Evolución química

LA TIERRA PRIMITIVA

Los seres que viven sobre la superficie terrestre son un producto directo de la Tierra. Existen pocas dudas en la actualidad acerca de que los seres vivos deben su origen a ciertas propiedades químicas y físicas de la Tierra primitiva. Las leyes naturales físicas y químicas, actuando dentro de un ambiente terrestre particularmente adecuado, intervinieron en el origen de dichos seres Dado un ambiente de esta naturaleza la vida *tuvo* probablemente que surgir. Dicho de otro modo, una vez que la Tierra se hubo originado en su estado antiguo, con propiedades físicas y químicas particulares, fue entonces virtualmente *inevitable* que la vida apareciese en ella más pronto o más tarde. Dichas propiedades físicas y químicas de la Tierra permitieron la realización de determinadas reacciones físicas y químicas y como resultado de estas reacciones se originó algo *vivo*. Podemos inferir, además, que si otros sistemas solares poseen planetas en los que las condiciones físicas y químicas se parecen a la de la Tierra primitiva, la vida se originará también en estos otros planetas. De hecho se cree firmemente en la actualidad que la vida no es algo privativo de la Tierra sino que, probablemente, está ampliamente difundida por el universo

Las propiedades químicas y físicas productoras de vida de la Tierra primitiva fueron un resultado de la manera cómo la Tierra, y todo nuestro sistema solar en conjunto, llegaron a originarse. La información disponible en la actualidad indica que el sistema solar tiene una antigüedad de unos cinco a diez mil millones de años. Se han propuesto varias hipótesis para explicar el proceso de su formación. Según una de ellas, que goza de amplia aceptación, todo el sistema solar se formó a partir de una masa esférica de gas incandescente sometida a un rápido movimiento de rotación. Este gas estaba constituido por átomos libres. Los átomos de hidrógeno eran probablemente los más abundantes y otros, de tipo más pesado, estaban presentes en menores cantidades. El Sol se formó cuando la mayor parte de este gas atómico, por consiguiente, la mayor parte del hidrógeno, gravitó hacia el centro de la esfera. Todavía en la actualidad el Sol está compuesto en gran parte por átomos de hidrógeno. Por fuera del nuevo Sol permaneció un cinturón de gas constituyendo una especie de torbellino. En este cinturón se formaron remolinos y. con el tiempo, se separaron, formando unas pocas nubes más pequeñas de gas. Estas esferas giratorias de materia incandescente constituyeron los primitivos planetas.

Probablemente, por tanto, la tierra se inició como una masa resplandeciente de átomos libres, de hidrógeno y de otros tipos, los cuales finalmente se ordenaron según su peso. Los más pesados, tales como el hierro y el níquel, se hundieron hacia el centro de la tierra donde todavía se hallan en la actualidad. Átomos más ligeros como el silicio y el aluminio formaron una capa intermedia. Los más ligeros de todos, como el hidrógeno, el nitrógeno, el oxígeno y el carbono se agruparon constituyendo las capas más externas.

Al comienzo las temperaturas fueron probablemente demasiado altas para la formación de moléculas. El calor excesivo rompe los enlaces entre átomos tan pronto como éstos se constituyen. Pero bajo la influencia del frío del espacio cósmico, la tierra comenzó a enfriarse gradualmente hasta que las temperaturas fueron lo suficientemente bajas para permitir el establecimiento de enlaces atómicos relativamente estables. Entonces aparecieron con profusión las moléculas al paso que desaparecían los átomos libres. Con ello llegamos al conocimiento de la historia química de la Tierra que, de ahora en adelante, acompañará a la historia física. Conocidas o sospechadas, ¿cuáles fueron las reacciones químicas que produjeron la vida?

LAS PRIMERAS MOLÉCULAS

Entre los materiales más ligeros y más abundantes que se hallaban en la superficie gaseosa de la tierra primitiva figuraban átomos de hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno. Por tanto, cuando las temperaturas descendieron lo suficiente para permitir la formación de moléculas, los átomos de estos cuatro elementos debieron desempeñar un importante papel. (Y por consiguiente, no es una coincidencia que, incluso actualmente, más o menos el 95 por ciento de los compuestos de todo ser vivo estén formados por estos cuatro elementos.)

¿Qué moléculas sencillas pudieron formarse con los cuatro elementos? Basándonos en las propiedades químicas conocidas y su presunta relativa abundancia en la Tierra primitiva, el *H, C, O* y *N*, debieron unirse para formar media docena de combinaciones distintas Al menos tres de ellas tuvieron considerable significacion en los acontecimientos posteriores:

agua H—O—H, H_2O

metano

```
   H
   |
H—C—H, CH4
   |
   H
```

amoníaco

```
      H
     /
H—N      NH3
     \
      N
```

Las temperaturas debieron ser tales que estos tres compuestos persistieron en forma gaseosa, y desde entonces la Tierra dispuso de una *atmósfera* exterior conteniendo grandes cantidades de estos tres gases.

Tenemos pruebas indirectas de que esos tres gases no solamente estaban en la Tierra primitiva, sino que se encuentran en otros planetas. Por ejemplo, en el frío y distante planeta Júpiter, actualmente se encuentran presentes el agua, el metano y el amoníaco formando densos estratos superficiales sólidos, helados permanentemente. Al menos en apariencia, esos compuestos se han formado allí, como se formaron en nuestra Tierra, pero a esa gran distancia del Sol la superficie del planeta

probablemente se heló mucho antes de que pudieran tener lugar más cambios químicos. Por el contrario, en la tórrida Tierra los primeros compuestos pudieron combinarse y dar lugar a otros con el paso del tiempo.

Entonces, como la esfera gaseosa en que estaba transformada la Tierra se enfriaba progresivamente, las temperaturas descendieron lo suficiente para que algunos gases se licuaran y algunos de los líquidos se solidificaran. Las sustancias pesadas próximas al centro de la Tierra fueron probablemente las primeras en licuarse y solidificarse. Pero el calor de los materiales impidió que éstos se solidificaran por completo y hasta hoy la Tierra conserva calor, con un centro fluido y deformable. Por otra parte, el estrato intermedio de sustancias más ligeras se solidificó, engrosándose gradualmente y formándose una corteza. Al contraerse la corteza por la pérdida de calor, se arrugó formando las primeras cadenas montañosas. Por encima de esta corteza quedó un manto gaseoso, que con las temperaturas que prevalecieron luego se mantuvo en estado gaseoso.

Entonces comenzaron las lluvias. Hasta este momento toda el agua existente en la Tierra se hallaba en la atmósfera formando nubes, probablemente de centenares de kilómetros de espesor. La corteza solidificada situada por debajo estaba al principio lo suficientemente caliente para que toda el agua líquida que entrase en contacto con ella hirviese instantáneamente. Pero finalmente la corteza se enfrió lo suficiente para poder retener el agua en forma líquida, y entonces la lluvia comenzó a caer en aguaceros incesantes que duraron siglos. Las cuencas y partes bajas se llenaron, y de las montañas descendían ríos torrenciales. De este modo se formaron los océanos.

Disueltos en estos mares se encontraban parte del amoníaco y del metano atmosféricos, compuestos que persisten en estado gaseoso a temperaturas en que el agua está líquida. También se acumularon en el océano sales y minerales. Al principio éstos no se hallaban en el agua pero a medida que los ríos erosionaron y disolvieron las laderas de las montañas, mientras las violentas mareas golpeaban las costas y las reducían a polvo, las sales y los minerales se incorporaron al óceano en cantidades crecientes. Además, es probable que con frecuencia hicieran erupción a través de la corteza terrestre grandes masas de lava fundida que incorporaron sus materiales al contenido mineral de las aguas terrestres. Así los océanos adquirieron relativamente pronto su salinidad y la incrementaron algo todavía en las edades subsiguientes.

La formación primero de agua, metano y amoníaco y luego de grandes masas de agua *líquida* conteniendo metano, amoníaco y muchos otros minerales en disolución, fueron los acontecimientos clave que harían posible más tarde el origen de la vida. El agua fue y sigue siendo todavía el componente más esencial de la sustancia viva. En promedio las dos terceras partes y con frecuencia el 90 por ciento o más de todo ser vivo está constituido por el agua, y la presencia de masas de agua recubriendo las tres cuartas partes de la superficie terrestre tiene actualmente gran importancia para la economía de los seres vivos. El papel fundamental del agua depende principalmente de dos de sus propiedades.

En primer lugar, el agua es el mejor disolvente, el que disuelve mayor número de sustancias que cualquier otro líquido por lo que resulta un medio ideal para las reacciones químicas. Los procesos químicos también tienen lugar en gases y sólidos, pero en los líquidos pueden realizarse muchos más y con mayor rapidez Puesto que los procesos vitales se basan en procesos químicos, la existencia abundante de agua líquida sobre la superficie terrestre constituyó una circunstancia muy favorable.

En segundo lugar, el agua fue originariamente la única fuente apropiada de hidrógeno y oxígeno. Ambos elementos tienen propiedades extraordinariamente útiles, y la constitución de un sistema vivo sobre una base química exige virtualmente su disponibilidad. Pero, según se indicó, los átomos libres de hidrógeno y los átomos libres de oxígeno dejaron de ser disponibles poco después del origen de la Tierra pasando entonces las moléculas de agua a ser los principales suministradores. El agua continúa siendo la única fuente de hidrógeno disponible y una de las fuentes más importantes de oxígeno.

Con ello, el agua de los océanos constituyó el escenario para la formación de la sustancia líquida. Los actores que actuaron en él fueron los diversos gases y sustancias minerales disueltos en agua, además de la propia agua. Y el papel principal estuvo desempeñado por el carbono del gas metano.

LOS PRIMEROS COMPUESTOS ORGÁNICOS

Propiedades del carbono. El carbono es uno de los elementos químicos más versátiles. Posee una covalencia de 4, lo que significa que un átomo de carbono puede constituir hasta cuatro enlaces covalentes con otros átomos. Como se indicó, en el metano el carbono se encuentra unido a cuatro hidrógenos. Algunos o todos estos átomos de hidrógeno pueden ser reemplazados con bastante facilidad por otros átomos. Por ejemplo, en las reacciones del metano con el cloro, o con compuestos que contengan cloro, pueden obtenerse nuevos compuestos como CH_3Cl, CH_2Cl_2, $CHCl_3$ y CCl_4.

Aparte los posibles enlaces de este tipo. los átomos de carbono pueden unirse directamente a otros átomos de carbono; esta propiedad, que facilita la formación de cadenas, es muy interesante e importante. Por adición de un carbono a otro, se forman *cadenas*, largas o cortas.

```
—C—C—C—C—C—
 |  |  |  |  |
```

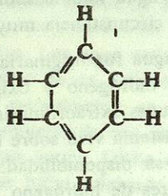
Sin duda, no existen cadenas sencillas con enlaces abiertos de esta forma, sino que forman parte de moléculas complejas en las que los carbonos están unidos a varios átomos o grupos de átomos. Por ejemplo, si unimos los carbonos de dos o más moléculas de metano en una cadena, entonces los átomos de hidrógeno se unirán a los carbonos, como por ejemplo en

```
   H  H  H  H
   |  |  |  |
H—C—C—C—C—H
   |  |  |  |
   H  H  H  H
```

CAPILLA ALFONSINA

Alternativamente, pueden unirse a estas cadenas uno o más tipos de átomos diferentes de hidrógeno.

Las cadenas no son la única forma posible de combinarse los carbonos entre sí. Si imaginamos que un extremo de la cadena de carbonos se conecta con el otro extremo, entonces resultará un *anillo* de carbonos. El benceno es uno de estos compuestos que forman anillo.



Existen muchos tipos adicionales de configuraciones atómicas. Por ejemplo, las cadenas de carbono pueden ser ramificadas, tanto los anillos como las cadenas pueden unirse unos a otros y cualquiera de estos tipos de estructuras pueden extenderse tanto en tres dimensiones como en dos. Estas estructuras de carbono forman "esqueletos" moleculares, como se vio ya, y los demás átomos, unidos a los carbonos, pueden imaginarse como la "carne" que se apoya en el esqueleto.

Ningún otro elemento posee una capacidad para enlazarse consigo mismo como la que presenta el carbono. Evidentemente los enlaces carbono-carbono, introducen la posibilidad de una tremenda *complejidad*, así como una gran *variedad* en las estructuras moleculares. En realidad las sustancias que contienen carbono despliegan una mayor complejidad y diversidad que todos los demás elementos químicos juntos.

A la vista de estas propiedades del carbono no son difíciles de entrever los sucesos que habrán tenido lugar en los océanos de la Tierra primitiva. Indudablemente, los compuestos como el metano reaccionaron con gran cantidad de otros compuestos sencillos presentes y dieron lugar a una amplia variedad de compuestos distintos que contenían carbono. Entre estas reacciones debieron de haber muchas en las que compuestos como el metano se enlazaron con otro u otros tipos de compuestos de carbono. El resultado debió de representar la aparición de nuevas clases de compuestos que contenían dos o más átomos de carbono *unidos*.

Este desarrollo fue un acontecimiento crítico en la primitiva historia del protoplasma; los compuestos con carbonos, enlazados por fin, se convirtieron en la materia prima con la que se construyó la mayor parte del protoplasma. Hoy, los enlaces entre carbonos se producen casi exclusivamente dentro del protoplasma o en materiales derivados de la materia viva, o de la que ha sido viva. De acuerdo con ello, las sustancias químicas complejas derivadas del carbono se llaman *compuestos orgánicos*. Éstos se oponen al agua, a las sustancias minerales, a los metales y a los demás *compuestos inorgánicos* que no contienen átomos de carbono unidos entre sí. Como veremos, la materia viva contiene compuestos de ambos tipos, orgánicos e inorgánicos.

¿Cuáles fueron algunos de los primeros compuestos orgánicos?

Compuestos del carbono. Entre las numerosas variedades de materiales orgánicos que indudablemente se formaron en los mares primitivos, cinco variedades particulares tuvieron una especial significación en los acontecimientos posteriores (por lo que puede juzgarse desde el ventajoso punto de vista del presente). Estas cinco variedades son:

1. Azúcares
2. Glicerina
3. Ácidos grasos
4. Aminoácidos.
5. Bases nitrogenadas

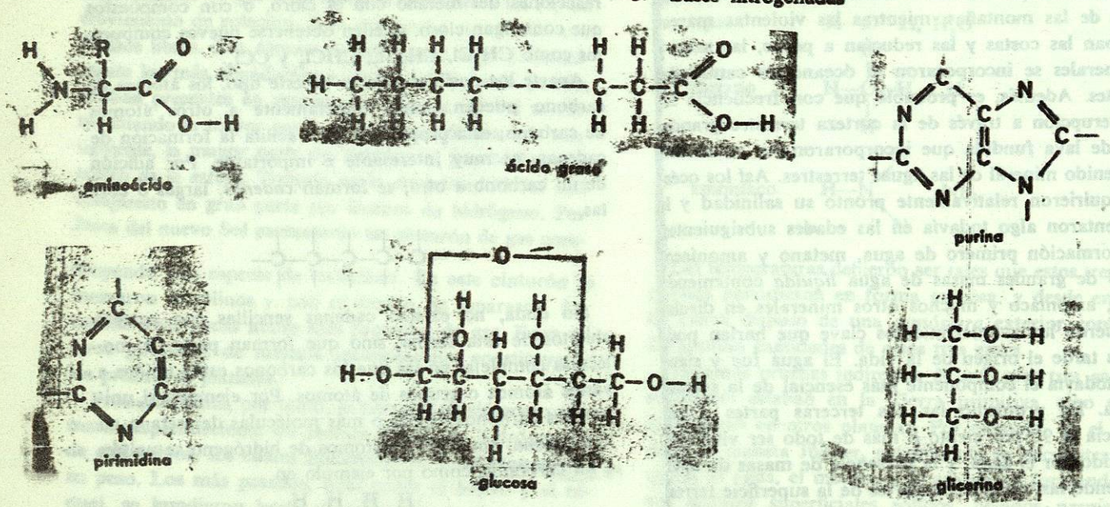


Fig. 2-2 **Estructura química de varios tipos de moléculas que forman parte de los sistemas vivientes actuales, las cuales desempeñaron probablemente papeles importantes durante la formación de los sistemas vivientes. La glucosa es uno de los varios azúcares. Las purinas y las pirimidinas pueden conceptuarse como bases nitrogenadas:**

La representación de los conjuntos estructurales de estos compuestos se da en la 2-2 Obsérvese que en cada caso un esqueleto de carbono (se trata de una cadena o de una estructura cíclica) es la base del compuesto y que el resto está formado por diversas agrupaciones de hidrógenos, oxígenos y nitrógenos.

Los azúcares forman parte de una clase más amplia de compuestos orgánicos, que se conocen como *hidratos de carbono*. El esqueleto de los carbonos de un azúcar consiste en una cadena relativamente corta. Las cadenas formadas por cinco y seis átomos de carbono son particularmente frecuentes en el protoplasma. Un importante ejemplo específico de un azúcar C_5 es la *ribosa* ($C_5H_{10}O_5$), y un ejemplo específico de un azúcar C_6 es la *glucosa* ($C_6H_{12}O_6$) ampliamente extendida. En los azúcares, como en general en todos los hidratos de carbono, los únicos elementos que están presentes son el H, el C y el O.

Esto también se cumple para la glicerina, la cual está formada por tres átomos de carbono en cadena, así como para los ácidos grasos. En estos últimos, sin embargo, las cadenas de carbonos pueden variar en longitud, desde 2 a 20 o más átomos. Un extremo de una molécula de ácido graso termina siempre en un grupo —COOH, llamado grupo *carboxilo*, que da a la molécula las propiedades ácidas (es decir, que el grupo puede disociarse y soltar iones H^+).

Los grupos carboxilo también caracterizan a los aminoácidos, que además llevan grupos *amino*, $—NH_2$, que contienen nitrógeno. En una molécula aminoácida, los grupos carboxilo y amino están unidos a un átomo de carbono. A este átomo está generalmente unido también un esqueleto de carbonos que puede variar considerablemente en su estructura. Por ejemplo, puede consistir en unos pocos o en muchos átomos de carbono y éstos pueden formar tanto cadenas como un anillo o una combinación de cadenas y anillos (simbolizado por —R— en la 2-2

El nitrógeno también es un componente invariable de las bases nitrogenadas, un grupo de compuestos que comprende dos subgrupos principales, las *pirimidinas* y las *purinas*. En ambos, el esqueleto molecular es siempre una estructura cíclica y en este caso los anillos siempre contienen tanto átomos de carbono como de nitrógeno. Las pirimidinas están formadas por un solo anillo con nitrógeno y átomos de carbono; las purinas tienen un doble anillo.

Sobre la base de estas configuraciones estructurales y dadas las condiciones que se supone prevalecieron en la Tierra primitiva, podemos imaginar cómo pueden haberse originado las cinco categorías de compuestos orgánicos. Los compuestos de cadena sencilla, como azúcares, glicerinas y ácidos grasos pudieron formarse por medio

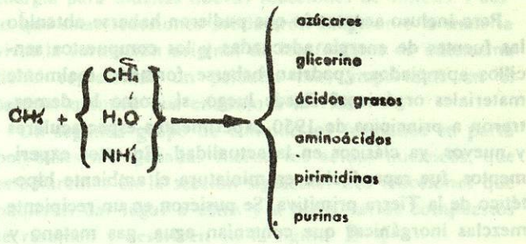


Fig. 2-3 **Resumen de las primeras reacciones. La interacción del metano consigo mismo, con el agua y con el amoníaco, determinaría probablemente la formación de los compuestos indicados a la derecha.**

de reacciones del metano consigo mismo y con el agua. De manera similar, las interacciones del metano, el agua y el amoníaco pudieron haber dado lugar a ciertos aminoácidos y también puede suponerse que a bases nitrogenadas 2-3

No obstante, sin fijarnos en cómo son posibles estos hechos en teoría, debemos preguntarnos cómo tuvieron lugar realmente. Por ejemplo, ¿qué fuente pudo suministrar la energía para estas reacciones de síntesis?

Indudablemente, pudieron existir dos fuentes distintas de energía. Una de ellas fue el Sol. Aunque las densas capas de nubes de vapor de agua debieron de impedir al principio que la luz del Sol alcanzara la superficie de la Tierra (lo que debió dejar a la Tierra en una absoluta oscuridad durante largo tiempo), los rayos ultravioletas, rayos X y otras radiaciones de elevada energía procedentes del Sol, pudieron penetrar a través de las nubes. Algunas de estas radiaciones pudieron proporcionar la energía necesaria para las reacciones entre el metano, el amoníaco y el agua. Se sabe que las radiaciones solares son ciertamente el soporte de varias reacciones químicas actuales.

Además, una segunda fuente de energía debió estar constituida por las poderosas descargas eléctricas que en forma de rayos debieron darse casi continuamente en la atmósfera primitiva cargada de nubes y azotada por tormentas. Como las radiaciones solares, los rayos pueden proporcionar energía para las reacciones químicas. Tanto los rayos como la energía solar pudieron haber actuado directamente sobre las moléculas de los gases atmosféricos, como aún sucede hoy en algunos casos. Los productos químicos volátiles resultantes debieron ser luego arrastrados hacia los mares por las lluvias. Por otra parte, las reacciones pudieron haber tenido lugar directamente en las aguas oceánicas, donde el metano y todos los demás ingredientes necesarios estaban libres.

CAPILLA ALFONSINA

Pero incluso aceptando que pudieran haberse obtenido las fuentes de energía adecuadas y los compuestos sencillos apropiados, ¿podrían haberse formado realmente materiales orgánicos? Desde luego, sí, como lo demostraron a principios de 1950 experimentos espectaculares y nuevos, ya clásicos en la actualidad. En estos experimentos, fue reproducido en miniatura el ambiente hipotético de la Tierra primitiva. Se pusieron en un recipiente mezclas inorgánicas que contenían agua, gas metano y gas amoniacal, haciéndose pasar descargas eléctricas a través de estas mezclas durante varios días para imitar las descargas de los rayos de la tierra primitiva. Cuando se examinó luego el contenido del recipiente, en él se hallaron presentes muchos aminoácidos, ácidos y otros compuestos sencillos.

Existen, pues, buenas razones para pensar que bajo el impacto de las primitivas fuentes de energía los gases sencillos y los materiales inorgánicos reaccionaron entre sí y dieron lugar a una variedad de sustancias orgánicas que se acumularon en los antiguos mares. Estas sustancias orgánicas no serían todavía muy complicadas, pero contenían las importantes combinaciones de carbono con carbono. Ésta fue la llave que abriría la puerta de la vida, al hacer posible la síntesis de moléculas todavía mayores con esqueletos carbonosos mayores y con muchas propiedades químicas nuevas.

MOLÉCULAS ORGÁNICAS SUPERIORES

Una vez iniciada, la unión entre moléculas de carbono seguiría adelante. Entre las sustancias orgánicas ya presentes, algunas debieron reaccionar entre sí y con sustancias inorgánicas, con lo que debieron formarse nuevos tipos de moléculas de elevada complejidad.

Las variedades principales. Específicamente los azúcares se combinaron entre sí. El resultado de ello fue una serie de nuevas moléculas mayores conteniendo cadenas muy largas de carbonos. Estas nuevas moléculas, denominadas polisacáridos, todavía pertenecían a la categoría general de sustancias químicas denominadas hidratos de carbono. Algunos de estos polisacáridos son muy conocidos, entre ellos figuran, por ejemplo, el *almidón*, la *celulosa*, y el *glucógeno*. Cada uno de ellos consta de centenares de moléculas de azúcar unidas. La síntesis primitiva de los polisacáridos fue de gran importancia para el desarrollo de los sistemas vivientes, puesto que, según veremos, los polisacáridos son útiles nutrientes que sirven como combustibles en la respiración y como materias primas para la síntesis. Papeles ambos que todavía desempeñan en la actualidad.

En otras series de reacciones la glicerina se combinó con diversos ácidos grasos, de lo que resultaron las *grasas*. Éstas demostraron ser muy buenos combustibles respiratorios y, como materias primas en la síntesis, resultaron ser incluso de utilidad más amplia que los polisacáridos.

Pero fueron las *proteínas* los compuestos nuevos más importantes que se formaron. Éstas constan de aminoácidos unidos entre sí de manera extraordinariamente compleja. Un extraordinario número de moléculas de aminoácidos, del orden de 100.000 o más, pueden combinarse para formar una proteína, y la disposición geométrica de tales uniones puede variar casi hasta el infinito. En consecuencia, las proteínas no sólo figuran entre las moléculas mayores, sino también entre las más variadas estructuralmente.

A causa de su variedad estructural, las proteínas pudieron servir para dos funciones que se hicieron esenciales en la formación de la materia viva. Primero, las proteínas, diferentemente estructuradas, constituyeron materiales de construcción de gran diversidad, utilizables en tareas constructivas muy diferentes. Como acabamos de explicar, los polisacáridos y las grasas servían también como materias primas en la síntesis. Pero las proteínas constituían unidades estructurales de diversidad mucho mayor y en la actualidad sabemos, mirando hacia atrás, que sólo ellas hicieron posible la fabricación de algo tan elaborado que pudiera presentar propiedades vivientes. Aun hoy, las diferencias estructurales entre varios organismos y las diferencias entre las partes de un organismo determinado son principalmente debidas a diferencias en las principales proteínas que sirven para la construcción.

En segundo lugar, además de este papel estructural, las proteínas llegaron a desempeñar un papel funcional crucial; algunas proteínas sirvieron como enzimas y aumentaron de manera extraordinaria la velocidad de las reacciones entre otras moléculas. Observamos que, con la aparición de las primeras proteínas, el tiempo químico se aceleró sustancialmente sobre la Tierra primitiva. Las reacciones que con anterioridad debieron precisar centurias para tener lugar, desde entonces pudieron tener lugar en segundos o minutos. La materia viva, tal y como existe ahora, sólo puede mantenerse gracias a reacciones rápidas, y los enzimas hacen posible la velocidad necesaria. Puesto que la "vida" depende estrechamente de las reacciones enzimáticas aceleradas, podemos llegar a la conclusión de que las proteínas debieron de estar presentes cuando se originó la vida.

A partir de las bases nitrogenadas se formaron en los mares primitivos dos nuevos grupos de compuestos de crucial importancia. Uno de estos grupos comprende los *fosfatos de adenosina*. Una molécula de fosfato de adenosina está formada por tres partes unidas, a saber: una base nitrogenada llamada *adenina*, la *ribosa* (azúcar C_5) y hasta tres grupos *fosfato*

adenina + ribosa + fosfatos ⟶ fosfatos de adenosina
(base nitrogenada) (azúcar C_5) (uno dos o tres)

Como en el presente, los grupos fosfato eran minerales inorgánicos, constituyentes del océano y así habrán podido combinarse fácilmente con las moléculas de ribosa y adenina ya existentes. Los fosfatos de adenosina resultantes debieron funcionar entonces del mismo modo que lo hacen todavía hoy, como transportadores fundamentales de energía química.

Más específicamente, los fosfatos de adenosina de la materia viva sirven actualmente para retener la energía producida en la respiración. Como se ha señalado en los capítulos precedentes, la respiración supone una descomposición química de los alimentos (por ejemplo, polisacáridos o grasas), y estas reacciones son exergónicas, o productoras de energía. Cuando tiene lugar una reacción de descomposición en un tubo de ensayo, cualquier energía producida se disipa sencillamente en el medio ambiente en forma de calor; aparte de elevar la temperatura, la energía se pierde esencialmente y no se utiliza. En la materia viva, sin embargo, la disipación de la energía respiratoria la próporcionan los fosfatos de adenosina. En presencia de estas moléculas, la energía resultante de la descomposición de los nutrientes no es liberada en forma de calor, pero sirve, en cambio, para formar nuevos enlaces químicos dentro de la estructura de los fosfatos de adenosina. Dicho de otro modo, las energías de enlace de los elementos nutritivos en descomposición, son transformados en energías de enlace dentro de las moléculas de fosfato de adenosina. Estas últimas pueden acumular así y conservar energía. Verdaderamente, sirven como almacenes centrales de los que se extrae toda la energía viva; todos los requerimientos de energía en la materia viva, en las síntesis y en todas las demás funciones, se satisfacen directamente de la energía química acumulada en los fosfatos de adenosina. En cierto sentido, éstos sirven en la materia viva como las monedas en la economía, como medio común de intercambio. Toda la energía que se "aprovecha" de la respiración es convertida en fosfatos de adenosina y toda la energía que se gasta en las actividades vitales "se paga" por medio de estas reservas de energía. Es de suponer que los fosfatos de adenosina han tenido que ser de igual significado en los mares primitivos, antes de que existiera la materia viva. Por ejemplo, si estaban presentes compuestos orgánicos sencillos ya sometidos a la descomposición química, la energía que se hubiera hecho aprovechable habría sido retenida por los fosfatos de adenosina. Éstos se habrían convertido más tarde en los donadores de energía para muchas nuevas reacciones de síntesis. Puesto que estas reacciones produjeron finalmente la materia viva, la formación original de los fosfatos de adenosina debió representar un peldaño muy importante en el camino químico que condujo a la vida.

Un segundo grupo de compuestos formados en parte por bases nitrogenadas fueron los ácidos nucleicos, que estudiaremos en la sección siguiente. Las reacciones que pudieron dar lugar a éstos y a otros varios compuestos se resumen y describen en la figura 2-4

Ácidos nucleicos. Si alguna entidad singular hubiera podido ser calificada de "secreto de vida", esta entidad habría sido indiscutiblemente los ácidos nucleicos. Sin duda, en vista de lo que hoy podemos hacer en una identificación, realmente no es demasiado correcto hablar de un "secreto". De cualquier modo, antes de que los ácidos nucleicos hubiesen aparecido sobre la Tierra primitiva y sin considerar qué otras sustancias debieron haber estado presentes, no habría sido posible que la vida se hubiese originado. Pero una vez que hubieron aparecido los ácidos nucleicos, el origen de la vida pasó a ser virtualmente seguro.

Las unidades estructurales de los ácidos nucleicos son varias bases nitrogenadas, varios azúcares C_5 y grupos fosfatos. Es decir, los bloques de construcción que formaron los ácidos nucleicos y los que dieron fosfatos de adenosina son bastante similares. Cuando una base nitrogenada particular, un determinado azúcar y un grupo fosfato están enlazados entre sí de determinada manera, el resultado es una unidad llamada *nucleótido*. Si luego centenares y miles de nucleótidos se unen por medios específicos formando compuestos largos, en cadena, el resultado es una supermolécula extraordinariamente compleja llamada *ácido nucleico*. Es evidente que las moléculas de ácidos nucleicos pueden ser en total, tanto o incluso más grandes que las proteínas más complejas. En consecuencia, los ácidos nucleicos también existen en número verdaderamente ilimitado de variedades estructurales. Estos compuestos son quizá las sustancias químicas más complejas y más diversas que se conocen.

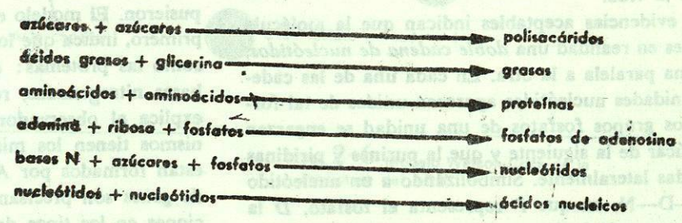


Fig. 2-4 Resumen de la evolución química posterior. Las interacciones indicadas a la izquierda de las flechas probablemente originaron los compuestos que figuran a la derecha.

CAPILLA ALFONSINA