

Ariel

VIDA Y COSMOS

¿ES LA TIERRA UNA EXCEPCIÓN?

MARIO LIVIO

JACK SZOSTAK

Un premio nobel y un
astrofísico superventas
unen sus fuerzas para
descubrir cómo el
universo insufló vida a la
materia.

26 DE NOVIEMBRE
A LA VENTA



AUTORES DISPONIBLES PARA ENTREVISTAS

PARA AMPLIAR INFORMACIÓN

Laia Barreda | RESPONSABLE DE COMUNICACIÓN ÁREA DE ENSAYO
659 45 41 80 | laia.barreda@planeta.es

SINOPSIS

Una exploración decisiva sobre si la vida es un accidente fortuito o un imperativo químico

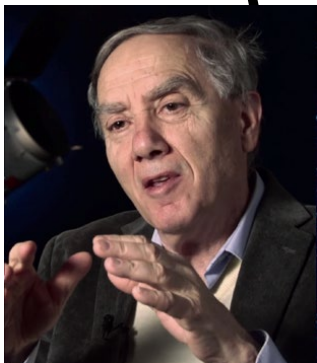
Durante más de un siglo, los orígenes y la expansión de la vida en la Tierra han permanecido envueltos en misterio. En *Vida y cosmos*, Mario Livio y Jack Szostak nos muestran cómo nuevos descubrimientos y tecnologías pioneras están generando un progreso científico inaudito. Los autores describen cómo los elementos básicos de la vida —desde el ARN hasta los aminoácidos y las células— pudieron surgir del caos en las etapas más tempranas de la existencia de la Tierra.

A través de la visión panorámica que ofrece la astrobiología Livio y Szostak nos sumergen de una forma amena y profunda en el conocimiento actual sobre el origen de la vida en la Tierra y en la búsqueda de respuesta a dos interrogantes fundamentales y absolutamente fascinantes: ¿cómo surgió la vida? ¿Estamos solos en el cosmos?

«Provocativo e incisivo, aborda la eterna pregunta sobre la vida más allá de la tierra, para saber la respuesta, deberás leer el libro.»

Thomas R. Cech, Premio Nobel de Química

LOS AUTORES



MARIO LIVIO ([@Mario Livio](#)) es astrofísico y miembro del Space Telescope Science Institute, organismo encargado de operar el telescopio Hubble. Es autor de *La proporción áurea*, un libro que, además de haber sido un éxito en todo el mundo, le proporcionó el premio Pitágoras y el Peano. También ha escrito los libros *¿Es Dios un matemático?* y *La ecuación jamás resuelta*, todos ellos publicados en Ariel.



JACK SZOSTAK es profesor de química en la Universidad de Chicago. Galardonado por sus trabajos sobre la telomerasa, una enzima que forma los telómeros durante la duplicación del ADN, en 2009 recibió el Premio Nobel de Medicina, junto con Elizabeth Blackburn y Carol Greider.

ALGUNOS EXTRACTOS

«El origen de la vida sigue siendo un misterio. Se han logrado enormes avances en el conocimiento de los componentes básicos de los seres vivos, pero todavía no se sabe con precisión qué fue lo que hizo que estos emergieran de forma espontánea, o el modo en que aparecieron de repente las primeras células. En palabras del científico británico John Sutherland, todo lo que se puede afirmar acerca de ese momento trascendental, en que la química dio paso a la biología, es que esta última surgió “inesperadamente, de las profundidades”».

«Este libro narra la historia de dos empeños paralelos y fascinantes: uno, el que tiene como meta explícita el descubrimiento en el laboratorio de la ruta que va de la química a la biología, y el otro, encaminado a encontrar formas de vida extraterrestre. Ambos esfuerzos cooperan de manera implícita, aunque en ocasiones compiten entre sí (por ver cuál alcanza antes su objetivo). Sin embargo, siempre resultan apasionantes y son mutuamente complementarios en su afán por resolver enigmas fundamentales del ser humano: ¿de dónde venimos?, ¿por qué estamos aquí?, ¿estamos solos? Dicho de otro modo y aun a riesgo de sonar algo grandilocuentes, el propósito último de estas indagaciones es, literalmente, comprender nuestro propio origen y el lugar que ocupamos en este vasto, antiguo e intrincado cosmos».

El mundo de ARN

«Los componentes ribonucleicos de los ribosomas no son meros convidados de piedra, sino que ¡son los catalizadores de la síntesis proteica en todos los casos! Las implicaciones de estos sorprendentes descubrimientos son evidentes: puesto que los diferentes tipos de ARN fabrican las proteínas, deben ser anteriores a ellas. Esta es la prueba irrefutable que confirma la hipótesis del mundo de ARN, la cual postula una época anterior y más sencilla, previa a la aparición de los procesos vitales de la actualidad. Una época en que las enzimas eran ribozimas».

«La explicación más sencilla de las múltiples funciones del ácido ribonucleico pasa por suponer que los seres vivos aparecieron con esta sustancia como su material genético, al mismo tiempo que se hacía cargo de la catálisis y de las actividades regulatorias. En épocas posteriores, a medida que las formas de vida evolucionaron, esa primera tarea fue asumida por el ADN, una molécula mucho más estable desde el punto de vista químico, cuya resistencia en este sentido la convierte en una mejor opción para almacenar información valiosa. Del mismo modo, el papel catalizador del ARN fue reemplazado en gran medida por las enzimas proteicas, que son más eficaces a este respecto, al poseer una mayor diversidad de grupos químicos».

«Una cuestión importante es saber si el ADN pasó a ser la principal secuencia en la que almacenar el material genético en las etapas iniciales o finales del proceso evolutivo y

también si este cambio se produjo de golpe o como resultado de una transición gradual. Un argumento a favor de que el ácido desoxirribonucleico desempeñara un papel en un momento temprano es el hecho de que la síntesis de desoxirribonucleótidos pudo haber ocurrido junto a la de ribonucleótidos. De haber sido así, las células primordiales podrían contener un polímero que fuera una mezcla de fragmentos de ARN y de ADN».

De la química a la biología

«Para resumir el escenario que empieza a dibujarse, se detallan ahora los pasos que contemplamos. Primero, cae cianuro de la atmósfera, diluido en la lluvia. A continuación, es capturado en moléculas de ferrocianuro por el hierro que llega a la superficie en el agua que fluye a través de fracturas en la roca. Esta sustancia se acumula en lechos sedimentarios. En algún momento posterior, estas capas ricas en cianuro sufren el procesamiento térmico de flujos de lava o de impactos de meteoritos y de este modo surge una mezcla concentrada de materias primas reactivas y del ferrocianuro sobrante. Por último, esta mezcolanza es liberada y transportada por corrientes de agua subterránea.

Para entender lo que sucedió a continuación, hay que considerar una vez más el contexto planetario en el que tuvo lugar toda esta química prebiótica. Cuando el agua subterránea, con su abundante carga de compuestos reactivos de carbono y nitrógeno, emergió de la oscuridad telúrica del interior terrestre, a través de manantiales y arroyos, para fluir hasta lagos y charcas de poca profundidad, quedó expuesta por primera vez a los rayos del Sol. La radiación solar incidente sobre la Tierra primigenia debió de ser una prodigiosa fuente de energía, lo bastante potente como para poner en marcha una amplia gama de procesos químicos. Algunos de ellos fueron sencillos, otros complejos, beneficiosos o nocivos».

«Quizá el aspecto más importante de esta serie de reacciones demostradas de manera empírica sea que la investigación puntera ha propiciado la sustitución del anticuado concepto de “sopa prebiótica” por una sucesión de pasos en los que se estabilizan las sustancias intermediarias en la disolución, antes de purificarlas mediante la cristalización. Estos productos, que en esencia son minerales orgánicos, pueden acumularse con el tiempo, hasta que son destruidos o consumidos en reacciones en las siguientes etapas de la vía química.

No obstante, surge un interrogante obvio. ¿Cuál es la probabilidad de que estos pasos se produzcan en el orden correcto en la naturaleza, dadas las condiciones adecuadas, de modo que aparezcan los componentes básicos de la biología? Esta cuestión es muy difícil (si no imposible) de responder solo a partir de la química. Es posible que el aspecto más complicado (es decir, en el que el progreso es más lento) de toda esta cuestión sea reunir los ingredientes necesarios para los procesos vitales en el orden correcto, una vez que estos se han sintetizado y acumulado en depósitos. A la hora de responder a esta pregunta, la búsqueda astronómica de formas de vida extraterrestre podría aportar algunas claves, por ejemplo, si se lograra demostrar que este tipo de fenómenos son habituales en la galaxia».

La senda hacia la protocélula

«Ahora se dispone al menos de las líneas generales del escenario en el que pudieron aparecer las primeras protocélulas, con su apariencia de versiones simplificadas de sus equivalentes actuales, es decir, como recintos confinados por una membrana con ácidos nucleicos en su interior. Llegados a este punto, nos hallamos preparados para abordar el reto más difícil de todos: desentrañar el modo en que estos sencillos organismos, carentes de toda maquinaria desarrollada, pudieron empezar a crecer, multiplicarse, hacer réplicas de su ARN y evolucionar [...]. Las enzimas aceleran mucho este proceso y hacen que sea más preciso, pero es posible llegar a un resultado parecido sin ellas».

«Queda mucho por hacer para conocer todos los detalles. No obstante, la propuesta actual se basa en un conjunto considerable de trabajos experimentales y cuenta con el apoyo de sólidos argumentos teóricos. Si se está dispuesto a aceptar, por el momento, estas líneas generales, es posible empezar a preguntarse por el desarrollo evolutivo que condujo a la aparición de las características fundamentales que comparten las células actuales con el organismo ancestral a partir del cual surgieron todas las formas de vida presentes (el Último Antepasado Común Universal, LUCA, por sus siglas en inglés). Estos aspectos incluyen membranas hechas de lípidos complejos y un amplio arsenal proteico que controla el transporte molecular en ambos sentidos a través de esa barrera. Otro es la compleja red de procesos metabólicos que genera muchos, si no todos, los nutrientes que utiliza la célula. Por último, está la síntesis de proteínas codificadas por el ARN, que hace posible la producción de enzimas, de componentes de la membrana y del citoesqueleto (la estructura que ayuda a mantener la forma y las funciones celulares).

En qué momento la Tierra empezó a ser habitable

«Algunos científicos han propuesto que hace entre cuatro mil cien y tres mil ochocientos millones de años se produjo el llamado “Bombardeo Intenso Tardío (BIT)”, un acontecimiento en el que un número desproporcionado de asteroides y cometas (que son bolas de hielo, polvo y roca) se estrelló contra la superficie terrestre. En cambio, otros investigadores sostienen que esto nunca tuvo lugar [...]. Estos científicos sugieren que no hubo un Bombardeo Intenso Tardío, sino uno muy breve y anterior, que finalizó en torno a hace cuatro mil cuatrocientos millones de años, al que siguió un largo período de dos mil millones de años con un número progresivamente decreciente de incidencias y que continúa hasta la actualidad en cantidades cada vez menores. El motivo por el que estos detalles son importantes es que tienen consecuencias trascendentales a la hora de determinar el momento en que la Tierra empezó a ser habitable y en el que pudieran aparecer los primeros seres vivos. Algunos de los impactos de mayor envergadura habrían bastado para fundir parte de la corteza terrestre y destruir la mayoría de los incipientes organismos, si no todos. En cambio, los de menor tamaño podrían tener el efecto contrario, al crear temporalmente una atmósfera reductora (la que contiene gases con esta propiedad,

como el hidrógeno y el ácido cianhídrico). Una mezcla así habría sido más propicia para la aparición de formas de vida, ya que el cianuro habría constituido un excelente punto de partida para la síntesis de los componentes básicos de los procesos vitales. Los asteroides también aportarían metales, como el hierro, y otros elementos, como el fósforo y el azufre, necesarios para estas reacciones. Incluso la mayor parte del agua en la Tierra (tal vez hasta ocho veces el volumen de todos los océanos actuales, según una simulación) podría provenir de estos impactos primordiales. Algunos tipos de meteoritos también habrían transportado cantidades mucho menores de compuestos relevantes desde el punto de vista de la química prebiótica, tales como aminoácidos (cuyas cadenas podrían haber formado proteínas) y bases nitrogenadas, como las que integran el ARN. Colisiones aún menores habrían generado cráteres y una actividad geotérmica asociada, que habría resultado en fuentes termales y en lagos ricos en minerales».

La aparición de la vida en la Tierra

«No deja de ser sorprendente que se haya llegado a la conclusión de que los seres vivos terrestres podrían haber surgido en un escenario muy parecido a la clarividente “laguna tibia” de Darwin [...]. En nuestra opinión, hay dos lugares que cumplen estos requisitos: las fuentes termales en zonas volcánicas y los cráteres creados por impactos de asteroides».

«Lo importante aquí es que todos estos procesos físicos y químicos están relacionados y solo pueden ocurrir en entornos superficiales, lo que aporta numerosos indicios circunstanciales de que la aparición de los seres vivos primigenios fue un fenómeno que no pudo haberse producido en la vecindad de fuentes hidrotermales en el fondo marino».

«No está claro hasta qué punto podían las células del mundo de ARN (es decir, las anteriores a la aparición de la síntesis de proteínas conforme al código genético) conquistar nuevos medios. De ser posible un metabolismo catalizado por el ácido ribonucleico, los seres vivos que dispusiesen de él podrían extenderse a regiones más pobres en nutrientes en la medida en que desarrollasen la capacidad de sintetizar en su interior aquello que no encontraban en el exterior. En cualquier caso, es evidente que una vez desarrollada la síntesis proteica y, por lo tanto, tras la aparición de proteínas estructurales, de los componentes de la membrana y de las enzimas, los microorganismos empezaron a extenderse por todo el planeta. En la actualidad, casi no existe un entorno que no haya sido colonizado de este modo, incluidos algunos tan desafiantes como las fuentes hidrotermales situadas en el fondo del océano».

¿Vida extraterrestre?

«Nos sorprendería mucho que no se descubriera en Marte, una vez explorado a fondo, algún indicio de formas de vida existentes en el pasado. Si ese fuera el caso, esa ausencia podría significar dos cosas: que no basta con que las condiciones sean

prometedoras y que la aparición de la vida no es algo inevitable. Somos algo más escépticos en lo que se refiere a la presencia de una biosfera en la actualidad en Venus».

«Algunos de los satélites de Júpiter y Saturno deberían explorarse a fondo. Incluso si no se hallan formas de vida en los océanos que hay bajo su superficie (ni en los lagos de metano de Titán), estas lunas podrían aportar conocimientos nuevos y muy importantes sobre el concepto de habitabilidad».

«Estamos a punto de descubrir formas de vida en sistemas extrasolares o, al menos, podremos establecer, dentro de poco, límites significativos a su abundancia (en caso de que no se haya producido una detección). De cualquier manera, no cabe duda de que los primeros indicios en este sentido procederán de biomarcadores gaseosos. Estas sustancias podrían revelar un desequilibrio atmosférico o haberse producido en una biosfera mediante la fotosíntesis. Los astrónomos se han dado cuenta de que es probable que la evidencia más prometedora a este respecto provenga del descubrimiento de una concentración elevada de oxígeno molecular (posiblemente, a través del ozono). Sin embargo, los científicos pensaban hasta hace poco que el telescopio espacial James Webb no sería capaz de encontrar este gas. [Sin embargo], un equipo de la Universidad de Washington, dirigido por el astrobiólogo Joshua Krissansen-Totton [...] produjo en 2018 un fascinante resultado teórico. Emplearon simulaciones informáticas para demostrar que era plausible que JWST fuese capaz de detectar el biomarcador debido al estado de desequilibrio del par metano y dióxido de carbono. En concreto, llegaron a la conclusión de que este telescopio podría detectar la presencia de este último gas y, al mismo tiempo, estimar un límite a la abundancia del primero, con lo que se podrían descartar los mecanismos abióticos conocidos para su producción (con una seguridad del 90 por ciento). A este respecto, resulta especialmente alentador el hecho de que JWST lograra esta proeza en el exoplaneta del que más se ha hablado en los últimos tiempos (TRAPPIST-1e), el cual se encuentra en la zona habitable de una enana roja con una masa equivalente al 9 por ciento de la solar. TRAPPIST-1e es similar a la Tierra en tamaño, densidad, temperatura superficial y en la radiación que recibe de su estrella. Esto lo convierte de manera automática en uno de los cuerpos extrasolares merecedores de un análisis más detallado, en lo que se refiere a sus posibilidades de albergar seres vivos. Otro sistema que ha recibido mucha atención en este sentido es TOI-700, que contiene dos planetas similares al nuestro (TOI-700d y TOI-700e) en su zona habitable».

«Los astrónomos tampoco han tirado la toalla del todo en lo que se refiere a la detección de oxígeno [...]. Las próximas observaciones de JWST permitirán confirmar (o refutar) la presencia de dimetilsulfuro en cantidades significativas en K2-18b.».

Formas de vida naturales y antinaturales

«Cabe pensar que hay límites químicos, metabólicos y energéticos al tamaño y la capacidad de procesamiento de los cerebros orgánicos. Incluso puede que ya nos encontremos muy cerca de ellos. Sin embargo, estas barreras no son aplicables en el

caso de máquinas electrónicas de inteligencia artificial y, por lo tanto, estas no se ven constreñidas por ellas».

«Si unos seres posteriores a la humanidad dieran el salto y se convirtieran en mentes inorgánicas por completo, ya no necesitarían ni “lagunas tibias” ni atmósferas para sobrevivir. Incluso podrían preferir un medio carente de gravedad (es decir, el espacio exterior), sobre todo si tienen interés en construir artefactos de gran tamaño, de modo que buscar formas de vida inteligente de este tipo en exoplanetas “habitables” sería una pérdida de tiempo, porque es posible que los cerebros no biológicos desarrollen capacidades en el espacio que los humanos no podemos ni siquiera imaginar».

«El conocido papel dominante de las formas biológicas de inteligencia puede no ser más que una fase relativamente breve y transitoria en la evolución de los seres complejos. Una etapa más duradera e ignota podría estar gobernada por criaturas surgidas del futuro del aprendizaje automático».

«El tema de la consciencia plantea otra importante cuestión. Investigadores y filósofos no han zanjado aún el debate de si se trata de una propiedad emergente (que en última instancia adquirirán todos los sistemas de computación lo bastante complejos para ello) o si es algo asociado en exclusiva a los cerebros orgánicos».

¿Hay alguien ahí?

«Somos de la opinión de que, si es cierto que los humanos estamos solos en la Vía Láctea, esto no debe de ser solo porque los seres vivos no hayan conseguido aparecer en absoluto en otras partes, sino también porque el desarrollo de una especie inteligente y tecnológicamente avanzada, capaz de emitir señales susceptibles de detección, parece involucrar una serie de pasos con probabilidades bastante bajas de producirse».

«En 2015, se publicaron los resultados del mayor catálogo galáctico realizado hasta la fecha por el satélite Explorador de Infrarrojos de Campo Amplio (WISE, por sus siglas en inglés). Los investigadores en esta misión, dirigidos por el astrónomo Roger Griffith, de la Universidad Estatal de Pensilvania, examinaron unos cien mil objetos en busca de emisiones de gran intensidad en el infrarrojo medio (IRM). Pues bien, no hallaron ni uno solo en esa muestra que pudiera albergar una civilización alienígena que procesara del modo antes indicado más del 85 por ciento de la luz estelar en esa frecuencia y solo cincuenta ejemplares con magnitudes en el IRM congruentes con más del 50 por ciento de procesamiento».

«La NASA quiere aprovechar los estudios realizados de cara a dos misiones planeadas con anterioridad, denominadas LUVOIR (acrónimo en inglés de Analizador Ultravioleta, Visible e Infrarrojo de Gran Tamaño) y HabEx (Observatorio de Exoplanetas Habitables), y planea lanzar (tal vez hacia 2040) el Observatorio de Mundos Habitables (OMH). Este telescopio espacial buscará biomarcadores (y quizá incluso tecnomarcadores) en las longitudes de onda del infrarrojo, el visible y el ultravioleta,

en unos veinticinco planetas susceptibles de albergar organismos y que orbitan alrededor de estrellas similares al Sol».

¿Un logro inminente?

«Las conjeturas sobre seres con capacidades intelectuales desarrolladas y tecnológicamente avanzados incluyen muchas más incertidumbres que cuando se trata de formas de vida sencillas. En concreto, la búsqueda de inteligencias extraterrestres puede haber perseguido objetivos equivocados hasta la fecha. Es muy posible que las civilizaciones alienígenas de este tipo no sean orgánicas ni biológicas. Desde este punto de vista, puede que no permanezcan en la superficie planetaria en la que vivieron y evolucionaron sus antecesores de carne y hueso».

«El famoso astrofísico Stephen Hawking aconsejó que la humanidad fuera cautelosa a la hora de intentar entrar en contacto con una raza de alienígenas. En un vídeo que subió a internet, dijo que “Un encuentro con una civilización avanzada sería como si los nativos americanos se encontraran con Colón”, y añadió como advertencia: “Aquello no salió demasiado bien”.».

«También es probable que las creencias religiosas se vieran afectadas, aunque tal vez no tanto como uno se podría imaginar. Por ejemplo, el director del Observatorio Vaticano, el hermano Guy J. Consolmagno, afirmó su optimismo personal respecto a la capacidad de resistencia de la religión y afirmó: “Si tus creencias han sobrevivido durante milenios, si han podido soportar a Copérnico, Galileo e incluso a Darwin, entonces, en última instancia, E. T. debería resultar aceptable”.».

Ariel

PARA AMPLIAR INFORMACIÓN

Laia Barreda | RESPONSABLE DE COMUNICACIÓN ÁREA DE ENSAYO
659 45 41 80 | laia.barreda@planeta.es