
3

Sopas y meteoritos

La hipótesis de trabajo que ha dominado el campo de estudio sobre el origen de la vida en los últimos sesenta años propone que la existencia de las biomoléculas es un requisito para el origen de las primeras células. Es decir, si toda la vida conocida se basa en la materia orgánica, se supone que toda ella procederá de unos ancestros basados también en materia orgánica. La vida más primitiva, siendo incapaz de sintetizar sus propios componentes, tendría que partir de unas moléculas orgánicas previas, formadas abióticamente. En el lenguaje bioquímico decimos que, metabólicamente, los primeros organismos serían organoheterótrofos, es decir, necesitarían los compuestos orgánicos como fuente de materia y energía. En el camino hacia la vida el primer paso sería, pues, la generación química del repertorio de compuestos orgánicos presentes en la materia viva a partir de materiales más simples.

De alguna forma ésta fue la opinión de Darwin, expresada en su correspondencia con el botánico J. D. Hooker en 1871. Imaginaba un origen en una pequeña charca de agua templada rica en sales minerales y material orgánico. Era como invocar que en este planeta, al menos una vez, se había dado la generación espontánea. Sin embargo, quizás consciente de la incapacidad de atacar el problema científicamente en su época, Darwin había introducido, en la segunda edición de su libro sobre el origen de las especies, en el último párrafo, la mención a la participación inicial de un Creador.

En 1923 el bioquímico ruso A. I. Oparin publicó un librito donde proponía una explicación materialista para el origen de la vida a partir de unos océanos primitivos ricos en compuestos orgánicos, aunque los científicos occidentales conocieron primero su obra más elaborada y extensa *E/*

Origen de la Vida sobre la Tierra de 1936. El genetista británico J. B. S. Haldane publicó en 1929 un artículo donde, de forma independiente a Oparin, proponía una explicación similar. Hay, no obstante, una diferencia fundamental entre las propuestas de Oparin y Haldane. El primero consideró que el origen de la evolución biológica debería ser la célula primitiva o probionte, mientras que Haldane, quizás admirado de los recientes avances de la genética bacteriana, pensó que el origen de la vida coincidiría con el origen de los virus. Hay que señalar que en los años 50 Haldane defendió un origen de la vida asociado al origen de la célula (véase el capítulo 6).

La sopa primordial

Muy esquemáticamente podemos distinguir en la hipótesis de Oparin cuatro puntos: 1) la atmósfera primitiva estaba compuesta por vapor de agua y por gases reducidos, como el metano, el amoníaco y el hidrógeno molecular; 2) diferentes fuentes de energía, como las descargas eléctricas, el calor o la radiación ultravioleta servirían para la síntesis de compuestos orgánicos a partir de los gases atmosféricos; 3) estos compuestos orgánicos se irían acumulando en los mares primitivos formando una disolución que Ise podría comparar a un consomé de pollo diluido; 4) finalmente, se darían una serie de procesos de organización, progresivamente más compleja, desde las moléculas orgánicas a los polímeros rudimentarios, a los agregados (coacervados) con los primeros atributos de materia viva y a las células primitivas (probiontes). Ni que decir tiene que el paso del punto tres al cuatro es *el origen de la vida* y sigue siendo el proceso más oscuro y difícil de explicar. L. Margulis lo ha expresado de la siguiente forma:

Los compuestos orgánicos no son vida. Pero muchos y diferentes compuestos orgánicos fueron producidos y concentrados en una forma que dio lugar a entidades autorreplicativas mínimas [...]. No sabemos cómo ocurrió esto y puede que nunca lo sepamos.

El segundo de los cuatro estadios citados anteriormente se ha simulado experimentalmente. En 1953, S. L. Miller, entonces estudiante en el laboratorio de H. C. Urey en la Universidad de Chicago, diseñó y realizó un experimento considerado unánimemente como un clásico. Sintetizó una complejísima mezcla de sustancias orgánicas al producir chispas eléctricas en el seno de una mezcla de amoníaco, metano, hidrógeno y vapor de

agua. El funcionamiento del aparato durante una semana fue suficiente para simular la síntesis de alcoholes, ácidos carboxílicos, aminoácidos y otras sustancias en una hipotética atmósfera primitiva castigada por rayos y centellas. Fuentes de energía diferentes, como la luz ultravioleta o el calor son mucho peores si lo que buscamos es la síntesis de aminoácidos. Durante los años siguientes, con el desarrollo de lo que se ha llamado química orgánica prebiótica, se probaron otros diseños experimentales y otras fuentes de energía. Hoy disponemos de una extensa lista de recetas que permiten la síntesis abiótica de los tipos de sustancias orgánicas más simples presentes en la materia viva:

Aminoácidos

Sin duda son los compuestos más fáciles de obtener en condiciones prebióticas: se han conseguido todos aquellos presentes en las proteínas, excepto arginina y lisina. La síntesis conseguida por Miller en 1953 sigue el mecanismo de la reacción de Strecker, conocida desde 1850 por los químicos orgánicos. Por otra parte, las mezclas de monóxido de carbono e hidrógeno (el llamado gas de agua), en presencia de amoníaco y de óxidos metálicos y silicatos a temperaturas entre 100 y 300° C dan lugar, entre otros compuestos, a aminoácidos. En este caso los químicos orgánicos han averiguado que la reacción sigue un mecanismo de tipo Fischer-Tropsch.

Purinas y pirimidinas

Un componente esencial de los ácidos nucleicos son las bases nitrogenadas púricas -adenina y guanina- y pirimidínicas -uracilo, timina y citosina. La adenina fue sintetizada por Joan Oró en la Universidad de Houston en 1960, a partir de cianuro de hidrógeno en presencia de amoníaco. Aunque en este caso se usaron concentraciones muy altas -poco realistas- de los reaccionantes, posteriormente se han diseñado esquemas de reacción más plausibles. La guanina se obtiene en reacciones que también rinden diaminopurina, isoguanina, hipoxantina y xantina y que no son más que variaciones de la reacción de síntesis de adenina. La síntesis prebiótica de pirimidinas también se ha conseguido.

Azúcares

En condiciones alcalinas y en presencia de catalizadores inorgánicos el formaldehído da lugar a una mezcla complejísima de azúcares. Se trata de

la denominada *reacción de la formosa* que aunque se conoce desde mediados del siglo pasado, todavía no comprendemos su mecanismo. El proceso es autocatalítico y da lugar a azúcares de cuatro, cinco y seis carbonos, mayoritariamente. Entre muchísimos otros se detectan ribosa, glucosa y fructosa. Hay dos problemas serios con la síntesis prebiótica de azúcares. Uno es la inestabilidad de los productos: a 25 ° C los azúcares se descomponen en pocos centenares de años. El segundo es la diversidad de los productos generados, tanto de cadena lineal como ramificada. De hecho se ha conseguido separar más de cuarenta azúcares diferentes de una única mezcla de reacción. Para acabarlo de complicar se trata de mezclas racémicas, es decir, de mezclas equimoleculares de los isómeros especulares D y L.

Nucleósidos y nucleótidos

La síntesis de compuestos formados por ribosa y una base nitrogenada (ribonucleósidos) es la más difícil de las reacciones prebióticas, especialmente si la base es una pirimidina. Hasta ahora no se ha conseguido. Más sencillo resulta pasar a nucleótidos: si se parte de los nucleósidos puros la adición de fosfato es bastante eficiente usando polifosfatos. La presencia prebiótica de los polifosfatos en la Tierra primitiva es razonable ya que recientemente se han detectado en las emanaciones volcánicas. También las fuentes termales submarinas son ambientes ricos en fosfato.

Lípidos

Se han sintetizado ácidos grasos por condensación y reducción de monóxido de carbono con hidrógeno usando catalizadores metálicos, siguiendo un mecanismo de tipo Fischer- Tropsch. Otros esquemas de reacción permiten la síntesis de glicerol y su ester fosfato así como de sus esteres con ácidos grasos. También se han producido fosfolípidos abióticamente. En medio acuoso salino estas moléculas anfifílicas forman liposomas.

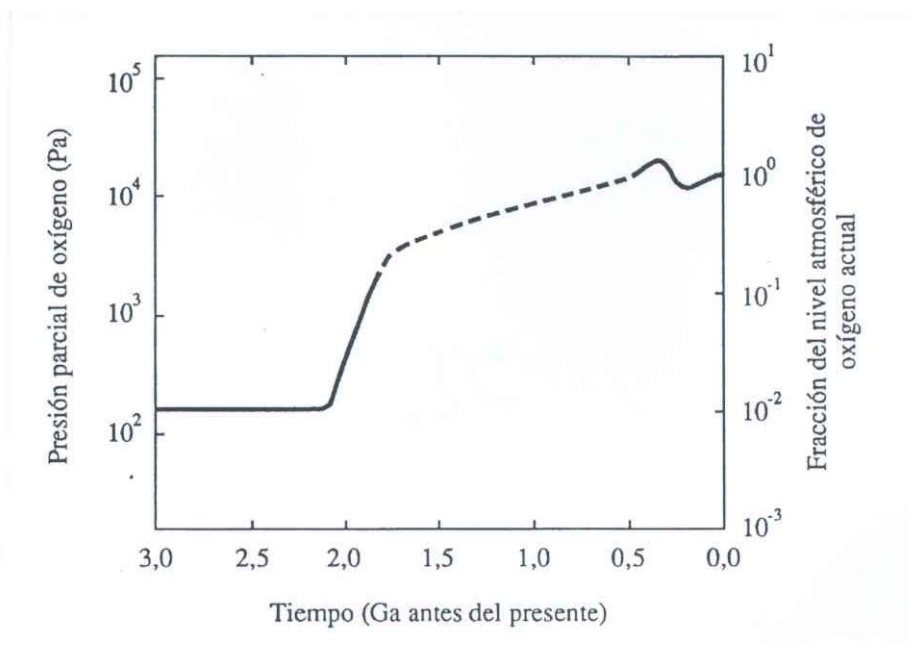
Polímeros

La síntesis de péptidos -polímeros de aminoácidos- o de polinucleótidos requiere reacciones de condensación, es decir, de eliminación de agua.

Como es lógico, estos procesos están desfavorecidos en disolución acuosa. Se han sugerido dos posibles soluciones: la participación de sustancias con una gran tendencia a hidratarse o la desecación combinada con temperaturas altas. Ambas se han probado con éxito en el caso de la formación péptidos. S. Fox en la Universidad de Miami consiguió péptidos calentando mezclas de aminoácidos. Los polímeros formados al azar, denominados proteínoides, exhiben una diversa, aunque modesta, capacidad para catalizar algunas reacciones. Para la síntesis de polinucleótidos se han probado numerosos sistemas. Por ejemplo, L. E. Orgel, del Instituto Salk de San Diego, ha demostrado que la polimerización de ribonucleótidos de purina activados -con residuos de imidazol- sobre un molde de polipirimidina ocurre sin necesidad de que haya enzimas presentes. Desgraciadamente, la reacción contraria, síntesis de una polipirimidina usando como molde una polipurina, no funciona.

La materia orgánica que nos vino de fuera

Hace más de treinta años Oró especuló sobre la riqueza en compuestos orgánicos del universo. A partir de las reacciones de síntesis de los elementos químicos y de sus estabilidades razonó que la abundancia de elementos como el hidrógeno, carbono, nitrógeno, oxígeno, azufre y fósforo, hacía que la química más corriente en el universo fuese la orgánica y no la inorgánica. En la era de la radioastronomía esta hipótesis se ha visto confirmada. Vivimos en un universo rico en materia orgánica aunque, paradójicamente, habitamos en un rincón del sistema solar empobrecido en carbono. Como vemos en la figura 6, en los planetas internos la proporción relativa del carbono al resto de los elementos es mucho menor que en los planetas exteriores. Al menos diez de las moléculas detectadas en el espacio interestelar -por ejemplo, hidrógeno molecular, agua, amoníaco, monóxido de carbono, acetaldehído, cianuro de hidrógeno, cianacetileno o acetamida- son precursores de biomoléculas en los esquemas de reacción de la química prebiótica. Por otra parte, aminoácidos, bases nitrogenadas o lípidos se cuentan entre las sustancias detectadas en un tipo de meteoritos -las condritas carbonáceas. El mismo Oró fue el primero en señalar la posible relación entre los cometas y el origen de la vida. Efectivamente, los cometas y otros cuerpos que pudieron impactar abundantemente sobre la Tierra primitiva -como asteroides, meteoritos y polvo cósmico- pudieron ser portadores de agua, gases



Objetos en orden de distancia al Sol

Figura 6. El sistema solar interno se halla empobrecido en carbono. Se representa la proporción de átomos de C al resto de elementos de la tabla periódica más pesados que el He (Z) para diferentes objetos del sistema solar incluyendo las condritas carbonáceas y los cometas. Se desconoce el valor correspondiente a Marte. Adaptado de McKay (1991).

reducidos y de gran cantidad de moléculas orgánicas precursoras para la síntesis prebiótica, sino de monómeros biológicos propiamente dichos. En numerosas ocasiones se ha discutido la posibilidad de que toda esa materia orgánica fuese destruida, por pirólisis, por la propia energía de rozamiento e impacto del objeto al entrar en la atmósfera terrestre. Pero los modelos de C. Chyba y C. Sagan, de la Universidad de Cornell, muestran que atmósferas primitivas plausibles, suficientemente densas, permitirían la lluvia de una cantidad nada despreciable de compuestos orgánicos. O sea, a los efectos deletéreos de los impactos sobre el origen de la vida, comentados en el capítulo 2, cabría superponer los posible beneficios derivados de su contribución al inventario de materiales orgánicos de la Tierra primitiva.

Una vida asimétrica en un universo asimétrico

Numerosos compuestos orgánicos se pueden presentar bajo dos estructuras posibles con la peculiaridad que una es la imagen especular de la otra. Son los denominados isómeros ópticos o enantiómeros, designados tradicionalmente por las letras D y L. Una característica de la química orgánica que sucede en el interior de las células vivas es que se basa de forma exclusiva en el uso de una de las dos series enantioméricas de los compuestos orgánicos. Por ejemplo, sólo se metabolizan azúcares de la serie D o sólo se utilizan aminoácidos de la serie L durante la síntesis proteica. Sin embargo, las sustancias obtenidas en los experimentos de síntesis orgánica prebiótica son mezclas equimoleculares de ambas series. Esto plantea graves problemas a la hora de imaginar los procesos prebióticos de polimerización. En los ejemplos mencionados en el apartado anterior, el experimentador selecciona el aminoácido o el nucleótido a utilizar en *estado quiral puro*. Si, pongamos por caso, intentamos las eficientes polimerizaciones diseñadas por Orgel a partir de una mezcla racémica de ribonucleótidos -es decir, la mitad de las moléculas llevan D-ribosa y la otra mitad L-ribosa- se produce el fenómeno denominado «inhibición cruzada enantiomérica». En otras palabras, la síntesis del polímero no tiene lugar porque un isómero L impide el crecimiento de una cadena hecha de monómeros D. Y al revés. Pero además hay que destacar que no se puede construir un polinucleótido de monómeros D y L mezclados. La síntesis de los polinucleótidos requiere pureza quiral. Lo mismo ocurre con los aminoácidos.

Se ha sintetizado químicamente una proteína toda con aminoácidos D. Hay pruebas de que se pliega dando una estructura tridimensional que es imagen especular de la proteína natural, toda hecha de aminoácidos L. Esto nos dice que podemos imaginar una vida basada en D-aminoácidos y L-azúcares. Sin embargo, por razones que todavía no están del todo claras la vida terrestre se basa en la combinación contraria. El debate actual sobre el origen de la homoquiralidad parte de dos posturas: durante el origen de la vida ¿se seleccionaron los isómeros casualmente, accidentalmente y arbitrariamente, a partir de mezclas racémicas? ¿O más bien existe en la naturaleza prebiótica una preferencia por los L-aminoácidos y los D-azúcares, frente a sus imágenes especulares? En el primer caso hay que invocar algún mecanismo de selección. A pesar de los numerosos intentos, sobre todo buscando el posible papel de los minerales en este proceso, la química orgánica prebiótica no tiene este problema solucionado. En el segundo caso, los físicos teóricos nos han suministrado una posible respuesta. El universo es asimétrico, incluso a escala

subatómica. Según los físicos, la auténtica imagen especular de un L-aminoácido no es un D-aminoácido sino un D-aminoácido de antimateria. Esto hace que el contenido energético, la estabilidad, de los dos isómeros no sea idéntica. En otras palabras, un compuesto D y otro L no sólo se diferencian en su comportamiento frente a la luz polarizada sino que uno es más estable que el otro. Se ha calculado la diferencia y es muy pequeña. Pero los aminoácidos L son más estables que los D y hay indicios de que en el caso de los azúcares ocurre al contrario. Aunque algunos piensan que la diferencia de estabilidad es insignificante hay modelos que proponen mecanismos de amplificación para pasar de las mezclas racémicas a la homquiralidad en tiempos relativamente cortos - unos diez mil años. Existe la posibilidad que el origen de la vida se diese ya sobre un ambiente asimétrico.

Los tropezones de la sopa

El modelo de la sopa primordial sin duda domina la bibliografía biológica, y a veces se presenta como única teoría actual para el origen de la vida. Como iremos viendo, hay otras posibilidades, incluso radicalmente opuestas a la visión de Oparin-Haldane. Muchas veces la imaginación de los científicos ha sido estimulada por los obstáculos insalvables con que se ha ido encontrando la hipótesis de una sopa, que algunos dicen que jamás existió. En este apartado analizamos alguno de estos problemas.

Una controversia es la relacionada con la acumulación de los compuestos orgánicos en los mares primitivos. Durante la síntesis prebiótica de materia orgánica -o si ésta viniese del espacio exterior- ¿realmente se llenarían los océanos primitivos de estos materiales? ¿se llegaría a formar la famosa sopa primordial? Es extraordinariamente difícil hacer ese tipo de cálculos. Sin embargo, Miller ha estimado que se podría haber alcanzado, en condiciones óptimas de síntesis orgánica, una concentración de aminoácidos de 0,3 mM y de adenina de 0,15 μ M. Es decir, una sopa relativamente concentrada. Esta visión optimista se contrapone con la de aquellos que defienden que nunca se habría llegado a acumular materia orgánica en disolución, teniendo en cuenta que los mismos factores ambientales que favorecerían su síntesis también la destruirían.

Diversos autores han señalado que en la bibliografía biológica los experimentos de simulación de síntesis prebióticas se han generalizado y extrapolado más allá de lo que realmente significan. Sirva de ejemplo la referencia que se hace de los experimentos de simulación en la última

edición (1993) de los *Principios de Bioquímica* de A. L. Lehninger (el subrayado es mío):

Los experimentos de laboratorio sobre la formación espontánea de biomoléculas en condiciones prebióticas han demostrado que *muchos* de los componentes químicos de las células vivas, *incluyendo proteínas y RNA*, pueden formarse en estas condiciones.

Como hemos visto antes, no se han obtenido todas las biomoléculas presentes en la materia viva ni mucho menos moléculas tan complejas como el RNA. En su libro *Origins* (1986) R. Shapiro, de la Universidad de New York, ha señalado que el experimento de Miller-Urey no es una demostración de la validez de la totalidad de las ideas de Oparin, tal y como se proclama en algunos libros de texto. La realidad es que sólo se intentaba simular el segundo de los cuatro puntos que citamos anteriormente. La esencia de la hipótesis de Oparin es que en la Tierra primitiva la atmósfera era reductora. Y éste es el germen del experimento de Miller-Urey. El argumento de Urey a favor de una atmósfera reductora se basaba en la abundancia cósmica del hidrógeno y en la posible composición de la nébula solar que originó los planetas. Propuso que la atmósfera de los planetas internos sería parecida a la de Júpiter. Como hemos visto en el capítulo anterior, las teorías que prevalecen sobre la formación del sistema solar y el conocimiento más detallado de la química atmosférica nos indican que las atmósferas de los planetas internos hace 4,0 Ga no contenían gases en estado reducido. Desde el punto de vista redox serían unas atmósferas más bien neutras, ricas en vapor de agua, nitrógeno y dióxido de carbono. Así que la atmósfera primaria reducida derivada de la nébula solar habría sido sustituida por una atmósfera secundaria neutra de origen volcánico. Las contradicciones entre las premisas de la teoría de la sopa primordial y los conocimientos de la geoquímica ya fueron señaladas en 1966 por P. H. Abelson de la Institución Carnegie de Washington.

Esto pone en un aprieto a casi todos los esquemas de reacción de la química orgánica prebiótica ya que en condiciones no reductoras -es decir, si se elimina el hidrógeno y se sustituye amoníaco por nitrógeno y metano por dióxido o monóxido de carbono- los rendimientos, cualitativos y cuantitativos, de la síntesis orgánica caen en picado. Los que defienden un origen extraterrestre de la materia orgánica calculan que en una atmósfera no reductora la síntesis neta de materia orgánica es mil veces menor que si es reductora y, entonces, el aporte por objetos extraterrestres se convierte en la fuente dominante de compuestos orgánicos prebióticos.

Centrémonos por un momento en los resultados del experimento de Miller-Urey. La sustancia más abundante que se obtuvo al someter a descargas eléctricas la mezcla de metano, hidrógeno, amoníaco y vapor de agua fue el ácido fórmico (4 por ciento del C inicial en forma de metano) seguido de glicina (2,1 por ciento), ácido glicólico (1,9 por ciento), alanina (1,7 por ciento) y ácido láctico (1,6 por ciento). El resto eran sustancias como los ácidos succínico, glutámico y aspártico y otros doce compuestos de una relevancia biológica muy discutible, en proporciones menores al 0,8 por ciento. Existe una coincidencia extraordinaria con la composición de la materia orgánica presente en el meteorito que cayó en Murchison (Australia) en 1969. Se trata de una condrita carbonácea con un 2,5 por ciento de materia orgánica y que ha sido sometida a extensivos y concienzudos análisis químicos. Por tanto, parece razonable concluir que el experimento de Miller-Urey simula mejor los procesos de síntesis orgánica que están ocurriendo durante la formación de los meteoritos que los que podrían haber tenido lugar en una atmósfera primitiva no reductora.

Quizás el ambiente de la Tierra primitiva fue idóneo para una aparición rápida, en términos geológicos, de la vida pero no para la síntesis abiótica y acumulación del material orgánico que algunos suponen que es un requisito indispensable para el origen de la vida. Pero, ¿lo es realmente?

De la reinterpretación...

Algunos autores han reinterpretado los resultados de los experimentos de simulación de forma radical. C. Matthews, de la Universidad de Chicago, ha propuesto que los polímeros de cianuro de hidrógeno, presentes en el espacio interestelar y también en el componente no analizado del experimento de Miller-Urey, serían el origen de los aminoácidos. Experimentalmente, si se mezcla metano y amoníaco -sin agua- en un aparato similar al que usó Miller, después de las descargas eléctricas se obtiene un sólido pegajoso y marrón que en contacto con el agua da como mínimo seis aminoácidos proteicos -sobre todo glicina, pero también alanina, ácidos aspártico y glutámico, serina y valina- así como otros aminoácidos no proteicos. Hay otros diseños experimentales, todavía más simples o que incluyen agua, que llevan a la misma conclusión: los polímeros pudieron preceder a los monómeros. Matthews propone que los productos primarios del experimento de Miller-Urey no serían los α -aminoácidos sino los polímeros de cianuro de hidrógeno.

Éstos se hidrolizarían, primero a polipéptidos y luego α -aminoácidos, bien durante el reflujo en el aparato o durante el procedimiento de análisis químico.

El que los resultados de la química prebiótica se hayan puesto en entredicho, porque la atmósfera primitiva no sería reductora, ha forzado la búsqueda de fuentes de electrones alternativas. Así, algunos autores como C. de Duve y D. C. Mauzerall, ambos en la Universidad Rockefeller, han sugerido de forma independiente que los equivalentes de reducción podrían haber procedido, con la ayuda de la luz ultravioleta, de las inmensas reservas de iones ferrosos presentes en los océanos primitivos. La oxidación fotoquímica del ion ferroso en disolución acuosa a pH neutro produce hidrógeno con un rendimiento cuántico notable. Los descubridores de este proceso sugirieron que las formaciones de hierro en bandas, fabulosos depósitos de hierro oxidado que constituyen nuestras reservas más importantes de este mineral distribuidas por todo el planeta, podrían ser el producto de esta reacción. Ahora bien, A. G. Cairns-Smith de la Universidad de Glasgow, uno de los descubridores de la reacción de fotooxidación del hierro, ha puesto en duda que estas formaciones puedan ser el testimonio de una reacción relevante para la síntesis orgánica prebiótica. Más bien al contrario. Los precipitados férricos que se depositarían en los fondos marinos adsorberían y arrastrarían con ellos los posibles materiales orgánicos oxidándolos, tarde o temprano, a dióxido de carbono.

... al rechazo

Enfoquemos ahora la cuestión desde una perspectiva diametralmente opuesta. Planteemos las enormes dificultades que hay para la síntesis prebiótica de los ingredientes biológicos básicos, en estado quiral puro, cuando muchos de los mecanismos de reacción exigen condiciones incompatibles entre sí o poco plausibles. Y sobre todo teniendo en cuenta que se basan en la existencia de una atmósfera reductora poco probable según los geoquímicos. Pongamos en duda que para el origen de la vida sea necesaria la preexistencia de materia orgánica. Imaginemos que, al igual que en la biosfera actual, la materia orgánica primitiva provendría de la síntesis enzimática a partir de dióxido de carbono y con fuentes de energía como la luz visible -fotoautotrofia- o la energía química -quimioautotrofia. No cabe duda que la línea divisoria más profunda de la vida terrestre es la que separa los organismos autotróficos de los heterótrofos. Los organismos fotosintéticos -bacterias, algas o plantas- y las bacterias quimioautótrofas son las puertas de entrada para los ciclos biogeoquímicos y constituyen los eslabones imprescindibles de nuestra

biosfera. Los seres autótrofos son los productores y los heterótrofos sus parásitos. Lamentablemente la bioquímica que aprendemos en nuestras facultades está en exceso orientada al mundo animal, especialmente a los humanos, y un buen ejercicio de modestia sería empezar a reconocer nuestras ineptitudes metabólicas y nuestra -animal- insignificancia en el flujo de los bioelementos a escala global.

En los modelos derivados de las propuestas de Oparin está claro que los primeros organismos fueron parásitos de la materia orgánica prebiótica. Pero, ¿por qué se descartó que los primeros organismos fueran productores? Cuando Oparin hizo su propuesta se tenía un conocimiento muy rudimentario del metabolismo. La única ruta que empezaba a ser desvelada era la de la fermentación alcohólica. Este proceso, tan importante para los biotecnólogos del vino o la cerveza desde que empezaron a utilizarlo incluso antes de inventarse la escritura, fue el punto de arranque del estudio bioquímico de los procesos biológicos justo al alba del siglo xx. Así que la vida anaeróbica, «la vida sin aire» de Pasteur, tenía su base en el consumo de glucosa para dar etanol y un poco de energía. Esta transformación parece sencilla químicamente y de pocos requerimientos metabólicos si se compara, por ejemplo, con las complicadas rutas de fijación autotrófica de dióxido de carbono o con la respiración. Quizás aquí esté el secreto. Aparentemente, el metabolismo anaeróbico de azúcares es más sencillo, más ubicuo y, por tanto, más antiguo, que cualquier otra ruta metabólica. Sin embargo, hay razones para dudar de este razonamiento. La fermentación no es una ruta sencilla. Requiere el esfuerzo concertado de diez enzimas complicadas y el concurso de coenzimas especializados en el transporte de electrones. Además no se puede fermentar glucosa sin un sistema de fosforilación previo. Tampoco es una ruta universal. El consumo anaeróbico de la glucosa sigue rutas diferentes entre las arqueobacterias.

Antes de la propuesta de Oparin y Haldane las ideas sobre el origen de la vida estaban dominadas por la visión de E. Haeckel de que los primeros organismos fueron autótrofos. Como ha señalado A. Lazcano de la Universidad Nacional Autónoma de México algunos autores siguieron la tradición de Haeckel. El científico mexicano A. Herrera, creador de la teoría de la plasmogénesis, defendía la posibilidad de la síntesis artificial de células fotosintéticas en el laboratorio. El genetista americano H. J. Muller proponía que unas primitivas moléculas o genes vivientes -la hipótesis del «gen desnudo»- habrían dado lugar a los primeros seres fotosintéticos.

Después de la publicación en inglés de la obra de Oparin se siguió estableciendo el origen autotrófico de la vida pero sin ninguna presencia en los libros de texto. D. C. Peattie escribía en 1939:

La primera vida sobre la Tierra [...] habría de ser completamente autosuficiente. Tendría que poder absorber materiales elementales y, usando fuentes de energía inorgánica, construir protoplasma vivo a partir de ellos.

En 1957, S. Granick planteó que el origen de la vida y el de la fotosíntesis no serían dos fenómenos independientes. Las fuentes de carbono y nitrógeno no estarían en una sopa orgánica sino en los gases presentes en la atmósfera, dióxido de carbono y dinitrógeno. La primera ruta metabólica sería la de fijación de dióxido de carbono. H. Hartman, de la Universidad de California en Berkeley, propuso en 1975 que el primer metabolismo sería fotoautotrófico. En su modelo, Hartman invoca la necesidad inicial de arcillas replicativas, metales de transición –hierro, en particular- y luz ultravioleta para impulsar la fijación de carbono y nitrógeno. Se van incorporando ordenadamente al sistema los diferentes bioelementos: carbono, azufre, nitrógeno y fósforo. Y la síntesis de diferentes moléculas capaces de absorber luz y de catalizar reacciones de oxidación-reducción permiten el tránsito de un metabolismo que usa luz ultravioleta a otro impulsado por luz azul y, finalmente, luz roja, como los actuales organismos fotosintéticos.

En 1979, C. Woese, de la Universidad de Illinois, también imaginó un origen fotoautotrófico, pero en gotitas de agua salada dispersadas en la atmósfera. Este escenario tiene la particularidad de introducir una celularidad, unos compartimentos, desde el principio. Muchas hipótesis sobre el origen de la vida invocan, sin embargo, la aparición de la membrana después del origen de la información genética y del metabolismo. F. Harold, de la Universidad de Colorado en Denver, en su excelente libro de texto de bioenergética, *The Vital Force* (1986), ha seguido los pasos de Woese respecto a un origen celular y autotrófico. Los mecanismos quimiosmóticos del acoplamiento energético en los seres vivos sirven de base teórica a Harold para proclamar que «en el principio fue la membrana». Nos ocuparemos con más detalle de estas especulaciones en el capítulo 6.

El abogado de patentes múnichés G. Wächtershäuser también defiende un origen autotrófico de la vida. Partiendo de una demoledora crítica del escenario clásico del origen heterotrófico, Wächtershäuser postuló en 1988 que los primeros organismos serían acelulares y quimiolitautotrófos. En el siguiente capítulo discutimos esta posibilidad.