

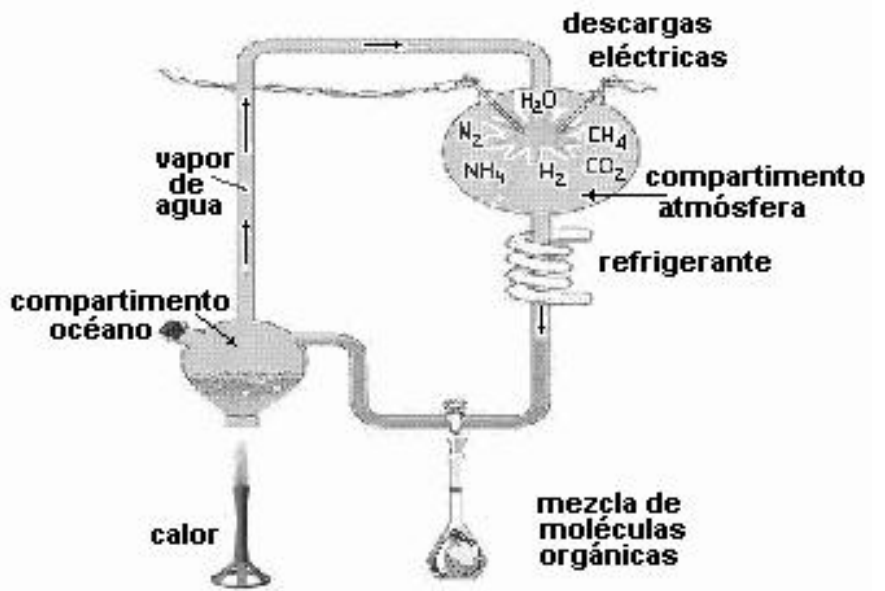
*Hay puntos de vista muy dispares
sobre cuándo, dónde y, sobre todo,
cómo empezó la vida sobre la Tierra.*

Hace ahora (1991) treinta y ocho años que el mayor misterio al que se han enfrentado jamás los científicos - el origen de la vida - parecía haber quedado resuelto con un único y sencillo experimento. Stanley Miller, un joven de 23 años que preparaba su doctorado en la Universidad de Chicago en 1953, recreó la tierra primitiva en un pequeño alambique sellado. Lo llenó con unos litros de metano, amonio e hidrógeno (la atmósfera) y un poco de agua (los océanos). Con un dispositivo de descarga simuló una tormenta eléctrica, de rayos que fulminaban los gases; con una resistencia hizo borbotear el agua.

A los pocos días, el agua y el cristal aparecían teñidos de una sustancia rojiza. Tras analizarla comprobó, con regocijo, que la sustancia era rica en aminoácidos, los compuestos orgánicos que se enlazaban para formar las proteínas, la base material de la vida. Los resultados de Miller, publicados en un modesto artículo de dos páginas en la revista Science, parecían apoyar la idea de que la vida podría haber surgido a partir de unas sencillas reacciones químicas en la sopa primordial.

Los entendidos no tardaron en pronosticar que los científicos, igual que el Dr. Frankenstein de Mary Shelley, pronto crearían organismos vivos en sus laboratorios, y se podría desentrañar el origen de la vida con todo lujo de detalle. La realidad ha sido otra. "El problema del origen de la vida ha resultado más complicado de lo que yo y muchos suponíamos" reconoce el propio Miller, que enseña ahora química en la Universidad de San Diego.

Versión científica del génesis: Arranca con la condensación del sistema solar, a partir de una nube de polvo y gas, hace unos 4.500 millones de años (a, b). Los compuestos químicos orgánicos podrían haber sido aportados por los impactos (c) o bien sintetizados en la atmósfera (d), masas de agua (e) o surgencias hidrotermales submarinas (f). Esos compuestos químicos se combinaron y formaron sustancias orgánicas más complejas, como proteínas y ácidos nucleicos (g). Los impactos y un sofocante efecto invernadero, causado por el dióxido de carbono emitido por los volcanes, podrían haber inutilizado la superficie terrestre hasta hace unos 3.800 millones de años, 300 millones, poco más, poco menos, surgieron unos microbios fotosintéticos, parecidos a las cianobacterias, o algas verde azules (h). Estos primitivos organismos se concentraban a veces en densas formaciones, o estromatolitos, en las orillas de mares someros (i).



Stanley L. Miller ante una réplica del aparato que utilizó en su experimento de 1953, realizado en la Universidad de Chicago, con el que demostró cómo se pudieron formar los aminoácidos

Cabe decir, sin embargo, que algunos progresos se han producido desde 1953. Ese mismo año, por ejemplo, James D. Watson y Francis H. C. Crick descifraron la estructura del ADN (ácido desoxirribonucleico), la hélice bicatenaria que contiene la información que las células necesitan para construir y organizar las proteínas.

En las décadas siguientes, experimentos similares a los de Miller demostraron las posibles vías de síntesis de los componentes primarios del ADN (los nucleótidos) y de las proteínas (aminoácidos), en condiciones prebióticas. Estos compuestos orgánicos podrían haberse acumulado en determinadas masas de agua: "pequeñas charcas templadas", como propusiera Charles Darwin, en remansos de marea o en mares someros.

Nuevos experimentos, realizados a principios de los ochenta, ayudaron a completar el panorama. Revelaban que el ácido ribonucleico, o ARN, una molécula monocatenaria que actúa de intermediario del ADN en la fabricación de las proteínas, podía autocopiarse sin el concurso de enzimas. Para algunos, los primeros organismos contenían ARN: habría existido un "mundo ARN" precoz, que sirvió de puente entre la química sencilla y los prototipos de células complejas, basadas en el ADN, como las que poseen los organismos modernos. De acuerdo con el registro fósil, tales células surgieron a lo largo de los primeros mil millones de años transcurridos desde la formación de la Tierra: y esto último ocurrió hace cuatro mil quinientos millones de años.

A pesar de que ese marco teórico figura ya en los libros de texto, ha sido seriamente cuestionado. Los experimentos realizados para comprobar la hipótesis del mundo ARN han demostrado la dificultad de sintetizar ese ácido nucleico en las condiciones que probablemente prevalecieron durante el origen de la vida, y que las moléculas no pueden autocopiarse con tanta facilidad.

Para complicar las cosas, los descubrimientos recientes que la vida surgieron en un ambiente bastante menos favorable que el del alambique de Miller. La atmósfera primordial pudo no contener metano ni amonio, como Miller suponía, y, por tanto, no habría sido tan favorable para la síntesis de compuestos orgánicos, según se desprendía de su experimento. Además, los estudios de los cráteres lunares indican que la Tierra estuvo sometida a un bombardeo incesante por enormes cometas y meteoritos. "Da la impresión que la vida no se originó en una charca templada y tranquila, sino en el centro de una fuerte tempestad", asegura Christopher P. McKay, del Centro de Ames de investigaciones de la NASA en California.

A medida que el viejo paradigma se tambaleaba, surgían nuevas teorías, algunas nuevas y otras remozadas. La presencia de compuestos orgánicos en meteoritos y cometas, han llevado a especular que las materias primas necesarias para la vida aterrizaron procedentes del espacio exterior. Las versiones más extremas de esta línea admiten que, del espacio, no solo llegaron los compuestos orgánicos inanimados, sino también organismos hechos y derechos. Algunos investigadores, a la vez que mantienen que la vida se produjo en la Tierra, piensan, sin embargo, que para entender mejor dicho evento serían necesario otros descubrimientos; por ejemplo, encontrar vida en alguna otra parte, quizás en Marte o incluso en un sistema solar distinto.

Otros mantienen que la vida no comenzó en el espacio, o en el agua, cerca de la superficie, sino en surgencias termales del suelo oceánico. Para los defensores de esta teoría, esos humeros termales podrían haber proporcionado la protección y el flujo constante de energía y nutrientes necesarios para producir la vida animada. Quizá la última teoría, y la más prometedora a los ojos de algunos veteranos investigadores del origen de la vida, sea la que propone un abogado alemán, cuya distracción consiste precisamente en idear cómo pudo suceder. Explica que la vida comenzó como una especie de película chiclosa sobre la superficie de la piritita.

Ninguna de esas propuestas tiene apoyo suficiente para convertirse en un nuevo paradigma. Pero tampoco cabe excluir ninguna. Lo que no deja de molestar a Miller, tan riguroso experimentalista cuan severo crítico. Algunas teorías, propone, no merecen tomarse en serio. La hipótesis del origen espacial de la materia orgánica la considera "una pérdida de tiempo"; la de las sugerencias termales, "basura la teoría de la piritita, "química de salón". Se queja de que tales trabajos perpetúan la mala reputación que tiene el campo del origen de la vida, siempre en el límite de la ciencia.

Otros, sin dejar de reconocer la debilidad de todas las teorías, contemplan este mundillo de una manera más favorable. "Es realmente excitante", comenta James P. Ferris, químico del Instituto Politécnico Rennselaer y editor de la revista *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*. "Tenemos todo tipo de nuevos ingredientes en la olla". Antes y después, aventura, surgirá alguna explicación convincente para el origen de la vida.

Construir un "boeing"

Algunos han argumentado que, con tiempo suficiente, se pueden dar hechos de apariencia incluso milagrosos. Por ejemplo, la manifestación espontánea de

un organismo unicelular a partir de la unión aleatoria de ciertos compuestos químicos. A esto, sin embargo Fred Holey, astrónomo británico de temperamento iconoclasta, responde que tal cosa tiene la probabilidad de ensamblar un 747 por parte de un huracán que atravesase una chatarrería.

La mayoría de los investigadores están de acuerdo con Holey en este punto(aunque en poco más). Casi todos comparten que el proceso se aceleró tras una sucesión de acontecimientos, ninguno de los cuales es una locura improbable. Como muchas cosas en biología, este enfoque se remonta a Darwin, quien ya imaginó que la vida pudo comenzar cuando algunas sustancias estimuladas por el calor, luz o electricidad reaccionaron una con otras y generaron compuestos orgánicos de complejidad creciente (Darwin también ofreció una explicación para nuestra incapacidad de observar en la actualidad, la aparición de vida a partir de "barro" inanimado: cualquier organismo poco experimentado, escribió Darwin, sería ahora "inmediatamente devorado o absorbido" por los ya existentes.)

La versión del origen de la vida propugnada por Miller y otros también se puede contemplar en términos darwinianos. La vida comenzó, dicen ellos, cuando algún compuesto o tipo de compuestos desarrollaron la capacidad de autorreplicarse; por fuerza, debían ocasionalmente producir "errores" heredables. Esos errores originaban a veces generaciones de moléculas que se replicaban más eficazmente que sus predecesoras. ¡Voilà! La evolución: y con ella, la vida.

Durante cierto tiempo, después de los experimentos de Miller, las proteínas fueron las candidatas mejor colocadas para constituir las originales moléculas autorreplicativas; creíase, en efecto, que poseían capacidad de reproducirse y organizarse. A finales de los años cincuenta, Sidney Fox, hoy en la Universidad de Illinois, realizó experimentos que consolidaban ese punto de vista. Calentando repetidamente aminoácidos y disolviéndolos luego en agua, inducía su coagulación en diminutas esferas compuestas de breves cadenas proteínicas.

La explicación de Fox fue, y sigue siendo, que esos "protenoides" constituyeron las primeras células. Pero sus trabajos han perdido atractivo para muchos. Para Gerald F. Joyce del Instituto de Investigaciones de la Clínica Scripps, una vez que se han producido los protenoides, ahí se acaba todo. No pueden reproducirse o evolucionar. Otros investigadores, en particular Cyril A Ponnampertuma de la Universidad de Maryland han seguido el trabajo donde Fox lo dejó, empeñándose en desarrollar proteínas que puedan autoensamblarse y reproducirse sin el concurso de los ácidos nucleicos.

¿El huevo o la gallina?

Muchos investigadores atribuyen a los ácidos nucleicos la primacía temporal en la autorreplicación, desde el origen. Los trabajos de Watson y Crick y otros han demostrado que las proteínas se fabrican siguiendo las instrucciones dadas por el ADN. Pero hay un problema. El ADN no puede desempeñar su trabajo, ni siquiera su propia replicación, sin el concurso de proteínas catalíticas, o enzimas. En pocas palabras no se puede fabricar proteínas sin el ADN, ni

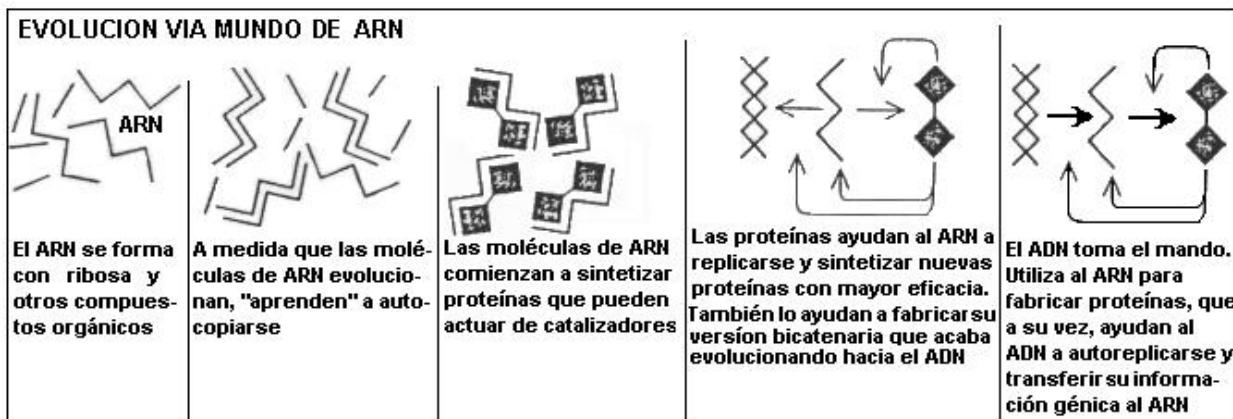
tampoco el ADN sin proteínas. Es el clásico problema del huevo o la gallina ¿qué fue primero? ¿El ADN o las proteínas?

Los experimentos realizados a principios de los ochenta por Thomas R. Cech de la Universidad de Colorado en Boulder y Sydney Altman de la Universidad de Yale, parecían ofrecer una respuesta: el ARN

Con anterioridad se había especulado con la posibilidad de que este ácido nucleico fuese la primera molécula autorreplicativa, pero nadie había podido demostrar cómo podría hacerlo eficazmente, sin el concurso de enzimas. Cech y Altman descubrieron que ciertos tipos de ARN se comportaban como enzimas: se autofragmentaban en dos y se volvían a unir posteriormente.

El descubrimiento, que mereció el premio Nobel para Cech y Altman en 1989, pasó enseguida ser explotado por los investigadores del origen de la vida. Si el ARN podía comportarse como una enzima, razonábase, podría también autorreplicarse sin la ayuda de proteínas. El propio ARN haría de gen y de enzima, de huevo y de gallina.

Walter Gilbert, biólogo de la Universidad de Harvard, acuñó la expresión "mundo de ARN" en 1986, y sigue siendo un entusiasta defensor de la teoría. Según él, el primer organismo estaría formado simplemente por moléculas de ARN autoreplicativas (ver dibujo).



A medida que evolucionaban aprendieron a sintetizar proteínas que le ayudaban a replicarse más rápidamente, y lípidos que formaban una pared celular. Por último, el organismo de ARN dio origen al ADN, una molécula mejor preparada para almacenar la información genética. Los biólogos han podido reproducir algunos actos de este drama molecular en el laboratorio. Jack W. Szotack y otros, del hospital general de Massachusetts, han construido moléculas de ARN que actúan una y otra vez como enzimas, cortando y pegando moléculas, incluidas ellas mismas. En un principio el ARN "enzima" se limitaba a realizar procesos sencillos, Szotack intenta ahora demostrar que tales moléculas pueden encapsularse en una membrana a imagen de célula.

Un Mundo de ARN

Manfred Eigen, del instituto Max Planck de química biofísica, de Gotinga, ha examinado lo que se piensa es un estado tardío de evolución del ARN, a tenor de sus experimentos, el ARN, estimulado por enzimas y otros aditamentos suministrados por el experimentador, puede adaptarse y evolucionar. Este fenómeno denominado evolución dirigida, encierra una enorme potencialidad como generador de nuevos compuestos.

Pero mientras más se profundiza en el concepto en el concepto de mundo ARN, mas problemas surgen, ¿Cómo se origino el 1º ARN? Si no resulta fácil sintetizar el ARN y sus componentes en el laboratorio, ni siquiera en las mejores condiciones, cuanto menos en las condiciones prebióticas que se suponen. El proceso mediante el cual se crea azúcar ribosa, componente clave del ARN. Origina también una serie de azúcares que pueden inhibir la síntesis del ARN. Además nadie explica satisfactoriamente pro que el fósforo, una sustancia de abundancia limitada en la naturaleza, es un ingrediente esencial del ARN (y del ADN).

Una vez sintetizado el ARN, solo alcanzara a autorreplicarse si el experimentador se lo facilita bastante dice Joyce, de la Clínica Scripps, un especialista en ARN. "Es una molécula inepta", añade. "Especialmente si se le compara con las proteínas". Leslie E. Orgel, del instituto Salk de estudios biológicos. Reputado experto en las condiciones del mundo del ARN. Esta de acuerdo con Joyce. Los experimentos que simulan las etapas tempranas del mundo del ARN son demasiado complicados para considerarlos replicas verosímiles del escenario donde se desarrollo el origen de la vida, afirma tajante Orgel. Y añade,- "es preciso conseguir que muchísimas cosas funcionen bien-. Y que no haya ningún error ".

Orgel ha llegado a la conclusión de que alguna molécula más sencilla muy distinta quizá, pudo haber preparado el terreno al ARN identificar dicho compuesto no será fácil. La química de los ácidos nucleótidos, señala, descansa sobre una sólida base de conocimientos y aventurarse a salir de ella supone volver a empezar. Pero algunos han acabado por sumergirse en lo desconocido. El verano del año pasado. El grupo dirigido por Julius Rebek. J, del Instituto de Tecnología de Massachusetts armó un considerable revuelo al anunciar que había logrado crear una molécula orgánica sintética con capacidad de autorreplicativa. La molécula, el éter triácido de la aminoadenosina (ETAA), consta de dos compuestos que, por su estructura química recuerdan a las proteínas y a los ácidos nucleicos. Las moléculas de ETAA, en cloroformo y con los correspondientes sustratos, sirven de molde para la formación de nuevas moléculas de ETAA.

Los experimentos de Rebek presentan dos inconvenientes. Según Joyce. La replicación se produce en condiciones muy artificiales. Poco naturales, y lo que es más importante aun. Con demasiada fidelidad. Sin mutación, la molécula no puede evolucionar en sentido darwinista. Orgel abunda en esta idea. "Lo que Rebek hace es muy ingenioso", dice, "pero no veo el que interés puede tener en el problema del origen de la vida".

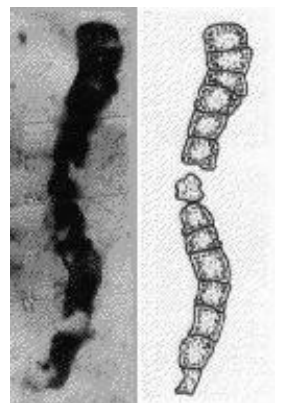
La solución del origen de la vida parece estar mas lejos que nunca. "La bacteria más elemental es tan condenadamente complicada, desde el punto de

vista químico, que resulta casi imposible imaginar como ha surgido". Resume Harold P. Klein, de la Universidad de Santa Clara, presidente de una comisión de la Academia Nacional de las Ciencias que ha revisado recientemente las investigaciones sobre el origen de la vida. (Su conclusión es que hace falta investigar mucho más.)

Aun cuando los científicos consigan crear algo en el laboratorio con propiedades similares a la vida, habrá que seguir preguntándose: ¿sucedio así en realidad? Dar respuesta a esa pregunta será extremadamente difícil, ya que las placas tectónicas, el vulcanismo y la erosión han borrado la mayoría de las señales de los primeros miles de años de existencia de la Tierra. Para estimar la edad del planeta, por ejemplo, los investigadores deben recurrir a los meteoritos. Presuntas reliquias de la época en la que el sistema solar se condensó a partir de una nube de gas y polvo. Las mediciones de radioactividad en los meteoritos apuntan a que su origen, y por lo tanto el de la Tierra, se remonta a unos cuatro mil quinientos millones de años.

El Verdín de la Tierra

Para establecer las condiciones en las que se generó la vida, es necesario saber cuando se produjo tal acontecimiento. Los científicos pensaban en un principio que debieron pasar miles de años antes de que la materia inerte adquiriese vida.



FOSILES DE 3.500 MILLONES DE AÑOS, entre los que cabe mencionar una hilera de células semejantes a las cianobacterias, o algas verde azules y estromatolitos encontrados en el oeste de Australia. Hay estromatolitos en ese y otros continentes. (Fotos equivalentes al artículo original)

La razón de esa postura radica en el registro fósil de los organismos pluricelulares, desde los trilobites hasta el Neandertal, que datan sólo de unos 600 millones de años. (Homo Sapiens apareció hace menos de un millón de años). En las últimas décadas, sin embargo, los paleontólogos han precisado que antes de que surgiesen los organismos pluricelulares, la Tierra estuvo probablemente poblada durante miles de millones de años por criaturas sencillas, como las algas, o "verdín de charcas", según dice J. William Schopf, de la Universidad de California, especialista en protofósiles.

Schopf y otros han acumulado lo que ellos creen pruebas inequívocas de que la vida existió hace por lo menos 3500 millones de años. Entre dichas pruebas están dos series de fósiles encontrados en determinados puntos de Australia y Sudáfrica, cuyas edades han sido establecidas por métodos radiactivos. Uno de esos fósiles son unas masas rocosas de color pardo verdoso, que revelan la antigua presencia de estromatolitos, densas formaciones de microbios que aún se pueden encontrar en algunos lugares del mundo, creciendo en aguas templadas poco profundas. Los otros fósiles muestran la impronta microscópica de hileras de células que recuerdan a las modernas cianobacterias, también llamadas algas azul verdosas. Schopf defiende que los organismos primitivos, igual que las cianobacterias en la actualidad, utilizaban probablemente la fotosíntesis y liberaban oxígeno como subproducto.

Manfred Schidlowski, del Instituto Max Planck de Química en Maguncia, ha encontrado pruebas de que en tiempos muy remotos existieron tales organismos fotosintéticos. Las pruebas proceden de unas rocas sedimentarias parcialmente fundidas, y con una antigüedad de 3800 millones de años, halladas en Isua, Groenlandia. Son estas las rocas "parlantes" terrestres más antiguas. (Las que tienen el récord absoluto, con 4200 millones de años, son los cristales de circón, descubiertos en Australia, aunque son mudos con respecto al pasado). El hecho de que las rocas de Isua sean sedimentarias revela la pasada presencia de agua, un pre requisito para la vida. Según Schidlowski, la presencia de carbono en las rocas indica también que estuvieron contaminadas con organismos fotosintéticos, quienes muestran preferencias por ciertos isótopos de carbono.

Este intento de viajar por el túnel del tiempo a golpe de registro fósil ha sido acogido con cierto escepticismo. David J. Des Marais, del Centro Ames de la NASA, opina que la huella de carbono en las rocas de Isua es demasiado débil para extraer conclusiones. Roger Buick, paleontólogo australiano que enseña en Harvard, opina que el escepticismo debe ampliarse también a los estromatolitos y microfósiles de 3500 millones de años, sobre cuyo origen biológico, sin embargo, no existe discusión, a diferencia de lo que sucede con las rocas de Isua. Según Buick, los estromatolitos podrían ser sedimentos deformados por procesos geológicos, y los microfósiles "pequeños rastros de 'excrementos'". "Dudofósiles", los llama él. Los fósiles que muestran con claridad una estructura celular datan de 3100 ó 3200 millones de años, sostiene.

Otros expertos en fósiles arqueanos, entre ellos Donald R. Lowe, de la Universidad de Stanford, piensan que Buick y quizás incluso Des Marais, pecan de exagerado escepticismo. Aunque uno por uno los fósiles se prestan a interpretaciones discrepantes, dice Lowe, cuando se suman sugieren que la vida era "amplia, diversa y harto compleja" hace 3500 millones de años, y probablemente estaba ya en marcha antes de los 3800 millones de años. Si el escenario es correcto, la vida tuvo que evolucionar y sobrevivir en circunstancias poco agradables, con periodos de auténtico infierno.

Después de analizar los cráteres lunares, que a modo de escritura Braille conforman un registro de la cadencia de impactos en el joven sistema solar, grupos dirigidos por los geofísicos David J. Stevenson, del Instituto de Tecnología de California, y Norman M. Sleep, de Stanford, han concluido, hace un par de años, que los meteoritos y cometas, a fuerza de chocar contra la Tierra, podrían haber impedido la emergencia de vida durante cientos de millones de años. Muchos de los proyectiles habrían sido bastante mayores que los objetos, de unos 10 kilómetros de anchura, que se cree acabaron con los dinosaurios en la transición entre los periodos Cretácico y Terciario, hace unos 65 millones de años.

Los impactos de grandes objetos, dice Sleep, habrían generado calor suficiente para poner en ebullición la superficie de los océanos si no para convertirlos enteramente en vapor. Las colisiones habrían también arrojado a la atmósfera enormes nubes de polvo y rocas fundidas. La implicación de todo esto es dramática: como mínimo los impactos habrían destruido la vida incipiente en tierra firme o en cualquier sitio próximo a la superficie de los océanos, hasta hace unos 3800 millones de años. La vida que dependiera de la fotosíntesis habría sido la más sensible.

Según parece, además la composición de la atmósfera durante ese periodo podría no haber sido tan favorable a la síntesis de compuestos orgánicos como se había pensado. Ese tradicional punto de vista se debe a Harold C. Urey, de la Universidad de Chicago, laureado con el premio Nobel de química. Propuso que la atmósfera tenía un carácter reductor, rica en gases hidrogenados, como el metano y el amonio, que vemos abundan en Saturno, Júpiter y Urano. El trabajo de Urey inspiró a Miller, alumno suyo, quien realizó su famoso experimento en 1953. Con todo, durante los últimos diez años han crecido las dudas sobre las hipótesis de Urey y Miller acerca de la atmósfera. Experimentos de laboratorio y reconstrucciones computarizadas de la atmósfera realizadas por James C. G. Walker de la Universidad de Michigan en Ann Arbor, y otros, sugieren que las radiaciones ultravioletas procedentes del Sol, hoy frenadas gracias al ozono atmosférico, habrían destruido las moléculas hidrogenadas de la atmósfera: el hidrogeno libre habría escapado al espacio. Según esos experimentos, el principal componente de la atmósfera fue el dióxido de carbono y el nitrógeno liberado por los volcanes. Una atmósfera así no habría sido la más conveniente para la síntesis de aminoácidos y otros precursores de la vida. De acuerdo con los recientes cálculos de James F. Kasling de la Universidad estatal de Pennsylvania el dióxido de carbono podría haber creado también un efecto de invernadero de tal calibre que las temperaturas de la superficie de la Tierra habrían alcanzado casi el punto de ebullición del agua.

El modelo de atmósfera reductora sigue contando con sus defensores. Miller entre ellos, señala que los humos y nubes habrían protegido de las radiaciones ultravioletas, a los delicados gases hidrogenados. "Hay un montón de gente haciendo modelos matemáticos que niegan la existencia de metano", señala, "pero no tienen pruebas reales". Un informe reciente de investigadores de la Universidad Nacional de Yokohama apoya la postura de Miller. Los japoneses argumentan que la rotura de moléculas de agua por acción de

partículas solares y rayos cósmicos podría haber estimulado la síntesis de hidrógeno libre, y por tanto, de metano y amonio

No obstante las investigaciones de los impactos y la atmósfera, junto con la creencia de que ya existían organismos primitivos hacen 3.800 millones de años ha llevado a algunos a sospechar que la vida no se incubo en remansos turbidos de mareas, sino en el fondo de los océanos. A finales de los años setenta, se descubrieron varios humeros o surgencias hidrotermales en fondos marinos cerca de las islas Galápagos.

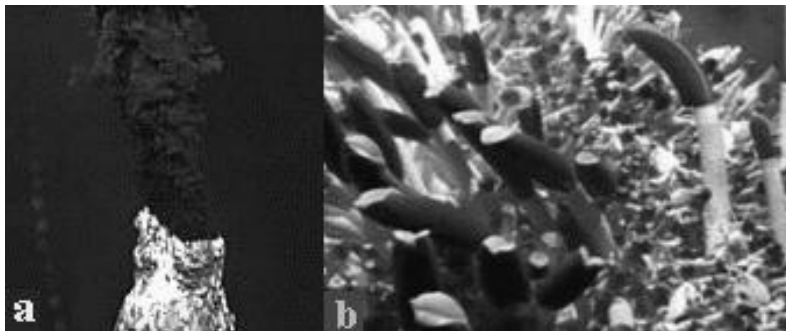
Los humeros alojaron florecientes comunidades de organismos como gusanos almejas y bacterias cuya fuente primaria de energía no es la luz sino los compuestos azufrados emitidos por las surgencias. De entonces acá se han descubierto docenas de humeros similares, generalmente cerca de las cordilleras submarinas que se crean en las zonas de confluencia de dos placas tectónicas.

Uno de los principales defensores de las surgencias como fuente de vida es John B. Corliss del Centro de Vuelos Espaciales de la NASA miembro del equipo que identificó una de las primeras surgencias. Los humeros pudieron haber aportado, señala, la energía y nutrientes necesarios para crear y mantener la vida. El interior de las surgencias, prosigue, habría proporcionado también protección contra los efectos nocivos de buena parte de los impactos extraterrestres. (Según el propio Corliss las modernas especies de las surgencias, que viven en las aguas de sus alrededores, más frías en comparación, son probablemente colonos recientes y no descendientes directos de los habitantes originales)

Un apoyo importante a la hipótesis de los humeros procede de uno de los estudios sobre organismos unicelulares, dirigido por Carl R. Woese, de la Universidad de Illinois en Urbana - Champaign. Comparando la composición genética de dichos organismos, Woese ha identificado un tipo de microbios o arquibacterias, que parecen haber sufrido menos cambios evolutivos En que cualquier otra especie viva. Todas las arquibacterias prefieren ambientes cálidos. Algunas aguantan temperaturas de hasta 120 grados Celsius. Ciertas especies prefieren un ambiente ácido, anóxico, con flujo estable de azufre. Precisamente las condiciones que se encuentran en los humeros hidrotermales.

Norman R. Pace biólogo de la Universidad de Indiana, encuentra sugestiva la teoría de las surgencias. Su visión de la corteza de la tierra primordial es la de una capa rocosa, delgada y turbia, acribillada por miles de humeros hidrotermales. Sin embargo a diferencia de Corliss, quien insiste en que la vida se originó en las surgencias, Pace sostiene que los primeros organismos pudieron engendrarse en otros lugares. Quizás en la superficie de la tierra o en su vecindad, durante los intervalos entre impactos; más tarde se desplazarían hasta encontrar la relativa seguridad de las surgencias, en aguas profundas. Impactos posteriores pudieron eliminar a todos los organismos, salvo aquellos que permanecieron ocultos en las surgencias. Esos organismos hidrotermales, aunque no fuesen los primeros pobladores de la tierra, podrían haber sido ancestros de todos los organismos vivos. Pace cree que todavía hoy

deben existir grandes comunidades de bacterias colonizando verdaderas redes de grietas y cavernas, que se esconden bajo las cordilleras centro - oceánicas. En zonas donde la temperatura del agua es alta.



(Fotografías equivalentes al original)

Historias azufradas

A Miller no le gustan las fuentes termales, al menos como sede original de la vida. Sostiene que las modernas surgencias duran poco. Unas décadas, para taponarse después. Además, él y Jeffrey L. Bada, también de la Universidad de California en San Diego, ha hecho experimentos que sugieren que el agua supercaliente del interior de los humeros, que a veces sobrepasa los 300 grados Celsius destruiría más que crearía compuestos orgánicos. Si la superficie de la tierra fuese una sartén, dice Miller, la surgencia hidrotermal sería el fuego.

No obstante, la hipótesis de los humeros ha operado a favor de tres teorías dos nuevas y otra un poco trasnochada, que ofrecen alternativas al ARN (o a sus precursores). La última y más insólita se la debemos a Günter Wächtershäuser. Un fenómeno algo insólito él mismo.

Abogado en ejercicio, Wächtershäuser fundó y dirige una empresa en Munich especializada en patentes. Antes de dedicarse a esos menesteres, se doctoró en química orgánica, de donde le viene un apasionado interés por el origen de la vida.

Ya como simple observador, empezó a desarrollar sus propias ideas hace unos cinco años. Mientras la mayoría de los investigadores dan por sentado que la vida comenzó cuando ciertos compuestos relativamente sencillos adquirieron la capacidad de auto replicarse en solución. Wächtershäuser defiende que la vida empezó siendo un proceso metabólico, esto es, una reacción química cíclica dirigida por alguna fuente energética, que tuvo lugar en una superficie sólida.

GENESIS DEL SILICIO

Aunque los métodos tradicionales de comprobar la veracidad de las teorías sobre el origen de la vida mezclan compuestos químicos reales en tubos de ensayo no menos reales, algunos investigadores intentan remendar la creación en la redoma del ordenador. Stuart A. Kauffman, biólogo a caballo entre la universidad de Pennsylvania y el instituto de Santa Fe de Nuevo México, es uno de los pioneros de esa vida "artificial".

Sospecha que la vida puede depender de un principio que genere orden a partir de interacciones químicas aleatorias. Para someter a prueba dicha hipótesis, él y sus colegas de Instituto de Santa Fe simulan en el ordenador interacciones entre polímeros genéricos con una actividad catalítica genérica.

Sea, por ejemplo, un caso simple en el que monómeros sencillos (cuadrados) con cierta actividad catalítica (flechas blancas) disparan una cascada de reacciones químicas (líneas negras y círculos amarillos) entre los polímeros (círculos verdes), que a su vez catalizan nuevas reacciones. Según Kauffman, las simulaciones demuestran que, si a un sistema se le proporciona un número suficiente de polímeros de ese tipo, experimentará una "transición de fase"

Aunque la idea no es nueva, sí lo es en la forma en que la propone Wächtershäuser. Como superficie sólida aboga por la pirita, un mineral metálico formado por una molécula de hierro y dos de azufre. La pirita se ha encontrado también en las surgencias, lo que no encierra ningún misterio, pues se halla por todas partes. Según su hipótesis, la pirita ofrece también una superficie cargada positivamente donde pueden engarzarse compuestos orgánicos sencillos. La continua formación de pirita a partir de hierro y azufre produce energía, en forma de electrones, necesaria para conseguir que los compuestos orgánicos reaccionen unos con otros y aumenten su complejidad.

La primera célula, según esta hipótesis, pudo haber sido un grano de pirita rodeado por una membrana de compuestos orgánicos. Dicha "célula", podría auto reproducirse si fuese capaz de producir "yemas" cristalinas que, una vez englobadas en su correspondiente membrana, quedasen libres.

El químico-abogado publicó sus ideas en revistas del prestigio de los *Proceedings of National Academy of Sciences*, *Microbiology Reviews* y *Nature*. Experimentos realizados por un grupo de la Universidad alemana de Regensburg apoyan también en cierta medida ese papel de "batería" para la pirita. El propio Wächtershäuser admite, sin embargo, que su teoría es todavía en su mayor parte una "pura especulación".

Sus ideas, sin embargo, han fascinado, entre otros, a Pace, Woese y a Karl Popper, filósofo de la ciencia. Pace dice que el modelo de Wächtershäuser, basado en un protometabolismo "superficial", podría dejar obsoleto el viejo paradigma de la autorreplicación en solución.

Otros no están tan fascinados. Joyce sospecha que Wächtershäuser se ha valido de sus habilidades como hombre de leyes para granjearse una aceptación mayor de la que en realidad merece su teoría. "Es un excelente abogado de su propia causa", observa Joyce. Admite, no obstante, su perplejidad ante el paralelismo entre Wächtershäuser y otro científico alemán que no dejaba de crear mientras trabajaba en asuntos relacionados con las patentes: Albert Einstein. "Dado el precedente", señala Joyce con cierta sorna, "sospecho que lo mejor que podríamos hacer es tomarlo en serio".

Christian R. De Duve, profesor emérito de la Universidad Rockefeller, premio Nóbel en 1974 por sus trabajos sobre estructura celular, ha propuesto un modelo que guarda cierta similitud con el de Wächtershäuser. En dicho modelo, descrito en el libro *Blueprint for a Cell*, desempeñan un papel importante los tioésteres, unos compuestos azufrados. Los tioésteres, fundamentales en el metabolismo celular, pudieron constituir, opinan algunos, la fuente de energía en las células primitivas.

De Duve propone que los tioésteres de la sopa primordial podrían haber desencadenado una cascada de reacciones químicas parecidas a las que se producen en el moderno metabolismo celular. Las reacciones habrían sido catalizadas por "protoenzimas", formadas también a partir de los tioésteres. Estas reacciones acabarían en la síntesis de ácidos ribonucléicos, en el mundo de ARN. La síntesis de tioésteres precisa un ambiente ácido y caliente, que según de Duve pudo ser suministrado por las surgencias hidrotermales. "Me gustaría ver las pruebas experimentales", replica Miller.

Hechos de barro

A. G. Cairns-Smith, químico de la Universidad de Glasgow, dice tener una buena razón para dudar de la teoría de Duve; tal teoría se basa en una propuesta avanzada por él mismo y David C. Mauzerall, de la Rockefeller, sobre cómo una reacción química en la que intervienen hierro y agua pudo haber enriquecido de hidrógeno la atmósfera primordial. "Lo que de Duve omite", apunta Cairns-Smith, "es que, como consecuencia de ese proceso, los océanos son sitios *poco* idóneos para la síntesis de moléculas orgánicas".

Durante más de una década, Cairns-Smith ha estado promocionando su propia teoría. Igual que Wächtershäuser, propone que la vida se originó sobre un sustrato sólido, habitual en las surgencias y en casi cualquier otra parte, aunque él prefiere los cristales de arcilla a la pirita. Todo cristal está formado por unidades autorreplicativas, apunta Cairns-Smith, pero los cristales de arcilla tienen suficiente complejidad como para mutar y evolucionar de forma parecida a como lo hace la vida. Algunas arcillas pudieron mejorar su potencial reproductor, desarrollando la capacidad de atraer o sintetizar compuestos orgánicos, como ácidos nucleicos o proteínas. Con el tiempo, los compuestos orgánicos llegaron a ser tan refinados que comenzaron a replicarse y evolucionar.

A diferencia de algunos teóricos del origen de la vida. Cairns-Smith admite gustosamente los puntos débiles de su hipótesis ni nadie ha detectado nunca arcilla en algo que pudiera considerarse evolución, en experimentos de laboratorio, ni nadie ha encontrado tampoco nada parecido a un organismo arcilloso en la naturaleza. Lo que no le obsta para sostener que, de todas las teorías basadas en la existencia de compuestos orgánicos que se organizan y replican sin ayuda externa, esa es la mayor. "Las moléculas orgánicas son demasiado escurridizas cuando van por ahí sueltas."

Invasores

Hay otra escapatoria para esa suerte de callejón sin salida a la que se ha llegado con las teorías. Si ni la atmósfera ni las surgencias han proporcionado el habitáculo idóneo para la síntesis de compuestos orgánicos complejos, ¿por qué no pensar, que estos han venido de otra parte, por ejemplo, del espacio exterior? Juan Oró, de la Universidad de Houston, planteó ya esa posibilidad en los años 60. La idea parece haber cobrado un nuevo impulso ahora que los astrónomos han descubierto espectros reveladores de la presencia de una gran variedad de compuestos orgánicos alrededor de ciertas estrellas, y en los espacios interestelares.

Se han encontrado también aminoácidos en ciertos meteoritos, las condritas carbonáceas, que representan aproximadamente el 5% de los meteoritos que se estrellan contra la tierra. Las observaciones del cometa Halley, que pasó por la tierra hace unos 5 años, sugieren que los cometas pueden tener un contenido en compuestos orgánicos aún mayor que el de las condritas carbonáceas. Las condritas, contienen también hidrocarburos, alcoholes y otros compuestos grasos, que podrían haber participado en la formación de las membranas que

protegieron a las células primitivas. David D. Deamer, bioquímico de Universidad de California en Davis, ha fabricado membranas esféricas, o vesículas, con compuestos obtenidos de un meteorito que cayó cerca de Murchison, Australia, en 1969. Esas vesículas dice Deamer, pudieron haber proporcionado un ambiente adecuado para que los aminoácidos nucleótidos o cualquier otro compuesto orgánico sufriese las transformaciones necesarias para que se produjese la vida.

La hipótesis según la cual los impactos pudieron haber creado el escenario para la vida, y retrasado también su puesta en marcha, ganó fuerza en 1989; la causa: los descubrimientos de aminoácidos por encima y por debajo de una capa arcillosa depositada en la transición Cretácico-Terciario. Bada y Meixun Zhao, también de San Diego, determinaron que los aminoácidos no eran de tipo biológico, encontrados hasta entonces solo en los meteoritos.

Sus conclusiones parecen apoyar la teoría del impacto para explicar la extinción de los dinosaurios, amén de mostrar que los grandes impactos pudieron fertilizar la tierra con compuestos orgánicos.

Hay que dar, no obstante, respuestas a ciertas preguntas. ¿Por qué se encontraron aminoácidos por encima y por debajo de la capa del Cretácico-Terciario, y no en la misma capa? ¿Cómo pudieron soportar el enorme calor generado por el impacto?. Cálculos realizados por Christopher F. Chyba, estudioso de los planetas, de la Universidad de Cornell, y otros apuntan a que cualquier objeto extraterrestre de tamaño suficiente para proporcionar cantidades notables de material orgánico a la tierra generaría tanto calor durante su impacto, que quedaría convertida en cenizas.

En noviembre del año pasado, Kevin J. Zahnle y David Grinspoon, del centro Ames de la NASA, propusieron una salida a ese problema. Según ellos los aminoácidos provienen de uno o más cometas que no se estrellaron en la tierra, sino que simplemente pasaron muy cerca, dejando una estela de restos orgánicos, antes y después del Cretácico - Terciario. De esa manera, aseguran, los cometas pudieron rociar la Tierra de compuestos orgánicos, en las fases más tempranas de su historia.

Chyba habla de formas posibles que tendrían los impactos de contribuir al suministro de materias primas para la vida. El calor y las ondas de choque procedentes de un impacto podrían desencadenar las reacciones químicas en la atmósfera que sintetizan compuestos orgánicos. El objeto extraterrestre podría romperse hasta el punto de que la atmósfera frenara su carrera y aterrizar casi intacto.

Panspermia

Otros reputan de inverosímil cualquier modelo de impacto. "Es como maná llovido del cielo", dice Sherwood Chang de la NASA, experto en compuestos orgánicos extraterrestres. Según Chang hay que dedicar mayor esfuerzo a investigar cómo se pudieron sintetizar compuestos orgánicos en la Tierra, en vez de dar por supuesto que los cuerpos celestes hicieron el trabajo. Las teorías que dan a los impactos una participación en el origen de la vida "están ahora muy de moda" añade, pero carecen de solidez observacional".

La versión más extremista del maná del cielo es la panspermia. Esta teoría fue propuesta a fines del siglo XIX por el químico sueco Svante A. Arrhenius, sostenía éste que los microbios que pululaban por el universo hicieron de "semilla de la vida" en la Tierra. Más recientemente Holey y un antiguo alumno suyo, el astrónomo N. Chandra Wickramanshinghe de Sri Lanka (conocido también por su oposición a la teoría de la gran explosión), siguen promocionando la misma idea, y van más lejos, esos microbios extraterrestres son la causa de la gripe, el SIDA y otras enfermedades.

La mayoría de los científicos rechazan de plano estas ideas, por la sencilla razón de que nunca se han encontrado microbios en el espacio, y es muy improbable que se encuentren, dado su carácter de ambiente hostil para la vida. Ello no obstante, los experimentos realizados por J. Mayo Greenberg, astrofísico de la Universidad holandesa de Leiden, presta cierta credibilidad a la panspermia. Según Greenberg, una célula "desnuda" podría sobrevivir durante cientos de años en el espacio, y hasta 10 millones de años si está protegida de las radiaciones por una fina capa de hielo.

Greenberg opina que es todavía difícil imaginar cómo los organismos pudieron abandonar otros planetas o llegar intactos hasta el nuestro. En sintonía con la mayoría de los científicos, cree que la vida empezó en la Tierra. Pero reconoce que la hipótesis de la panspermia, aunque improbable e incomoda para muchos, no puede ser descartada, a la vista de sus resultados experimentales.

Hace unos 10 años Orgel y Crick se las arreglaron para provocar al público y a sus colegas, especulando con la posibilidad de que las semillas de la vida fuesen enviadas a la Tierra en un ingenio espacial por seres inteligentes de otros planetas. Orgel comenta que la propuesta, conocida como panspermia dirigida, fue "una especie de broma", pero añade que tenía una intención seria, llamar la atención sobre las carencias de todas las teorías sobre el origen terrestre de la vida. Lo escribió Crick en cierta ocasión. "El origen de la vida parece casi un milagro, tal es la cantidad de condiciones que deberían haberse cumplido para que se pudiese en marcha".

¿Estamos solos?

Otros, sin embargo piensan que la génesis de la vida, lejos de ser un milagro, constituye quizás un fenómeno más que común. De hecho. La aparente rapidez con que surgió la vida en la Tierra y la abundancia de moléculas orgánicas en el espacio sugieren que la vida pudo originarse en

Cualquier otra parte del universo, razona John D. Rummell, director del Programa de Exobiología de la NASA. Encontrar pruebas de dicha vida, señala, además de ser un hecho histórico en sí mismo, aclararía muchos aspectos relacionados con el comienzo de la misma en la Tierra.

La NASA está ampliando su programa SETI, de búsqueda de inteligencia extraterrestre, con la que se rastrea el espectro electromagnético en búsqueda de señales que puedan ser emitidas por otras civilizaciones. Durante la próxima década. Los investigadores de la NASA estudiarán las señales de radio

procedentes de todo el cielo, centrándose en unas 700 estrellas bastante cercanas, en las que se sospecha la existencia de planetas. La NASA ha desarrollado equipos que permitirán a un solo radiotelescopio rastrear miles de millones de canales simultáneamente y seleccionar las señales sospechosas.

Se investiga de nuevo la posibilidad de vida en nuestro vecino más próximo, Marte. El investigador McKay, de la NASA, dice que Marte y la Tierra compartieron rasgos comunes en sus primeros cientos de millones de años. La existencia de antiguos canales y lodazales sugieren que el agua fluyó alguna vez por el planeta rojo. Este hecho da a entender que Marte estuvo rodeado por una atmósfera templada de dióxido de carbono.

La nave espacial Viking, que se posó en ese planeta en los años setenta, no encontró restos de vida. No obstante, según McKay la posibilidad de hallar indicios positivos, en forma fósil o viva, en una futura misión ha aumentado con el descubrimiento de firmas microbianas en lugares insospechados de la Tierra. McKay y otros han observado densos mantos microbianos en el fondo de lagos permanentemente helados de la Antártida, cuyo clima glacial y seco se parece al de Marte. Se han encontrado también bacterias en rocas sedimentarias y depósitos de petróleo a miles de metros de profundidad, en depósitos salinos y, por supuesto, en húmeros profundos.

Según McKay, Marte es el sitio ideal para buscar fósiles. "Está congelado hace cuatro mil millones de años. Y no tiene placas tectónicas. Compendia el sueño de todo paleontólogo". Reconoce, sin embargo, que le falta una de las características potencialmente significativa de la Tierra: una gran luna. "Si se acepta que la vida evolucionó en masas de agua sometidas a la acción de las mareas, falla la analogía con Marte. McKay opina que el descubrimiento de vida extraterrestre daría un nuevo impulso a las investigaciones sobre el origen de la vida, como ocurrió en 1965 con el de la radiación de fondo de microondas, que vino a legitimar los estudios cosmológicos. "Necesitamos una base de conocimientos similar a la proporcionada por la radiación de fondo de microondas, para hacernos respetar.

Miller, quien después de más de tres décadas continúa aún en la brecha tras el misterio de la vida, coincide en que el campo necesita un descubrimiento espectacular, para acabar con la imaginación desbocada. Pero es de los que piensa que tal descubrimiento saldrá de los laboratorios que buscan la respuesta en la Tierra. Lo que hace falta ahora, comenta, es menos teoría e inquisiciones extraterrestres y más experimentos. "Se me ocurre una docena de ideas al día y las rechazo todas".

¿Ha considerado alguna vez la posibilidad de que la génesis de la vida fuese un milagro, no reproducible por el hombre? Nunca, contesta Miller. "Creo más bien que no hemos dado todavía con el truco correcto", agrega. "cuando encontremos la respuesta, será tan condenadamente simple, que todos nos preguntaremos ¿Cómo no se me ocurrió antes?".