

# Origen de la vida

La cuestión del origen de la vida en la Tierra, ha generado en las ciencias de la naturaleza un campo de estudio especializado cuyo objetivo es elucidar cómo y cuando surgió. La opinión más extendida en el ámbito científico establece la teoría de que la vida evolucionó de la materia inerte en algún momento entre hace 4.400 millones de años, cuando se dieron las condiciones para que el vapor de agua pudiera condensarse por primera vez y 2.700 millones de años, cuando la proporción entre los isótopos estables de carbono ( $^{12}\text{C}$  y  $^{13}\text{C}$ ), de hierro ( $^{56}\text{Fe}$ ,  $^{57}\text{Fe}$  y  $^{58}\text{Fe}$ ) y de azufre ( $^{32}\text{S}$ ,  $^{33}\text{S}$ ,  $^{34}\text{S}$  y  $^{36}\text{S}$ ) inducen a pensar en un origen biogénico de los minerales y sedimentos que se produjeron en esa época y los biomarcadores moleculares indican que ya

existía la fotosíntesis. Además entrarían aquí ideas e hipótesis sobre un posible origen extraplanetario o extraterrestre de la vida (panspermia), que habría sucedido durante los últimos 13.700 millones de años de evolución del Universo conocido tras el Big Bang.

El cuerpo de estudios sobre el origen de la vida forman un área limitada de investigación, a pesar de su profundo impacto en la biología y la comprensión humana del mundo natural. En el objetivo de reconstruir el evento se emplean diversos enfoques basados en estudios tanto de campo como de laboratorio:

\* Por una parte el ensayo químico en el laboratorio o la observación de procesos geoquímicos o astroquímicos que produzcan los constituyentes de la vida en las condiciones en las que se piensa que pudieron suceder en su entorno natural.

\* En la tarea de determinar estas condiciones se toman datos de la geología de la edad oscura de la tierra a partir de análisis radiométricos de rocas antiguas, meteoritos, asteroides y materiales considerados prístinos, así como la observación astronómica de procesos de formación estelar.

\* Por otra parte, se intenta hallar las huellas presentes en los actuales seres vivos de aquellos procesos mediante la genómica comparada y la búsqueda del genoma mínimo.

\* Y por último se trata de verificar las huellas de la presencia de la vida en las rocas, como microfósiles, desviaciones en la proporción de isótopos de origen biogénico y el análisis de entornos, muchas veces extremófilos semejantes a los paleoecosistemas iniciales.

Los progresos en esta área son generalmente lentos y esporádicos, aunque aún atraen la atención de muchos dada la importancia de la cuestión que se investiga. Existe una serie de observaciones que apuntan las condiciones fisicoquímicas en las cuales pudo emerger la vida, pero todavía no se tiene un cuadro razonablemente completo acerca de cómo pudo ser este origen. Se han propuesto varias teorías, siendo las más importantes en cuanto al número y calidad de investigadores que la apoyan la hipótesis del mundo de ARN y la Teoría del mundo de hierro-sulfuro.



Estromatolitos del precámbrico en la Formación Siyeh, Parque Nacional de los Glaciares, Estados Unidos. En 2002, William Schopf de la UCLA publicó un polémico artículo en la revista Nature defendiendo que este tipo de formaciones geológicas fueron creadas por cianofíceas fósiles

con una antigüedad de 3.500 millones de años. De ser cierto, serían las formas de vida más antiguas conocidas.

### **Primeras evidencias directas de aparición de la vida**

Una de las formas de verificar la actividad biológica es una curiosa propiedad de los sistemas celulares, como la fotosíntesis que incorporan CO<sub>2</sub> de diversas fuentes para organificarlo. Existen dos isótopos estables del carbono, C12 y C13, siendo sus abundancias relativas fijas en la atmósfera. Cuando se incorpora CO<sub>2</sub> por un sistema biológico, este prefiere ligerísimamente el isótopo más ligero, enriqueciendo las rocas carbonatadas en el otro isótopo.

La prueba de una aparición temprana de la vida viene del cinturón supracortical de Isua en Groenlandia occidental y formaciones similares en las cercanas islas de Akilia. El carbono que forma parte de las formaciones rocosas tiene una concentración de  $\delta^{13}C$  elemental de aproximadamente -5.5, lo que debido a que en ambiente biótico se suele preferir el isótopo más ligero del carbono, <sup>12</sup>C, la biomasa tiene una  $\delta^{13}C$  de entre -20 y -30. Estas "firmas" isotópicas se preservan en los sedimentos y Mojzsis ha usado esta técnica para sugerir que la vida ya existió en el planeta hacia 3.850 millones de años. Lazcano y Miller (1994) sugieren que la rapidez de la evolución de la vida está determinada por la tasa de agua recirculante a través de las fumarolas submarinas centrooceánicas. La recirculación completa lleva 10 millones de años, por ello cualquier compuesto orgánico producido por entonces podría ser alterado o destruido por temperaturas que excedan los 300 °C. Ambos estiman que el desarrollo a partir de un genoma de 100 kilobases de un heterótrofo primitivo de ADN/proteínas hasta la generación de un genoma de 7.000 genes de una cianobacteria filamentosa hubiera requerido sólo 7 millones de años.

### *Composición hadeica de la atmósfera, los océanos y la corteza terrestre*

Según diferentes métodos radiométricos, la acreción y formación de la tierra tuvo que haber tenido lugar en algún momento hace 4,5- 4,6 Ga. (1Ga=1000 millones de años). [La diferenciación del manto terrestre, a partir de análisis de la serie Samario/Neodimio en rocas de Isua, Groenlandia, pudo haber sido bastante veloz, tal vez en menos de 100 Ma.] Posteriores estudios confirman esta formación temprana de las capas de silicatos terrestres.

Morse y MacKenzie han sugerido que los océanos podrían haber aparecido en el eón Hadeico tan pronto como hace 200 millones de años tras la formación de la tierra, en un ambiente caliente (100°C) y reductor y con un pH inicial de 5.8 que subió rápidamente hacia la neutralidad. Esta idea ha sido apoyada por Wilde [quien elevó la datación de los cristales de Zircón encontrados en cuarcitas metamorfizadas del Terrane de gneis del Monte Narryer, en Australia occidental, del que previamente se pensaba que era de 4.1-4.2 mil millones de años a 4402 millones de años. Otros estudios realizados más recientemente en cinturón de basalto de Nuvvuagittuq, al norte de Quebec, empeando Neodimio-142 confirman, estudiando rocas del tipo faux-anfibolita, la existencia muy temprana de una corteza, con una datación de 4,36 Ga. Esto significa que los océanos y la corteza continental existieron dentro de los 150 primeros millones de años tras la formación de la tierra. A pesar de esto, el ambiente hadeico era enormemente hostil para la vida. Se habrían dado frecuentes colisiones con grandes objetos cósmicos, incluso de más de 500 kilómetros de diámetro, suficientes para vaporizar el océano durante meses tras el impacto, con vapor caliente mezclado con polvo de rocas elevándose a elevadas altitudes que cubrían todo el planeta. Tras unos cuantos meses la altitud de esas nubes comenzaría a disminuir, pero la base de la nube continuaría aún estando elevada probablemente durante los próximos mil años, tras lo cual comenzaría a llover a una altitud más baja. Durante 2.000 años las lluvias consumirían lentamente las nubes, devolviendo los océanos a su profundidad original sólo 3.000 años tras el impacto. El posible bombardeo intenso tardío provocado probablemente por los movimientos posicionales de los planetas gaseosos gigantes, que acribillaron la luna y otros planetas interiores (Mercurio, Marte y posiblemente la Tierra y Venus) hace entre 3.800 y 4.000 millones de años probablemente habrían esterilizado el planeta si la vida ya hubiera aparecido en ese periodo.

## Biogénesis en ambiente cálido vs ambiente frío

Examinando el intervalo de tiempo entre episodios de daños ambientales devastadores por impacto que exceda la escala temporal para que se establezcan protoorganismos autoreplicantes, vemos que el intervalo en el que la vida pudo haberse desarrollado por primera vez sirve para diferentes ambientes primitivos. El estudio llevado a cabo por Maher y Stephenson muestra que si los sistemas hidrotermales marinos profundos propician un lugar aceptable para el origen de la vida, la abiogénesis pudo haber sucedido en fechas tan tempranas como entre hace 4.000 y 4.200 millones de años, mientras que si hubiera sucedido en la superficie de la tierra la abiogénesis solo podría haber ocurrido hace entre 3.700 y 4.000 millones de años.

Otros trabajos de investigación sugieren un comienzo de la vida más frío. Los trabajos de Stanley Miller mostraron que los ingredientes de la vida adenina y guanina requieren condiciones de congelación para su síntesis, mientras que la citosina y el uracilo precisan temperaturas de ebullición. Basándose en estas investigaciones sugirió que el origen de la vida implicaría condiciones de congelación y meteoritos impactando.

Un nuevo artículo de la publicación Discover Magazine señala hacia la investigación de Stanley Miller indicando que se pueden formar siete aminoácidos diferentes y 11 tipos de nucleobases en hielo cuando se dejó amoníaco y cianuro en el hielo antártico entre 1972 y 1997 y una investigación llevada a cabo por Hauke Trinks mostrando la formación de moléculas de ARN de 400 bases de longitud en condiciones de congelación utilizando un molde de ARN (una cadena sencilla de ARN que guía la formación de una nueva cadena). A medida que la nueva cadena de ARN crecía, los nuevos nucleótidos se iba adhiriendo al molde. La explicación dada para la inusitada velocidad de estas reacciones a semejante temperatura es que se trataba de una congelación eutéctica. A medida que se forman cristales de hielo, este permanece puro: sólo las moléculas de agua se unen al cristal en crecimiento, mientras que las impurezas como la sal o el cianuro quedan excluidas. Estas impurezas acaban apiñadas en bolsillos microscópicos de líquido entre el hielo, y es esta concentración lo que hace que las moléculas choquen entre si con más frecuencia.

## La evolución y su relación con los modelos actuales del origen de la vida

Con la pregunta del origen de la vida, igualmente se a discutido si este origen es también el origen del proceso de evolución.

Al respecto, se ha postulado que equivalentemente como actua el proceso de evolución biológica en los seres vivos, también actuaron mecanismos evolutivos en compuestos químicos antes de que hubiese vida. En este sentido científicos como Martin A. Nowak y Hisashi Ohtsuki, han postulado como y cuándo la cinética química pasa a convertirse en una dinámica evolutiva; formulando una teoría matemática general para el origen de la evolución. En ella se describe la previda como un alfabeto de activos monómeros que forman al azar polímeros; siendo un sistema generativo que puede producir la información, en la que originalmente se presenta una prevolutiva dinámica de selección y mutación, pero no replicación, a diferencia de la vida. A partir de análisis matemático se concluye que las mejores y más competentes candidatas moleculares para la vida ya habían sido seleccionadas antes incluso de que empezaran a reproducirse. Igualmente aunque la previda es un andamiaje en que se basa la vida, existe una fase de transición, en la que si la tasa efectiva de replicación supera un valor crítico, entonces la vida a cabo compite con la previda; y finalmente, la vida destruye a la previda.

## Modelos actuales

No hay un verdadero modelo "estándar" del origen de la vida. Los modelos actualmente más aceptados se construyen de uno u otro modo sobre cierto número de descubrimientos acerca del origen de los componentes celulares y moleculares de la vida, enumerados en el orden más o menos aproximado en el que se postula su emergencia:

1. Las posibles condiciones prebióticas terminaron con la creación de ciertas moléculas pequeñas básicas (monómeros) de la vida, como los aminoácidos. Esto fue demostrado en el experimento Urey-Miller llevado a cabo por Stanley L. Miller y Harold C. Urey en 1953.

2. Los fosfolípidos (de una longitud adecuada) pueden formar espontáneamente bicapas lipídicas, uno de los dos componentes básicos de la membrana celular.
3. La polimerización de los nucleótidos en moléculas de ARN al azar pudo haber dado lugar a ribozimas autoreplicantes (hipótesis del mundo de ARN).
4. Las presiones de selección para una eficiencia catalítica y una diversidad mayor terminaron en ribozimas que catalizaban la transferencia de péptidos (y por ende la formación de pequeñas proteínas), ya que los oligopéptidos formaban complejos con el ARN para formar mejores catalizadores. De ese modo surgió el primer ribosoma y la síntesis de proteínas se hizo más prevalente.
5. Las proteínas superan a las ribozimas en su capacidad catalítica y por tanto se convierten en el biopolímero dominante. Los ácidos nucleicos quedan restringidos a un uso predominantemente genómico.

El origen de las biomoléculas básicas, aunque aún no ha sido establecido, es menos controvertido que el significado y orden de los pasos 2 y 3. Los reactivos químicos inorgánicos básicos a partir de los cuales se formó la vida son el metano, amoníaco, agua, sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), dióxido de carbono y anión fosfato.

A fecha de 2008, aún nadie ha sintetizado una protocélula utilizando los componentes básicos que tenga las propiedades necesarias para la vida (el llamado enfoque "de abajo a arriba"). Sin esta prueba de principio, las explicaciones tienden a quedarse cortas. No obstante, algunos investigadores están trabajando en este campo, en especial Jack Szostak de la Universidad Harvard. Otros autores han argumentado que un enfoque "de arriba a abajo" sería más asequible. Uno de estos intentos fue realizado por Craig Venter y colaboradores en el Institute for Genomic Research. Utilizaba ingeniería genética con células procariontas existentes con una cantidad de genes progresivamente menor, intentando discernir en qué punto se alcanzaban los requisitos mínimos para la vida. El biólogo John Desmond Bernal acuñó el término biopoiesis para este proceso, y sugirió que había un número de "estadios" claramente definidos que se podían reconocer a la hora de explicar el origen de la vida:

\* Estadio 1: El origen de los monómeros biológicos

\* Estadio 2: El origen de los polímeros biológicos

\* Estadio 3: La evolución desde lo molecular a la célula.

Bernal sugirió que la evolución darwiniana pudo haber comenzado temprano, en algún momento entre el estadio 1 y 2.

### **Origen de las moléculas orgánicas**

El experimento de Miller y Urey intentó recrear las condiciones químicas de la Tierra primitiva en el laboratorio y sintetizó algunos de los "ladrillos" de la vida.

## **Los experimentos de Miller**

Los experimentos, que comenzaron en 1953, fueron llevados a cabo por Stanley Miller, bajo condiciones simuladas que recordaban aquellas que se pensaba que habían existido poco después de que la Tierra comenzara su acreción a partir de la nebulosa solar primordial. Los experimentos se llamaron "experimentos de Miller". El experimento original de 1953 fue realizado por Miller cuando era estudiante de licenciatura y su profesor Harold Urey. El experimento usaba una mezcla altamente reducida de gases (metano, amoníaco e hidrógeno). No obstante la composición de la atmósfera terrestre prebiótica aún resulta materia de debate. Otros gases menos reductores proporcionan una producción y variedad menores. En un momento se pensó que can-

tidades apreciables de oxígeno molecular estaban presentes en la atmósfera prebiótica, que habrían impedido esencialmente la formación de moléculas orgánicas. No obstante, el consenso científico actual es que éste no era el caso. El experimento mostraba que algunos de los monómeros orgánicos básicos (como los aminoácidos) que forman los ladrillos de los polímeros de la vida moderna se pueden formar espontáneamente. Las moléculas orgánicas más simples están lejos de lo que es una vida autorreplicante completamente funcional. Pero en un ambiente sin vida preexistente estas moléculas se podrían haber acumulado y proporcionado un ambiente rico para la evolución química ("teoría de la sopa").

Por otra parte, la formación espontánea de polímeros complejos a partir de los monómeros generados abióticamente bajo esas condiciones no es un proceso tan sencillo. Además de los monómeros orgánicos básicos necesarios, también se formaron en altas concentraciones durante los experimentos compuestos que podrían haber impedido la formación de la vida.

Se ha postulado otras fuentes de moléculas complejas, incluyendo fuentes de origen extraterrestres estelares o interestelares. Por ejemplo, a partir de análisis espectrales, se sabe que las moléculas orgánicas están presentes en meteoritos y cometas. En el 2004, un equipo detectó trazas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH's) en una nebulosa, la molécula más compleja hasta la fecha encontrada en el espacio. El uso de PAH's también ha sido propuesto como un precursor del mundo de ARN en la hipótesis del mundo de PAH's (PAH world).

Se puede argumentar que el cambio más crucial que aún sigue sin recibir respuesta por esta teoría es cómo estos "ladrillos" orgánicos relativamente simples polimerizan y forman estructuras más complejas, interactuando de modo consistente para formar una protocélula. Por ejemplo, en un ambiente acuoso la hidrólisis de oligómeros/polímeros en sus constituyentes monoméricos está energéticamente favorecida sobre la condensación de monómeros individuales en polímeros. Además, el experimento de Miller produce muchas sustancias que acabarían dando reacciones cruzadas con los aminoácidos o terminar la cadena peptídica.



Instrumentos originales empleados para llevar a cabo el experimento de Miller y Urey

## Hipótesis de Wächtershäuser

Otra posible respuesta a este misterio de la polimerización fue propuesta por Günter Wächtershäuser en 1980, en su teoría del hierro-sulfuro. En esta teoría, postuló la evolución de las rutas (bio)químicas como el fundamento de la evolución de la vida. Incluso presentó un sistema consistente para rastrear las huellas de la actual bioquímica desde las reacciones ancestrales que proporcionaban rutas alternativas para la síntesis de "ladrillos orgánicos" a partir de componentes gaseosos simples.

Al contrario que los experimentos clásicos de Miller, que dependían de fuentes externas de energía (como relámpagos simulados o irradiación UV), los "sistemas de Wächtershäuser" vienen con una fuente de energía incorporada, los sulfuros de hierro y otros minerales (por ejemplo la pirita). La energía liberada a partir de las reacciones redox de esos sulfuros metálicos, no sólo estaba disponible para la síntesis de moléculas orgánicas, sino también para la formación de oligómeros y polímeros. Se lanza por ello la hipótesis de que tales sistemas podrían ser capaces de evolucionar hasta formar conjuntos autocatalíticos de entidades autorreplicantes metabólicamente activas que serían los precursores de las actuales formas de vida.

El experimento tal y como fue llevado a cabo rindió una producción relativamente pequeña de dipéptidos (del 0,4% al 12,5 %) y una producción inferior de tripéptidos (0,003%) y los autores advirtieron que: "bajo estas mismas condiciones los dipéptidos se hidrolizaban rápidamente." Otra crítica del resultado es que el experimento no incluía ninguna organomolécula que pudiera con mayor probabilidad dar reacciones cruzadas o terminar la cadena (Huber y Wächtershäuser, 1998).

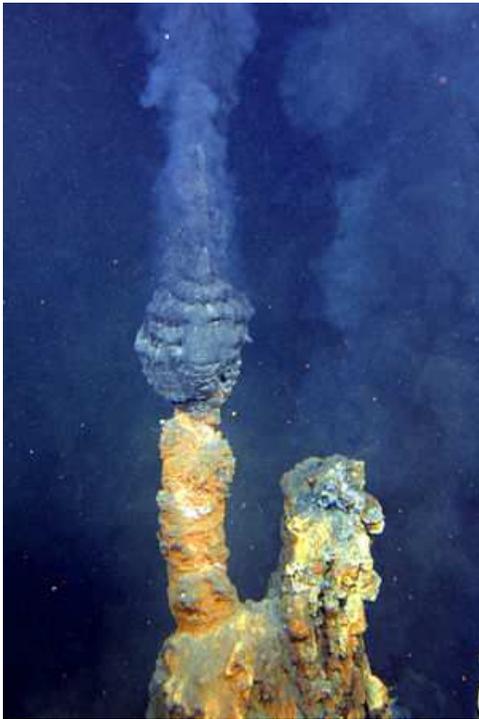
La última modificación de la hipótesis del hierro-sulfuro fue propuesta por William Martin y Michael Russell en 2002. De acuerdo con su escenario, las primeras formas celulares de vida pudieron haber evolucionado dentro de las llamadas "chimeneas negras" en las profundidades donde se encuentran las zonas de expansión del fondo oceánico. Estas estructuras consisten en cavernas a microescala que están revestidas por delgadas paredes membranosas de sulfuros metálicos. Por tanto, estas estructuras resolverían varios puntos críticos de los sistemas "purementemente" de Wächtershäuser de una sola vez:

1. Las microcavernas proporcionan medios para concentrar las moléculas recién sintetizadas, por tanto aumentando la posibilidad de formar oligómeros.
2. Los abruptos gradientes de temperatura que se encuentran dentro de una chimenea negra permiten establecer "zonas óptimas" de reacciones parciales en diferentes regiones de la misma (por ejemplo la síntesis de monómeros en las zonas más calientes, y la oligomerización en zonas más frías).
3. El flujo de agua hidrotermal a través de la estructura proporciona una fuente constante de "ladrillos" y energía (sulfuros metálicos recién precipitados).
4. El modelo permite una sucesión de diferentes pasos de evolución celular (química prebiótica, síntesis de monómeros y oligómeros, síntesis de péptidos y proteínas, mundo de ARN, ensamblaje de ribonucleoproteínas y mundo de ADN) en una única estructura, facilitando el intercambio entre todos los estadios de desarrollo.
5. La síntesis de lípidos como medio de "aislar" las células del medio ambiente no es necesaria hasta que básicamente estén todas las funciones celulares desarrolladas.

Este modelo sitúa al "último antepasado común universal" (LUCA, del inglés Last Universal Common Ancestor) dentro de una chimenea negra, en lugar de asumir la existencia de una forma de vida libre de LUCA. El último paso evolutivo sería la síntesis de una membrana lipídica que finalmente permitiera al organismo abandonar el sistema en el interior de la microcaverna de las chimeneas negras y comenzar su vida independiente. Este postulado de una adquisición tardía de los lípidos es consistente con la presencia de tipos completamente diferentes de lípidos de membrana en arqueobacterias y eubacterias (más los eucariotas) con una fisiología altamente similar en todas las formas de vida en otros aspectos.

Otro asunto sin resolver en la evolución química es el origen de la homociralidad, por ejemplo todos los monómeros tienen la misma "mano dominante" (los aminoácidos son zurdos y los ácidos nucleicos y azúcares son diestros). La homociralidad es esencial para la formación de ribozimas funcionales (y probablemente también de proteínas). El origen de la homociralidad podría explicarse simplemente por una asimetría inicial por casualidad seguida de una descendencia común (VER QUIRALIDAD.PDF)

Los trabajos llevados a cabo en 2003 por científicos de Purdue identificaron el aminoácido serina como la probable raíz que provoca la homociralidad de las moléculas. La serina produce enlaces particularmente fuertes con los aminoácidos de la misma quiralidad, lo cual resulta en un grupo de ocho moléculas que podrían todas ellas ser diestras o zurdas. Esta propiedad se contraponen a la de otros aminoácidos que son capaces de formar enlaces débiles con los aminoácidos de quiralidad opuesta. Aunque el misterio de por qué acabó siendo dominante la serina zurda aún está sin resolver, los resultados sugieren una respuesta a la cuestión de la transmisión quiral: el cómo las moléculas orgánicas de una quiralidad mantienen la dominancia una vez que se establece la asimetría.



Fumarolas negras. Algunas teorías afirman que la vida surgió en las proximidades de algún tipo de fuente hidrotermal submarina.

## Teoría de la playa radioactiva

Zachary Adam de la Universidad de Washington en Seattle afirma que procesos mareales mayores que los actuales producidos por una luna situada a una distancia mucho menor podrían haber concentrado partículas radiactivas de uranio y otros elementos radiactivos en la marea alta en las playas primordiales donde debieron haber sido los responsables de generar los componentes elementales de la vida. De acuerdo con los modelos de computación publicados en *Astrobiology*, un depósito de tales materiales radiactivos podría haber mostrado la misma reacción nuclear autosostenida que se encuentra en el yacimiento de Uranio de Oklo, en Gabón. Esta arena radiactiva proporciona suficiente energía para generar moléculas orgánicas, como aminoácidos y azúcares a partir de acetonitrilo procedente del agua. La monazita radiactiva también libera fosfatos solubles en las regiones que se encuentran entre los granos de arena, haciéndolos biológicamente "accesibles". Así pues los aminoácidos, azúcares y fosfatos solubles pueden ser

producidos simultáneamente, de acuerdo con Adam. Los actínidos radiactivos, que entonces se encontraban en mayores concentraciones, pudieron haber formado parte de complejos organometálicos. Estos complejos pudieron haber sido importantes como primeros catalizadores en los procesos de la vida.

John Parnell de la Universidad de Aberdeen sugiere que tales procesos formaron parte del "crisol de la vida" en los comienzos de cualquier planeta rocoso hasta que este fuera lo suficientemente grande para generar un sistema de tectónica de placas que aportara minerales radiactivos a la superficie. Puesto que se cree que la tierra en sus orígenes estaba formada por muchas "microplacas", se darían condiciones favorables para este tipo de procesos.

## De las moléculas orgánicas a las protocélulas

La cuestión de "Cómo unas simples moléculas orgánicas forman una protocélula?" lleva mucho tiempo sin respuesta, pero existen muchas hipótesis. Algunas de estas postulan una temprana aparición de los ácidos nucleicos ("genes-first") mientras que otras postulan que primero aparecieron las reacciones bioquímicas y las rutas metabólicas ("metabolism-first"). Recientemente están apareciendo tendencias con modelos híbridos que combinan aspectos de ambos.

### Modelos "primero genes": el mundo de ARN

La hipótesis del mundo de ARN fue enunciada por Walter Gilbert, de Harvard en base a los experimentos de Thomas Cech (Universidad de Colorado) y Sidney Altman (Yale) en 1980. Sugiere que las moléculas relativamente cortas de ARN se podrían haber formado espontáneamente de modo que fueran capaces de catalizar su propia replicación continua. Es difícil de calibrar la probabilidad de esta formación. Se han expuesto algunas hipótesis de cómo pudo haber sucedido. Las primeras membranas celulares pudieron haberse formado espontáneamente a partir de proteínoides moléculas similares a proteínas que se producen cuando se calientan soluciones de aminoácidos. Cuando están presentes a la concentración correcta en solución acuosa, forman microsferas que, según se ha observado, presentan una conducta similar a los compartimientos rodeados de membrana.

Otras posibilidades incluyen sistemas de reacciones químicas que tienen lugar en el interior de sustratos de arcilla o en la superficie de rocas piríticas. Entre los factores que apoyan un papel importante para el ARN en la vida primitiva se incluye su habilidad para replicar. Su habilidad para actuar tanto para almacenar información y catalizar reacciones químicas (como ribozimas); su papel extremadamente importante como intermediario en la expresión y mantenimiento de la información genética (en forma de ADN) en los organismos modernos y en la facilidad de su síntesis química o al menos de los componentes de la molécula bajo las condiciones aproximadas de la tierra primitiva. Se han producido artificialmente en el laboratorio moléculas de ARN relativamente cortas capaces de duplicar a otras.

Un punto de vista ligeramente distinto sobre esta misma hipótesis es la de que un tipo diferente de ácido nucleico, como los ácidos nucleicos peptídicos (ANP) o los ácidos nucleicos de treosa (TNA) fueron los primeros en emerger como moléculas autorreproductoras para ser reemplazadas por el ARN sólo después.

Aún quedan algunos problemas con la hipótesis del mundo de ARN, en particular la inestabilidad del ARN cuando se expone a la radiación ultravioleta, la dificultad de activar y ligar los nucleótidos y la carencia de fosfato disponible en solución requerida para construir su columna vertebral y la inestabilidad de la base citosina (que es susceptible a la hidrólisis). Recientes experimentos también sugieren que las estimaciones originales del tamaño de una molécula de ARN capaz de autorreplicación eran muy probablemente ampliamente subestimadas. Formas más modernas de la teoría del mundo de ARN proponen que una simple molécula era capaz de autorreplicación (que otro "Mundo" por tanto evolucionó con el tiempo hasta producir el mundo de ARN). En este momento, no obstante, las distintas hipótesis tienen insuficientes pruebas que lo apoyen. Muchas de estas pueden ser simuladas y probadas en el laboratorio, pero la ausencia de rocas sedimentarias sin alterar de un momento tan temprano en la historia de la tierra nos deja pocas oportunidades de probar robustamente esta hipótesis.

## Modelos "primero el metabolismo": el mundo de hierro-sulfuro y otros

Algunos modelos rechazan la idea de la autorreplicación de un "gen desnudo" y postulan la emergencia de un metabolismo primitivo que pudo proporcionar un ambiente para la posterior emergencia de la replicación del ARN. Una de las más tempranas encarnaciones de esta idea fue presentada en 1924 por la noción de Alexander Oparin de primitivas vesículas autorreplicantes que precedieron al descubrimiento de la estructura del ADN. Las variantes más recientes de los años 1980 y 1990 incluyen la teoría del mundo de hierro-sulfuro de Günter Wächtershäuser y modelos presentados por Christian de Duve basados en la química de los tioésteres.

Entre algunos modelos más abstractos y teóricos de la plausibilidad de la emergencia del metabolismo sin la presencia de genes se incluye un modelo matemático presentado por Freeman Dyson a principios de los años 1980 y la noción de Stuart Kauffman de conjuntos colectivamente autocatalíticos, discutidos ya avanzada la década. Sin embargo, la idea de que un ciclo metabólico cerrado, como el ciclo reductor del ácido cítrico propuesto por Günter Wächtershäuser, pudo formarse espontáneamente, aún permanece sin pruebas. De acuerdo con Leslie Orgel, un líder en los estudios sobre el origen de la vida durante algunas de las pasadas décadas, hay razones para creer que la afirmación permanecerá así. En un artículo titulado "Self-Organizing Biochemical Cycles", Orgel resume su análisis de la propuesta estipulando que "Por ahora no existe razón para esperar que ciclos de múltiples pasos como el ciclo reductor del ácido cítrico pudiera autoorganizarse en la superficie de FeS/FeS<sub>2</sub> o de algún otro mineral." Es posible que otro tipo de ruta metabólica fuera usada en los comienzos de la vida. Por ejemplo, en lugar del ciclo reductor del ácido cítrico, la ruta "abierta del acetil-CoA" (otra de las cuatro vías reconocidas de fijación de dióxido de carbono en la naturaleza actualmente) podría ser más compatible con la idea de autoorganización en una superficie de sulfuro metálico. La enzima clave de esta vía, monóxido de carbono deshidrogenasa/acetil-CoA tiene anclados grupos mixtos de sulfuro de hierro y níquel en sus centros de reacción y cataliza la formación de acetil-CoA (que podría ser recordado como una forma moderna de acetilo-tiol) en un único paso.



Chimeneas de Tynagh (círculos oscuros) junto con burbujas.

Según una teoría los lugares donde surgió el metabolismo podrían ser semejantes a estas formaciones

### Teoría de la burbuja

Las olas que rompen en las costas crean una delicada espuma compuesta por burbujas. Los vientos que barren el océano tienen tendencia a llevar cosas a la costa, de forma similar a la madera que se junta a la deriva en una playa. Es posible que las moléculas orgánicas se pudieran concentrar en los bordes costeros de un modo parecido. Las aguas costeras más someras también tienden a ser más cálidas, concentrando más tarde las moléculas orgánicas por evaporación. Mientras las burbujas formadas mayormente por agua estallan rápidamente, sucede que las burbujas de grasas son mucho más estables, dándole más tiempo a cada burbuja en particular para llevar a cabo estos cruciales experimentos.

Los fosfolípidos son un buen ejemplo de un compuesto graso que se cree que fue prevalente en los mares prebióticos. Debido a que los fosfolípidos contienen una cabeza hidrofóbica en un extremo y una cola hidrofílica en el otro, tienen tendencia a formar espontáneamente bicapas lipídicas en agua. Una burbuja de monocapa lipídica solo puede contener grasa y una burbuja de bicapa lipídica solo puede contener agua y fue un probable precursor de las modernas membranas celulares. Si una proteína acaba incrementando la integridad de su burbuja nodriza, entonces la burbuja tiene una gran ventaja y acaba situándose en la cúspide de la selección natural. La primitiva reproducción se podría visualizar cuando las burbujas estallaban, liberando el resultado del experimento en su medio circundante. Una vez que se libera una cantidad suficiente del "material correcto", el desarrollo de los primeros procariotas, eucariotas y organismos multicelulares se podía lograr. De modo similar, las burbujas formadas completamente por moléculas similares a proteínas, llamadas microesferas, se formarían espontáneamente bajo las condiciones adecuadas. Pero no hay precursores probables de las modernas membranas celulares, puesto que las membranas celulares están compuestas primariamente de componentes lipídicos más que de componentes aminoacídicos.

Un modelo reciente puesto a punto por Fernando y Rowe sugiere que el confinamiento de un metabolismo autocatalítico no-enzimático dentro de las protocélulas podría haber sido un modo de evitar el problema de las reacciones colaterales que son típicas de los modelos de "metabolismo primero".

## **Modelo de Gold de "Biosfera profunda y caliente"**

El descubrimiento de los nanobios (estructuras filamentosas más pequeñas que las bacterias que contienen ADN) en rocas profundas, llevó a una teoría controvertida presentada por Thomas Gold a principios de los años 1990 en la que se exponía que la vida se desarrolló al principio no en la superficie de la Tierra, sino varios kilómetros bajo la superficie. Ahora se sabe que la vida microbiana es abundante a más de cinco kilómetros bajo la superficie de la Tierra en forma de arqueobacterias, que se considera que se originaron o antes o aproximadamente al mismo tiempo que las eubacterias, muchas de las cuales viven en la superficie, incluyendo los océanos. Se ha afirmado que el descubrimiento de vida microbiana bajo la superficie de otro cuerpo del Sistema Solar daría un crédito significativo a esta teoría. También decía que un suministro de nutrientes de una fuente profunda e inalcanzable promovería la supervivencia porque la vida que surge en un montón de materia orgánica probablemente consumiría todo su alimento y acabaría extinguiéndose.

## **El mundo de lípidos**

Hay una teoría que afirma que las primeras sustancias autorreplicantes eran de tipo lipídico. Se sabe que los fosfolípidos forman bicapas en el agua si están sometidas a agitación. Esta estructura es idéntica a la de las membranas celulares. Estas moléculas no se encontraban en la tierra primigenia, aunque otras cadenas anfifílicas largas también forman membranas. Además, estos cuerpos se pueden expandir (por inserción de lípidos adicionales) y bajo una expansión excesiva pueden sufrir escisiones espontáneas que conservan el mismo tamaño y composición de lípidos en ambas progenies. La idea principal de esta teoría es que la composición molecular de los cuerpos lipídicos es la primera forma de almacenar información y la evolución conduce a la aparición de entidades poliméricas como el ARN o el ADN que pueden almacenar información favorablemente. Aún no se ha hablado de ningún mecanismo que apoye la teoría del mundo de lípidos.