ideas con las que todos los biólogos y estudiantes de biología estamos familiarizados. Aparecen, también, la hipótesis de Graham Cairns-Smith en relación con la actividad catalítica de las superficies de minerales arcillosos, o la de Günter Wächtershauser acerca de minerales ferrosos; el así llamado Mundo de Hierro y Azufre; y otros modelos, como el del Metabolismo Primero, o el Mundo de los Lípidos, o el Mundo del ARN.

Después de su resumen de hipótesis previas, Deamer incluye las ideas de Charles Darwin respecto al origen de la vida. En una conocida carta fechada en 1871 a su amigo el botánico y explorador Joseph Hooker, Darwin garrapateó unas pocas frases que han vuelto a ser relevantes siglo y medio después, pues en ellas contempló la posibilidad de que la vida se hubiera originado, *de novo*, en una poza cálida y somera en la superficie de la Tierra primitiva:

It is often said that all conditions for the first production of a living organism are now present, which could ever have been present. But if (& oh what a big if) we could conceive in some warm little pond with all sorts of ammonia & phosphoric salts, —light, heat, electricity &c present, that a protein compound was chemically formed, ready to undergo still more complex changes, at the present day such matter would be instantly devoured, or absorbed, which would not have been the case before living creatures were formed.

En gran medida, la investigación del propio Deamer se ha centrado en poner a prueba la idea de Darwin.

Para Deamer, el agua dulce de las fuentes y pozas termales existentes en las zonas volcánicas ya emergidas de la Tierra primitiva pudo tener propiedades físicas y químicas que hicieron más fácil el origen de la vida. La lógica detrás de esta idea es fácil de entender, observando lo que ocurre en un paisaje volcánico incluso hoy día, donde las pozas de aguas termales (como aquel *warm little pond* de Darwin) se secan y se inundan repetidamente, en ciclos de evaporación y rellenado. En experimentos de laboratorio se ha observado que estos ciclos de

deshidratación y rehidratación concentran diferentes especies químicas (que actúan como potenciales reactivos, formando películas y geles sobre superficies minerales). A la vez, dichos ciclos húmedo-seco-húmedo suponen la fuente de energía necesaria para sintetizar las macromoléculas esenciales para la vida (biopolímeros, como proteínas y ácidos nucleicos), mediante reacciones de condensación a partir de sus constituyentes químicos más sencillos (monómeros, como carbohidratos, aminoácidos y nucleótidos). Además, dice Deamer, si están presentes ciertas moléculas simples con propiedades anfifílicas (como algunos ácidos grasos), que pueden autoensamblarse en forma de vesículas, entonces los polímeros pueden quedar encapsulados en estos compartimentos microscópicos rodeados por membranas. Estas estructuras reciben el nombre de protocélulas. Las protocélulas no están vivas, pero tienen la capacidad de atravesar procesos de selección y evolución química hacia la vida.

Según Deamer, los experimentos naturales que desembocaron en el origen de la vida nunca habrían tenido lugar en el inmenso océano primitivo a no ser que se pudieran mantener juntas, en mismo lugar, mezclas complejas de varios compuestos solubles en agua. Entre otras razones, porque su concentración en el medio acuoso del océano primigenio habría sido tan baja como para hacer imposibles las reacciones químicas necesarias. Por otro lado, incluso disoluciones muy diluidas pueden alcanzar concentraciones extremadamente altas cuando se evapora el agua dulce de las fuentes termales superficiales en islas volcánicas. En resumen, la idea de Deamer es que, probablemente, la vida se originó en los

ambientes hidrotermales superficiales de origen volcánico, donde se encontraban los ingredientes necesarios para originar la vida, así como las condiciones de ciclos húmedos y secos que facilitaron su interacción química y la selección natural. Una idea controvertida, como reconoce el propio Deamer, pero que solventa algunas de las críticas de otras hipótesis y modelos explicativos del origen de la vida en la Tierra (véase también el trabajo de Van Kranendonk y colaboradores 2019, y referencias ahí citadas).

Lo que nos queda por descubrir

Antes de que podamos comprender bien el origen de la vida en un planeta estéril pero habitable como la Tierra primitiva, es necesario llenar (siquiera parcialmente) una serie de lagunas en nuestro conocimiento. Y la tercera parte del libro de Deamer recopila algunas de las muchas preguntas que existen hoy día en relación con el origen de la vida, preguntas que podrían llenar las carreras científicas de muchos investigadores jóvenes. Por ejemplo: ¿Cuál fue la fuente de energía utilizada y cuál el origen de los monómeros necesarios para sintetizar las macromoléculas informacionales de la vida, como las proteínas y los ácidos nucleicos? ¿El así llamado Mundo del ARN es real, o solo una conjetura? ¿Cómo se incorporó la información genética a los ácidos nucleicos y cómo las proteínas se hicieron finalmente con la función catalítica de las enzimas? ¿Mediante qué procesos evolutivos emergió un ribosoma primitivo? ¿Cómo se estableció el código genético

mediante el cual una secuencia de bases del ADN se traduce finalmente en una secuencia de aminoácidos? ¿Cómo se incorporó el metabolismo (es decir, la compleja red de reacciones catalizadas por enzimas que transforman moléculas orgánicas en los productos necesarios para mantener la vida) a las primeras formas vivas a partir de mezclas caóticas de los compuestos y las formas de energía existentes en la Tierra prebiótica? ¿Cómo se desarrollaron los intrincados bucles de retroalimentación y control que permitieron la integración funcional de sistemas de polímeros en un nivel superior? ¿De dónde vienen los virus? O ¿qué es LUCA, el “Último Ancestro Común Universal”?

Implicaciones de la hipótesis de Deamer

Por supuesto, no sabemos cómo se originó la vida en la Tierra, y es más que probable que esta sea una de esas preguntas para las que la ciencia nunca encuentre una respuesta. Lo cierto es que no toda la comunidad científica está de acuerdo con el modelo explicativo de Deamer que he resumido más arriba. Es decir, no todos aceptan la hipótesis de que las fuentes termales en superficies emergidas fueron los lugares en donde se originó la vida en nuestro planeta. Como señalan Van Kranendonk y colaboradores (2019), la hipótesis del Mundo de Hierro y Azufre ligado a las chimeneas hidrotermales submarinas de los grandes fondos oceánicos sigue “viva y coleando”.

Como quiera que sea, ambas hipótesis tienen implicaciones que van más allá de guiar las futuras investigaciones sobre el origen de la vida en nuestro propio planeta. En la búsqueda de vida en otros mundos, un modelo oceánico sobre el origen de la vida (como el del Mundo de Hierro y Azufre) podría orientar nuestra investigación astrobiológica hacia ambientes distintos a los que nos llevaría un modelo terrestre (es decir, en superficies emergidas, como el modelo de Deamer). En el primer caso, los océanos congelados de Europa y Encélado, satélites de Júpiter y Saturno respectivamente, podrían verse como ambientes adecuados a nuestra exploración. Pero, en el segundo caso, resultaría menos probable que esos mismos ambientes albergasen vida. O, en relación con la posibilidad de vida en Marte, si el origen de la vida estuviera ligado a las chimeneas hidrotermales submarinas, entonces sería más improbable que hubiera podido emerger la vida en el Planeta Rojo. Mientras que, si el origen de la vida en la Tierra estuviera en las pozas termales de las masas emergidas, entonces parecería más probable que también se hubiera originado vida en Marte, ya que este planeta contó hace miles de millones de años con un extendido vulcanismo y agua líquida (Van Kranendonk y colaboradores 2019).

¿Todo lo que hay que saber?

El libro de Deamer que aquí reseño forma parte de una importante colección editada por la Oxford University Press (OUP) que incluye más de 100 títulos escritos por

autoridades en la materia correspondiente, sobre temas actuales de lo más diversos y en muchos casos complejos (como el ateísmo, la inteligencia artificial, el cambio climático, la evolución o las pandemias), y que se presentan al público lector en un mismo formato (de preguntas y respuestas). Se trata de la colección *What Everyone Needs to Know*, que podemos traducir como “Lo que todos tienen que saber”.



Figura 2. Portada de la traducción al español del libro de Deamer (2020).

Sin embargo, la traducción de la obra de Deamer a nuestro idioma apareció en 2022 con el subtítulo “Todo cuanto hay que saber” (Figura 2). No es lo mismo. El libro de Deamer no nos muestra todo lo que hay que saber sobre el origen de la vida; de hecho, no es este el “espíritu” de la colección, cuyos títulos ofrecen al lector los conocimientos básicos (*sic*) necesarios para poder participar en una

conversación al respecto (por ejemplo, búsquese *What Everyone Needs to Know* en la página web de la OUP, <https://corp.oup.com/>).

Pero es que, además, el libro de Deamer no es un libro imparcial, como reconoce el propio autor. Más arriba hemos visto, aunque muy someramente, que hay muchas aproximaciones e hipótesis sobre el origen de la vida en la Tierra. Pues bien, como observa Deamer en su libro, estas ideas están siendo “evaluadas por un jurado” de científicos expertos en la materia, en función de la capacidad explicativa y el peso de la evidencia a favor o en contra de cada una de ellas. Y Deamer es un miembro de tal “jurado”, aunque no un miembro imparcial, pues obviamente defiende su propio modelo explicativo. Así pues, difícilmente puede ser su libro “todo cuanto hay que saber”. En realidad, la literatura disponible sobre el tema es muy amplia, tanto en inglés como en español, y permite que el lector que quiera saber más pueda saciar fácilmente su curiosidad. Aunque el libro de Deamer no sea “todo cuanto hay que saber”, sería de desear que estuviera entre “lo que todos tienen que saber”.

Notas

¹ Los compuestos anfifílicos, del griego *anfi* (ambos) y *philos* (amigo o amante), son moléculas que presentan una parte con mayor afinidad por la molécula del agua (es decir, hidrofílica), y otra parte afín a las moléculas grasas (lipofílica). Este carácter anfifílico en una misma molécula permite entender su importante función en relación con el autoensamblaje de estructuras membranosas.

² Ga, por *giga annum*, es la abreviatura de una unidad de tiempo muy utilizada en astronomía, geología y estudios sobre el origen de la vida, para hacer referencia a periodos de tiempo muy grandes que de otro modo serían más difíciles de expresar y comprender. Un gigaaño (que equivale al billón de años de la literatura en inglés) es igual a mil millones de años: 1 Ga = 10⁹ años = 1 000 000 000 años.

³ “Se suele decir que todas las condiciones para la primera producción de un organismo vivo están presentes ahora, y que siempre pudieron haber estado presentes. Pero si (¡y vaya si es un gran “si”!) pudiéramos concebir que en algún charquito cálido, con toda clase de sales de amoníaco y fosfóricas, luz, calor, electricidad, etc., presentes, se hubiera formado químicamente un compuesto proteico, listo para experimentar cambios aún más complejos... en la actualidad, esa materia sería devorada o absorbida al instante, cosa que no habría sucedido antes de que se formaran los seres vivos.” (Traducción del editor.)

Referencias

Aguilera JA (2017) *El Origen de la Vida. La Aparición de los Primeros Microorganismos*. Barcelona: RBA.

Bachiller R (2019) El origen astroquímico de los sistemas planetarios y la vida. *TEMAS Monográficos de Investigación y Ciencia* 96:11-19.

Chatterjee S (2023) *From Stardust to First Cells. The Origin and Evolution of Early Life*. Cham: Springer.

Deamer DW (2020) *Origin of Life. What Everyone Needs to Know*. New York: Oxford University Press.

Franknoi A, Morrison D and Wolff SC (2022) *Astronomy 2e*. Houston: OpenStax.

González Oreja JA (2016) Quo vadis, panspermia? Del origen de la vida en la Tierra a una ecología interplanetaria. *eVolución, Revista de la Sociedad Española de Biología Evolutiva* 11(1): 71-88.

Kauffman S (1995) *At Home in the Universe. The Search for Laws of Self-Organization and Complexity*. Oxford: Oxford University Press.

Luisi PL (2016) *The Emergence of Life. From Chemical Origins to Synthetic Biology*. Cambridge: Cambridge University Press.

Van Kranendonk MJ, Deamer DW and Djokic T (2019) Fuentes de vida. *TEMAS Monográficos de Investigación y Ciencia* 96:44-51.

Manuscrito aceptado