

TEMAS 52

INVESTIGACION
Y CIENCIA

Edición española de SCIENTIFIC AMERICAN

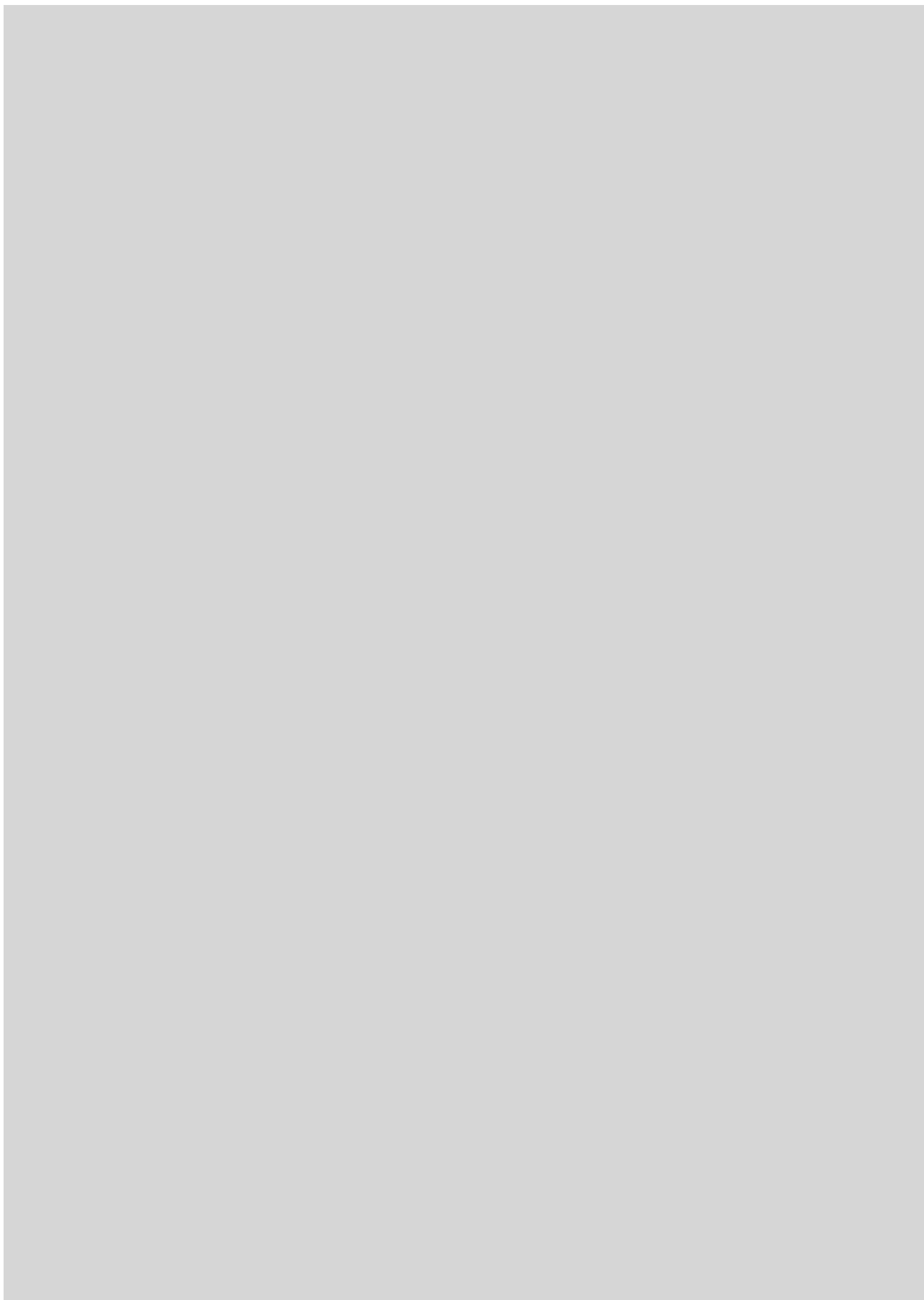
www.investigacionyciencia.es

6,50 EUROS

EL ORIGEN DE LA VIDA



2º TRIMESTRE 2008







KEN EDWARD / BIOGRAFIX

TEORIAS SOBRE EL ORIGEN DE LA VIDA

- 4 El origen de la vida**
Robert Shapiro
- 12 Hielo y origen de la vida**
David F. Blake y Peter Jenniskens
- 18 Origen mineral de la vida**
Robert M. Hazen
- 26 ¿Vino de otro mundo la vida?**
David Warmflash y Benjamin Weiss



DIVERSIDAD Y COMPLEJIDAD

- 36 Orígenes de la diversidad biológica**
Jean Vannier
- 44 Orígenes de la complejidad animal**
David J. Bottjer

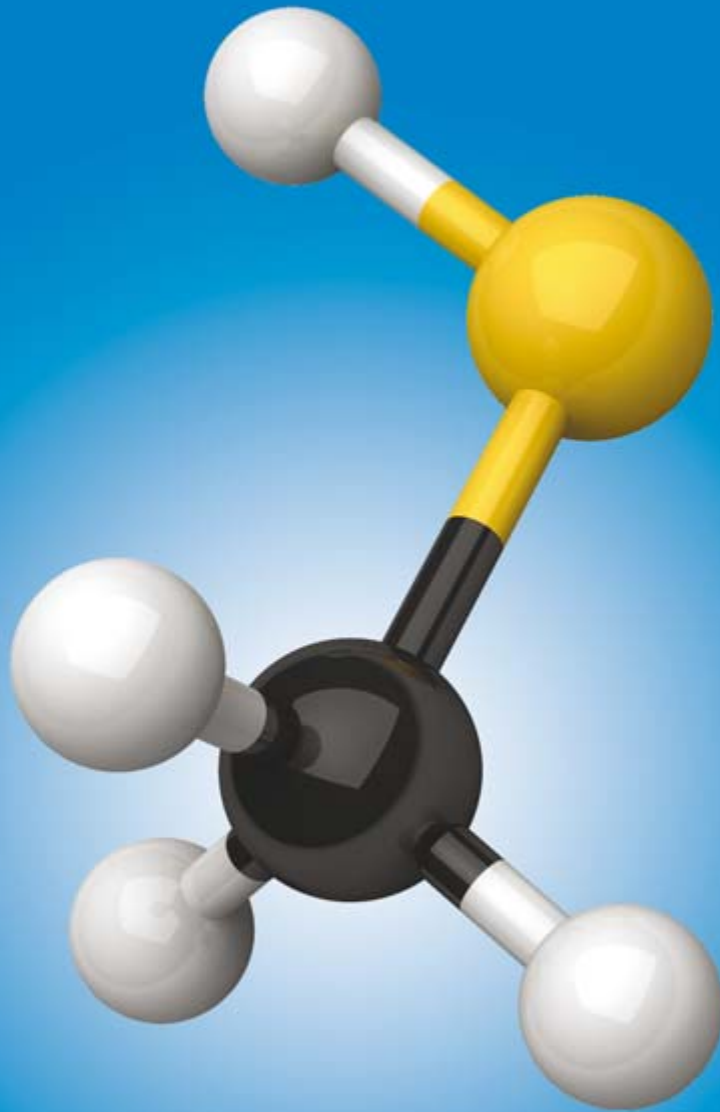
ESCALA DE LOS SERES

- 50 El origen de las células eucariotas**
Christian de Duve
- 60 El origen de las larvas**
Donald I. Williamson y Sonya E. Vickers
- 70 El origen de las aves y su vuelo**
Kevin Padian y Luis M. Chiappe
- 80 Origen y evolución de la pluma**
Richard O. Prum y Alan H. Brush
- 90 El origen de la mano humana**
David M. Alba, Salvador Moyà Solà y Meike Köhler



KAZUHIKO SANO

TEORIAS SOBRE EL ORIGEN DE LA VIDA



El
ORIGEN
de la **VIDA**



La aparición repentina de una macromolécula autorreplicante como el ARN era extremadamente improbable. Los iniciadores de la vida habrían sido entramados de reacciones químicas impulsados por una fuente de energía

Robert Shapiro

Los descubrimientos extraordinarios inspiran conclusiones extraordinarias. Así, James Watson explica que inmediatamente después de que él y Francis Crick desvelasen la estructura del ADN, Crick salió disparado hacia el pub Eagle para contar a todo el que estuviese dispuesto a escucharle que habían descubierto el secreto de la vida. La estructura del ácido nucleico, una elegante doble hélice, merecía tamaño entusiasmo. Sus dimensiones permitían el almacenamiento de información en un lenguaje de cuatro compuestos químicos, las bases nitrogenadas, que llevaban a cabo una función análoga a la que desempeñan las 28 letras del alfabeto.

La información se almacenaba en dos largas cadenas. Cada una especificaba el contenido de la otra. Tal organización sugería un mecanismo para la reproducción: primero, las dos hebras de la doble hélice de ADN se separaban; luego, nuevos nucleótidos (los ladrillos del ADN y que contienen las bases) se alineaban a lo largo de las hebras separadas y se unían. Se obtenían, así, dos dobles hélices, cada una réplica de la original.

La estructura de Watson y Crick desencadenó una avalancha de descubrimientos sobre el modo en que operan las células. Esos hallazgos estimularon también las especulaciones en torno al origen de la vida. H. J. Muller, premio Nobel, escribió que el material genético era “material vivo, el representante actual de la primera forma de vida”; Carl Sagan lo representó como un “gen primitivo desnudo, con vida independiente e inmerso en una disolución diluida de materia orgánica”. (En ese contexto, “orgánico” hace referencia a moléculas que contienen átomos de carbono enlazados, tanto las que se encuentran presentes en las formas de vida como las que no desempeñan ninguna función biológica.)

Se han propuesto multitud de definiciones de la vida. El comentario de Muller estaría en consonancia con la que se ha denominado “la definición de la NASA”: la vida corresponde a un sistema químico autosuficiente, capaz de experimentar una evolución de tipo darwinista.

En su libro *El gen egoísta*, Richard Dawkins profundizó sobre esta imagen de la primera

entidad viva: “En algún momento, surgió por casualidad una molécula de particular interés. La denominaremos el *replicador*. Puede que no fuese la molécula de mayor tamaño o complejidad, pero poseía la extraordinaria capacidad de autorreplicarse”. Cuando Dawkins escribió esas palabras hace 30 años, el ADN era el candidato más probable para desempeñar ese papel. Más tarde, los investigadores volvieron su atención hacia otras moléculas como posibles replicadores primordiales. Sin embargo, otros expertos y yo mismo pensamos que el modelo del origen de la vida basado en una estructura replicadora es, en su esencia, erróneo. Proponemos un modelo alternativo, a nuestro parecer mucho más convincente.

Cuando el ARN dominaba la Tierra

Las primeras objeciones a la teoría del “ADN primordial” no tardaron en aparecer. La replicación del ADN requiere la intervención de cierta serie de proteínas, macromoléculas que difieren químicamente del ADN. Ambos, proteínas y ADN, se obtienen mediante la concatenación de subunidades o monómeros; pero mientras el ADN se fabrica a partir de nucleótidos, las proteínas se construyen con aminoácidos. Las proteínas llevan a cabo numerosas funciones celulares. Las enzimas, la subclase de proteínas más famosa, operan como catalizadores: aumentan la velocidad de procesos químicos que, sin ellas, se desarrollarían de una forma exasperantemente lenta e inútil para la vida. Pero las proteínas se fabrican siguiendo las instrucciones codificadas en el ADN.

Llegamos así al viejo dilema evolutivo: ¿qué fue primero, el huevo o la gallina? El ADN contiene la receta para la síntesis de proteínas. Sin embargo, esa información no se puede recuperar o copiar sin la ayuda de proteínas. ¿Cuál fue la primera macromolécula: las proteínas (la gallina) o el ADN (el huevo)?

Una posible respuesta surgió cuando se centró la atención en un nuevo candidato: el ARN, molécula versátil que se construye, al igual que el ADN, mediante el ensamblaje de nucleótidos, aunque desempeña numerosas funciones celulares. Ciertos ARN transportan la información desde el ADN hasta los ribo-

CONCEPTOS BASICOS

- Las teorías sobre el origen de la vida se dividen en dos grupos principales: las que se basan en un “replicador primordial”, una macromolécula autorreplicante (así, el ARN) que se habría formado por casualidad, y las teorías que se fundan en un “metabolismo primigenio”, un sistema de moléculas pequeñas que formarían un entramado de reacciones químicas impulsado por una fuente de energía y capaz de evolucionar.
- Los defensores del modelo del replicador primordial deben explicar cómo se pudo formar una molécula de tamaño complejidad antes de que arrancara el proceso evolutivo.
- Los partidarios del modelo del metabolismo primigenio deben demostrar que, cuando la Tierra era joven, pudieron establecerse entramados de reacciones químicas con capacidad para el crecimiento y la evolución.

PREGUNTAS FRECUENTES

¿Implica la hipótesis de un metabolismo primigenio un origen de la vida único o múltiples orígenes independientes?

Según el modelo basado en un metabolismo primordial, parece más viable un escenario con múltiples orígenes. En el libro "Life beyond Earth" que *Scientific American* publicó en 1980, Gerald Feinberg y el autor del artículo discuten la posibilidad de vida alienígena (que no está basada en el ARN, ADN y otros elementos bioquímicos con los que estamos familiarizados). Los expertos que asistieron al congreso que organizó Paul Davies en la Universidad estatal de Arizona en diciembre de 2006 concluyeron que es posible que la vida alienígena exista incluso en nuestro planeta, aunque no la hayamos detectado. La inmensa mayoría de los microorganismos que se observan con un microscopio no crecen en los medios de cultivo al uso; por tanto, siguen sin estar caracterizados. Los microorganismos alienígenas quizás existan también en hábitats de la Tierra que resultan demasiado extremos para las formas de vida conocidas, incluso las más resistentes.

¿Por qué es necesaria la demostración experimental de la hipótesis del metabolismo primordial? ¿No bastan las simulaciones por ordenador?

Stuart Kauffman, Doron Lancet y otros investigadores han utilizado simulaciones por ordenador para mostrar la viabilidad de los ciclos de reacción autosuficientes. Pero esas simulaciones no especifican la concentración de los reactivos, ni las condiciones de reacción necesarias para la aparición de redes químicas autosuficientes. No conocemos todavía todas las rutas de reacción que pueden seguir las mezclas de compuestos orgánicos sencillos y, mucho menos, sus constantes de reacción termodinámicas. ▼

somas, orgánulos integrados en buena medida por otros tipos de ARN y donde se lleva a cabo la síntesis de proteínas. Mientras desempeña sus múltiples funciones, el ARN adopta la forma de una doble hélice, que recuerda al ADN, o la de una hebra sencilla plegada, a la manera de la proteína.

A principios del decenio de los ochenta, se descubrieron las ribozimas, moléculas similares a las enzimas pero hechas de ARN. Surgió así una sencilla solución a la adivinanza del huevo y la gallina. La vida comenzaría con la aparición de la primera molécula de ARN capaz de autorreplicarse.

En un artículo clásico publicado en 1986, Walter Gilbert, premio Nobel, escribía en la revista *Nature*: "Se puede considerar un mundo de ARN, donde sólo hay moléculas de ARN que catalizan la síntesis de sí mismas... Por tanto, la primera etapa de la evolución se desarrolla mediante moléculas de ARN que llevan a cabo las actividades catalíticas necesarias para autoensamblarse a partir de una sopa de nucleótidos". Según esa hipótesis, el primer ARN autorreplicante que surgió de la materia inerte desempeñaba las funciones que hoy cumplen el ARN, el ADN y las proteínas.

Varios datos adicionales respaldan la hipótesis de que, en la evolución de la vida, el ARN surgió antes que las proteínas y que el ADN. Así, los cofactores, moléculas de un tamaño restringido, intervienen en las reacciones catalizadas por enzimas. Con frecuencia, esos cofactores portan unido un nucleótido de ARN, sin función manifiesta. Tales estructuras se han considerado "fósiles moleculares", reliquias de una época en que el ARN, ausentes ADN y proteínas, dominaba el mundo bioquímico.

Sin embargo, esa y otras pruebas respaldan sólo la conclusión de que el ARN precedió al ADN y a las proteínas. No aportan, sin embargo, ninguna información sobre el origen de la vida, que puede haber precisado de etapas previas al mundo de ARN, en las que imperaban otras entidades vivas. Para mayor confusión, suele emplearse la expresión "mundo de ARN" para referirse a ambos conceptos. Nosotros restringiremos el uso de "ARN primordial" a la participación del ARN en el origen de la vida, para distinguirlo de la aseveración de que el ARN apareció antes que el ADN y las proteínas.

Sopa primitiva de moléculas

La hipótesis del "ARN primordial" se enfrenta a una cuestión crucial: ¿Cómo surgió ese primer ARN autorreplicante? Hay obstáculos imponentes que se levantan contra la tesis de Gilbert, según la cual el ARN se formó a partir de una sopa de nucleótidos inertes.

Los nucleótidos del ARN corresponden a moléculas orgánicas complejas. Cada uno consta de varias subunidades: un azúcar, un grupo fosfato y una de las cuatro posibles bases nitrogenadas. Por tanto, cada nucleótido de ARN contiene entre 9 y 10 átomos de carbono, numerosos átomos de oxígeno y nitrógeno, y el grupo fosfato, todos ellos enlazados según un patrón tridimensional preciso. Existen múltiples formas alternativas de establecer tales conexiones; podrían generarse, por tanto, miles de otros posibles nucleótidos. Sin embargo, todas esas opciones alternativas no aparecen representadas en el ARN. Además, esa cifra resulta ínfima al lado de los cientos de miles o millones de moléculas orgánicas que presentan un tamaño similar y no corresponden a nucleótidos.

La hipótesis de que, pese a todo, se habrían formado los nucleótidos adecuados se inspira en un experimento archifamoso. En 1953 Stanley L. Miller aplicó una descarga eléctrica a una mezcla de gases sencillos que, supuestamente, representaban la atmósfera terrestre primitiva. Observó entonces la formación de aminoácidos. También se han identificado aminoácidos entre los componentes del meteorito Murchinson, que cayó sobre Australia en 1969. La naturaleza parece haber sido generosa a la hora de suministrar "ladrillos" moleculares. A partir de la extrapolación de esos resultados, algunos autores han imaginado que *todos* los componentes de la vida se encuentran ya en los meteoritos y podrían formarse fácilmente mediante experimentos parecidos al de Miller. Pero ése no es el caso.

Los aminoácidos —incluidos los que se obtienen en experimentos parecidos a los de Miller— evidencian una complejidad menor que la de los nucleótidos. Constan de un grupo amino (un nitrógeno y dos hidrógenos) y un grupo ácido carboxílico (un carbono, dos oxígenos y un hidrógeno), unidos ambos al mismo átomo de carbono. El más sencillo de los 20 aminoácidos que se utilizan para la síntesis de las proteínas naturales contiene sólo dos átomos de carbono; otros diecisiete constan de seis átomos de carbono o menos.

Los aminoácidos y otras sustancias producidas en abundancia en el experimento de Miller contenían entre dos y tres átomos de carbono. En cambio, nunca se ha detectado la presencia de ningún nucleótido, ni entre los productos de los experimentos con descargas eléctricas ni en los estudios de meteoritos. Parece que la materia inerte muestra preferencia por la formación de moléculas compuestas de pocos átomos de carbono; no favorece, por tanto, la síntesis de los nucleótidos necesarios para nuestra forma de vida.