

3

CAPÍTULO

LA MATERIA VIVA

El avance alcanzado en el estudio de las sustancias propias de los seres vivos, su composición, organización estructural, propiedades y funciones, así como el conocimiento mayor de los fenómenos inherentes a la vida como el metabolismo, la herencia y otros, han permitido acercarnos a la comprensión científica de los procesos bióticos y a la determinación de las cualidades esenciales que distinguen a los organismos vivos de la materia inorgánica. **La esencia de la vida es el intercambio continuo de sustancia, energía e información con el medio; mediante este intercambio los organismos vivos renuevan sus componentes, garantizan su conservación y adaptación al medio y se autoperpetúan.**

Para comprender la esencia de cualquier fenómeno se debe conocer su origen y desarrollo. Por ello son numerosas las investigaciones realizadas por científicos de distintos países encaminadas a conocer la génesis y evolución de los seres vivos.

En este capítulo se estudia la materia viva como producto de la evolución de la materia inorgánica, y se presenta de manera resumida el desarrollo del conocimiento científico actual en relación con el origen y evolución de los organismos vivos.

La materia viva como producto de la evolución de la materia inorgánica

El movimiento es una forma de existencia de la materia, e incluye todos los procesos y cambios que se producen en el universo. A la diversidad de materia corresponde diversos tipos de movimiento. El tipo más simple de movimiento de la materia es el mecánico, el desplazamiento de un cuerpo en el espacio; al movimiento físico que incluye la luz, el calor, las ondas electromagnéticas y otros le sigue en orden ascendente el químico, esto es, las reacciones químicas entre átomos y moléculas. Este último tipo de movimiento incluye al precedente, pues las reacciones químicas dependen de determinadas propiedades físicas de los reaccionantes, como puede ser el número atómico o el estado físico; pero el movimiento químico no es una simple suma de éstos, es cualitativamente superior.

El movimiento biológico abarca todos los precedentes combinados de forma que constituyen nuevas propiedades y comprenden todos los procesos que ocurren en los

seres vivos y entre estos y el medio. Las características del movimiento biológico se pueden enunciar de forma general:

1. Es una forma de existencia de la materia.
2. Consecuencia del desarrollo de las formas inferiores del movimiento (físico y químico).
3. Las biomoléculas son sus portadores materiales, principalmente las proteínas y los ácidos nucleicos.
4. La esencia es el intercambio continuo de sustancias, energía e información con el medio.
5. Manifestación mediante múltiples formas.
6. Tendencia al crecimiento y a la multiplicación. Se autopropaguan.

El movimiento social, que es el superior, contiene todas las demás formas anteriores; incluye la sociedad y el pensamiento y su portador material es el hombre.

Las distintas formas de movimiento de la materia no están aisladas unas de otras, sino muy relacionadas. Así el movimiento atómico puede provocar cambios energéticos y estos desencadenar reacciones químicas. Los procesos químicos en determinado nivel de desarrollo llevaron a la formación de la materia orgánica; **la vida es un producto del desarrollo de la materia, ocurrido por una serie de cambios cuantitativos graduales que condujeron a transformaciones cualitativas en un largo proceso evolutivo.**

Los estudios realizados sobre la composición elemental de los componentes químicos de los seres vivos son numerosos, muchos de ellos fueron expuestos de forma resumida en el capítulo I, en el acápite de surgimiento y desarrollo de la bioquímica. Todos los resultados de las investigaciones realizadas en este sentido han puesto de manifiesto que la composición química de la materia viva difiere en muchos aspectos importantes de la composición de la materia inanimada que la rodea.

Por supuesto, al surgir la vida como un producto del desarrollo y como transformación cualitativa de la materia inerte durante su complejo proceso de evolución, es obvio que todos los elementos que aparecen en el ser vivo provienen del mundo inorgánico. Sin embargo, no todos los elementos que están presentes en la litosfera o en la atmósfera aparecen en los organismos vivos. Ello sugiere que durante el proceso de evolución de la materia que dio origen a los seres vivos, algunos elementos resultaron más adecuados para la vida que otros. De hecho, sólo unos 16 elementos forman parte permanente de todos los organismos vivos, aunque este número es mayor en algunos:

Elementos fundamentales: O, C, H, P y S.

Otros elementos importantes: Ca, K, Na, Cl, Mg y Fe.

Oligoelementos (elementos trazas): Zn, Co, Mn, F e I.

Resulta interesante señalar que en general, la proporción en que se encuentran los diferentes elementos en los seres vivos difiere mucho de la que éstos presentan en el mundo inerte.

Al comparar la composición elemental del organismo humano con la del agua de mar y la corteza terrestre se ponen de manifiesto numerosas diferencias. Por ejemplo, el silicio y el aluminio que constituyen, respectivamente, los elementos 2do y 3ro más abundantes de la corteza, están ausentes en muchos organismos vivos, y en aquéllos que aparecen, lo habitual es que se encuentren en cantidades ínfimas. El carbono, que existe en una proporción aproximada de 20 % en los mamíferos y de 50 % en los vegetales, se encuentra en una proporción mucho menor que 1 %, tanto en la litosfera como en la hidrosfera o en la atmósfera. La composición elemental del cuerpo humano presenta mayor semejanza con la del agua de mar, lo que constituye un dato favorable hacia el origen marino de la vida (tabla 3.1).

Tabla 3.1. Composición elemental porcentual de la corteza terrestre, del agua de mar y del cuerpo humano

Corteza		Agua de mar		Cuerpo humano	
O	60,425	H	66,200	H	60,563
Si	20,475	O	33,100	O	25,670
Al	6,251	C	10,340	C	10,680
H	2,882	N	-	N	2,440
Ca	1,878	Mg	0,033	Ca	0,230
Fe	1,858	S	0,017	P	0,130
Mg	1,784	K	0,006	S	0,130
K	1,374	Ca	0,006	Na	0,075
Ti	0,191	C	0,0014	K	0,037
C	0,055	Br	0,0005	Cl	0,033
				Mg	0,011

Otros hasta 100 %

Las cifras se expresan en átomos por 100 000.

En el cuerpo humano existen más de 50 elementos diferentes, en la tabla 3.1 se muestran los más abundantes. Sólo 4 elementos constituyen alrededor del 99 % del contenido elemental total, ellos son: hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno. Los 4 son elementos pequeños y livianos; existen evidencias de haber sido los más abundantes en el medio primitivo, donde se estima que hubo de formarse las primeras moléculas biógenas. Dichos elementos tienen la posibilidad de formar entre sí uniones fuertes y estables de tipo covalente, así como establecerse enlaces múltiples, especialmente el carbono, el que además tiene la propiedad de formar polímeros lineales o ramificados como se estudiará en el capítulo 5.

Además de diferir en cuanto al tipo y proporción de los distintos elementos en la materia viva y la inorgánica, existe la organización o forma en que se agrupan estos elementos para formar moléculas. En efecto, los compuestos orgánicos característicos de la materia viva poseen estructuras más complejas que las pequeñas y sencillas moléculas presentes en la materia inorgánica.

Desde el punto de vista molecular, el agua constituye el compuesto predominante en los organismos vivos. Junto a ella aparecen diversos elementos químicos en estado iónico o formando complejos. Las moléculas que caracterizan a los organismos vivos (biomoléculas) son compuestos carbonados que presentan frecuentemente oxígeno, hidrógeno y nitrógeno, y en algunos casos azufre y fósforo; éstas se agrupan en 3 categorías:

1. Moléculas de estructuras muy complejas y de peso molecular muy elevado, entre 10^3 a 10^9 D (macromoléculas), como los polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos.
2. Moléculas de peso molecular relativamente pequeño (de 100 a 300 D) como aminoácidos, monosacáridos, nucleótidos y ácidos grasos, los que por polimerización forman las macromoléculas o parte de otras moléculas complejas.
3. Moléculas que, como regla, presentan tamaño menor y estructura más simple que las anteriores y son intermediarios metabólicos importantes o precursores de la síntesis de otras biomoléculas mayores, como el ácido pirúvico, el gliceraldehído 3 fosfato y el ácido cítrico, entre otras.

Existen los mismos tipos de biomacromoléculas en las distintas especies y para todas ellas se cumple el mismo principio de organización aunque con carac-

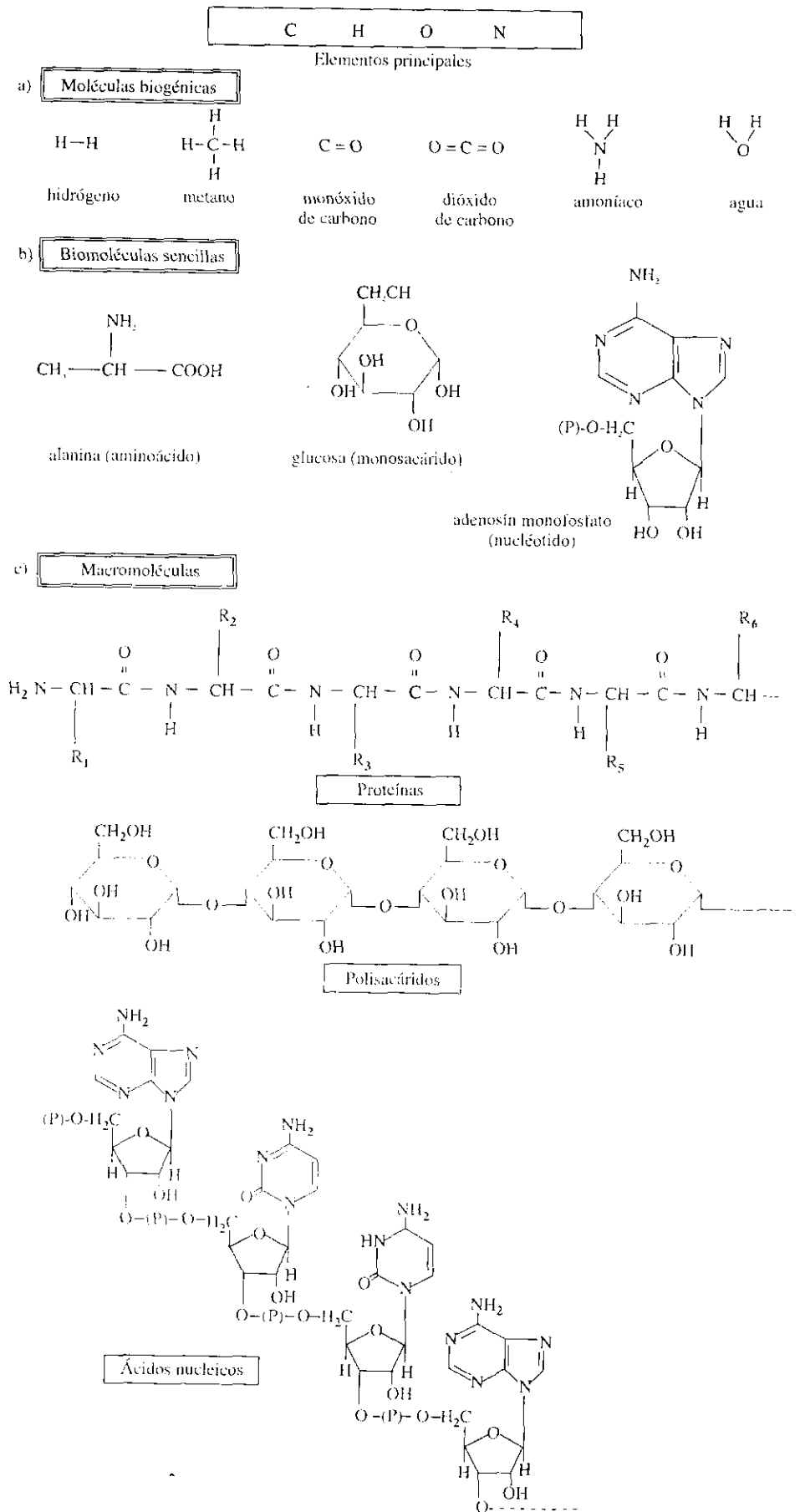


Fig. 3.1. Los elementos constituyentes de las biomoléculas se encuentran formando parte de las moléculas biogénicas. a) Moléculas biogénicas que, se postula, dieron origen a las biomoléculas sencillas. b) Representación de diversas biomoléculas sencillas de distinto tipo: aminoácidos, nucleótidos y monosacáridos. c) Las macromoléculas, las cuales se forman por la polimerización de biomoléculas sencillas: los ácidos nucleicos (polinucleótidos) a partir de los nucleótidos, las proteínas a partir de aminoácidos y los polisacáridos a partir de monosacáridos.

terísticas propias al formar las sustancias inherentes a cada especie, de forma que cada organismo posee sus propias proteínas y ácidos nucleicos; pero formados por los mismos 20 aminoácidos y los mismos 5 nucleótidos, a funciones iguales, las biomoléculas presenten estructura similar en las distintas especies (Fig. 3.1). La insulina, por ejemplo, es una hormona protéica secretada por el páncreas y que desempeña una función muy importante en la regulación del metabolismo, tiene una estructura bastante semejante en diferentes animales.

Sobre la base de sus características químicas y metabólicas, las biomoléculas se han clasificado en 4 grupos principales:

1. Los glúcidos incluyen a los monosacáridos, los oligosacáridos y los polisacáridos; su función principal es ser fuente energética y carbonada.
2. Los prótidos agrupan a los aminoácidos, los péptidos y las proteínas. Las proteínas cumplen distintas e importantes funciones en los seres vivos, una de las principales es constituir los biocatalizadores, moléculas que hacen posible las biotransformaciones.
3. Dentro del grupo de los lípidos se incluye una gran variedad de compuestos estructuralmente disímiles; pero que presentan una propiedad común, la solubilidad en solventes orgánicos y la insolubilidad en los polares. Constituyen también fuente energética y forman parte importante de las membranas, además de desempeñar otras funciones.
4. El grupo de las sustancias nucleotídicas comprende a los nucleótidos y los ácidos nucleicos, -ácidos ribonucleicos (ARN) y desoxirribonucleicos (ADN). Estos últimos vinculados funcionalmente a la trasmisión de los caracteres hereditarios y los ARN relacionados con la expresión de dicha información, mediante la biosíntesis de las proteínas. En general los nucleótidos trifosfatados desempeñan importantes funciones energéticas, especialmente el adenosín trifosfato (ATP), el cual constituye el portador principal y universal de energía metabólicamente útil.

Tabla 3.2. Componentes moleculares de la bacteria *Escherichia coli*

	Porcentaje del peso total (%)	Diversidad de moléculas
Agua	70	1
Proteínas	15	3 000
Ácidos nucleicos	7	
ADN	1	1
ARN	6	> 3 000
Polisacáridos	3	5
Lípidos	2	20
Otras moléculas orgánicas	2	500
Iones inorgánicos	1	20

En la tabla 3.2 se muestra la distribución porcentual de los componentes moleculares de la bacteria *Escherichia coli* y se presenta un valor aproximado de la cantidad de moléculas distintas de cada tipo. Es necesario señalar que las biomoléculas pueden interactuar entre sí, formando asociaciones supramoleculares que dan origen a

estructuras importantes como membranas, ribosomas y otras que sirven de base a la organización de organelos y células. En el cuadro 3.1 se presenta un resumen de los distintos niveles de organización de la materia viva hasta el celular.

Cuadro 3.1. Niveles de organización de la materia viva

Biomoléculas sencillas, precursores de macromoléculas o componentes de otras moléculas complejas	monosacáridos, aminoácidos, nucleótidos, ácidos grasos y otras
Biopolímeros y otras moléculas complejas y lípidos complejos	polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos
Agregados supramoleculares	membranas, ribosomas, cromatina y otros
Organelos celulares	núcleo, mitocondria, retículo endoplasmático, aparato de Golgi y otros
Célula	procarionte eucarionte

Origen y evolución de la materia viva

Las ciencias naturales han demostrado que en la Tierra primitiva no existía vida, ya que por sus condiciones ningún ser vivo podía habitarla. La materia orgánica es el producto de una evolución muy larga.

Esta afirmación acerca de la formación de la materia viva a partir de la inorgánica ha sido científicamente sustentada y, sin diferencias esenciales, ha sido aceptada en el universo por las diferentes teorías que tienden a explicar la evolución molecular y biológica.

Durante muchos años se pensó también que algunas formas de vida podían surgir continuamente a partir de la materia inorgánica por generación espontánea y súbita. Estas convicciones erróneas se producían por la incorrecta interpretación de la aparición de gusanos e insectos en la carne en descomposición, la harina de trigo y otros alimentos contaminados; de manera similar a como se pensara durante muchos siglos por la simple observación de algunos fenómenos naturales, que la Tierra no se movía y que el sol era el que giraba a su alrededor.

La teoría de la generación espontánea, rechazada por un número apreciable de hombres de ciencia, pero defendida vehementemente por otros, fue abandonada después de los concluyentes experimentos de *Louis Pasteur*, quien demostró de manera irrefutable que no aparecen nuevas formas de vida en todas aquellas sustancias que por cualquier método se preservaran de la contaminación biológica, independientemente del tiempo que se mantuvieran en esas condiciones.

Fue *Alexander Ivanovich Oparin*, quien elaborara la primera explicación científica del origen de la vida, en concordancia con las leyes y fenómenos de la naturaleza y con los conocimientos alcanzados por las ciencias contemporáneas. Esta teoría fue postulada por *Oparin* inicialmente en el año 1922 y en 1924 se publicó el trabajo donde exponía su teoría sobre el origen de la vida. A partir de entonces, muchos científicos en diferentes países se han consagrado a las investigaciones en este campo, por lo que se han obtenido numerosos resultados que confirman la teoría de *Oparin*. Así, *JBS Haldane* expresó ideas similares, enfatizando además que la atmósfera primitiva debía haber sido reductora, sin oxígeno libre, como un requerimiento para la evolución de la vida a partir de la materia inerte.

El avance de las ciencias geológicas, astronómicas, químicas, físicas y biológicas y el impetuoso desarrollo de la tecnología, han permitido el análisis retrospectivo de sucesos acaecidos hace muchos millones de años y han propiciado que se efectúen investigaciones en un tema tan importante para el conocimiento humano como éste, que estudia las raíces mismas de su génesis. De particular y fundamental importancia para estos estudios ha sido la determinación de la vida media de los radioisótopos por desintegración espontánea, lo que ha permitido estimar con bastante exactitud la edad de rocas y otros cuerpos terrestres y cósmicos.

El desarrollo de la tecnología del cosmos ha sido de enorme valor en estas investigaciones, ya que aporta numerosos datos de interés. Con el empleo de todos estos procedimientos tecnológicos y otras metodologías, que han constituido valiosa fuente de datos, se ha podido establecer que nuestra galaxia tiene una existencia de 12 a 20 mil millones de años; la edad del sol ha sido estimada en 5 mil millones de años y la Tierra de 4,6 a 4,8 mil millones, además se admite que al igual que los demás planetas de nuestro sistema, se formó a partir de la condensación del halo de gases y niebla que rodeaba al sol.

Formación de las primeras moléculas biógenas

En la masa gaseosa que formó a nuestro planeta, predominaban los átomos libres de hidrógeno -el más abundante-, carbono, oxígeno, hierro, magnesio, silicio, aluminio, nitrógeno, níquel, azufre y otros (Fig. 3.2). Estos átomos se fueron distribuyendo en un orden determinado por su peso, de manera que los más pesados se localizaron en el centro, los más livianos en la periferia y los de peso intermedio se situaron entre unos y otros.

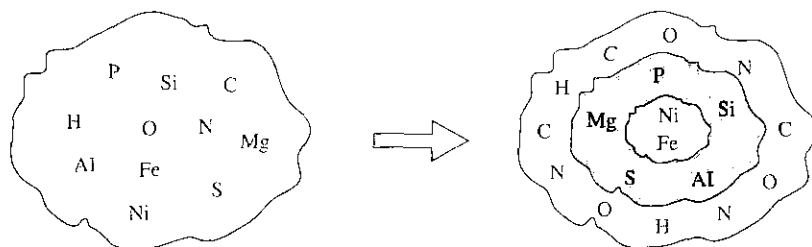


Fig. 3.2. Representa, de manera esquemática, la distribución de los distintos elementos químicos según su peso atómico como debieron disponerse en la Tierra primitiva. (Tomado de *Biología General* 3).

La formación de sustancias como el metano (CH_4), el amoníaco (NH_3), el agua (H_2O) el cianuro de hidrógeno (HCN) y otras es consecuencia no sólo de la abundancia de sus átomos constituyentes en la capa más externa, sino de sus propiedades químicas, ya que pueden formar compuestos estables entre ellos, y también de las condiciones energéticas del medio en esos momentos. Tal es la composición que se considera tenía la atmósfera primitiva, de carácter reductor y con predominio de CO_2 , CO , H_2O ,

H_2 , CH_4 y CNH entre otros, todos en estado gaseoso debido a la elevada temperatura existente. En la actualidad se ha comprobado la presencia de compuestos de carbono e hidrógeno en los materiales cósmicos más diversos procedentes de regiones con condiciones de temperatura y fuerzas gravitacionales diferentes.

Por esta época inicial se acepta que no existía oxígeno molecular libre y el oxígeno presente estaba principalmente formando agua y óxidos de metales. En estos tiempos de carencia de oxígeno molecular y ausencia de organismos vivos, se supone que los compuestos permanecían estables por largos períodos.

En la Tierra primitiva existían, pues, compuestos que podían dar lugar a la formación de moléculas orgánicas y se disponía de las fuentes de energía capaces de activarlos para que reaccionaran: altas temperaturas, erupción de volcanes, desintegración radiactiva, radiación solar y descargas eléctricas, entre otras.

Formación de biomoléculas sencillas

En los experimentos de laboratorio llevados a cabo en condiciones que simulan la Tierra primitiva, se logró la síntesis abiótica de aminoácidos, monosacáridos, bases purínicas y pirimidínicas, entre otros compuestos orgánicos que se sintetizan a partir de precursores inorgánicos semejantes a los presentes en nuestro planeta durante sus etapas tempranas.

Stanley I. Miller, en el año 1953, realizó un experimento de simulación que demostró la formación abiótica de algunos aminoácidos. Él hizo circular una mezcla de vapor de agua, metano, amoníaco e hidrógeno continuamente durante una semana, sobre una chispa eléctrica. Al finalizar la semana cuando realizaba su análisis por cromatografía de papel, encontró una mezcla de aminoácidos: glicina, alanina, ácido γ aminobutírico, β alanina, ácidos aspártico y glutámico, entre otros (Fig. 3.3).

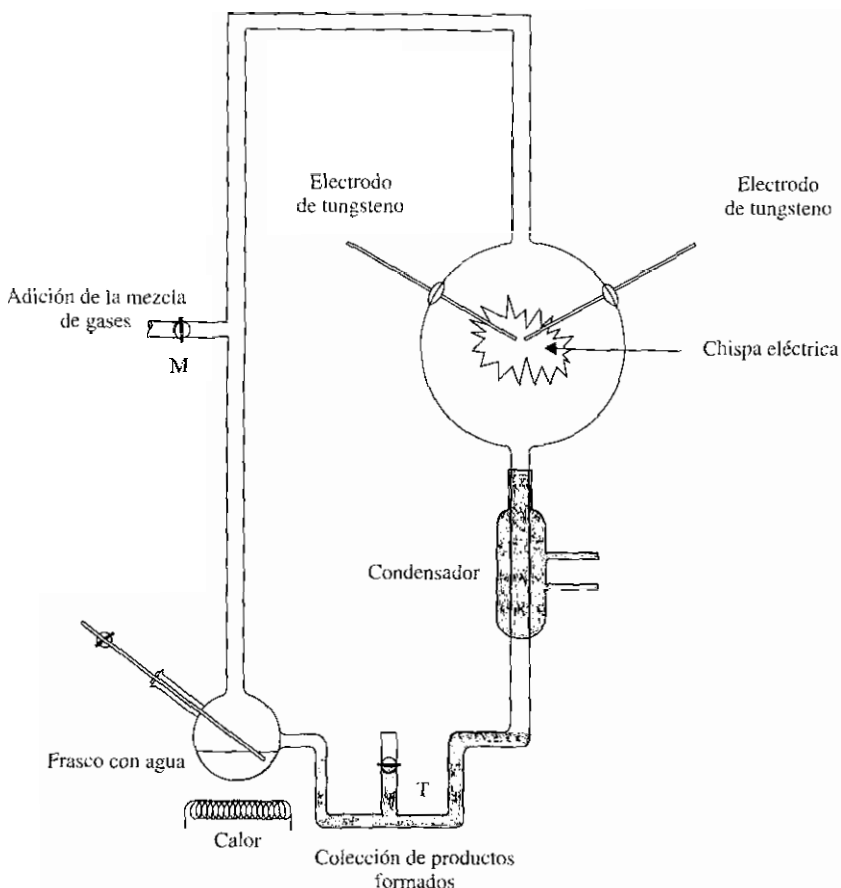


Fig. 3.3. Equipo diseñado por *S. Miller* y *H. C. Urey* para simular las condiciones de la atmósfera primitiva y estudiar la formación de biomoléculas sencillas a partir de moléculas biógenas. En el matraz se coloca agua que al ebullición arrastra la mezcla gaseosa reaccionante que se introduce por M. Con el aporte de la energía de la chispa eléctrica se produce la reacción química, los productos se condensan y se colectan en T.

Se ha logrado también la formación de algunas bases purínicas y pirimidínicas en experiencias de simulación. *Oro* y otros obtuvieron adenina por calentamiento moderado de una mezcla de cianuro de hidrógeno, amonio y agua. La guanina fue identificada a partir de una experiencia similar. Por otra parte *S. Fox*, calentando urea y ácido málico obtuvo uracilo.

Se considera que el azúcar (ribosa o desoxirribosa) presente en los ácidos nucleicos pudiera provenir del formaldehído; y en cuanto al fósforo se estima que este elemento existía disuelto en el agua primitiva.

Otros investigadores al modificar las sustancias inorgánicas empleadas, así como las fuentes de energía, el tiempo y otros factores, han obtenido resultados esencialmente similares, es decir, la formación de moléculas orgánicas a partir de precursores inorgánicos en condiciones que simulan la Tierra primitiva.

Estos resultados se han visto reforzados al descubrirse compuestos orgánicos similares en meteoritos carbonosos llegados a la Tierra. En el meteorito Murchison caído en Australia en el año 1969 se identificaron varios aminoácidos, algunos de ellos no encontrados hasta el momento en nuestro planeta, y que a diferencia de los terrestres constituían mezclas racémicas ópticamente inactivas. También se encontraron en este meteorito ácidos mono y dicarboxílicos: malónico, succínico y fumárico. En otros meteoritos contemporáneos con la Tierra primitiva se ha podido demostrar la presencia de materia orgánica.

Por espectroscopia de radiofrecuencia se ha identificado en las nubes de polvo cósmico la presencia de agua, amoníaco, ácido cianhídrico y otras sustancias que se consideran componentes de la atmósfera primitiva de la Tierra, y que constituyen precursores de compuestos orgánicos lo que apoya la teoría del origen abiótico de la materia orgánica. La mayoría de los precursores de las biomacromoléculas han sido encontrados repetidamente en experimentos de simulación, en rocas, esquistos, meteoritos y materias de los espacios interestelares; esto indica la gran probabilidad de que hayan sido la secuencia de eventos en la evolución química de la materia viva.

Formación de las primeras macromoléculas

Como se sabe, en la síntesis biológica de las macromoléculas participa un conjunto de proteínas enzimáticas en procesos de alta complejidad, que implican elevados consumos energéticos, por lo que no resulta fácil explicar la formación abiótica de estos compuestos.

Conviene recordar que las principales macromoléculas características de los seres vivos son las proteínas y los ácidos nucleicos que constituyen biopolímeros -las primeras de aminoácidos y los segundos de nucleótidos. En ambos casos están unidos por enlaces de tipo covalente, que se forman por condensación con la pérdida de una molécula de agua. De particular importancia en la función de los ácidos nucleicos, tanto del ADN como del ARN, son las bases nitrogenadas contenidas en los nucleótidos; son 4 distintas en cada uno de estos compuestos: adenina (A), guanina (G), citosina (C) y timina (T) en el ADN, y adenina, guanina, citosina y uracilo (U) en el ARN (Fig. 3.4). Entre estas bases se producen interacciones que provocan un apareamiento selectivo: G-C y A-T en el ADN, y G-C y A-U en el ARN. Estas bases apareadas, conocidas como complementarias tienen extraordinaria importancia en las síntesis de los 2 tipos de ácidos nucleicos y de las proteínas.

Es bien conocido que los organismos vivos requieren, para la síntesis de los ácidos nucleicos de un conjunto de enzimas y de otras proteínas; pero todas las proteínas se forman a partir de la información genética del ADN, mediante un complejo proceso en el que participan los distintos tipos de ARN. Cada una de estas moléculas necesita la presencia de la otra para su síntesis. Uno de los aspectos más discutidos en relación con la evolución de la materia orgánica y biológica, ha estado vinculado a

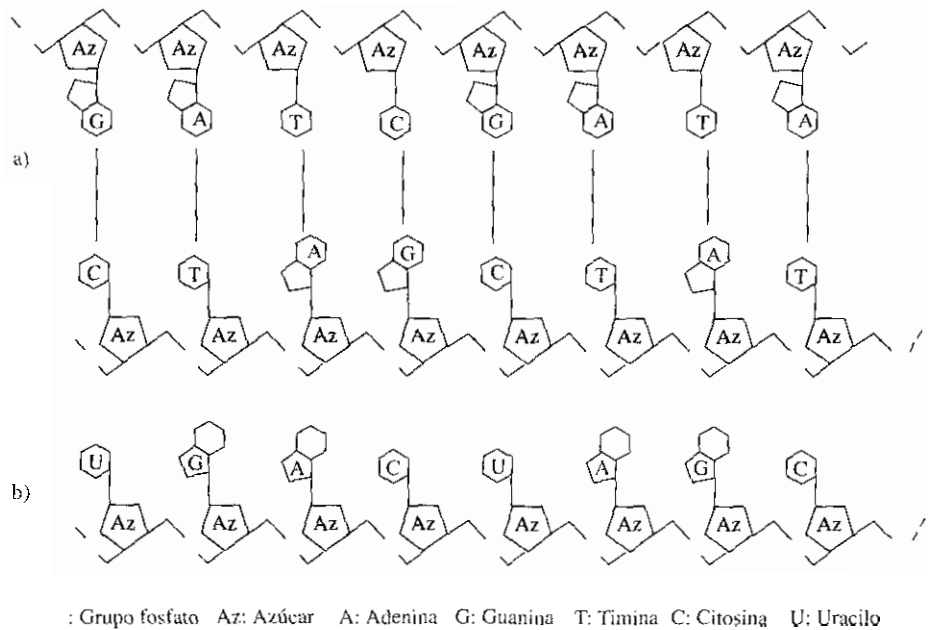


Fig. 3.4. Representación esquemática de la estructura de los ácidos nucleicos. a) Doble cadena de un segmento de una molécula de ADN. El azúcar en este caso es la desoxirribosa, las bases de ambas cadenas se enfrentan de manera complementaria: A-T y G-C. b) Sector de una cadena de ARN. El azúcar en este caso es la ribosa.

responder cuál de estas sustancias hubo de formarse primero. En relación con este problema se han postulado 3 variantes:

1. Los ácidos nucleicos se formaron primero que las proteínas.
2. Las proteínas fueron sintetizadas antes que los ácidos nucleicos.
3. Ambas sustancias se formaron simultáneamente.

L. Orgel, en favor de la primera posibilidad, se apoya en que -mediante todas las bases purínicas y pirimidínicas, fosfato, con el uso de urea y determinados iones como catalizadores- logró sintetizar una cadena de polinucleótidos que contenía 40 nucleótidos. Estas cadenas pudieron aparearse con cadenas complementarias, si en el medio existía imidazol; aunque el ADN obtenido no fue capaz de replicarse. Esta teoría ha ganado adeptos desde que se descubrieron algunos ARN con acción catalítica.

Los defensores de la segunda variante se han basado en numerosas experiencias como las realizadas por *S. Fox*, quien logró la formación de polímeros cortos de aminoácidos a partir del calentamiento de una mezcla de estos compuestos; también las efectuadas por *J. Sanles* y *S. Chang*, quienes obtuvieron cadenas polipeptídicas de unos 50 aminoácidos que fueron considerados como posibles precursores enzimáticos.

Los que están en favor de la tercera posibilidad sostienen que se formarían péptidos pequeños de 2 a 3 aminoácidos y fragmentos cortos de ácidos nucleicos de 2 a 10 nucleótidos. Experimentos de simulación de este sistema han permitido poner de manifiesto algunas características de los organismos vivos por la presencia conjunta de los 2 tipos de sustancias.

De cualquier manera la formación de polímeros de aminoácidos y de nucleótidos en condiciones abióticas pudo producirse mediante las fuentes energéticas apropiadas, aun suponiendo la carencia total de catalizadores, pues, en última instancia, estos lo que hacen es aumentar la velocidad de la reacción. Sin embargo, es muy probable que en estos procesos participaran algunos catalizadores abióticos antes de que se formaran las primeras proteínas con actividad enzimática.

Se considera que la adsorción de los precursores en determinadas superficies (sílica, arcilla, etc.) facilitó su condensación y favoreció la formación de los primeros biopolímeros por calentamiento (luz solar u otras fuentes energéticas), en presencia de compuestos orgánicos con acción deshidratante y probablemente ante algún catalizador inorgánico. En experiencias que simulan estas condiciones, efectuadas en algunos

laboratorios, se obtienen péptidos y polinucleótidos con disposición azarosa de sus precursores, aminoácidos y bases nitrogenadas, respectivamente. Sin embargo, después de formado el primer polímero polinucleotídico, se puede influir en la secuencia de precursores de otra nueva cadena que se sintetice en su presencia. Si se añade el polinucleótido que tiene sólo como base al uracilo (poli U) y se intenta la síntesis de una nueva cadena de ARN, se favorece la formación de un poli A, por lo que la cadena poli U actúa como molde y el complemento de bases funcionaría aun en condiciones abióticas (Fig. 3.5). Las cadenas formadas pueden adquirir la capacidad de autorreplicarse y, en dependencia de su secuencia de bases, adoptarían una conformación espacial, la cual puede a su vez influir en su estabilidad y eficiencia replicativa.

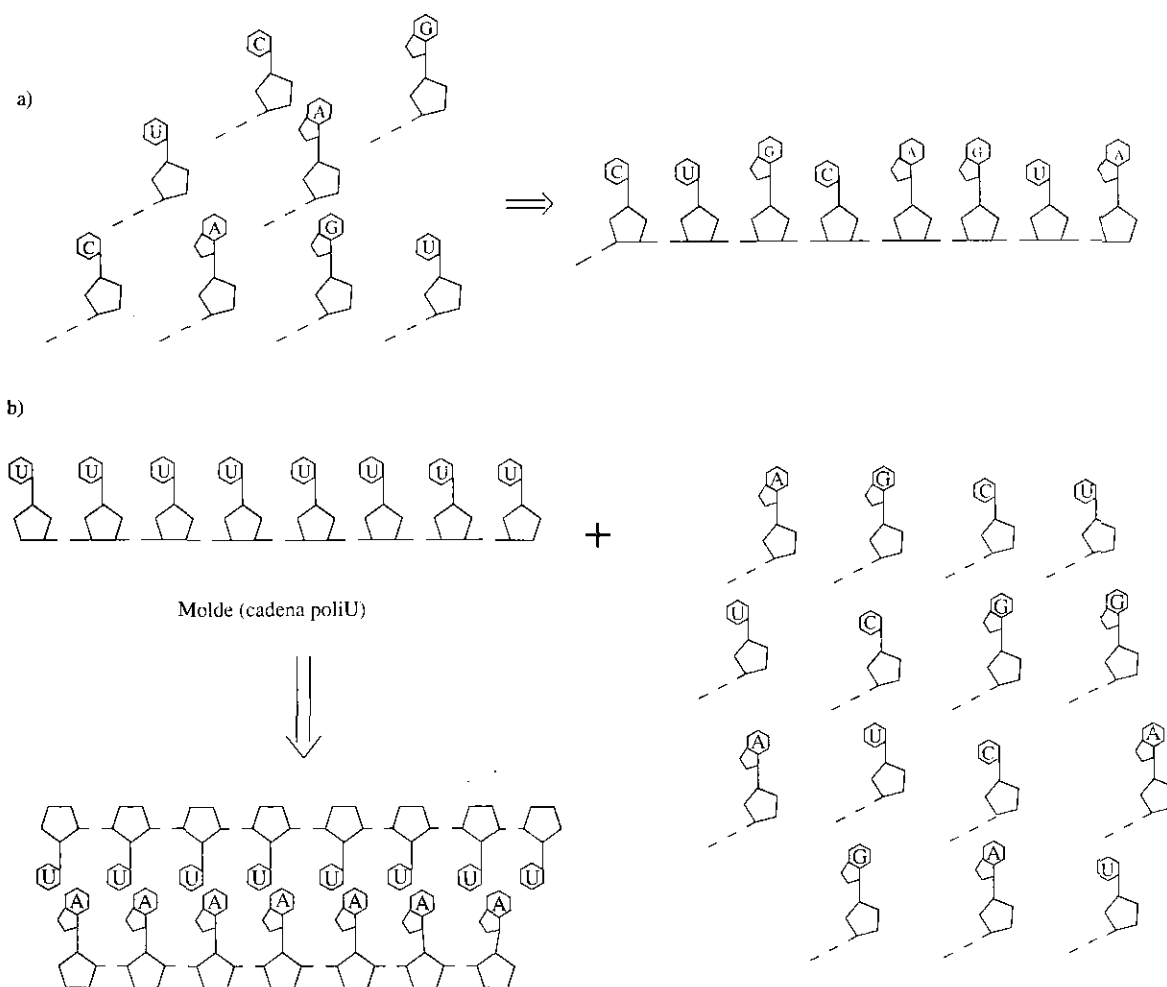


Fig. 3.5. Formación abiótica de cadenas polinucleotídicas. a) Formación de una cadena con secuencia azarosa la cual depende, en gran medida, de la disponibilidad de los nucleótidos precursores. b) Formación "dirigida" de una cadena polinucleotídica de poli A, utilizando como molde una cadena de poli U. Nótese la incorporación selectiva del nucleótido de adenina a pesar de éste encontrarse en cantidades similares al resto de los nucleótidos.

A. Katchalsky demostró la formación de cadenas polipeptídicas a partir de aminoaciladenilatos; estos aminoaciladenilatos fueron sintetizados a partir de aminoácidos y adenosín monofosfato (AMP). La polimerización se logró cuando los aminoaciladenilatos obtenidos se adsorbían a una superficie de cierto tipo de barro y se formaban cadenas polipeptídicas de 50 ó más aminoácidos, con una eficiencia aproximada de 100 %. Los aminoaciladenilatos son los precursores de la síntesis de proteínas en los organismos vivos.

Aun los polímeros de aminoácidos formados por síntesis abiótica podían presentar acción catalítica y es posible que una de esas acciones catalíticas fue la polimerización de nucleótidos, lo que permitió la réplica de los ácidos nucleicos. Aunque no está claro cómo podría haberse iniciado la dirección de la síntesis de las proteínas por los ácidos nucleicos, no cabe duda que en algún momento tal evento hubo de ocurrir, y la mejor prueba es la existencia de un código genético universal.

Se sabe que las moléculas tienen la tendencia de formar agregados de manera espontánea, que esto favoreció su estabilidad y existió posiblemente un equilibrio entre las formas libres y agregadas:

PRECURSORES -----> MACROMOLÉCULAS -----> AGREGADOS

Estos agregados podrían ir sumando moléculas y creciendo en tamaño y complejidad.

Formación de las primeras estructuras vivas

Se supone que las biomoléculas que se fueron sintetizando estarían probablemente en el agua de mares y océanos, formando una especie de "caldo" diluido y exento de oxígeno molecular. Estas moléculas tenían la posibilidad de reaccionar entre sí, se producían nuevas combinaciones y se formaban agregados multimoleculares de tamaño y complejidad crecientes.

Oparin y otros obtuvieron agregados de polinucleótidos con proteínas, que formaban complejos multimoleculares aislados de la solución, en forma de sistemas individuales, a los cuales llamaron gotas (gotículas) de coacervados o simplemente coacervados; a los que este científico les concede gran importancia en la evolución de la materia viva (Fig. 3.6).

El propio Oparin considera que la evolución biológica planteada por Darwin, debería empezar a actuar a este nivel; al formarse los agregados como resultado de la reunión de las moléculas, estos comienzan a competir entre sí por la obtención de materiales y algunos llegan a ser dominantes. Él demostró experimentalmente algunas propiedades de los coacervados, comprobó la agregación de los polímeros en solución y la tendencia a formar una fase coloidal separada de la acuosa; lo cual se cumplió para una gama diversa de combinaciones de polímeros y además puso de manifiesto que la existencia de alguna actividad metabólica en ellos favorecía su estabilidad (Fig. 3.7).

Ha quedado bien demostrado que las moléculas poseen la propiedad de autoordenarse de acuerdo con sus características estructurales y sus propiedades. Se sabe que determinados tipos de lípidos, que poseen una porción polar y otra apolar, tienen la capacidad de disponerse en solución acuosa de manera que sus porciones apolares se unan entre sí y las polares interactúen con el agua, para formar estructuras laminares, características de las membranas biológicas.

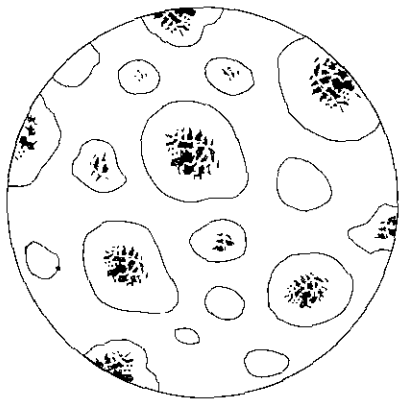
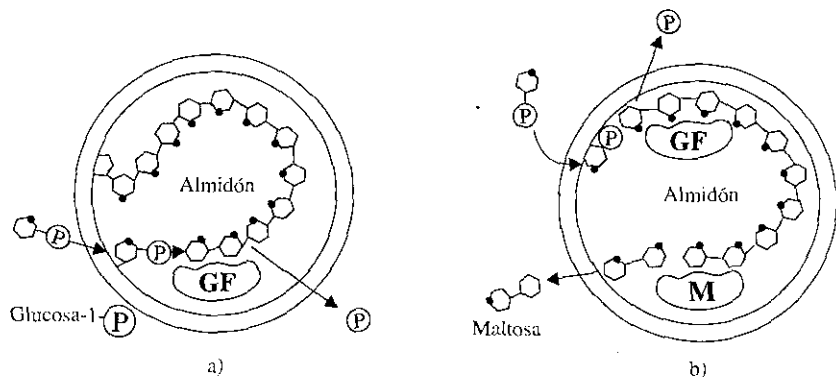


Fig. 3.6. Representación esquemática de gotículas de coacervados obtenidos experimentalmente en el laboratorio de AI Oparin, formados en solución acuosa de proteínas y ácido poliadenílico. Este investigador constató que tales gotículas pueden "sobrevivir" un tiempo mayor si se le aportan enzimas que permitan efectuar reacciones de polimerización.

Fig. 3.7. Representación de algunas de las reacciones realizadas en el interior de una gotícula de coacervado en los experimentos llevados a cabo por AI Oparin. El coacervado contiene en su interior el polisacárido almidón y algunas enzimas. a) La presencia de la enzima glucógeno fosforilasa y de glucosa-1-(P), favorece las reacciones de polimerización y la cadena de almidón crece, liberándose fosfato inorgánico. b) La presencia de la enzima maltasa, la cual degrada al almidón, provoca un efecto contrario al expuesto en a), la molécula de almidón decrece y se libera maltosa.



Los coacervados se consideran como sistemas prebiológicos sometidos a la acción del medio. La aparición de una membrana biológica que los independizara del entorno, resultó un paso determinante en su individualidad. El salto cualitativo a una célula viva transcurrió de forma gradual en un largo proceso. Las células primitivas o protobiontes presentan características del movimiento biológico.

Existen otras proposiciones realizadas por algunos investigadores, en relación con los eventos que ocurrieron en la formación de las primeras unidades vivas, una de ellas es la de S. Fox: él plantea la existencia de microesferas, que no son más que proteinoides rodeados por una doble membrana, como el paso intermedio entre los agregados de biopolímeros y las primeras células (Fig. 3.8). Este investigador demostró que estos proteinoides presentan cierto grado de carácter informacional, ya que proteinoides ricos en aminoácido lisina se combinan de forma selectiva a los polinucleótidos poli C y poli U y los ricos en arginina, lo hacen a los poli A y poli G.

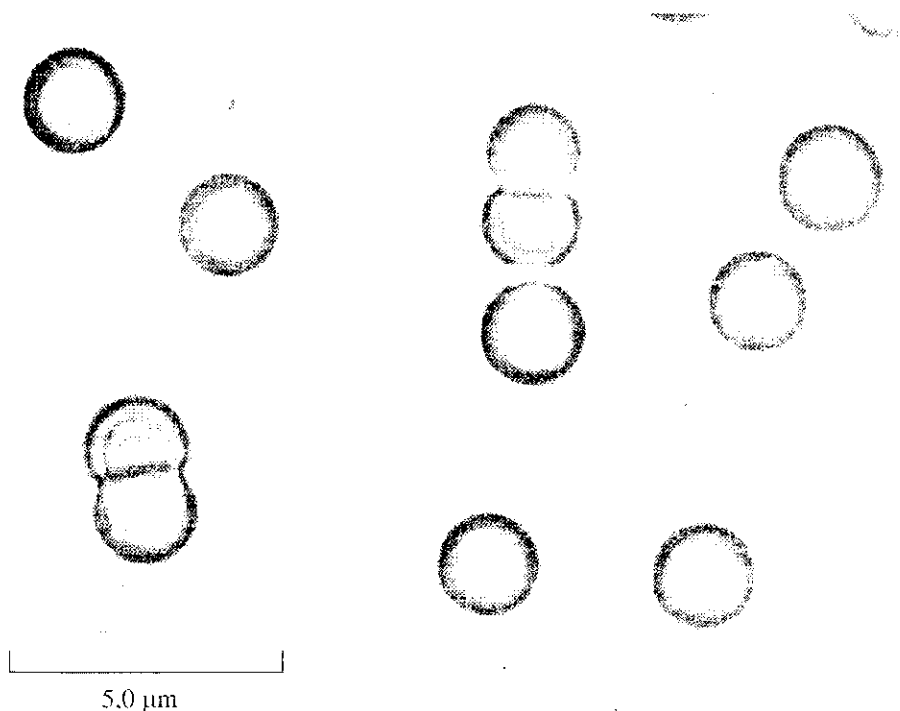


Fig. 3.8. Se muestra una foto de un agregado microesferoidal de proteinoides termales según S. Fox (*Chemical Evolution and Origin of Life*). El proteinoides se forma por calentamiento de mezclas secas de aminoácidos a temperaturas no muy elevadas.

Evolución de las células primitivas

Las primeras células vivas parecen haber sido heterótrofas primarias y anaerobias, los mares fueron su fuente de sustancia y energía, al escasear estos nutrientes, producto del incremento de los organismos vivos, se dieron las condiciones para que a partir de diversos procesos adaptativos, mutaciones y selecciones naturales aparecieran algunas formas autótrofas como las fotosintéticas; estos organismos comenzaron a producir sus propias biomoléculas, con el uso de la energía de la luz solar, formaron monosacáridos y otros compuestos orgánicos a partir de CO_2 y H_2O , con la liberación de O_2 .

Algunos organismos fueron capaces de fijar el nitrógeno atmosférico y formar compuestos que lo contienen, como los aminoácidos y las bases nitrogenadas. La producción de O_2 por los organismos fotosintéticos implicó cambios importantes en la biosfera; por una parte, se formó una capa de ozono que protegió la superficie terrestre de los perjudiciales rayos de luz ultravioleta y, por otra parte, permitió la utilización de este gas en los procesos respiratorios, es decir, permitió el surgimiento de los organismos aerobios, los cuales poseen una mayor eficiencia metabólica. La presencia de

oxígeno molecular transformó la atmósfera primitiva reductora en la actual, que contiene O_2 , CO_2 , N_2 y H_2O .

A partir de los primeros organismos vivos y en un largo proceso de millones de años de evolución se desarrollaron las diversas formas de vida desde las más simples hasta las plantas, los animales superiores y el ser humano. La evolución biológica es en la actualidad un proceso científicamente demostrado y aceptado de forma general; pero antes de que fuera así, mucho tuvo que avanzar el conocimiento biológico y muchas trabas ideológicas tuvo que vencer el pensamiento científico y creador de numerosos hombres de ciencia. En la figura 3.9 se resumen los principales eventos en el proceso de formación de la materia orgánica y primeros organismos vivos.

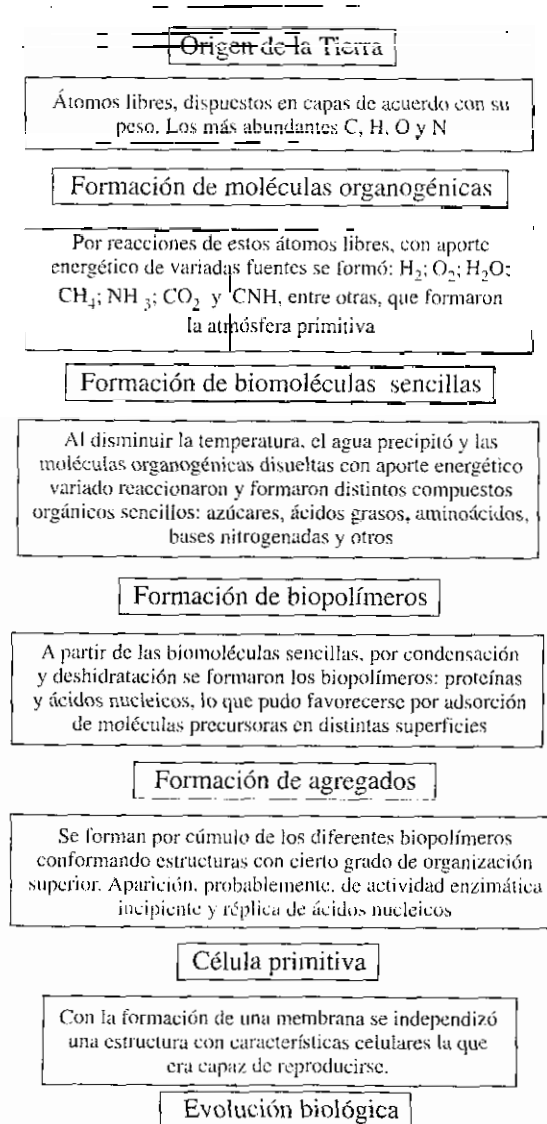


Fig. 3.9. Cuadro resumen de los principales eventos que ocurren en la formación de la materia viva, ordenados desde la formación de moléculas biogénicas hasta la aparición de la célula primitiva.

Teorías evolucionistas

Dos aportes importantes que de alguna forma influyeron en el pensamiento evolucionista de su época fueron: los trabajos geológicos de *James Hutton*, sobre el desarrollo de la Tierra -donde se pone de manifiesto que este fue un proceso lento causado por fuerzas naturales, no un evento caótico y súbito como se admitía de forma general hasta ese momento- y la clasificación taxonómica de *Carlos Linneo*.

Resulta curioso que a pesar de ser *Linneo* un defensor de la teoría de la creación divina del universo y de la vida, contribuyó notablemente a concebir la interrelación entre los distintos organismos vivos, al desarrollar su sistema de clasificación y nomenclatura para las especies biológicas que, además, puso de manifiesto la estructura jerárquica en él implícita.

El primer hombre de ciencia que presentó una teoría sistemática sobre la evolución fue *Jean Baptiste de Monet*, Caballero de Lamarck, quien en el año 1801 formula que todas las especies incluido el hombre, descienden de otras especies. *Lamarck* estudió organismos unicelulares e invertebrados, observó que las rocas antiguas contenían fósiles que correspondían a formas de vida más simples y dedujo de sus observaciones que las formas superiores habían surgido de las más simples por un tipo de "progresión"; que ésta se producía como resultado de 2 fuerzas distintas: la primera, la trasmisión hereditaria de las características adquiridas y la segunda fuerza era un principio creativo universal, un impulso inconsciente para ascender en la escala natural. Él consideraba que las formas más sencillas de vida surgían por generación espontánea.

Una parte muy conocida de la teoría de *Lamarck* es la que concierne a su explicación sobre la evolución de la jirafa. Él sostenía que la jirafa actual de cuello largo había evolucionado a partir de un antepasado de cuello corto; pero que lo desarrollaron mediante el ejercicio provocado por el esfuerzo mantenido para alcanzar las ramas altas de los árboles y poder alimentarse; también sostenía que esta característica adquirida se transmitió a la descendencia. Como puede apreciarse, a pesar del aspecto positivo de *Lamarck*, de plantearse la evolución de las especies incluyendo el hombre, tiene las limitaciones de considerar que las características adquiridas se transmiten hereditariamente; separa las distintas especies en su explicación del desarrollo evolutivo e incluso llega a admitir la generación espontánea para los organismos inferiores dentro de cada especie. *Charles Darwin* es considerado con toda justeza el fundador de la teoría evolucionista. *Darwin* comenzó a estudiar medicina, carrera que abandonó después de 2 años para dedicarse al sacerdocio e hizo estudios teológicos en la Universidad de Cambridge. Sin embargo, al culminar estos estudios, renuncia a dedicarse a la vida eclesiástica y acepta la oferta de incluirse a bordo del *Beagle* para efectuar una larga travesía por todo el mundo, con el interés de realizar estudios como naturalista. Este viaje le sirvió a *Darwin* para constatar la gran variedad de la naturaleza, la diversidad de especies de los organismos vivos tanto vegetales como animales, observó numerosos restos fósiles y relacionó las distintas variedades existentes dentro de cada especie con la edad geológica de islas y continentes que constituían su hábitat. La duración de esta travesía fue de 5 años e influyó de forma notable en sus apreciaciones. A su regreso a Inglaterra se dedicó al estudio de variedades logradas por los criadores de plantas y animales, quienes por selección artificial, habían podido obtener una gran diversidad de aves, partiendo de la paloma común. Además, observó el desarrollo de nuevas plantas y animales por selección artificial, lo que lograba mejorar las características de las que les dieron origen, particularmente en su capacidad de adaptarse al medio.

Él concluyó de este análisis que de la misma forma que el hombre selecciona de forma artificial nuevas variedades de plantas y animales, procedía el medio ambiente, por lo que se produce así la selección natural.

Darwin parte de la existencia de la variabilidad individual, y en su teoría postula que aquellos individuos que poseen ciertas características que les permitan una mejor adaptación al medio, tienen ventajas para sobrevivir; él planteó que estas variaciones de las especies eran fortuitas, no las producía el ambiente ni ninguna fuerza creadora, ni el afán inconsciente del organismo y de por sí carecían de objetivo.

En 1859 se publicó su libro *El Origen de las Especies por medio de la Selección Natural*, donde expone su teoría sobre la evolución de las especies. *Darwin* no pudo explicar las causas de las variaciones de los individuos. Los aspectos de su teoría, que se refieren al papel de la lucha por la existencia como fuerza motriz importante en la evolución se consideran que reflejan la influencia ejercida sobre él del sociólogo reaccionario *Thomas Maltus*.

Darwin presentó algunos aspectos concordantes con los planteados por *Lamarck*, como la concepción del mundo en permanente evolución, gradual y continua. Sin embargo, los aspectos nuevos que constituyeron aportes de *Darwin* fueron el origen común de todas las especies, que es realmente la esencia de su teoría, y además explicó el mecanismo de esta evolución como causada a partir de la variabilidad individual y la selección natural. *Darwin* no pudo dar una explicación científica a la causa de las variaciones individuales, lo que se comprende fácilmente si se tiene en cuenta que en su época muy poco se conocía sobre genética.

La evolución es un aspecto central de la biología. La teoría moderna unió los aportes de ciencias diversas como la paleontología, la ecología y la genética. Una contribución importante a la teoría de la evolución lo constituyó la aplicación por *Hugo de Vries* de las leyes de la genética de Mendel, lo que permitió interpretar las causas de la diversidad de individuos como variaciones genéticas provocadas por mutaciones; en la actualidad sabemos que las mutaciones, las recombinaciones y la duplicación de genes son las fuentes principales de variación de las especies.

Del análisis de la evolución de los individuos se llegó al estudio de la evolución de las poblaciones. Las variaciones de las poblaciones constituyen la fuerza fundamental del proceso evolutivo.

Evidencias en favor de la evolución de las especies

Numerosos elementos de variada naturaleza apoyan la teoría evolucionista. Estas evidencias están relacionadas con las más variadas ramas de las ciencias biológicas.

El estudio de varias ciencias comparadas como la anatomía ha puesto de manifiesto la relación estructural de órganos homólogos en especies distintas, lo que constituye un fuerte apoyo a la tesis del origen común de éstas. La comparación de los primeros estadios del desarrollo embrionario de numerosas especies muestran muchos aspectos similares y refuerza el criterio de la existencia de un antepasado común.

Los valiosos aportes de la paleontología mediante el estudio de muchos fósiles constituyen una importante prueba del proceso evolutivo, particularmente en la demostración de los eslabones intermedios entre especies diferentes.

La bioquímica ha brindado numerosas evidencias a la teoría evolucionista: la similitud de biomoléculas que desempeñan funciones iguales en distintos organismos; la existencia del código genético universal; las características generales comunes de las reacciones metabólicas; la relación que puede establecerse en la composición y estructura de determinadas biomoléculas homólogas en organismos diferentes (como por ejemplo la hemoglobina) y que ha permitido establecer relaciones filogenéticas entre las especies, por sólo mencionar algunas de las más relevantes.

La genética, la inmunología y otras ciencias biológicas también aportan datos valiosos que apoyan la teoría de la evolución de las especies y confirman el origen común de éstas.

Resumen

La vida es una forma del movimiento de la materia. El movimiento biológico contiene a otros tipos de movimiento (físico y químico) y abarca a todos los procesos que ocurren en los seres vivos; su esencia es el intercambio continuo de sustancia, energía e información con el medio. La vida es un producto del desarrollo de la materia inorgánica, originada por una serie de cambios cuantitativos y graduales que condujeron a saltos cualitativos en un largo proceso evolutivo.

La composición elemental de la materia viva difiere de la inorgánica en los tipos de átomos predominantes y en su organización para formar moléculas. Las

biomoléculas son mayores y más complejas que las sencillas moléculas presentes en la materia inerte.

El agua es el compuesto más abundante en los organismos vivos, también existen iones inorgánicos; pero las moléculas características de los seres vivos, las biomoléculas, son compuestos carbonados que contienen además hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y otros elementos, cuyos representantes más importantes son las proteínas, los ácidos nucleicos, los glúcidos y los lípidos.

El desarrollo tecnológico alcanzado ha hecho posible el análisis retrospectivo de sucesos acaecidos hace millones de años, ligados a la formación de la materia orgánica y primeros organismos vivos. La teoría de Oparin ha sido confirmada esencialmente por numerosas observaciones y experiencias de simulación, lo que explica la formación abiótica de las biomoléculas a partir de un grupo de moléculas biógenas presentes en la atmósfera primitiva. Éstas se condensarían, formarían las macromoléculas y la agregación de todas ellas daría lugar a los complejos multimoleculares que al aislarse de la solución forman los *coacervados*. La organización de una membrana, la aparición de proteínas enzimáticas y la réplica de los ácidos nucleicos son eventos que están ligados a la aparición de la célula primitiva. A partir de los primeros organismos vivos se produjeron todas las formas de vida en un largo proceso de millones de años.

El fundador de la teoría de la evolución fue *Darwin*, quien planteó que la evolución se producía por un fenómeno de selección natural, de manera que entre la gran diversidad individual dentro de cada especie, tendrían mayor sobrevivencia y producirían mayor descendencia aquéllos que presentaran variaciones que les permitieran mejor adaptación al medio. Las causas de la diversidad individual son las mutaciones y las recombinaciones genéticas.

La teoría sintética moderna de la evolución integra a la paleontología, la ecología y la genética. Existen numerosas evidencias científicas que confirman el proceso evolutivo y que han sido aportadas por la anatomía comparada, la embriología, la paleontología y la bioquímica, entre otras.

Ejercicios

1. Cite las características del movimiento biológico.
2. Mencione datos aportados por la tecnología del cosmos que apoyen los criterios de las condiciones de la atmósfera primitiva.
3. ¿Qué es un experimento de simulación? Explique uno de ellos.
4. Justifique la existencia en el medio primitivo de metano, amoníaco, ácido cianhídrico, dióxido de carbono y agua.
5. Explique la formación abiótica de los biopolímeros.
6. Haga un esquema de los niveles de organización de la materia viva.
7. Realice un estudio comparativo de los planteamientos hechos por *Lamarck* y por *Darwin* sobre la evolución de las especies. Infiera de dicho estudio la razón de que sea *Darwin* el investigador considerado fundador de la teoría de la evolución.
8. Señale evidencias científicas aportadas por la bioquímica que apoyen la teoría evolucionista.