

BASES MOLECULARES DEL ORIGEN DE LA VIDA

Dra. Marta Zentella de Piña,
Ing. Quím. Gabriel Carrillo S.

Depto. de Bioquímica, Fac. de Medicina,
U.N.A.M.

La vida tuvo su origen en la Tierra, mediante un proceso evolutivo cuya historia comienza desde su origen mismo. Se inició a partir de moléculas muy sencillas con capacidad de combinarse entre sí y producir nuevas formas moleculares cada vez más complejas. Esta hipótesis se ha apoyado en cierto número de datos experimentales, por lo que cuenta con bastante aceptación; sin embargo, no es la única que existe, por ejemplo, se ha propuesto que la vida sobre la Tierra arribó en forma de "esporas" procedentes de algún lugar del espacio.

En el curso de ésta exposición, se proponen argumentos que permiten considerar a la hipótesis de la evolución molecular como la explicación mas probable del origen de la vida en la Tierra.

Un primer paso que resulta conveniente en este trabajo es el de revisar qué es la vida o cómo se podría definir la vida.

Algunas veces se contesta haciendo una lista de las características que se asocian en la materia viva, por ejemplo: movimiento, reproducción, metabolismo, sensibilidad, crecimiento, etc., etc. Si bien se admite que todas esas propiedades pueden encontrarse no solamente en la materia viva, es solamente en la materia viva donde se encuentran simultáneamente y alcanzan su máximo grado de complejidad y expresión, (Fig. 1.).



Fig. 1 Los seres humanos, una de las formas más complejas de expresión de la materia viva.

Por otro lado, si aceptamos que la materia viva está sujeta a las leyes de la química y la física surge como posibilidad el poder construir un robot capaz de semejar materia viva. ¿Cuál sería entonces la diferencia? Es precisamente en este punto crucial donde se encuentra la respuesta: el origen histórico de la materia viva y del robot. La materia viva en su máxima expresión, que es el hombre, puede construir un robot pero no viceversa. Además del criterio histórico y evolutivo es conveniente agregar otras dos propiedades que pueden caracterizar no solamente la materia viva en la Tierra sino todas las formas de vida que pueden existir en el universo: "compacta

ción" y "economía de energéticos". Se necesita solamente comparar las monstruosas computadoras electrónicas cargadas de watts de energía con el infinitamente más sofisticado cerebro humano cargado con microwatts de energía para notar la economía con la cual operan los sistemas biológicos. La tremenda "compactación" de las células se logra al construir los componentes de la materia viva en una escala molecular en la cual el carbón es el esqueleto de las moléculas biológicas, el agua es el solvente de la maquinaria de la vida, los carbohidratos son rayos de sol atrapados por las células que al degradarse liberan su energía, en parte a los enlaces fosfato de alta energía que vienen a ser la moneda de las transacciones energéticas, las proteínas los catalizadores de las funciones vitales y los ácidos nucleicos los depositarios de la información que puede dar lugar a otra célula idéntica. Todo ello separado del medio ambiente y compartamentalizado por membranas con alto contenido de lípidos. Pero, ¿cuál fue el principio de todo esto?

ALGO DE HISTORIA

Para explicar el origen más remoto de la vida en la Tierra, es necesario ubicarnos en el contingente universal que nos rodea, y analizar lo que se sabe en la actualidad sobre el origen del universo, de la Vía Láctea, del sistema solar, de la Tierra y cómo continuaron evolucionando.

Origen y Evolución del Universo.

Revisaremos las hipótesis que existen al respecto. Todas ellas aceptan que por alguna razón siempre han estado presentes partículas de materia y energía, por ejemplo: neutrones primitivos; los cuales al chocar entre ellos, produje-

ron reacciones en cadena, de donde al cabo de miles de millones de años resultaron todos los elementos químicos y moléculas susceptibles de organizarse en diversas formas: estrellas, planetas, cometas, nubes interestelares, etc. Si bien, tal explicación no aclara la procedencia de los neutrones primitivos, sí es de suma importancia percibir la imagen de un universo cambiante, sobre todo si se piensa en las condiciones de temperatura y presión que existen en el espacio interestelar: 0°K y -20 atmósferas. Actualmente, gracias a las investigaciones realizadas en el campo de la cosmoquímica, ha sido detectada la presencia de moléculas sencillas en el espacio interestelar. Se trata de moléculas de un mismo o de varios elementos, en estado gaseoso, contenidas en conglomerados que dan el aspecto de nubes de tinta o bien semejan nubes de la atmósfera terrestre..



(Fig. 2).

Fig. 2 Una nube interestelar aparentemente rompe la continuidad de este conjunto de estrellas, (Nebulosa Orion)

Dichas moléculas simples, interestelares, se originan al combinarse los átomos de los elementos químicos que forman el espacio interestelar, en su mayoría gases H, He, N, O, Ne, para formar moléculas entre las cuales se han detectado las de H₂, N₂, CH₄, y lo que es más sorprendente aún, las de H₂O, HCHO, NH₃, HCN, etc.

Tabla I

ALGUNAS MOLECULAS ENCONTRADAS EN EL ESPACIO INTERESTELAR

Molécula	Año	Autores
H ₂	1970	Carruthers
¹⁶ O ¹⁸ O	1963	Winreb et al.
¹⁸ O ¹⁸ O	1966	Rogers and Barrett
SiO	1971	Wilson, Penzias, et al.
H ₂ O	1969	Cheung et al.
NH ₃	1968	Cheung et al.
CH	1937	Dunham
CN	1938	Adams
¹² C ¹⁸ O	1971	Penzias, Jefferts et al.
CS	1971	Penzias, Solomon et al.
H ¹³ C ¹⁴ N	1971	Snyder and Buhl
H ₂ ¹² C ¹⁶ O	1969	Snyder et al.
H ₂ CS	1971	Sinclair et al.

La presencia de estas moléculas simples en el espacio interestelar es un hallazgo de los últimos ocho años, que además de apoyar la hipótesis del origen del U verso a partir de reacciones en cadena iniciadas por el choque de neutrones o de cualquier partícula de materia o de energía, extiende los límites de la evolución química de la materia hacia dimensiones universales.

En este intento de conocer el origen del universo y percibir su continua evolución dentro de una dinámica mucho más rápida de la que se había supuesto tradicionalmente vemos que sigue siendo una gran incógnita el conocimiento de su origen más primitivo.

Origen de la Vía Láctea.

Ya con la idea de abundancia de materia en el universo, en forma de elementos y moléculas dispuestas en nubes, es posible postular un modelo para explicar el origen de nuestra galaxia. Este modelo ha sido propuesto por Cameron⁽²⁾, en él explica como sucedió el origen de la Vía Láctea, miles de millones de años antes de la formación de nuestro sistema solar. Antes de revisar el modelo de Cameron, es importante conocer ciertos datos sobre nuestra galaxia, por ejemplo:

10. La vía Láctea es una de las galaxias que en número de miles de millones existen en el universo (Fig.3).

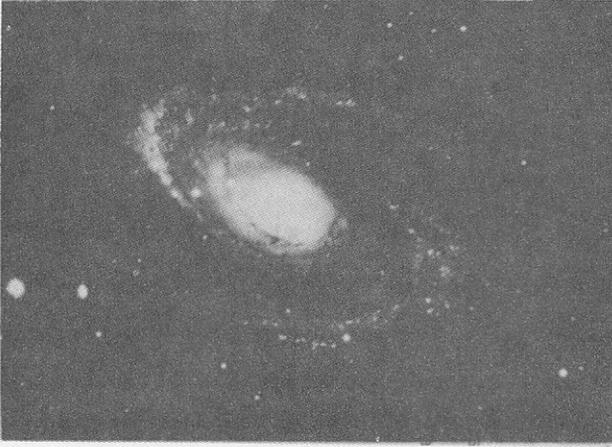


Fig. 3 Una galaxia típica.

20. Contiene alrededor de 100 mil millones de estrellas o soles, probablemente sistemas solares.
30. La separación característica entre las estrellas es de aproximadamente diez años luz, siendo un año luz igual a 60,000 unidades astronómicas y cada unidad astronómica equivale a la distancia entre el Sol y la Tierra, o sea 150 millones de Km.
40. La Vía Láctea es una galaxia cuya forma recuerda a un rehilete rotatorio, con una mayor densidad de estrellas en el centro, (Fig. 4).

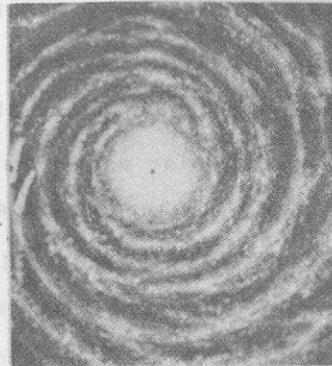
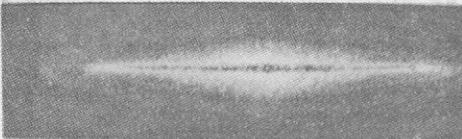


Fig. 4 Vía Láctea, vista esquemática.

50. Es posible observar en la Vía Láctea todos los estados por los que pasa una estrella, su formación, su madurez y su muerte, lo que proporciona información importante respecto al proceso evolutivo semejante, mediante el cual se formó el Sol y los Planetas.

Según Cameron, la Vía Láctea, al igual que otras Galaxias, se originó cuando el gas del espacio intergaláctico, en su mayoría hidrógeno con algo de helio, empezó a contraerse, se formaron regiones de densidad un poco mayor que el resto; nuestra galaxia comenzó a tomar forma, los densos cúmulos de gas se contrajeron más dentro de la proto galaxia, para formar una primera generación de estrellas. Cuando hubo suficientes estrellas en el plano central de la galaxia, alguna inestabilidad en el movimiento de estrellas y de gas permitió aumentos de densidad periféricos, ahora observables como los brazos espirales de la Vía Láctea. Fue en el tercio de uno de los brazos, donde surgió nuestro sistema solar.

Origen del Sistema Solar.

Para explicar el origen del sistema solar cualquier hipótesis que se proponga estará en relación con la hipótesis de la nebulosa solar primitiva propuesta hace 200 años. Las versiones actuales implican alguna modificación de la hipótesis original y difieren entre ellas principalmente en el tamaño de la nebulosa solar primitiva. Algunos consideran que la nebulosa solar primitiva tenía masa mínima, Cameron y su grupo han propuesto que ésta tenía un volumen muy grande. Un modelo muy reciente permite la convergencia de esas dos imágenes diferentes de la nebulosa. En éste modelo, una masa de material, cuyo tamaño era un poco mayor que el Sol, se congregó alrededor de un eje

rotatorio, se estableció una región central más densa que es el protosol, un halo de gas y polvo equivalente al 10% de la masa central, se extendió alrededor del protosol (Fig. 5.)

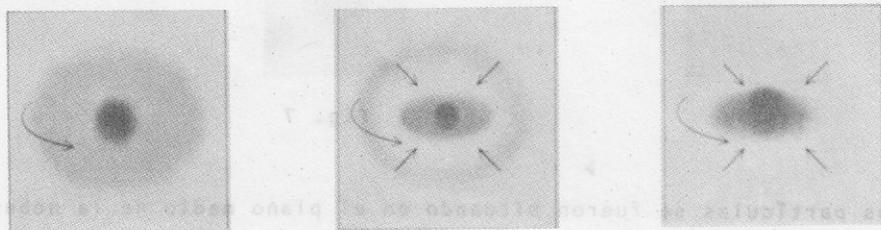


Fig. 5 Un modelo de la nebulosa solar primitiva

Si nos detenemos aquí, percibimos la imagen de la nebulosa con el protosol central y el halo periférico de gas y polvo, y los comparamos con el sistema solar actual, veremos dos grandes diferencias: el brillo del sol y la existencia de los planetas.

Nos referiremos en primer lugar a la formación de los planetas.

Según la hipótesis de Peter Seldreich del Instituto Tecnológico de California y William R. Word de la Universidad de Harvard, los planetas se originaron por la acumulación de partículas de polvo y gas situadas alrededor del protosol al chocar entre ellas formaron partículas más grandes, (Fig. 6).



Fig. 6

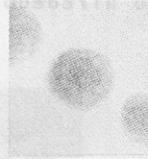


Fig. 7

Estas partículas se fueron situando en el plano medio de la nebulosa donde (Fig. 7) formaron un disco difuso. Al chocar unas partículas con otras y con materiales volátiles que se condensaron en sus superficies, continuaron creciendo hasta formar millones de cuerpos del tamaño de los asteroides (Fig. 8). Estos terrones de material acelerados por varias corrientes adquirieron movimientos relativos lo bastante grandes para empezar a chocar entre ellos (Fig. 9) conforme fueron chocando los asteroides se amalgamaban entre ellos (Fig. 10). Sus campos gravitacionales quedaron contrarestados, permitiendo que se fundieran en un núcleo sólido (protoplaneta) (Fig. 11).

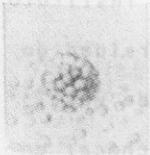


Fig. 8

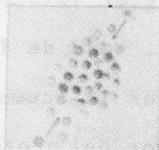


Fig. 9



Fig. 10

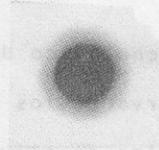


Fig. 11

Los materiales que se incorporan a los planetas fueron diferentes a lo largo del gradiente gaseoso de la nebulosa solar que rodeó al protosol, metales en forma de óxidos y silicatos en la región de los planetas internos, Mercurio, Venus, Tierra y Marte; en los siguientes planetas compuestos similares en cantidades específicas, más agua congelada en su periferia (Tabla II); algunos contienen además del núcleo central y el agua congelada, grandes cantidades de amoníaco y metano en las últimas capas, (Fig. 12).

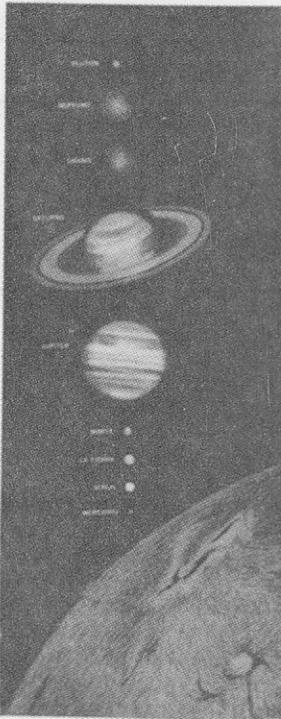


Fig. 12 Tamaños relativos del Sol y los planetas.

TABLA II

COMPONENTES PRINCIPALES DE LA ATMOSFERA
DE LOS PLANETAS DEL SISTEMA SOLAR
(Atmósfera, principales componentes)

MERCURIO	VENUS	TIERRA	MARTE	JUPITER	SATURNO	URANO	NEPTUNO
Ninguno	Dióxido de Carbono	Nitrógeno y Oxígeno	Dióxido de Carbono y Argón (?)	Hidrógeno y Helio	Hidrógeno y Helio	Hidrógeno Helio y Metano	Hidrógeno Helio y Metano

Una vez formados los planetas, gran parte de gas de la nebulosa solar no incorporado a los planetas o al Sol, debió haber permanecido en órbita alrededor del Sol junto con gran cantidad de polvo. Actualmente vemos solamente planetas y asteroides en órbita, muy poco polvo solar y casi no hay gas. ¿Cómo se limpió el sistema solar? es posible contestar gracias a las observaciones que se han hecho en otras estrellas recién formadas.

Existe acuerdo en que el Sol pasó por

varias fases durante su evolución hasta estrella de mediana magnitud como se encuentra ahora, cuya edad aproximada es de 5×10^9 años, en base a esto es posible suponer, una primera fase de contracción del gas hacia el centro de la nebulosa, una vez alcanzada una densidad suficiente, los núcleos de los átomos de hidrógeno empezaron a fundirse para formar helio. Esta reacción es la fuente principal de energía solar, cada vez sucedió en mayor escala, (reacción en cadena) hasta que el sol comenzó a brillar y a adquirir su forma actual, (Fig. 13)

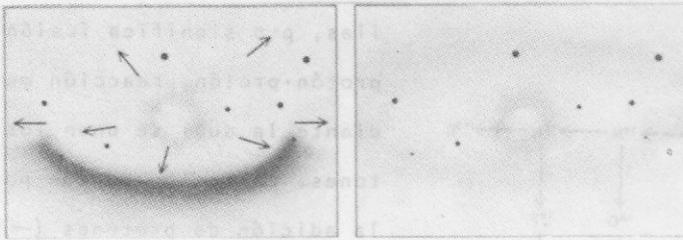


Fig. 13 Modelo que representa la formación del Sol y la dirección del viento solar.

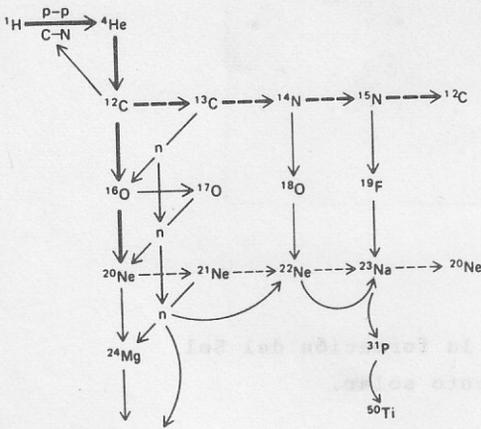
Durante esa fase estelar inicial el Sol perdió gran cantidad de materia, un viento solar muy intenso se sabe que sopla en las estrellas recién formadas, limpió el sistema solar de gas y polvo. Actualmente el viento solar persiste aunque en menor grado, las reacciones termonucleares también persisten, cada segundo 600,000 toneladas de hidrógeno se convierten en helio. Otros elementos como litio, boro, berilio, carbono y oxígeno

geno también se están formando en el Sol

El misterio que representaba conocer el origen de los elementos químicos que integran las células de una flor o de la palma de la mano proceden de las estrellas. La función de las estrellas es fabricar elementos químicos. (Fig. 14) mediante reacciones termonucleares pueden formarse todos los elementos a partir del hidrógeno, gas más abundante del universo aproximadamente 88% del total.

Figura 14

Síntesis de elementos químicos como sucede en las estrellas, p-p significa fusión protón-protón, reacción mediante la cual se unen los protones. La fusión sucede por la adición de protones (\rightarrow), núcleos de helio (\downarrow) o neutrones ($-n-$). Los procesos catalíticos como el ciclo carbono-nitrógeno y el neón sódio se indican por líneas punteadas.



En las estrellas el hidrógeno es el combustible a partir del cual se fabrican todos los demás elementos. Entre más pesados son los elementos que se fabrican en las estrellas, las reacciones termonucleares entre ellos serán más violentas, equivalentes al estallido de miles de millones de bombas atómicas, de manera que conducen a las estrellas a un estado inestable y terminan por explotar. Durante las explosiones estelares, la materia se siembra generosamente y violentamente en el universo

y es susceptible de organizarse nuevamente en estrellas, cometas, simplemente nubes de materia interestelar o planetas factibles de evolucionar a bioplanetas.

La temperatura que existe en nuestra estrella solar no es suficiente para la formación de elementos pesados, según cálculos realizados se trata de una estrella estable que seguirá proporcionando a la Tierra su luz y calor durante otros 5 mil millones de años.

Origen y Evolución del bioplaneta. Según los datos recientes, la Tierra tiene 4.6×10^9 años de haberse formado. Esta información puede obtenerse de tres distintas fuentes: el estudio de los meteoritos, el estudio de los isótopos de la corteza terrestre y las investigaciones realizadas en las rocas y suelo lunar, que han sido recogidas en las diferentes misiones (Apolo 12, 14 y 15) y cuyas edades por ejemplo se han determinado en 4.5×10^9 años para las rocas y 4.6×10^9 años para el suelo, al emplear esas tres fuentes de estudio para determinar la edad de la Tierra se está aceptando la idea muy apoyada de que el Sol, los planetas y los meteoritos se formaron del mismo "polvo cósmico" (nebulosa solar) y más o menos al mismo tiempo.

En relación con el método empleado para el estudio de las muestras se basa en la medida del decaimiento radiactivo de los isótopos contenidos en las muestras. La posibilidad de determinar la edad absoluta de una muestra dada de material, depende de un hecho extraordinariamente útil, la presencia de algunos isótopos inestables que sufren transformaciones en sus núcleos atómicos, las cuales son características y detectables como radiaciones de ahí el nombre de elemento radiactivo, los isótopos inestables acaban transformados en isótopos estables o bien en otros elementos químicos, por ejemplo:

dian te algunas ecuaciones basadas en el conocimiento de la vida media del isótopo original y la concentración exacta del nuevo elemento, por ejemplo, en el caso de ^{238}U cuya vida es 4.5×10^9 años, sabemos que al cabo de este tiempo la mitad de la cantidad original se transmutó a Pb que es un elemento estable, pero si solamente encontramos un 25% de Pb acumulado, se podrá calcular cuánto tiempo se necesita para que el ^{238}U se transformara a Pb.

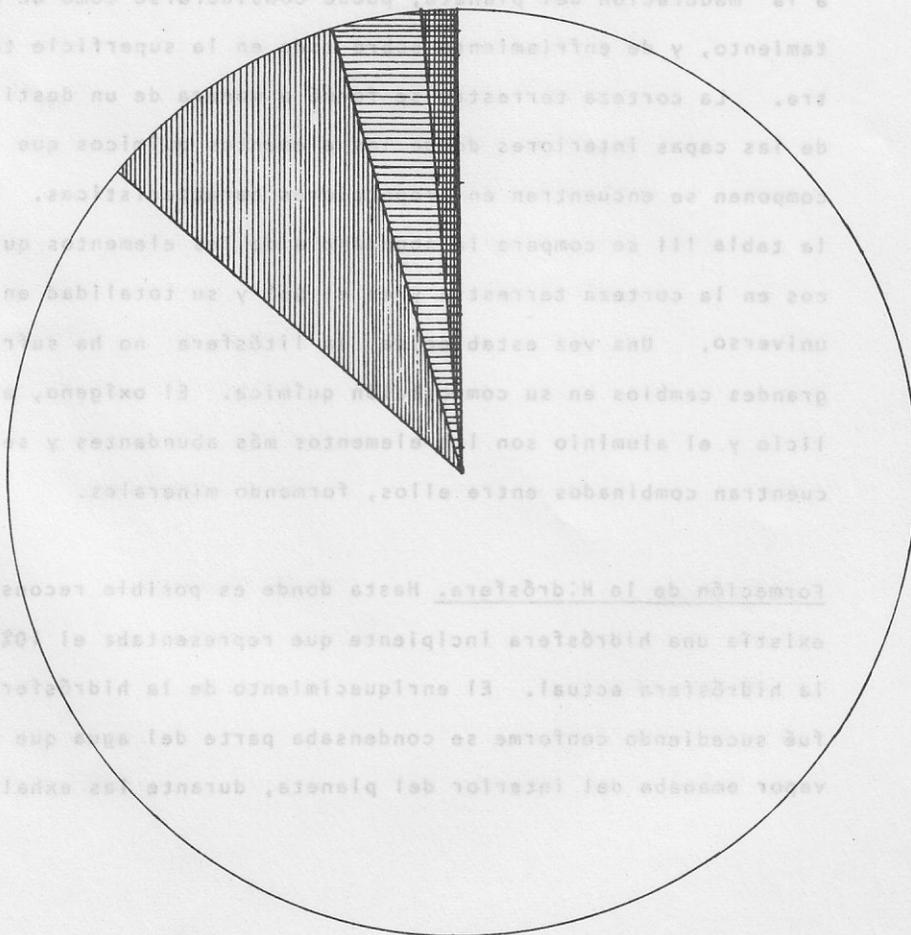
Organización de la materia en el planeta Tierra. Al quedar establecida la edad de la Tierra en 4.6×10^9 años es posible presentar el siguiente esquema(1) en el cual se aprecia la cronología de las eras geológicas sobre las cuales se origina la evolución orgánica, se verá que la era precámbrica que se inicia al formarse el planeta termina hace apenas 600 millones de años y tiene una duración aproximada de 3.9×10^9 lo que equivale al 85% del tiempo geológico. El período precámbrico no ha recibido mucha atención por parte de los geólogos como lo han tenido los períodos más tardíos, en parte por la ausencia de fósiles macroscópicos suficientes y en parte por la ausencia de petróleo en esos sedimentos, es decir, el incentivo comercial para gran parte del trabajo geológico no ocurre precisamente en formaciones precámbricas. Otra característica del precámbrico además de su duración, son la gran actividad volcánica que origina la formación de enormes montañas. Es posible encontrar registros fósiles de esa época en todas las masas continentales, sin embargo no se cuenta con ninguna idea de distribución del o los continentes; pero desde el punto de vista del origen de la vida es en el precámbrico donde ocurren los eventos más importantes y puede ser analizado en dos períodos subsecuentes; en el primero se formaron la litósfera, atmósfera y la hidrósfera y en un segundo período hubo un enriquecimiento molecular aprovechando la energía y la mate

ERAS GEOLOGICAS

(Duración en Millones de Años)

-  Precámbrico de 4,500 a 600 (3,900 - 86.6%)
-  Paleozóico de 600 a 225 (375 - 8.4%)
-  Mesozóico de 225 a 70 (155 - 3.5%)
-  Cenozóico de 70 a 0 (70 - 1.5%)

Formación de la Tierra



ria disponibles, (esquemas 1 y 2). La culminación de ambos períodos condujo a la creación de la biosfera primitiva, la cual muy pronto contó con ambientes sólido, líquido y gaseoso y su dotación molecular fué cada vez más abundante.

Formación de la Litosfera. Durante un primer período previo a la maduración del planeta, puede considerarse como de asentamiento, y de enfriamiento sobre todo en la superficie terrestre. La corteza terrestre se formó a manera de un destilado de las capas interiores donde los elementos químicos que la componen se encuentran en proporciones características. En la tabla III se compara la abundancia de los elementos químicos en la corteza terrestre y en el Sol y su totalidad en el universo. Una vez establecida la litósfera no ha sufrido grandes cambios en su composición química. El oxígeno, el silicio y el aluminio son los elementos más abundantes y se encuentran combinados entre ellos, formando minerales.

Formación de la Hidrósfera. Hasta donde es posible reconstruir, existía una hidrósfera incipiente que representaba el 10% de la hidrósfera actual. El enriquecimiento de la hidrósfera -- fué sucediendo conforme se condensaba parte del agua que como vapor emanaba del interior del planeta, durante las exhalacio-

TABLA III

ABUNDANCIAS QUIMICAS

DE CADA 100 ATOMOS QUE HAY EN:

el universo	la corteza terrestre	el agua de mar	el cuerpo humano
91	47	66	63
son de H	son de O	son de H	son de H
" He	" Si	" 0	" 0
9.1	28	33	25.5
" 0	" Al	0.33	" C
0.057	7.9	" Cl	9.5
" N	" Fe	" Na	" N
0.042	4.5	0.28	1.4
" C	" Ca	0.033	" Ca
0.021	3.5	" Mg	0.31
" Si	" Na	0.017	" P
0.003	2.5	" S	0.22
" Ne	" K	0.006	" Si
0.003	2.5	" Ca	0.03
" Mg	" Mg	" K	" K
0.002	2.2	0.006	" 0.06
" Fe	" Ti	" C	" S
0.002	0.46	0.0014	" 0.05
" S	" H	" Br	" Na
0.001	0.22	0.0005	0.03
" C	0.19	"	0.01
todos los demás	todos los demás	todos los demás	todos los demás
elementos 0.01	elementos 0.1	elementos 0.1	elementos 0.01

nes volcánicas, cuya frecuencia debió ser mayor antes que ahora. Otra fuente de enriquecimiento de la hidrósfera fué el surgimiento de manantiales sobre la superficie del planeta. Es posible que cerca del 90% de la hidrósfera actual se haya originado mediante exhalaciones volcánicas y manantiales. La composición elemental del agua de mar puede verse en la tabla III columna 3.

Formación de la Atmósfera. Hasta donde es posible deducir, la atmósfera original rica en hidrógeno que rodeaba al material sólido del protoplaneta, se perdió dispersándose en el espacio interestelar; la fuerza de gravedad adecuada para retener una atmósfera, se instaló conforme se fueron "agregando" los componentes sólidos y el planeta alcanzó la densidad que ahora tiene. Respecto a la formación de la atmósfera, considerada como secundaria por su origen, es adecuado suponer que se formó a partir de los gases que emanaban del interior de la Tierra, algunos de ellos fueron retenidos por la (creciente) gravedad del planeta y se acumularon dando origen a una atmósfera rudimentaria, la cual pasó por varias etapas de evolución de tal forma que su com-

posición química sufrió algunos cambios, desde ser una atmósfera "reductora", rica en H_2 y H_2S , amoníaco, metano, formaldehído, etc. hasta que hace 2×10^9 años aproximadamente, se estabilizó. En la composición de la atmósfera contemporánea participan el nitrógeno, el oxígeno, el argón, el agua y el CO_2 , sus distintas proporciones pueden observarse en la tabla IV.

TABLA IV
COMPOSICION QUIMICA DE LA ATMOSFERA TERRESTRE EN TRES PROBABLES PERIODOS

	Período I	Período II	Período III
Componente mayor	CH_4 H_2 (?)	N_2	N_2
Componente menor	H_2 (?) H_2O N_2 H_2S NH_3 Ar	H_2O CO_2 Ar	O_2 H_2O CO_2
Componente traza	He	Ne He CH_4 NH_3 (?) SO_2 (?) H_2S (?)	Ne He CH_4 Kr

Período I = hace de 4.5 a 4.0×10^9 años.

Período II = hace de 4.0 a 2.0×10^9 años.

Período III = hace de 2.0×10^9 años hasta ahora.

Esta tabla presenta un modelo evolutivo de la atmósfera en tres estadios diferentes. Fué tomada a manera de ejemplo (Kenyon, 1969) pero de ninguna manera, es algo aceptado definitivamente ya que la evolución de la atmósfera primitiva es uno de los temas que ofrece mayor controversia a los diferentes autores. Cabe comentar que el oxígeno está presente como ozono, gas que activamente baja la cantidad de radiación U.V. que llegan a la superficie terrestre seguramente en un principio cuando existía una atmósfera del tipo 1 ó 2 las radiaciones U.V. llegaban a la superficie del planeta en toda su intensidad, la importancia de este hecho será comentada más adelante.

A continuación se revisará "cómo" sucedió la evolución molecular en la Tierra primitiva, éste segundo período considerado de adecuación y caracterizado por la formación de los primeros monómeros.

Por un lado se ha venido mencionando la abundancia de materia prima en forma de elementos y moléculas simples, y sin embargo para que suceda la síntesis de un monómero por ej: glucosa no basta con suficientes átomos de carbono reducidos (CH_4) o bien oxidados (CO , CO_2) sino que es indispensable la presencia de alguna forma de energía que inicie y mantenga las uniones químicas entre los átomos de carbono.

En la tabla No. V se presentan las distintas fuentes de energía y las proporciones con las que cada una favorece la evolución prebiológica en la Tierra primitiva. Llama la atención la proporción enorme en la que intervienen las radiaciones solares.

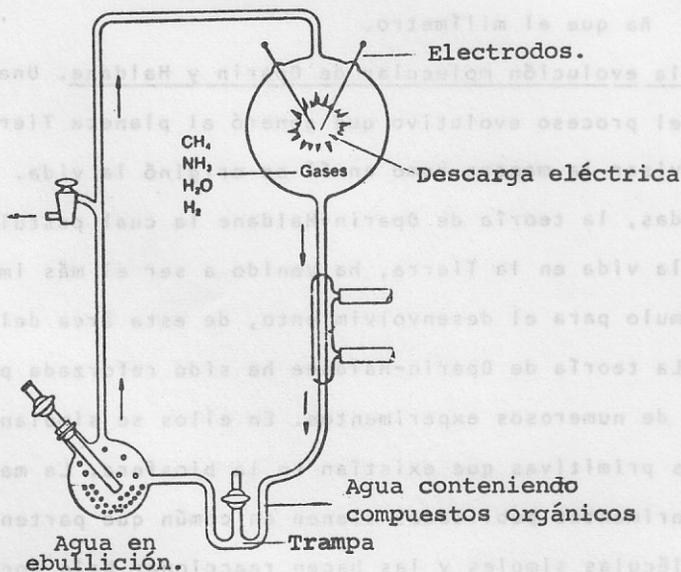
FUENTES DE ENERGIA LIBRE EN LA TIERRA CONTEMPORANEA

FUENTES	ENERGIA (cal. X cm ² X año)
Radiación total del Sol	260,000
Luz ultravioleta:	
2500 A *	570
2000 A	85
1500 A	3.5
Descargas eléctricas	4
Rayos cósmicos	0.0015
Radioactividad	0.8
Volcanes	0.13

* Angstrom. Unidad de longitud, 10 millones de veces más pequeña que el milímetro.

Teoría de la evolución molecular de Oparin y Haldane. Una vez delineado el proceso evolutivo que generó al planeta Tierra, habrá que revisar la manera como en él se originó la vida. Sin lugar a dudas, la teoría de Oparin-Haldane la cual postula el origen de la vida en la Tierra, ha venido a ser el más importante estímulo para el desenvolvimiento, de esta área del conocimiento. La teoría de Oparin-Haldane ha sido reforzada por los resultados de numerosos experimentos. En ellos se simulan las condiciones primitivas que existían en la biosfera. La mayoría de los experimentos publicados tienen en común que parten de mezclas de moléculas simples y las hacen reaccionar bajo condiciones de presión y temperaturas controladas, mimetizando las condiciones que se suponen prevalecían en la tierra primitiva.

La Formación de Monómeros. En condiciones abióticas, solamente se citarán dos mecanismos, uno de ellos el de Miller y Urey, (1953), esquema 3, en el cual una mezcla gaseosa de moléculas muy estables: metano, nitrógeno, agua, reciben una descarga de energía que pueden ser: eléctrica, radiaciones ultravioleta, ondas de choque como las producidas por impactos meteoríticos, partículas de alta energía, etc. Durante la aplicación de la energía las moléculas se disocian, surgen nuevos estados de ionización que se recombinan y producen una mezcla de compuestos "de novo" cuya estructura molecular es más elaborada.



ESQUEMA 3. Aparato empleado por Miller y Urey para sintetizar moléculas por vía abiótica.

Otro mecanismo llamado de Fischer-Tropsch o catalítico, emplea moléculas de CO y H₂ para formar hidrocarburos, resultan aminoácidos cuando está presente el amoníaco. Como catalizadores se usan silicatos, fierro y níquel. En la figura 15 se presenta esquemáticamente la síntesis hipotética de monómeros durante la evolución química prebiológica.

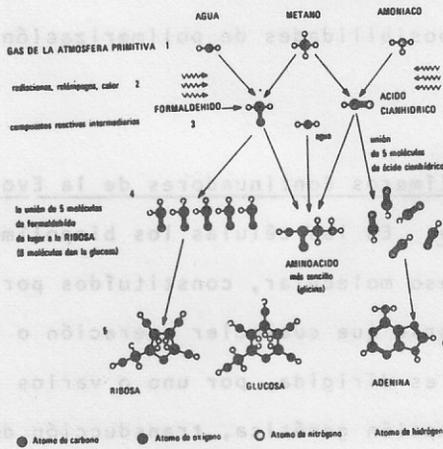


Figura 15. Síntesis hipotética de monómeros durante la evolución molecular prebiológica.

A los métodos descritos y otros no descritos aquí para sintetizar los monómeros fuera de las células se les conoce como mecanismos abióticos. Se puede postular como muy probable el hecho de que las moléculas primitivas se hayan producido a través de uno de esos mecanismos y hayan sido eliminados del medio de reacción y preservadas para que se les permitiera seguir evolucionando en la biósfera incipiente.

Los monómeros son sintetizados en las células, sin embargo su origen remoto en el proceso infinito de la evolución no es suficiente para explicar porque fueron seleccionados como aptos y aún permanecen entre nosotros, seguramente esa selección se basó además en su tamaño y en su forma, puesto que forman parte de ultraestructuras celulares las cuales en última instancia son arreglos moleculares específicos y funcionantes. En la siguiente panorámica abordaremos las posibilidades de polimerización de los monómeros.

Formación de los Polímeros Continuadores de la Evolución Química Prebiológica. En las células los biopolímeros son moléculas de alto peso molecular, constituidos por biomonómeros. Puede asegurarse que cualquier operación o función biológica, reside y es dirigida, por uno o varios de tales biopolímeros: información genética, transducción de energía, respuesta inmunológica, regulación enzimática, etc.

Los biopolímeros característicos de la célula se agrupan en proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos. En relación a lípidos celulares aunque desde el punto de vista químico no son polímeros, en la célula se presentan como conglomerados que recuerdan a las macromoléculas, debido a sus características de solubilidad los lípidos son rechazados del medio acuoso intracelular y tienden a unirse entre sí por uniones no covalentes dando la impresión de polímeros y funcionando como tales.

Los biopolímeros se forman en las células por caminos muy conocidos o por lo menos muy estudiados, no sucede así cuando se intenta conocer su síntesis abiótica, es decir, saber como se sintetizaron cuando aún no existían las células.

El estado actual de las investigaciones en este campo, demuestran sin lugar a dudas que es posible sintetizar péptidos, proteinoides, polinucleótidos, polímeros de monosacáridos, etc. fuera de las células. La reacción química que sucede en todos los casos es condensación por deshidratación, como su nombre indica ocurre pérdida de agua conforme se unen los monómeros.

Autores como Oparin, Miller, Urey, Fox, Oró, Calvin, Ponnamperuma, etc., han demostrado la posibilidad de sintetizar macromoléculas en sistemas abióticos experimentales. En tales sistemas se simulan las condiciones que existieron en nuestro planeta antes de que aparecieran las unidades biológicas y es posible obtener macromoléculas en algunos casos hasta con cierta morfología característica, dependiente de las condiciones en las que se hace la síntesis.

Si bien desde el punto de vista fisicoquímico no existió ninguna barrera insalvable para formar polímeros en condiciones prebiológicas, es difícil pensar del mismo modo al referirnos a la preservación de los polímeros una vez formados. Resulta paradójico que los polímeros pudieran no solamente persistir, sino acumularse, en vista de que tales moléculas abandonadas en el medio ambiente y por razones termodinámicas tienden más a hidrolizarse y ser monómeros que a mantenerse como polímeros. Esta incógnita representa una gran inquietud para los científicos, quienes buscan una manera de explicar como se conserva

ron las estructuras químicas que conforme a la teoría de la evolución química fueron cada vez más elaboradas y complejas.

Una explicación es que paralelamente a la mayor complejidad molecular aparecieron formas de aislamiento, es decir, membranas que protegieran a los recién formados polímeros, ese aislamiento parece responsabilidad de sustancias no miscibles con el agua (hidrofóbica) como los lípidos.

Sistemas moleculares. El siguiente paso experimental de la evolución química, es la formación de sistemas moleculares con capacidad catalítica y autoreplicadora. En su mayoría han sido hallazgos "ocasionales" en las experiencias que se emplean para la síntesis abiótica de polímeros, tales modelos no pueden ser considerados como sistemas celulares, a pesar de que simulan algunas de las funciones características de las células. Dentro de estos modelos pueden englobarse los sulfobios y coloides del mexicano Herrera, los coacervados de Oparin y las microesferas de Fox. Todos estos sistemas exhiben morfogenicidad propia.

El primero de estos sistemas utiliza tiocianato de amonio (NH_4SCN) y formaldehído (HCHO). Al disolver NH_4SCN en HCHO , este se esparce en capas finas y después de varias horas de incubación aparecen estructuras microscópicas activas que recuerdan células vivientes.

Además de semejar la forma de las células, estos compuestos exhiben movimiento interno, exclusión de vacuolas y translocación (Fig. 16). Este fenómeno particular se conoce como plasmogénia debido a la similitud de las estructuras microscópicas con el citoplasma celular, al tratar la mezcla de tiocianato disuelto en formaldehído con radiaciones ultravioletas au-

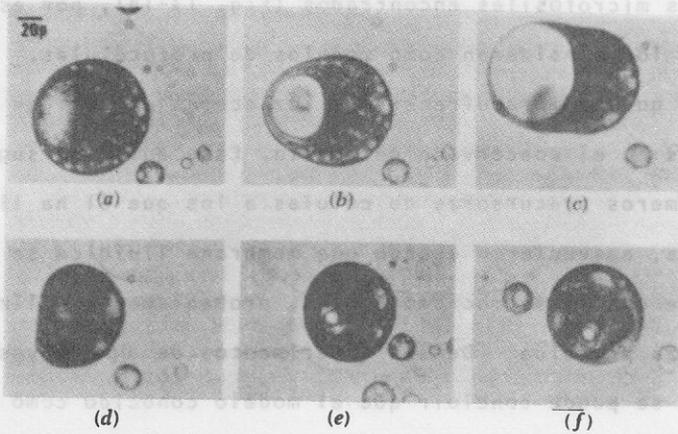


Figura 16. Secuencia de la exclusión de una vacuola de un sistema molecular organizado y formado a partir de formaldehído y tiocianato de amonio.

menta la cantidad de coloides como las llamó Herrera -- en 1924. El diámetro típico de las esferas es de 1 a 5 micras (μ) y alcanzan diámetros de 10 a 100 μ . Al incorporar zinc al interior de las esferas aparece actividad catalítica moderada. Las esférulas son capaces de concentrar colorantes del medio externo y las propiedades físicas y químicas de estas esférulas son semejantes a los microfósiles encontrados (Fig. 17-18), por eso algunos autores los consideran como modelos de protocélulas. Quizá otro modelo que pudiera ofrecer más luz acerca del origen de las protocélulas es el coacervado de Oparin. Este autor ha sugerido que los primeros precursores de células a los que él ha llamado protobiontes, aparecieron cuando una membrana lipídica se formó alrededor de una o más macromoléculas, probablemente polímeros de naturaleza proteica. De los experimentos de Oparin y sus observaciones se puede concluir que el modelo conocido como coacervado es un sistema muy probable de protocélula. Un aspecto muy atractivo de este modelo particular es que involucra partículas coloidales y agua, ambos fundamentales en cualquier ser vivo.

La coacervación se observa al mezclar dos soluciones coloidales de igual o diferente naturaleza química pero de carga contraria, ejemplo: gelatina y goma arábiga cada solución es uniforme, pero cuando las dos se mezclan aparecen cúmulos o precipitados que al alcanzar cierto tamaño se separan de la solución en forma de gotas. La formación de tales gotas se debe a la conjugación de las partículas coloidales por la mutua exclusión de moléculas de agua que los rodea. Al perder agua las partículas coloidales y formar una gota común, adquieren el aspecto de la micela esférica; claramente separada del solvente y de otros

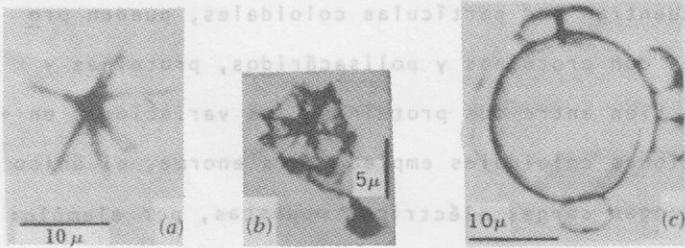


Figura 17. Estructuras fósiles que semejan bacterias, algas verde azules y esporas. Son conocidas como formaciones Gunflint.

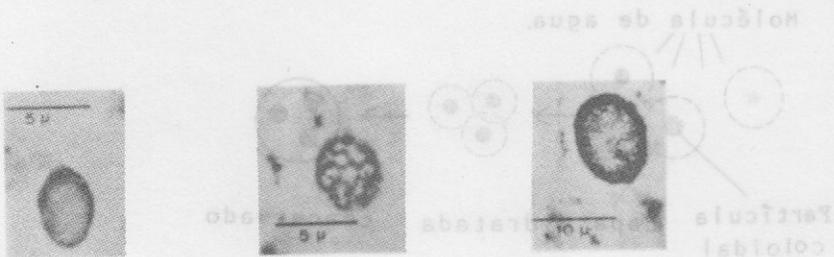


Figura 18. Formaciones orgánicas de arquitectura extraordinaria, pertenecen también a los restos fósiles de las formaciones Gunflint.

materiales. Esas micelas son conocidas como coacervados y en su interior se encuentran las partículas coloidales, pueden producirse coacervados con proteínas y polisacáridos, proteínas y ácidos nucleicos-o bien entre dos proteínas; las variaciones en cuanto a las soluciones coloidales empleadas es enorme, el único requisito es que tengan cargas eléctricas opuestas, por ejemplo: proteínas básicas más proteínas ácidas. Este fenómeno de la coacervación muestra características muy significativas que hasta hace poco se consideraban propias de la materia viva, por ejemplo: organización, desarrollo y crecimiento (Fig. 19).

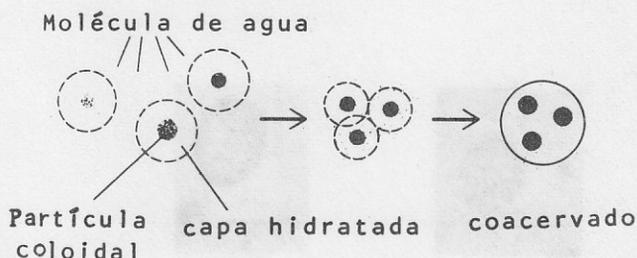


Figura 19. La formación de un coacervado.

La adquisición de características "propias" de la materia viva son por ejemplo: la formación de una especie de capa limitante que separa a la gota de coacervado del medio y que

funciona realmente a manera de membrana, proporciona un sistema localizado, en el cual las interacciones son posibles sin interferencia de compuestos químicos y reacciones del medio. Otro hecho sería el aumento en la concentración de compuestos químicos en un área limitada.

En un experimento típico, una solución de la proteína gelatina en proporción de una parte de proteína por 10,000 partes de agua, puede cambiar después de la coacervación de manera que 95% más de la proteína se concentra en las gotas de coacervado.

Un experimento que permite reconocer propiedades - que hasta ahora se consideraban propias de la materia viva es el reportado por Oparin sobre el "crecimiento del coacervado": Una gota de coacervado conteniendo en su seno la enzima que sintetiza almidón se sumerge en una solución que contiene glucosa 1-fosfato al penetrar esta última al coacervado se convierte en almidón con el crecimiento resultante del coacervado. Además es posible observar la descomposición del almidón en maltosa si en el coacervado existe la enzima que degrada al almidón, (Fig. 20).

Otro modelo para explicar la formación de una protocélula es el de proteína esferoide o microesferas propuesto por Fox y colaboradores. Cuando los aminoácidos comunes se calientan a la temperatura de ebullición del agua se forman pequeñas estructuras, con propiedades semejantes a las proteínas naturales. Además algunos proteinoideos hervidos en agua y después enfriados, -- adoptan estructuras esféricas por lo que se les ha llamado microesferas. Las microesferas con más trascendencia de todas las que se han sintetizado son aquellas en las que se han empleado 18 aminoácidos de los 20 que forman las proteínas naturales y en ellos

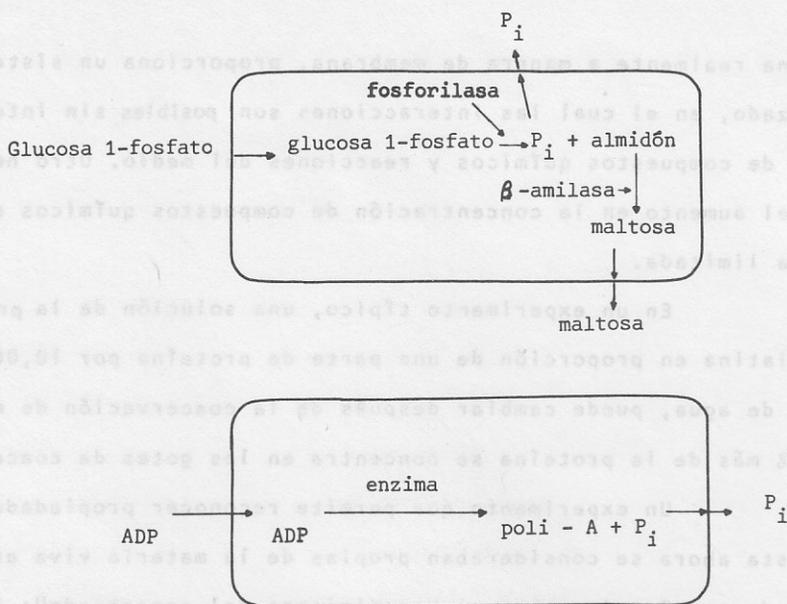


Fig. 20 Algunas de las reacciones catalíticas que suceden en los coacervados.

se encuentran las siguientes propiedades:

- 1o. Al ser centrifugadas a 3,000 revoluciones por minuto, mantienen su estructura.
- 2o. Al agregar sales, son capaces de cambiar su tamaño en respuesta a la concentración de sal en el medio (ósmosis).
- 3o. Se tiñen con el colorante Gram si predominan en su estructura aminoácidos básicos y son Gram negativos cuando en su composición abundan los aminoácidos ácidos. Esta propiedad guarda similitud con la superficie de las bacterias.
- 4o. Al fijarlas con ácido ósmico y observar cortes transversales en el microscópio electrónico se nota una estructura de doble capa, semejante a las membranas. (Fig. 21 y 22).
- 5o. Observaciones más detalladas indican que algunas microesferulas pueden dividirse en mitades. (Fig. 21).

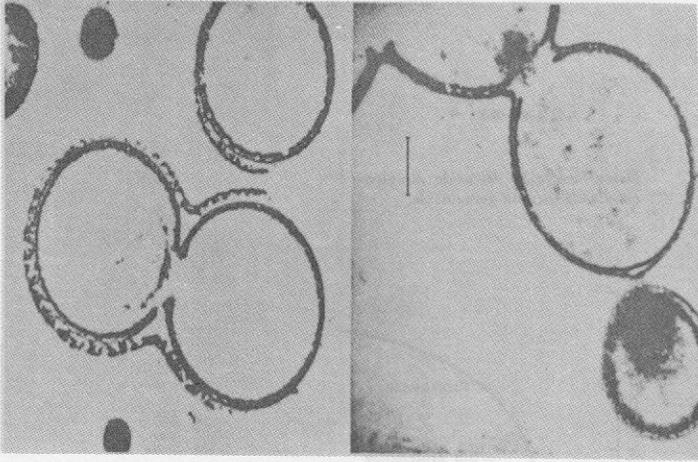


Figura 21. Fotografía en microscópio electrónico de un proteinoide. Presenta una doble membrana y sugiere divisiones por gemación.

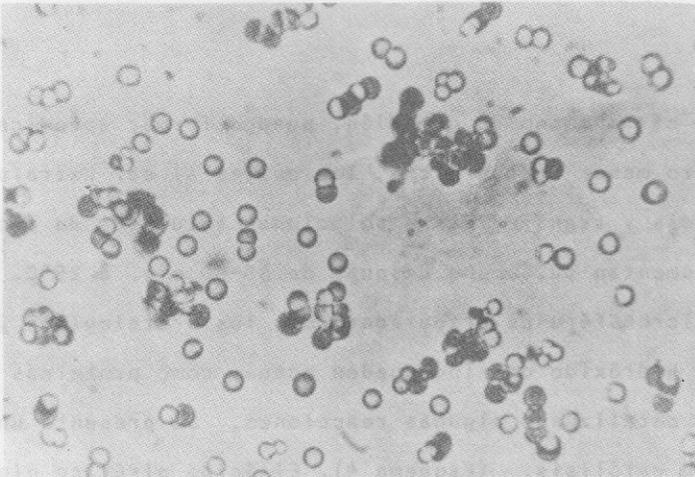
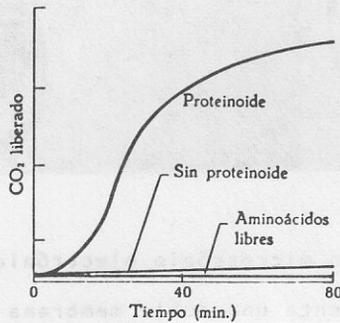


Figura 22. Microesferulas formadas cuando un polímero de aminoácidos se hierve en agua.

Esquema 4

Descarboxilación del ácido pirúvico catalizada por un proteinoide.



60. Presentan el fenómeno de gemación, pueden formar apéndices de diámetro menor de una micra, las cuales al ser extraídas, concentradas y transferidas a soluciones saturadas de proteínoides, aumentan su tamaño después de 30-90 min. a 25°C.
70. Ciertas microsferulas preparadas como los proteínoides junto con el hidróxido de zinc pueden actuar como proteínas enzimáticas catalizando algunas reacciones. Se presenta un ejemplo de catálisis. (Esquema 4). El ácido pirúvico pierde el CO₂ de su grupo carboxilo (descarboxilación) en una reacción catalizada por un proteinoide, mientras que al agregar aminoácidos libres no hay descarboxilación. Los proteínoides también pueden presentar actividad de ATPasa.

8o. Actividad hormonal. Se ha observado cierta acción hormonal de algunos proteínoides, simulando la actividad de la hormona estimulante de los melanocitos (MSH). Esta hormona regula la síntesis del pigmento melanina que interviene en la coloración de la piel y las mucosas.

Estas observaciones indican con claridad que las secuencias de los aminoácidos no suceden al azar sino más bien tienden a cierta organización espontánea, pero basada en el logro de formas más estables y sobre todo funcionales.

Se puede concluir que los sistemas moleculares presentan algunas de las propiedades que recuerdan a las de la materia viva, por ejemplo: es posible observar cierta organización, realizan reacciones químicas semejantes a las de las enzimas (catalisis), tienen capacidad de dividirse, etc. Sin embargo, en ningún caso se puede hablar de que los sistemas moleculares poseen vida. Para los estudiosos de la biología, un modelo de célula muy elemental o de proto-célula, debe contar con las propiedades que se presentan a continuación analizando la posibilidad de que hayan existido en los primeros organismos.

1o. Mecanismo de individualización mediante la creación de una estructura de membrana que se encargará de la regulación de su medio interno con relación al medio externo. En la composición de la membrana celular actual encontramos lípidos y proteínas conjugados en diversas proporciones de lo cual resulta una amplia gama de lipoproteínas. Se han ideado un gran número de modelos de membrana, en cuya composición participan por ejemplo fosfolípidos; formando

capas que tienden a cerrarse sobre sí mismas, originando vesículas. Suponiendo que vesículas de éste tipo llamadas liposomas se formaron en un principio, también es posible que englobaran los productos resultantes de la evolución química. En condiciones adecuadas probablemente existentes en la tierra prebiológica, algunos de esos agregados moleculares fueron funcionales y de ellos resultaron los primeros sistemas celulares.

- 2o. Captación de nutrientes, sustratos prefabricados al principio seguramente por vía abiótica, para ser utilizados como combustible en la producción de energía. En la actualidad las células cuentan con mecanismos perfeccionados de captación y almacenamiento de la energía, por ejemplo, la síntesis y utilización de moléculas de ATP, pero es claro que los primeros sistemas celulares obtenían su energía degradando los sustratos del medio por lo cual debieron ser heterotrofos y además anaeróbicos en vista de la existencia de una atmósfera reductora que duró aproximadamente 3×10^9 años. Los procesos bioquímicos utilizados en el metabolismo de esas primeras células habrían sido, por ejemplo la glucólisis anaeróbica o sea ruptura de moléculas sin utilización de oxígeno.
- 3o. Una tercera propiedad necesaria es la de contar con un sistema de codificación genética capaz de almacenar información, mutar, transferir y replicarse con cierto grado de precisión. Esta propiedad, cuya realización está a cargo de los ácidos nucleicos en las células actuales, y la vemos expresada en la biosíntesis de proteínas de la estructura celular general, en un principio pudo haberse efectuado de manera muy elemental,

aún es posible observar un proceso de condensación de aminoácidos como en el Bacillus brevis que no depende de codificación genética y puede sintetizar gramicidina "S" utilizando únicamente ATP y la información almacenada en las moléculas de aminoácidos y enzimas que intervienen en el proceso. Este mecanismo pudo preceder a la aparición del código genético y a la maquinaria de síntesis proteica presente en los seres vivos contemporáneos.

40. Una última propiedad presente en cualquier sistema celular por elemental que éste sea es la de reproducirse, es decir la de originar nuevas unidades semejantes a sí mismo. La expresión de esta propiedad en los organismos contemporáneos está a cargo de los ácidos nucleicos, estas son las moléculas capaces de llevar a cabo éstos procesos mediante dos mecanismos: su replicabilidad y su potencia de mutación.

Probablemente la formación de nuevas células en un principio se llevó a cabo por procesos semejantes a la bipartición y la gemación. Así como también por procesos de condensación de nuevas células dentro de la célula original.

Las características mencionadas para un modelo de célula muy elemental o protocélula están contenidos en organismos actuales como son las bacterias (procariotes), o en los micoplasmas, entidades que bien podrían considerarse como modelo del primer sistema celular. Es posible suponer que las primeras células que surgieron en la evolución biológica hayan sido semejantes a las bacterias procariotes actuales y muy probablemente anaeróbicas. Desde el punto de vista de su nutrición hayan sido heterotrofas (del griego, "hetero", otros y "trofos", uno que come), significa que necesitan moléculas orgánicas del medio ambien

te para poder subsistir. Un siguiente paso en la evolución celular sería el acoplamiento a otros sistemas de obtención de energía, como sería la de utilizar las pequeñas cantidades de oxígeno presentes en el medio, en los procesos de combustión enzimática de los sustratos disponibles. Así aparecerían las células heterotrofas aerobias que ampliarían el espectro de variabilidad celular y colonizarían ambientes que hasta ese momento no se hubieran utilizado. Probablemente en ese mismo paso evolutivo empezaron a incorporarse diferentes proteínas con diversidad de funciones y así se obtendrían cadenas enzimáticas como las que actualmente vemos en el Ciclo de Krebs, la síntesis de los ácidos grasos, etc.

Modelos de estos organismos han sido encontrados como restos fosilizados (Figs. 17 y 18).

Durante varios años continuó la evolución celular y los organismos sufrieron nuevas modificaciones; una de ellas consiste en la aparición de organismos autotrofos de fotofosforilación no cíclica determinando sistemas celulares fotosintéticos que utilizan como donadores de electrones a las moléculas del agua mediante la fotólisis dejando libre gran cantidad de oxígeno que enriqueció la atmósfera.

La atmósfera rica en oxígeno permite su acumulación en las partes altas de la misma, donde forma una pantalla de ozono, que funciona como filtro de las radiaciones ultravioletas, este filtro alcanzó su mayor eficiencia hace aproximadamente 1×10^9 años.

Las posibilidades de vida de los sistemas celulares aumenta al disminuir la radiación ultravioleta y sufren nuevas modificaciones integrándose lo que actualmente se conoce como eucariote. En la figura 23 se presenta la evolución química y biológica. Puede verse cómo la aparición de los eucariotes sucedió en una época muy reciente de acuerdo con el autor, (Lazcano, 1977)

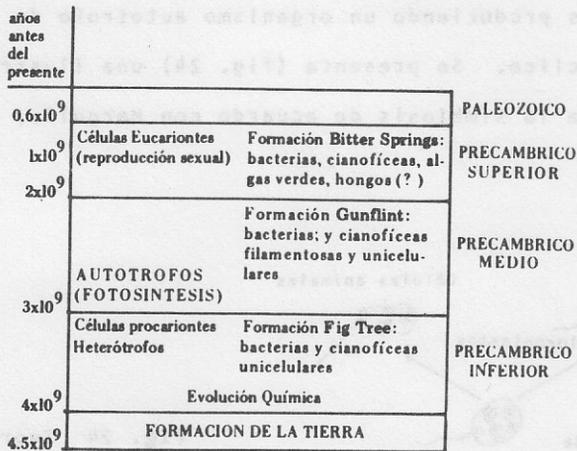


Fig. 23 La evolución química y biológica durante diferentes épocas geológicas.

La aparición de este nuevo nivel de complejidad celular se ha explicado mediante la aparición de mutaciones a partir de un ancestro común o bien por el establecimiento de mecanismos de simbiosis, esta última implica la presencia de los 3 modelos ya mencionados o sea heterótrofos anaeróbicos, aeróbicos y autótrofos de fosforilación no cíclica para que entraran en simbiosis, en una serie de 2 pasos.

10. Heterotrofo anaeróbico invadido por heterotrofo aeróbico, precursor de las mitocondrias y lo cual produce un organismo que posee en su interior un organoide que transforma energía de manera más eficiente lo que representa una ventaja adaptativa muy importante.
20. Este heterotrofo anaeróbico y aeróbico entra en simbiosis con autotrofos de fotofosforilación no cíclica precursor de los cloroplastos produciendo un organismo autotrofo de fotofosforilación cíclica. Se presenta (fig. 24) una ilustración de la teoría de la simbiosis de acuerdo con Margulis, 1971.

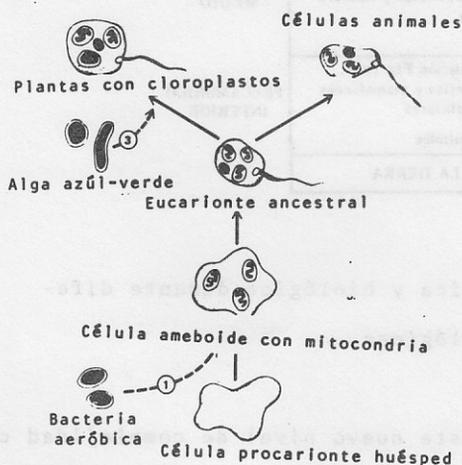


Fig. 24 Teoría de la simbiosis de acuerdo con Margulis.

Estos nuevos organismos en el medio determinan el establecimiento de un proceso de reciclización de la materia, al

quedar como productos iniciales de la fotofosforilación cíclica el bióxido de carbono (CO_2) y el agua, que son a su vez los productos de desecho de la respiración aeróbica, el cual funciona a base de carbohidratos que han sido formados a partir de productos de desecho. Así se origina una relación ecológica importante y se tiene los primeros niveles de un ecosistema.

Entre más se ahonda en la investigación de los mecanismos evolutivos, más se acepta la idea de que los procesos simbióticos deban ser considerados como los más trascendentes. En la actualidad se cuenta con varios ejemplos de simbiosis que pueden apoyar esta teoría, uno de los más conocidos es el polien dosimbiote (*Mixotricha paradoxa*, Fig. 25) que ilustraría la existencia quizá desde siempre de dicho mecanismo evolutivo.

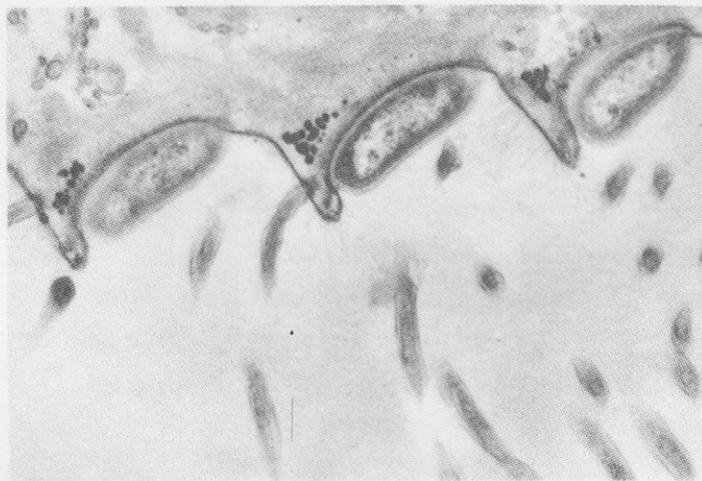


Fig. 25 Una simbiosis clásica de *Mixotricha paradoxa*. Pueden verse las bacterias que viven sobre la superficie del protozoario.

Hace 600 millones de años que aparece un siguiente escalón en la evolución celular, es cuando la capacidad de vida independiente se ve disminuída y se inicia la formación de comunidades pluricelulares, originando así una explosión demográfica de especies diferentes que amplifica aún más el espectro de variabilidad de los seres vivos.

Los siguientes pasos que marcaron la continuidad evolutiva en materia biológica no corresponden a la finalidad de este trabajo.

Fig. 15. Las etapas clásicas de Mikoyan y Parshin.
También véase las bacterias que viven sobre la
superficie del protoplasma.

B I B L I O G R A F I A

1. ANFINSEN, Ch. B. (1965) "Bases moleculares de la evolución", Ed. Eudeba, Buenos Aires.
2. AVERS, Ch. J. (1974) "Evolution", Harper and Row, Publishers, U. S. A.
3. CALVIN, M. (1969) "Chemical Evolution", Oxford University, Press. U. S. A.
4. CAMERON, A. G. W. (1975) Scientific American 233, No. 3, 32-50 Scientific American, Inc., New York, N.Y.
5. COLIN, A.R. (1971) "Secretos del Cosmos", Ed. Salvat, Mex.
6. CONSEJO Nacional para la Enseñanza de la Biología, (1973), Biología, Unidad, Diversidad y Continuidad de los Seres Vivos, Cía. Editorial Continental, S.A. Méx.
7. DICKERSON, E.R. e Irving. Y. (1969) "The Structure and action of proteins" Harper and Row, Publishers, New York-Evanston, London.
8. FOX, S.W. y Dose, K. (1972) "Molecular Evolution and the origin of life", W.H. Freeman and Co. San Francisco.
9. GOLDSBY, R.A. (1976) "Biology" Harper and Row, Publishers, New York-Evanston, London.
10. GROBSTEIN, C. (1965) "The Strategy of life" W.H. Freeman and Co. San Francisco.
11. KENYON, D.H. y Steinman, G. (1969) "Biochemical Predestination" Mc.Graw-Hill' Book Company, U. S. A.

12. LAZCANO, A. A. (1977), "El Origen de la Vida", Ed. Edicol, S. A. Méx.
13. LEHNINGER, A.L. (1975) "Biochemistry" 2nd. edition. Worth Publishers Inc. N. Y.
14. MARGULIS, L. (1971) Scientific American 225, No. 2, 47-48
Scientif American, Inc., New York, N.Y.
15. MILLER, S.L. y Orgel, L.E. (1974) "The Origines of Life on the Earth", Prentice-Hall, Inc. New Jersey.
16. OPARIN, A.I. (1938) "The origin of life" Dover Publications, Inc. New York.
17. ROSNAY, J. (1970) "Los origenes de la vida" Ed. Martínez Roca, S.A. Barcelona.
18. STRYER, L. (1975) "Biochemistry" W.H. Freeman and Co. San Francisco.
19. TEILHARD de Chardin P. (1971) "El fenómeno humano" Taurus Ediciones, Madrid.
20. XEROX College Publishing, (1973) "Biology, the behavioral view" Roderick, A. Suthers, Advisory Editor, Xerox College Publishing, U. S. A.