

El origen de la vida y la evolución celular hoy

Comentarios a los resúmenes de los Simposia llevados a cabo durante la Quinta Reunión de la Sociedad Internacional para el estudio del Origen de la Vida (ISSOL) y la Octava Conferencia sobre el Origen de la Vida

JESUS MANUEL LEON CAZARES*

Entre los días del 21 al 25 de Julio de 1986, se llevó a cabo en la Universidad de Berkeley en California, USA, la quinta reunión de la ISSOL. Como parte del evento se organizaron cuatro *simposia* cada uno dedicado a lo que podría calificarse como una de las preguntas de mayor actualidad sobre el tema: 1) ¿cómo eran las condiciones sobre la tierra primitiva?, 2) ¿qué es lo primitivo en Biología?, 3) ¿cómo se desarrollaron los sistemas bioenergéticos y de membranas en el medio prebiótico? y 4) ¿qué eran los primeros sistemas autoduplicables?

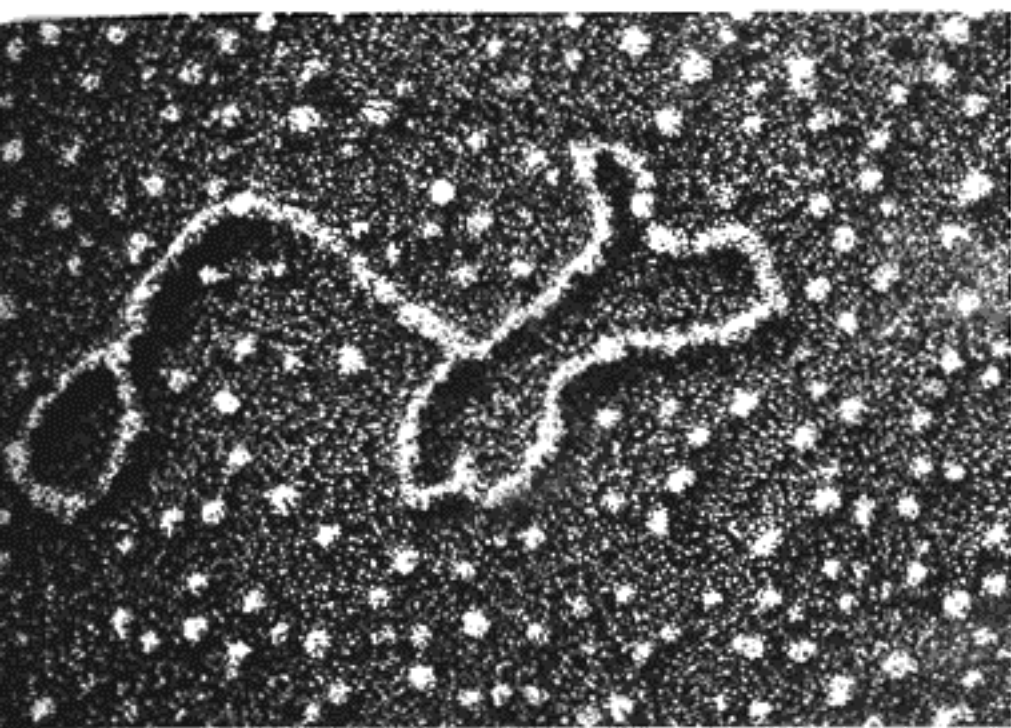
El resto del evento lo constituyeron las sesiones generales

* Instituto de Fisiología Celular y
Facultad de Ciencias de la UNAM.

en que se trataron los siguientes temas: 1) evolución prebiológica en ambientes extraterrestres, 2) modelos para el desarrollo de la estructura y función biológica — monómeros orgánicos, péptidos, ácidos nucleicos, código genético y quiralidad, 3) evolución biológica temprana según se infiere de los organismos contemporáneos, 4) el registro geológico de la evolución biológica y 5) la Exobiología y las misiones espaciales.

Los resúmenes de los trabajos que serán publicados próximamente en un número especial de la revista *Origins of Life*, incluyen las ponencias que se presentaron por invitación, los trabajos libres y los carteles, que en conjunto suman un total de 216 con la participación de 349 autores entre los que se pueden indentificar los siguientes que incluyen investigadores mexicanos:





son: 1) el mundo no es estático, evoluciona, 2) la evolución es un proceso de cambios graduales y continuos y 3) todos los organismos vivos evolucionan como resultado de la selección natural. En esta situación se favoreció la búsqueda de una explicación para el origen de la vida, que no requería de la intervención de lo sobrenatural o de los enfoques vitalistas.

En la década de 1860 los trabajos de Pasteur (1862), ponen fin, cuando al menos en Francia (Farley, 1977) a un debate de más de 300 años de duración al señalar que aún los organismos más primitivos, no pueden originarse espontáneamente a partir de la materia, que refuerza el aformismo de Virchow (1853) que propone que las células sólo pueden provenir de otras preexistentes —*omnis cellula a cellula*— lo que plantea el problema de cómo se pudieran originar células vivas sobre un planeta sin vida. En la actualidad se considera como la idea más aceptable que la vida es una característica general del universo —más bien la regla que la excepción— y que representa un estado en el proceso general de evolución de la materia.

Según las ideas de Oparin (1978) y Haldane (citado en Urey, 1959) la vida se originó por la transición de la materia hacia los niveles de complejidad que la caracterizan —es decir hacia la célula— mediante un largo proceso de transformación química bajo las condiciones especiales de la tierra primitiva, que originaron el sistema formado por: 1) las entidades polimoleculares heterogéneas discretas con separación de fases en que se produjeron las acciones coordinadas del metabolismo y por 2) el medio ambiente circundante con el que mantienen una interdependencia con base en una comunicación constante y recíproca que origina la característica de continuidad fisiológica postulada por Carrel en 1931.

Sin embargo y con base en los conocimientos de la genética, se ha intentado otra explicación para el origen de la vida, en términos de la estructuración del gene —a partir de la idea de Haldane del gene desnudo— con apoyo en que la duplicación y la mutación son características esenciales del fenómeno de la vida, lo que reduce el problema al origen de moléculas autoduplicables.

La controversia entre estos dos puntos de vista permanece pero el enfoque es positivo, pues según lo expresa Kamminga (1986) "...la historia del campo sugiere que es la interacción entre tradiciones diferentes la que ha conducido al enriquecimiento del problema del origen de la vida. Hemos recorrido un largo camino desde las primeras teorías de la abiogénesis evolutiva que establecieron la noción de la evolución química y podemos confiar que el proceso continuará con mayores desarrollos en nuestro entendimiento de los organismos vivos". Así con esa confianza en mente se procederá a comentar algunos de los desarrollos que se presentan en los resúmenes de los *simposia* de esta reunión.

1. ¿COMO ERAN LAS CONDICIONES SOBRE LA TIERRA PRIMITIVA?

Dentro del tema de este *simposium*, Sleep (1986) presenta un resumen con el título *Las condiciones físicas de la Tierra primitiva: sus implicaciones para el origen de la vida*, en el que propone que la historia del planeta puede dividirse en: 1) la parte más temprana de acreción, es decir, de crecimiento por agregación, 2) la parte final de la acreción que incluye la formación del núcleo y 3) el resto de la historia.

- Navarro-González, R., Negrón-Mendoza, A. y Ponnamparuma, C. Methane as a chemical dosimeter in prebiotic experiments. I-Electrical discharges, heat and shock waves (resumen 71).
- Negrón-Mendoza, A., Navarro-González, R. y Ponnamparuma, C. Influence of Na-montmorillonite in the gamma radiolysis of acetic acid. Implications in prebiotic synthesis (resumen 72).
- Negrón-Mendoza, A., Navarro-González, R. y Torres, J.L. Some aspects of the gamma radiolysis of aqueous solutions of urea in the context of chemical evolution (resumen 73).
- Baeza, I., Ibáñez, M., Lazcano, A., Santiago, J.C., Wong, C. y Oró, J. Liposomes with polirribonucleotides as models of precellular systems (resumen 111).
- Mosqueira, F.G. Some conceptual considerations of the polymerization of amino acids (resumen 190).
- Lazcano, A., Guerrero, R., Margulis, L. y Oró, J. RNA prior to DNA: The origin of archaean cells (resumen 195).

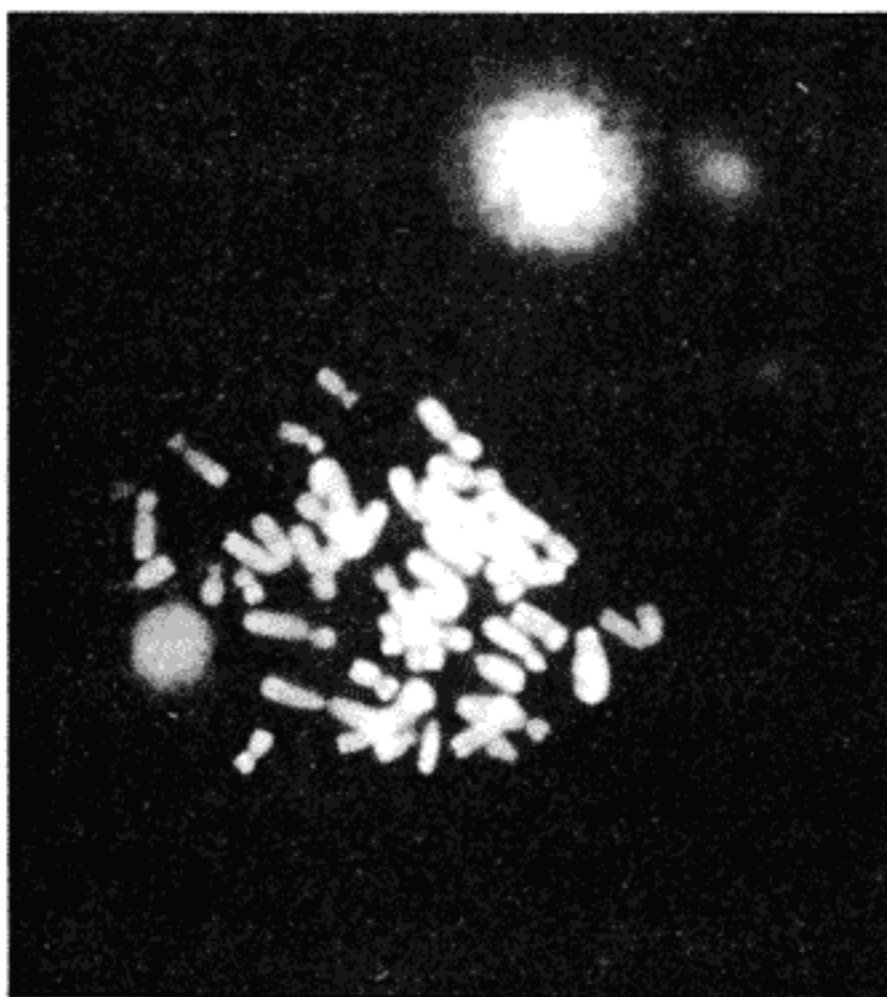
En general los resúmenes ofrecen una magnífica oportunidad para revisar cuál es el estado actual de los diversos enfoques conceptuales y experimentales sobre el tema y es precisamente lo que se pretende en el presente trabajo, con énfasis especial en los aspectos sobre el origen y la evolución celular que desde hace tiempo ha sido de interés para el que esto escribe (véase León-Cázares, 1978 y 1985).

De acuerdo con Kamminga (1986) el desarrollo conceptual en el campo del origen de la vida, se ha caracterizado por una interacción rica entre los supuestos filosóficos sobre la naturaleza de la vida, las interrogantes metodológicas acerca de las investigaciones y explicaciones del comportamiento de lo vivo y los desarrollos teóricos en la Biología. Se puede decir que esta interacción se inicia a partir de 1859 sobre la base de los trabajos de Darwin y Wallace acerca de la evolución, que introdujeron el enfoque histórico y erradicaron del pensamiento biológico el propósito, haciendo necesario postular un tipo de célula primordial a partir de la cual descendieron todas las formas vivientes.

Esta idea satisface el postulado del ancestro común, uno de los cuatro que según Mayr (1978) son los principales que se pueden extraer del trabajo de Darwin. Los tres restantes

El autor considera que la fase primaria de acreción es irrelevante para el origen de la vida debido a las condiciones extremas que se asocian con los estados finales de ese proceso. El núcleo de hierro del planeta se formó durante la etapa final de acreción y liberó suficiente energía gravitacional para fundir el interior de la Tierra. El impacto sobre el planeta de varios objetos del tamaño de la Luna o de Marte parece haber sido inevitable y seguramente rodearon a la Tierra con una cubierta de roca evaporada de decenas a cientos de kilómetros de espesor y no obstante que la superficie sólida se reestableció rápidamente, cualquier océano o atmósfera que existiera antes del último impacto masivo fue eliminado. Después del último impacto de este tipo el sistema Tierra-Luna tenía casi su tamaño actual y el flujo de energía debido a los impactos fue menor que el flujo de calor del presente, lo que permitió la persistencia de una superficie fría con océanos y atmósfera.

La tectónica interna y los mecanismos de desgasamiento de aquella época, fueron diferentes a los del resto de la historia del planeta. En particular la erupción hacia la superficie de



rocas totalmente fundidas fue un medio mucho más eficiente de perder calor, que los movimientos de las placas y el reingreso del material solidificado pudo enfriar el interior de manera eficiente. Una vez que se agotaron los últimos acúmulos de material muy caliente en el manto, la tectónica de placas se transformó en la manera dominante de transferencia de calor desde el interior de la Tierra. La temperatura interior al inicio de la tectónica de placas no necesariamente fue muy alta ya que el material frío totalmente solidificado enfrió el manto durante las primeras etapas de vulcanismo y fundición total.

Es probable que inmediatamente después del último impacto importante se originara rápidamente una atmósfera y un océano, pero sólo existen observaciones cuantitativas para gases radiogénicos raros y no para el CO₂ y el agua.

Como sucede en el presente, mediante procesos en competencia se tendió a desgasar los volátiles y a regresarlos al interior del planeta. La actividad volcánica y los procesos de metamorfismo liberaron gases y las alteraciones de temperaturas bajas, particularmente en las cordilleras submarinas del océano, regresaron los volátiles al interior.

No obstante que la velocidad de los procesos probablemente aumentó por las altas temperaturas del interior de la Tierra y quizá por las velocidades globales más grandes de la tectónica de placas, que hace 4,000 millones de años no necesariamente eran superiores a las actuales, no está claro si durante este tiempo se produjo una ganancia o pérdida neta de los volátiles cercanos a la superficie. El autor concluye que los elementos de la tectónica de placas —que no consideran a los continentes— que incluyen cordilleras submarinas con chimeneas hidrotérmicas, islas oceánicas y arcos de islas, probablemente existan desde muy temprano. La física del origen de los continentes está poco entendida y la mejor estimación del crecimiento de los mismos y de su reciclaje es producto de los datos geológicos.

Es así como Sleep describe la forma en que paulatinamente ocurrió la diferenciación del escenario en que más adelante se iniciaron los procesos que por fin dieron origen al nivel de complejidad característico de la vida, la célula.

En el resumen del segundo trabajo de este *simposium*, Veizer (1986) trata sobre **Las condiciones de la superficie en la Tierra primitiva: implicaciones para la vida** y continúa con el desarrollo del escenario propuesto por Sleep. Considera que las inferencias respecto del estado físico y químico del sistema hidrosfera-atmósfera y de la superficie sólida del planeta, pueden derivarse a partir de la extrapolación del registro geológico más primitivo para replantear los problemas y las condiciones limitantes relevantes para el establecimiento de la vida, su propagación y evolución.

El autor plantea que el paisaje de la Tierra hace aproximadamente 3,500 millones de años estaba controlado por una tectónica al estilo contemporáneo. Las consideraciones de las posibilidades de conservación de los diferentes dominios tectónicos, sugieren que el planeta primitivo debió estar dominado por elementos tectónicos relacionados con los océanos actuales. Los dominios continentales jugaron un papel secundario como consecuencia de dos fenómenos: 1) la reabsorción rápida de la corteza juvenil en el manto y 2) el desarrollo subordinado de los continentes.

La clasificación isotópica de los sedimentos de detritos indica que los dominios continentales grandes se desarrollaron sólo durante el Arqueano tardío y el Proterozoico temprano (3,900 a 2,600 y 2,600 a 600 millones de años respectivamente, dentro del Precámbrico). Por lo tanto desde el punto de vista físico, los elementos tectónicos dominantes pudieron haber sido las cordilleras submarinas, las islas como arcos y/o con volcanes distribuidos al azar y las planicies oceánicas. La velocidad de dispersión y/o vulcanismo o la densidad de cordilleras y volcanes, debió haber excedido la de las eras geológicas subsecuentes lo que produjo una mayor disipación del calor interno.

El escenario tectónico descrito sugiere que la química de los océanos primitivos fue controlada por la interacción del agua de mar con la corteza oceánica, con materiales volcánicos y con los sedimentos ubicuos de primer ciclo, generalmente vulcanogénicos. El aporte a los océanos pudo ser similar al de los manantiales térmicos de las cordilleras submarinas del

presente. Esta circulación hidrotérmica resultó en un gran flujo de poder reductor —hierro, manganeso y gases reducidos— en los océanos de aquellas épocas, que representa una extracción neta de los oxidantes ambientales, como el oxígeno libre y el sulfato.

Con el desarrollo de los continentes y la disminución de la disipación del calor interno, el flujo hidrotérmico del *manto* se subordinó a la descarga de los ríos, como control dominante del equilibrio dinámico isotópico y químico de los océanos de la época. Esta transición se observa en el registro de los sedimentos entre los 2,500 y los 600 millones de años antes del presente.

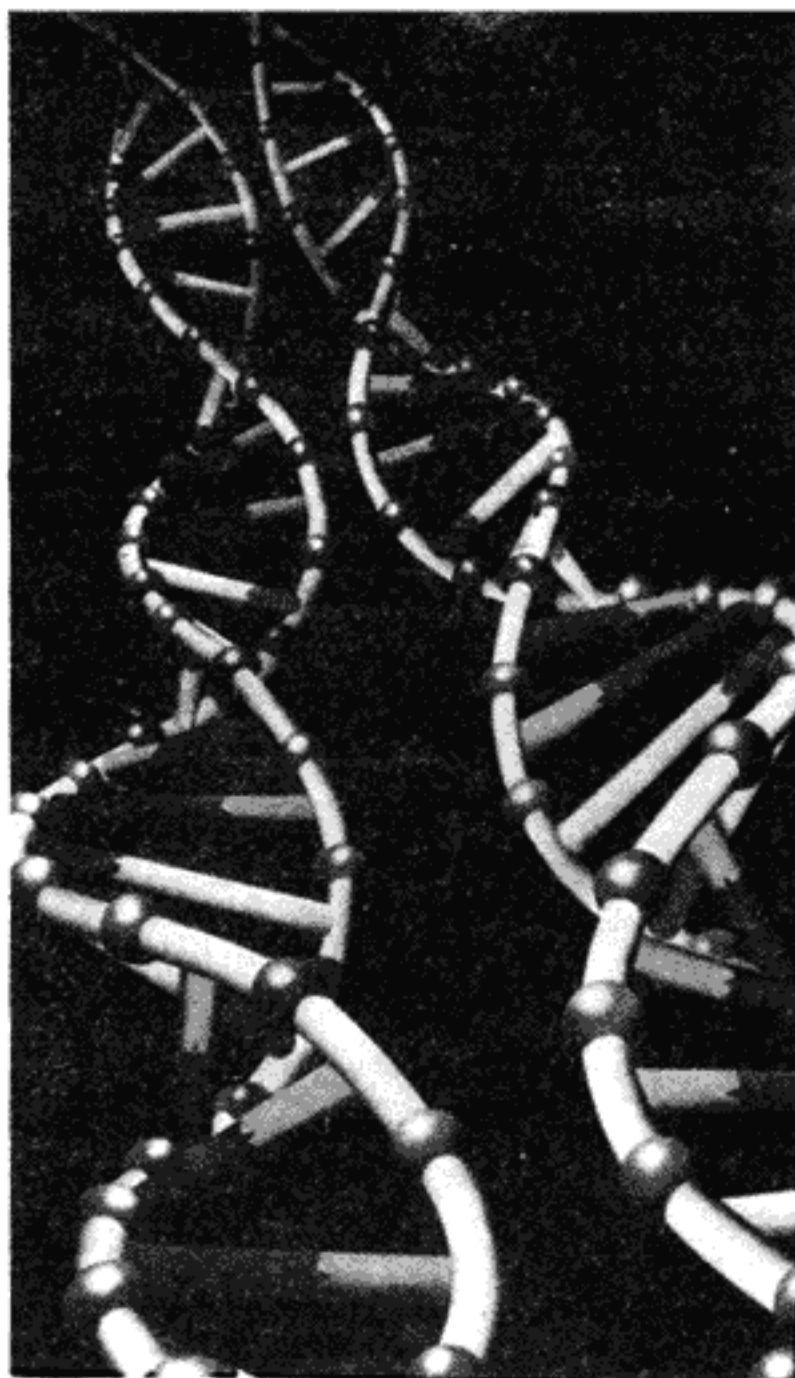
El registro isotópico del carbono de los carbonatos antiguos y el carbono orgánico, es compatible con la proposición de que el tamaño relativo de los depósitos del carbono oxidado y reducido, no ha cambiado a lo largo del intervalo que representa el registro geológico conservado. El tamaño total del depósito de carbono orgánico —y por lo tanto de la vida— pudo haber sido controlado por la velocidad de aporte de nutrientes a través de la erosión inducida por la tectónica; aunque también pudo representar un balance de oxidación/reducción cercano al equilibrio dinámico en un ciclo cortezamanto. La falta aparente de respuesta de la señal del carbono isotópico a la transición de los océanos dominados por el *manto* a los dominados por los *ríos* hace dudar de la proposición del aporte de nutrientes.

Los datos disponibles no excluyen la posibilidad de que la fotosíntesis oxigénica precediera al registro lítico conservado. De ser así, el aumento en el nivel de oxígeno atmosférico durante el curso de la historia geológica, puede representar una serie de innovaciones biológicas que dieron por resultado un incremento en la velocidad de la productividad primaria y el enterramiento de fracciones progresivamente más grandes de material orgánico. Otra interpretación propone como alternativa que el aumento en oxígeno puede ser el reflejo de la disminución en la velocidad del aporte de reductores en el balance dinámico entre el manto y la corteza.

Las temperaturas altas de más de 70° C que se han inferido para los océanos primitivos, se basan principalmente en el registro isotópico de las proporciones del oxígeno 18 sobre el oxígeno 16 en los sedimentos (bio)químicos antiguos. Tales temperaturas son difíciles de reconciliar con glaciaciones tan antiguas como las de hace 2,300 millones de años. Por otro lado el registro isotópico es compatible con las interpretaciones alternativas que se basan una vez más, en el balance dinámico manto/corteza.

Si la evolución continuó hacia formas de vida menos termofílicas, como pueden indicar los niveles más altos de temperatura que toleran los organismos primitivos, tal evolución pudo estar relacionada a la radiación en ambientes locales —como las chimeneas submarinas— más que a la adaptación que refleja el enfriamiento general de los océanos.

Como secuela a estos dos resúmenes que abarcan desde la formación del sistema Tierra-Luna, hasta la diferenciación de la corteza probablemente en la Pangea y la Pantalasa, en el último resumen de los trabajos de este *simposium*, Lowe (1986) trata sobre los primeros organismos del Arqueano y los paleoambientes. Se refiere a los sedimentos fosilíferos de las capas sedimentarias de cuarzo de los grupos Onverwacht y Fig Tree de Sudáfrica y del grupo Warrawoona de Australia, en los que se encuentran cinco tipos principales de restos orgánicos, probablemente de origen biológico con edades que



fluctúan entre los 3,500 y los 3,400 millones de años, clasificados como: 1) estromatolitos, 2) detritos de estromatolitos, 3) estromatolitos planos carbonáceos, 4) partículas de detritos carbonáceos y 5) microfósiles.

No obstante que como en el caso de Australia, en lo que se supone fue uno de los primeros hábitats de la vida (Groves, *et al.* 1981), sigue en duda el origen biológico de algunas formas de estromatolitos arqueanos primitivos y por lo tanto que las evidencias inequívocas más antiguas de la presencia de la vida se hayan conservado, en este resumen Lowe menciona que se han identificado dos formas principales, una representada por estromatolitos pequeños de relieve bajo y sin ramificaciones que pudieran haber crecido preferentemente sobre sustratos duros a lo largo de costas rocosas de energía entre moderada y baja y la otra representada por estromatolitos cónicos pequeños. El intervalo relativamente restringido de la morfología de los tapetes y los estromatolitos en estas secuencias del Arqueano temprano, así como la ausencia de formas de domo, ramificadas y columnares junto con la abundancia de tapetes planos simples en ambientes subacuáticos, contrasta con la inmensa diversidad de los estromatolitos del Arqueano tardío y el Proterozoico.

Se concluye que es probable que los materiales biogénicos del Arqueano temprano, representen la expresión funcional de una comunidad orgánica que estaba bien adaptada a vivir en las plataformas simáticas de hundimiento rápido y con actividad volcánica de la Tierra primitiva que evolucionó mucho antes del inicio del registro conservado. La estructuración de formas más diversificadas en el Arqueano tardío y el Proterozoico, coincide con la aparición de las plataformas

siáticas estables y con la dispersión de diferentes tipos característicos de condiciones ecológicas.

II. ¿QUE ES LO PRIMITIVO EN BIOLOGIA?

Durante el segundo *simposium*, Hartman (1986) presentó un trabajo con el título de *La lectura del registro metabólico*, de cuyo resumen se pueden señalar los siguientes aspectos importantes.

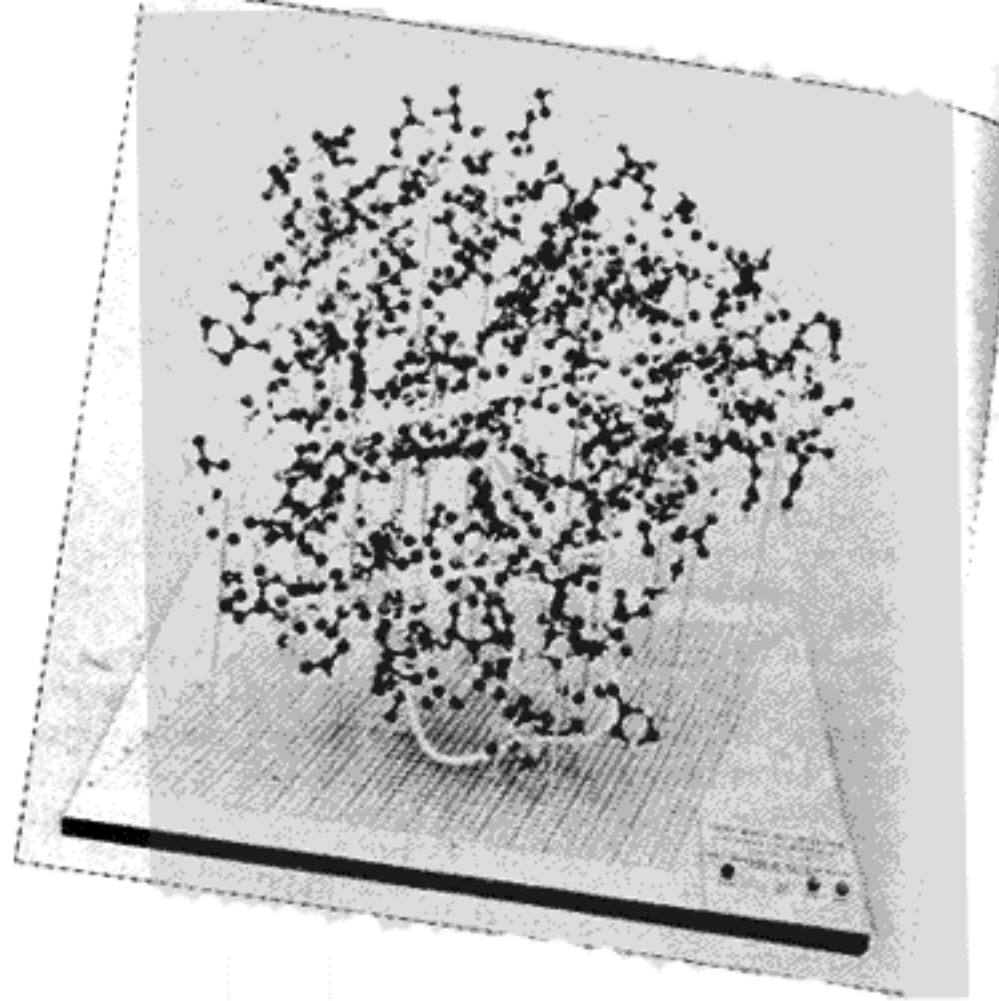
Con base en la consideración de que el origen de la vida es un problema histórico, se plantean las preguntas acerca de ¿cuáles eran las condiciones de la atmósfera, la hidrósfera y la litósfera en la Tierra prebiótica? y ¿cuáles fueron los eventos que condujeron hacia el sistema o sistemas capaces de duplicarse y variar? El autor propone que como lo hace cualquier historiador, se reúnan los siguientes registros o documentos y se trate de interpretarlos adecuadamente: 1) el registro del sistema solar primitivo, es decir las condritas carbonáceas, 2) el registro geológico, 3) el registro de microfósiles o micropaleontológico, y 4) el registro de las secuencias de nucleótidos y aminoácidos que se encuentran en los seres vivos.

En lo que respecta a la lectura del registro micropaleontológico propone que el resultado principal de su análisis es que los organismos fotosintéticos están presentes desde hace 3.500 millones de años, según se desprende de los estromatolitos de Australia occidental (Groves, *et al.*, 1981) y de las profundas ramificaciones en el árbol filogenético de las bacterias fotosintéticas anaerobias verdes-sulfurosas como *Chlorobium* y *Chloroflexus*.

Chlorobium fija CO_2 por medio del ciclo del ácido cítrico en reversa en que los electrones que reducen al CO_2 se extraen del ión sulfito. Estas observaciones permiten al autor hacer en principio tres conjeturas: 1) el ciclo del ácido cítrico es el centro primitivo a partir del que evolucionó el resto del metabolismo; 2) los sistemas de transporte de electrones que se encuentran en las membranas de las células que fotosintetizan o respiran, tienen registrados sus orígenes en las membranas de las bacterias verdes-sulfurosas y 3) la fijación de nitrógeno por las bacterias verdes-sulfurosas es también metabólicamente primitiva.

Con relación al resultado principal de la lectura del registro geológico, el autor concluye como ya otros lo han hecho (Cattermole y Moore, 1985) que las rocas más antiguas se encuentran en la región de Isua en Groenlandia con una edad de 3.824 millones de años y que contienen formaciones de hierro bandeado (FHB) (Cloud, 1983). Estas rocas han sido tan alteradas por el calor y la presión que no se pueden obtener las evidencias que generalmente se utilizan para demostrar la existencia de vida, como son las proporciones de los isótopos del carbono. Con estos hechos como base, el autor ofrece una conjetura más: 4) las FHB se deben a bacterias fotosintéticas que extrajeron electrones a partir del ión ferroso. Las rocas de Isua son evidencia de una atmósfera de CO_2 y N_2 , que junto con algo de vapor de agua, constituyó la atmósfera primitiva original.

Así la lectura de los registros, micropaleontológico y geológico, permiten suponer al autor el siguiente escenario: la atmósfera primitiva era de CO_2 , N_2 y vapor de agua. El primer agente reductor fue el ion ferroso, y en presencia de luz ultravioleta el CO_2 se fijó en ácidos orgánicos como el oxálico, oxaloacético y cítrico, seguidos por la entrada del ión sulfito a las reacciones metabólicas. Las coenzimas como el ácido lipoico y los núcleos



de la ferredoxina son evidencias de esa entrada. Los tioésteres fueron los compuestos energéticos principales. Después evolucionó la fijación de nitrógeno y finalmente el fosfato se incorporó al metabolismo.

En lo que se refiere al registro acerca de las condiciones del sistema solar primitivo, el autor considera a los meteoritos, especialmente a las condritas carbonáceas, como la evidencia que permite remontarse hasta los 4 500 millones de años. Propone que las condritas carbonáceas provienen del cinturón de asteroides que se localiza entre Marte y Júpiter. En estos meteoritos las arcillas ricas en hierro se asocian con ácidos di y tricarbónicos polares, lo que le permite proponer una última conjetura: 5) es el acoplamiento entre las arcillas ricas en hierro con capacidad de duplicación y los ácidos orgánicos hechos con CO_2 lo que evolucionó en el metabolismo que soporta la vida actual. Esta idea ha sido recientemente revisada por Cairn-Smith (1985) y se comentará sobre ella más adelante.

Al considerar todos estos elementos, la integración del escenario del origen de la vida se iniciaría con las fases tempranas del desgasamiento del planeta en que —de manera similar en como sucede en los manantiales térmicos actuales— el agua sería rica en iones ferrosos, magnesio, iones de silicatos y gases como el CO_2 , N_2 y H_2S , además de otros iones de metales en estado de transición. Después de que se hubieran precipitado los sulfitos, el exceso del ión ferroso, magnesio y silicatos formaría arcillas ricas en hierro. Estas arcillas autoduplicables fijarían el CO_2 por procesos fotoquímicos en ácidos orgánicos y gradualmente volverían a la región rica en sulfitos y adquirirían la fijación de N_2 en el proceso. Así el autor concluye: "... si el registro metabólico se lee apropiadamente, debe llevarnos hasta el origen de la vida".

Es indudable que el trabajo de Hartman (1986) será uno de los que habrá que leer con todo cuidado cuando se publique completo de la revista *Origins of Life*, pues promete ser una integración interesante de todos los elementos que conforman la cuestión del origen de la vida.

El segundo trabajo de este *simposium*: *El mapeo de la evolución celular temprana por medio de la estructura y las secuencias del ARN ribosomal*, Lake (1986) menciona que los análisis recientes de las secuencias de este polinucleótido, las propiedades moleculares fundamentales y la estructura del ribosoma

de organismos evolutivamente distintos han apoyado dos divisiones fundamentales en los árboles filogenéticos que relacionan a todos los organismos vivos, que son la de los eocitos —organismos termofílicos extremos con un metabolismo con base en azufre (Lake *et. al.*, 1984, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 81: 3786)— y los fotocitos (Lake *et. al.*, 1985, Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 82: 3716).

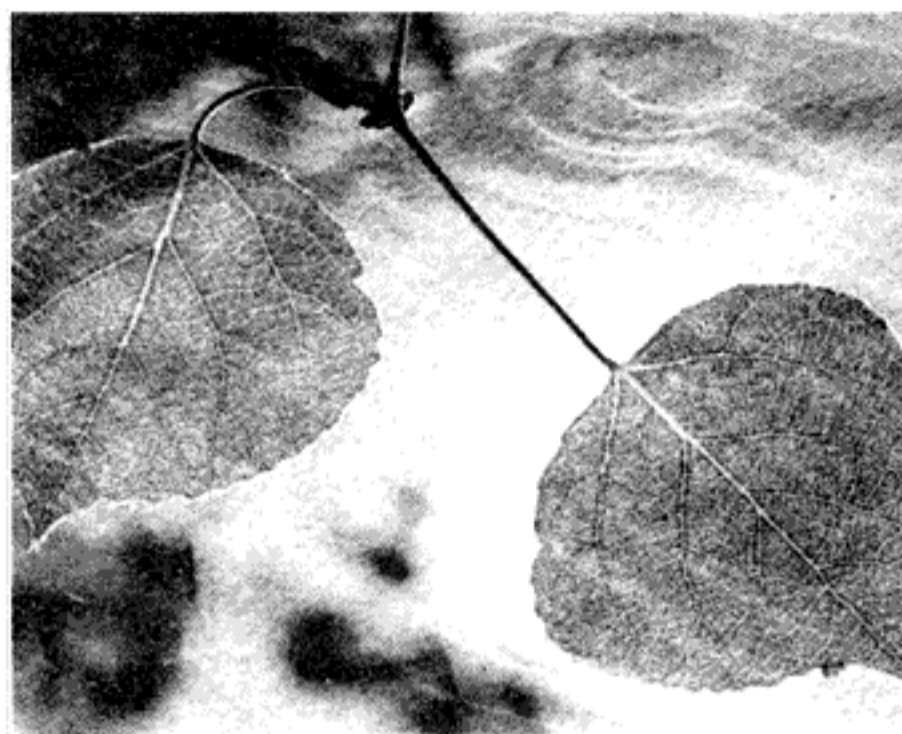
Según el autor estos árboles filogenéticos hacen dos conexiones evolutivas fuertes: 1) que los eucariontes son vecinos evolutivos más cercanos de los eocitos, lo que es congruente con las muchas propiedades de eucarionte que muestran éstos, entre las que se incluyen la similitud de los operones de los ribosomas que contrasta con el patrón común que se encuentra en las eubacterias, las metanógenas y las halobacterias y 2) las eubacterias y las halobacterias son vecinos evolutivos cercanos, los elementos de juicio que apoyan esta proposición —propiedades de las membranas, vías metabólicas y componentes bioenergéticos— justifican que se les incluya en el reino de los fotocitos.

El autor concluye con el argumento de que estas conexiones filogenéticas pueden revolucionar los conceptos sobre la evolución del metabolismo y el origen de los mecanismos y de las células actuales.

En el último trabajo de este *simposium* intitulado **Evolución de las vías metabólicas en protocariontes**, Jensen (1986) asegura que las vías metabólicas de este nivel de complejidad presentan mayor diversidad bioquímica de la que generalmente se aprecia. Para demostrar esto toma como ejemplo la vía de biosíntesis de aminoácidos aromáticos, de la que actualmente existe una base de datos amplia sobre tres superfamilias de bacterias Gram negativas. Agrega que está claro que las deducciones acerca de cómo evolucionó esa vía en las bacterias purpúreas se pueden extender sistemáticamente hasta incluir a los grupos principales de protocariontes.

III. ¿COMO SE DESARROLLARON LOS SISTEMAS BIOENERGETICOS Y DE BIOMEMBRANAS EN EL MEDIO PREBIOTICO?

En el resumen del primer trabajo de este *simposium* intitulado **La química de los protones y la biogénesis**, Morowitz (1986) propone que el estudio del origen de la vida puede hacerse a partir de organismos actuales, pasar por generalizaciones de la biología molecular y llegar hasta postular organismos primitivos y sistemas prebiológicos. Como una alternativa a este enfoque, propone que el estudio se puede iniciar con principios físicos y fisicoquímicos y postular una serie de procesos en el tiempo hasta llegar a las células primitivas. Según este autor,



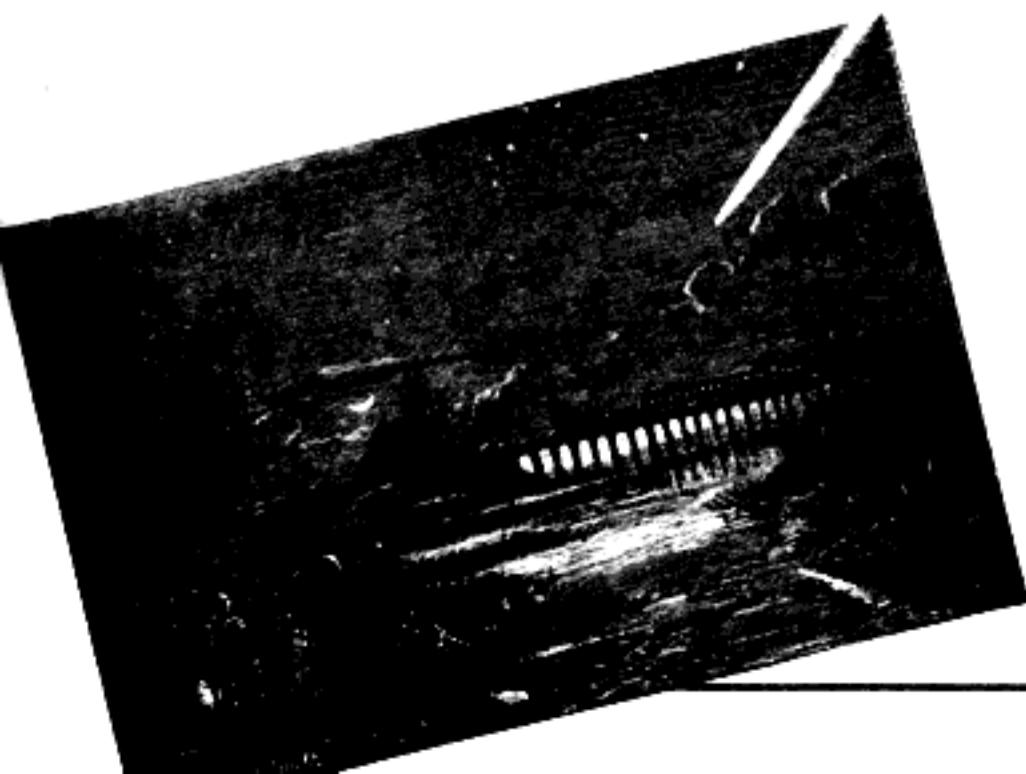
para que una teoría sea totalmente satisfactoria, los dos enfoques deben complementarse. Inherente a esta idea está el principio de continuidad, que en ausencia de evidencias contradictorias firmes, permite suponer que las características ubicuas de la biología contemporánea se derivaron en forma continua a partir de los estados previos en la biogénesis. Este principio estaría en contra de un cambio súbito en las fuentes de energía durante la evolución prebiótica.

Morowitz concluye que las biotas actuales tienen una característica común, el uso de reacciones de transferencia de fosfatos a lo largo de las vías principales y el almacenamiento intermedio de energía en la síntesis de polifosfatos a nivel de las membranas por medio de reacciones impulsadas por la diferencia transmembrana del potencial electroquímico de protones que aportan la energía para la síntesis de los polifosfatos.

En el resumen del segundo trabajo, **Las bombas iónicas y la evolución**, Maloney (1986) propone que el primer problema con el que se enfrentaron las células vivas fue la tendencia inevitable a la turgencia y la lisis debidas a la entrada pasiva necesaria de sal y agua extracelular, resultado de la compartimentalización de macromoléculas impermeables por medio de una membrana plasmática semipermeable. Las células actuales ejemplifican dos soluciones generales que se utilizan para contrarrestar este riesgo constante: la pared celular rígida que resiste la expansión y las bombas iónicas que compensan el influjo pasivo con el eflujo activo.

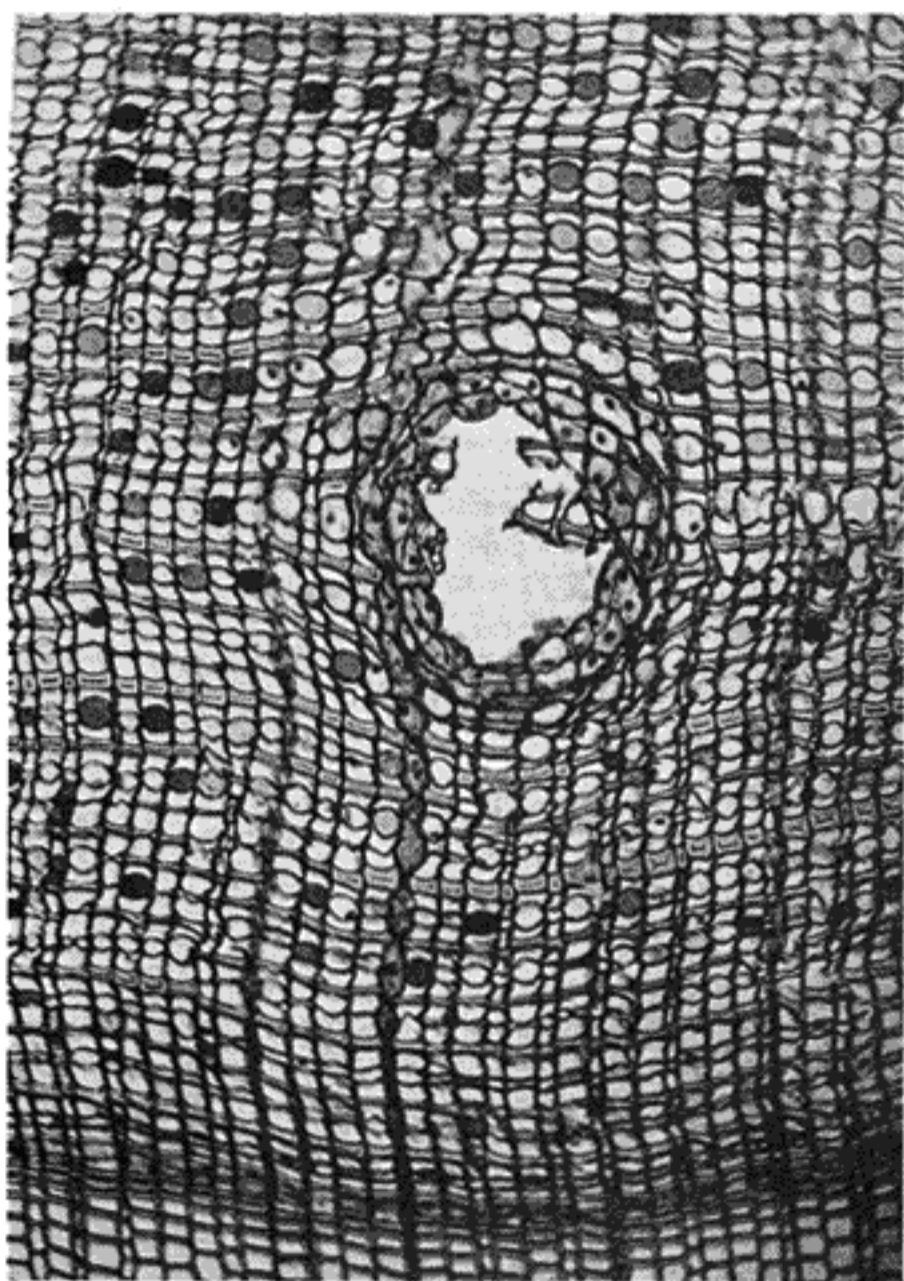
El autor propone que las bombas iónicas y los sistemas de transporte asociados a ellas reflejan la primera respuesta a esta circunstancia primitiva. Con base en esta suposición se puede construir una secuencia evolutiva que explica razonablemente la variedad de bombas iónicas que se encuentran actualmente. Este análisis sugiere que los eventos principales en la evolución celular dependen de manera importante del establecimiento y ruptura de asociaciones entre la biología de las membranas y las responsabilidades del metabolismo.

No obstante que las bacterias han resuelto el problema osmótico con una pared celular rígida, presentan propiedades bioquímicas más estrechamente relacionadas con las condiciones primitivas. Por esto el hecho de que la mayoría de las bacterias contienen bombas de protones, sugiere que éstas fueron de las primeras alternativas, si no es que las más tempranas, como sustratos para el transporte de iones. Según el autor, esto tiene sentido tanto por la disponibilidad de los protones como por-



que así pudo iniciarse el control del pH intracelular. Se supone que este transporte estuvo mediado por una ATPasa o PPasa o por alguna otra enzima hidrolítica que obtenía energía a partir de los procesos de fermentación para establecer en el interior un potencial de membrana negativo y un gradiente de pH alcalino. El potencial de membrana limitó la entrada neta de aniones, mientras que el influjo de cationes se contrarrestó por el intercambio —antiport— con protones.

La integración del transporte de iones resolvió el problema osmótico inmediato y sentó las bases de una revolución en el procesamiento metabólico, que en el siguiente paso hizo funcionar en reversa la bomba iónica, con lo que se inició la generación de ATP y PPi, etc. —respiración anaeróbica y aeróbica, fosforilación oxidativa y fotosintética— conforme se integraron otras bombas a la misma membrana.



Este autor concluye que tal acoplamiento quimiosmótico incrementó sustancialmente tanto la eficiencia con la que la energía se pudo extraer a partir de los sustratos de crecimiento, como la diversidad de hábitats que fue posible explotar efectivamente. Pero con el aumento en la eficiencia se originó una responsabilidad equivalente y el tráfico de iones se encadenó directamente a los procesos bioenergéticos. En este contexto, la endosimbiosis del huésped eucarionte primitivo con una proto-mitocondria, ofreció diversas ventajas que facilitaron el camino, hacia una segunda revolución. La endosimbiosis permitió la retención de una bioenergética efectiva liberada de la carga metabólica que requería de los gradientes iónicos a nivel de la membrana plasmática para satisfacer la demanda metabólica. Esta nueva facilidad permitió que el transporte en la membrana

plasmática se desviara hacia otros propósitos. El autor sugiere que esta liberación de la membrana de sus responsabilidades metabólicas fue un paso esencial hacia la organización multicelular de los eucariontes.

En el resumen del tercer trabajo de este *simposium*, Olson y Pierson (1986), escriben sobre El origen y la evolución de los centros de reacción (CR) fotosintéticos y propone que el CR prototipo debió haber usado a la protoporfirina IX asociada con péptidos pequeños para crear y mantener uno o más gradientes iónicos a través de la membrana celular primitiva. El proceso es tan primitivo como antiguo y pudo ser importante en impulsar la toma de nutrientes esenciales.

Para apoyar esta idea, describen una serie de experimentos en sistemas libres de células en que prueban diversas porfirinas en varias condiciones, que les permiten concluir que el precursor de todos los CR contemporáneos debió contener moléculas de clorofila *a* que hacía las veces tanto de donador primario como de aceptor inicial de electrones, además de una molécula con un potencial muy bajo parecida a una quinona y un centro Fe-S como aceptor secundario como en el CR de *Heliobacterium chlorum* (Brok, M., Vasmel, H., Horikx, J. T. G. y Hoff, A. J. 1986, FEBS Lett. 194: 322).

Los autores sugieren que este CR fue parte de una cadena de transporte de electrones unida a la membrana que contenía ferredoxina, una poza de quinona y citocromos. Probablemente este sistema de transporte de electrones funcionó al principio en procesos de fotoasimilación, pero hace aproximadamente 3,500 millones de años se adaptó fácilmente a la fijación de CO₂ por medio del H₂ y el H₂S (Olson, J. M. y Pierson, B. K. 1986, Photosyn. Res. 1º de abril).

A partir de este primer CR(1), entre los 3,500 y los 2,500 millones de años, evolucionó un segundo CR(2) como respuesta a la competencia por los reductores para la fijación de CO₂. Los organismos que contenían al CR2 en serie con el CR1, pudieron usar agentes reductores pobres como el ion ferroso hidratado en lugar del H₂ y el H₂S. En estas mismas fechas los organismos que contenían clorofila *a* tanto en el CR1 como en el CR2, adicionaron a este último una enzima que rompe el agua y pudieron usarla como donadora de electrones en la fotosíntesis autotrófica, en lugar del ion ferroso hidratado.

IV. ¿QUE ERAN LOS PRIMEROS SISTEMAS AUTODUPLICABLES?

Entre los resúmenes correspondientes al cuarto *simposium* Cairn-Smith y Braterman (1986), tratan sobre la búsqueda de genes cristalinos. En este resumen, que tiene como base el trabajo publicado recientemente por Cairn-Smith (1985), los autores proponen que los genes cristalinos son sistemas hipotéticos mínimos con capacidades de duplicación sujetos a evolución a través de la selección natural, de los que se han considerados cuatro tipos idealizados. Cada uno de ellos depende de la idea de que la información puede almacenarse en un cristal en forma de un defecto estructural en una o dos de sus dimensiones. Este defecto puede ser de tipo físico, por ejemplo un conjunto de planos *gemelos*, o bien de tipo químico con base en patrones de sustitución.

Para que se pueda llevar a cabo la duplicación, el defecto estructural debe ser extendido durante el crecimiento y a la vez debe conservarse a través de las fragmentaciones subsecuentes que sufra el cristal. Estos requisitos tienen implicaciones morfológicas, pues por ejemplo, los tipos de dos dimensiones deberán crecer sólo en aquella dimensión en que no esté contenida la

información y por lo tanto la fractura deberá ser a lo largo de esta dirección. Para que esto ocurra se esperarían cristales columnares y tubulares con una sección transversal constante y posiblemente compleja.

Los cristales de una dimensión tendrán dos dimensiones para crecer mediante la producción de placas extendidas o lajas de grosor constante con rompimientos ocasionales a través de ese grosor. La información en tales cristales estaría en forma de las secuencias más o menos irregulares del acomodo de las capas o las lajas. Los autores comentan que no obstante que estas propiedades —requisitos para los genes cristalinos— individualmente no son raras, debe existir una combinación apropiada de las mismas, y quizá el problema más complejo sería el inhibir o evitar que ocurran procesos inapropiados. ¿Cómo se pueden encontrar materiales génicos cristalinos y las condiciones bajo las cuales puedan operar?

Para responder a la pregunta: ¿cómo se pueden encontrar materiales génicos cristalinos y las condiciones bajo las cuales puedan operar?, los autores plantean que es posible: 1) sintetizar materiales génicos minerales cristalinos en el laboratorio y ver si se pueden hacer evolucionar por selección, o bien 2) buscar en la naturaleza cristales que muestren las características morfológicas apropiadas y que hubieran crecido en situaciones en que la selección natural haya empezado a operar sobre ellos.

Dentro de la primera posibilidad, son los minerales de arcilla los que llaman la atención pero son particularmente difíciles de sintetizar en formas bien cristalizadas. Con respecto a la segunda posibilidad parece que las arcillas podrían funcionar, y de hecho la kaolinita vermiforme y algunas illita-smectitas marinas parecen adecuadas para satisfacerla.

Por último los autores plantean que se debe preguntar no sólo ¿cómo empezaron —o empiezan— los procesos evolutivos en la naturaleza?, sino también ¿cómo se pueden iniciar tales procesos en el laboratorio con materiales génicos cristalinos de cualquier tipo que éstos sean? Para esto proponen que se deben considerar materiales inorgánicos minerales o de otra naturaleza, crecidos en condiciones totalmente artificiales o bien sistemas orgánicos y organico-inorgánicos donde se han diseñado moléculas complejas de tal manera que sus cristales tienen defectos estructurales y características de crecimiento y fragmentación apropiados.



En el resumen del segundo trabajo de este *simposium* intitulado **Modelos de duplicación**, Orgel (1986) menciona muy brevemente los siguientes puntos principales a tratar en la presentación: 1) el estado actual de los experimentos en los que se usan moldes de oligonucleótidos cortos para facilitar la síntesis de un oligómero complementario a partir de monómeros activados; 2) las dificultades principales que deberán resolverse antes de que la duplicación no-enzimática de los oligonucleótidos sea práctica; 3) la posibilidad de que se puedan usar ventajosamente análogos simples de nucleótidos potencialmente prebióticos en lugar de los nucleótidos y 4) la importancia de los ribosomas para el origen de la duplicación de los ácidos nucleicos.

Por la importancia del tema y la brevedad de su resumen, este autor aseguró o bien la asistencia a su presentación o en el caso de que esto no haya sido posible, la espera paciente de la versión extensa de su trabajo que, como ya se mencionó, será publicado próximamente. Sin lugar a dudas y si se consideran los antecedentes del autor, esta espera valdrá la pena.

En el resumen del último trabajo de este *simposium* Usher y Needels (1986), tratan sobre los modelos de traducción y proponen que cualquier modelo completo para la síntesis de péptidos dirigida por oligonucleótidos debe contestar dos preguntas principales: 1) ¿cómo puede un oligonucleótido ayudar a la formación del enlace peptídico? y 2) ¿cómo puede la secuencia de bases en un oligonucleótido especificar la secuencia de aminoácidos en un polipéptido?

Los autores reconocen que no obstante que algunas partes de los modelos publicados sugieren respuestas razonables, ninguna de las dos preguntas ha sido *resuelta*. El entendimiento de la primera puede ser un paso necesario para resolver la segunda, aunque en esto no todos están de acuerdo.

Se han encontrado correlaciones significativas entre algunas de las propiedades de los aminoácidos y las propiedades relacionadas de los nucleótidos que forman sus anticodones. La mayoría de las sugerencias de un sistema de traducción rudimentario emplea aminoácidos y oligonucleótidos, pero algunos investigadores empiezan a incluir lípidos en sus experimentos.

Los autores describen varias de las características de los experimentos que han realizado sobre las interacciones entre los aminoácidos y los oligo y polinucleótidos, con la intención de que esa información sea útil en el diseño de un modelo funcional de la traducción.

Según su punto de vista, la química prebiótica enfrenta un problema general: ¿cómo puede esperarse que haya ocurrido una reacción específica cuando probablemente existían muchos co-reactivos potenciales? En las condiciones actuales la pregunta se transforma en: ¿cómo se puede evitar el tener otras aminas u otros ésteres carboxílicos que al reaccionar con una cadena polipeptídica en crecimiento detenga éste prematuramente?

Por último los autores plantean la situación del problema del origen de la traducción al confrontarlo con los datos que demuestran que el ARN es mucho más versátil de lo que se suponía y concluyen que si el objeto es entender el origen de la célula contemporánea, en la que la traducción de la información de los ácidos nucleicos a las proteínas es un proceso central, es razonable investigar cómo pudieran haber sido las formas más primitivas de traducción.

Así con estos comentarios a los resúmenes que representan sólo el 5.5% del total de los trabajos que se presentaron en la reunión, se intenta mostrar un panorama general de la situación

actual como la definen los especialistas para los temas relacionados con el origen de la vida.

Mucho es lo que se ha avanzado en las posiciones filosóficas, en los planteamientos teóricos y en la búsqueda del apoyo en los datos experimentales que tratan de explicarle al recién llegado —con sólo unos tres millones de años de permanencia en el planeta— la historia de los procesos evolutivos que se iniciaron con la formación misma de la Tierra, hace aproximadamente 4 500 millones de años. Sin embargo, y no obstante que la mayoría de los modelos que se proponen para explicar el origen y la evolución celular parece que siguen funcionando como meras hipótesis de trabajo, los frutos del pensamiento y la acción de los dedicados a investigar sobre el tema, han cumplido con creces lo que se espera de la ciencia, es decir, no sólo el tratar de responder cabalmente a las preguntas originales sobre el asunto, sino plantear nuevas interrogantes que amplíen el horizonte y los objetivos de la empresa. ☺

BIBLIOGRAFIA

1. Cairn-Smith, A.G. 1985. The first organisms. *Sci. Amer.* 252(6):74-82 (Junio).
2. Cairn-Smith, A.G. y Braterman, P.S. 1986. Search for chiral genes. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 260-261.
3. Carrel, A. 1931. The new Cytology. *Science*, 72: 297-303.
4. Cattermole, P. y Moore, P. 1985. *The history of the earth.* Cambridge University Press, Cambridge, England.
5. Cloud, P. 1983. The biosphere. *Sci. Amer.* 249(3):132-143 (Septiembre).
6. Farley, J. 1977. *The spontaneous generation controversy.* The Johns Hopkins Univ. Press, Baltimore & London.
7. Groves, D.L., Dunlop, J.S.R. y Buick, R. 1981. An early habitat of life. *Sci. Amer.* 245(4):56-65 (Octubre).
8. Hartman, H. 1986. Reading the metabolism record. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 66-67.
9. Jensen, R. A. 1986. Evolution of biochemical pathways in prokaryotes. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 69-70.
10. Kamminga, H. 1986. Historical perspective: The problem of the origin of life in the context of developments in Biology. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 1-2.
11. Lake, J. A. 1986. Mapping the early evolution of cells with rRNA sequences and structure. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 68.
12. León-Cázares, J. M. 1978. Estudios sobre el origen y evolución de los sistemas celulares. *En: El origen de la vida, Symposium conmemorativo en homenaje a Alexander Ivanovich Oparin,* Lazcano-Araujo, A. y Barrera, A. (Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. p. 83-98.
13. León-Cázares, J. M. 1985. Origen y evolución celular. *En: Alvarez Llera, G., Saldaña de Delgadillo, Y., Jiménez Thomas, S., Hernández Tobias, A. y Escamilla Marván, J. E. (Eds.). Mensaje Bioquímico VIII: 31-63.* Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.
14. Lowe, D. R. 1986. Early archean organisms and paleoenvironments. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 7-8.
15. Maloney, P. C. 1986. Evolution and ion pumps. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 181-182.
16. Mayr, E. 1978. Evolution. *Sci. Amer.* 239 (3): 46-55 (Septiembre).
17. Morowitz, H. J. 1986. Proton chemistry and biogenesis. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 180.
18. Olson, J. M. y Pierson, B. K. 1986. Origin and evolution of photosynthetic reaction centers. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 105-106.
19. Oparin, A. I. 1978. Sobre el origen de las primeras formas de vida. *En: El origen de la vida, Symposium conmemorativo en homenaje a Alexander Ivanovich Oparin.* Lazcano-Araujo, A. y Barrera, E. (Eds.). Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F. p. 137-144.
20. Orgel, L. E. 1986. Replication models. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 151.
21. Pasteur, L. 1862. Memoir on the organized corpuscles which exist in the atmosphere. Examination of the doctrine of spontaneous generation. *En: Great experiments in Biology,* Gabriel, M.L. y Fogel, S. (Eds.) 1955. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, N. J. USA. p. 110-118.
22. Sleep, N. 1986. Physical conditions in early earth: implications for the origin of life. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 3-4.
23. Urey, H. C. 1959. Primitive planetary atmospheres and the origin of life. *En: The origin of life on the earth.* Clark, F. Sygne, R. L. M. (Eds.). Pergamon Press, New York, USA. p. 16-22.
24. Usher, D.A. y Needels, M.C. 1986. Translational models. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 263-264.
25. Veizer, J. 1986. Surficial conditions on the early earth: implications for life. *En: The fifth ISSOL meeting and the eighth international conference The origin of life.* Abstracts: 5-6.
26. Virchow, R. 1853. Cellular pathology. *En: Disease, life and man.* Selected essays by Rudolf Virchow, Rather, L. J. (traductor) 1958. Stanford, University Press, Stanford, Ca. USA. p. 71-101.

