

## LA EVOLUCION QUIMICA Y EL SURGIMIENTO DE LA VIDA SOBRE LA TIERRA

Silvio E. Dioses Castro\*

### INTRODUCCION

Desde que el ser humano se hizo presente en el drama de la vida, constante fue su interés por desentrañar los misterios que la naturaleza le presentaba. La manera cómo surgió la vida sobre la tierra constituye una de las interrogantes fundamentales a las cuales intentamos dar solución.

A pesar de que sabemos que el origen de la vida es un problema químico, básicamente de síntesis orgánica, debemos reconocer que aún no sabemos cómo ésta se formó [1].

Lamentablemente no contamos con la evidencia geológica que nos permita describir los eventos que tuvieron lugar para la aparición de la vida, sin embargo contamos con evidencias experimentales [1] y estudios radioastronómicos [2] que nos hacen suponer que ésta se formó en nuestro planeta.

Debemos reconocer que aún no tenemos una hipótesis plausible, detallada y completa sobre la manera como surgió la vida en la tierra [1], pero gracias a los avances logrados en Biología, Bioquímica y Geoquímica estamos en condiciones de formular la interrogante de una manera más lógica [3].

---

\* Grupo de Investigación en Ciencias del Espacio (GICE). Departamento de Ciencias de la Pontificia Universidad Católica del Perú. Apartado 1761, Lima 100 - Perú.

Es conveniente indicar que cualquier hipótesis o teoría que trate de explicar cómo la vida surgió sobre la tierra tendrá que ser evaluada utilizando un criterio diferente a los comúnmente empleados en los diversos trabajos científicos, ya que de lo que se trata es de reconstruir un proceso histórico [1].

Los eventos que se postulan en dicha teoría deberán ser coherentes con todos los datos aceptados geológica y astronómicamente, que cada paso sea factible en detalle y que sea posible de realizarse en el laboratorio [1].

El propósito del presente artículo es mostrar, de una manera breve, cuál es el estado actual en el que nos encontramos frente al problema del surgimiento de la vida sobre la tierra.

### SOBRE LA DEFINICION DE VIDA

Antes de dar inicio al desarrollo del presente artículo, sería muy conveniente tratar de establecer lo que entendemos por vida para poder hablar de su surgimiento sobre la tierra.

La vida más que una definición es una indefinición, es decir que cuando nos referimos a ella sólo podemos dar atributos o características que la hacen diferente de los seres que no la poseen, pero en sí misma, la vida no puede ser definida.

Según Norman Horowitz del Instituto Tecnológico de California [4], las características que nos permiten identificar a un ser vivo están basadas, en última instancia, en la capacidad para la autoduplicación, mutación y catálisis de la materia viva y es a partir de estos atributos que se derivan todas las otras propiedades que la caracterizan. En otras palabras, los seres vivos son sistemas que se reproducen, mutan, reproducen sus mutaciones y manifiestan su actividad catalítica dando lugar, a través de procesos de selección natural, a otros sistemas vivientes los cuales están mejor adaptados al medio ambiente y poseen una mayor complejidad, lo que les permite poder sobrevivir [3].

### LA HIPOTESIS DE LA PANSPERMIA

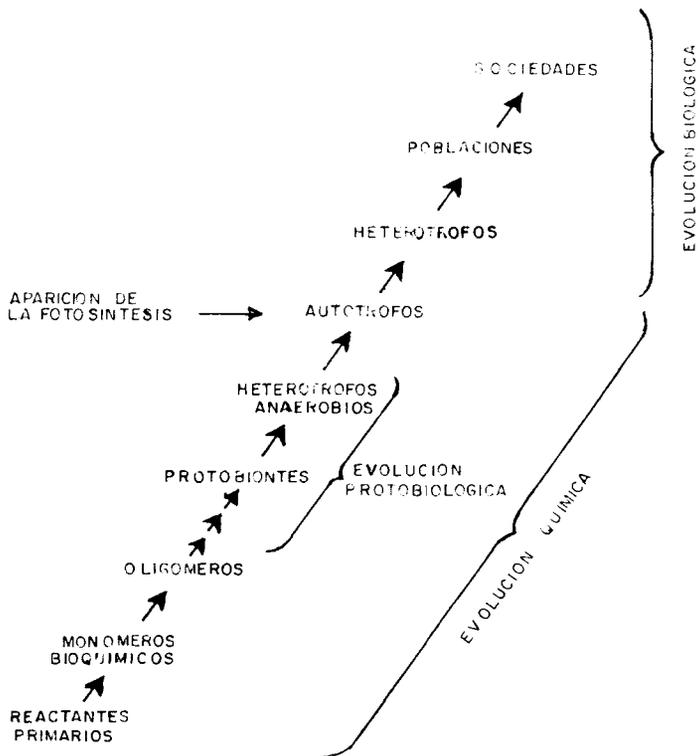
En un intento de dar explicación al surgimiento de la vida en nuestro planeta, Svante Arrhenius en 1907 dio a conocer su hipótesis sobre la llamada "Panspermia"; en ella él establecía que la vida en la tierra no surgió de la materia no viviente, sino que fue traída de otros sistemas en forma de esporas

de microorganismos y que al llegar al planeta encontraron las condiciones favorables para revivir y dar origen a la vida.

En la actualidad esta hipótesis ha sido dejada de lado ya que se han presentado serias objeciones tales como la imposibilidad de que cualquier forma de vida pueda sobrevivir, en su viaje a través del espacio, a la intensa radiación (v. g. rayos cósmicos y luz ultravioleta) proveniente de las estrellas y a la ionización y calentamiento del gas interplanetario [5]. Por otro lado, esta hipótesis no soluciona el problema ya que sólo lo traslada a otros ambientes y eventos cósmicos los cuales desconocemos por completo [3].

## EVOLUCION QUIMICA

La hipótesis de la Evolución Química tal como la bautizó Melvin Calvin [6] es, desde el punto de vista científico, una respuesta más razonable que explicaría la formación de la vida sobre nuestro planeta. Esta hipótesis le da continuidad a la teoría de la Evolución Biológica y se basa en que los sistemas vivientes, presentes en la actualidad, pudieron haber tenido un origen abiótico. Se postula que debido a las condiciones ambientales prevalecientes sobre la tierra primitiva, los monómeros y polímeros biológicos fueron sintetizados a partir de moléculas simples como consecuencia de la interacción con varias fuentes de energía y superficies catalíticas. La reunión de macromoléculas prebiológicas con propiedades catalíticas e informacionales culminó con la formación del organismo viviente. Este evento marcó el comienzo de la evolución biológica. La evolución química y biológica continuaron simultáneamente hasta el advenimiento del oxígeno en la atmósfera terrestre y fue aquí donde probablemente cesó la evolución química y fue reemplazada completamente por la evolución biológica (Esquema 1) [7]. Esta hipótesis está basada sólidamente en la química orgánica y en el conocimiento bioquímico que tenemos hoy en día de los procesos moleculares esenciales para la vida (la duplicación de los ácidos nucleicos, la catálisis de las reacciones por medio de las enzimas y la formación de las membranas de naturaleza anfifílica). También está basado en el conocimiento de que muchas de las moléculas simples necesarias para sintetizar materia orgánica compleja han sido halladas en diferentes partes del universo observable y en el sistema solar, v. g. nubes interestelares, cometas, condritos carbonosos, los planetas jovianos y sus satélites. Además, el trabajo de laboratorio hecho durante las casi cuatro últimas décadas ha demostrado que, a partir de estas moléculas simples como precursores, pueden sintetizarse la mayoría de los compuestos bioquímicos esenciales para los sistemas vivientes bajo plausibles condiciones prebióticas [3].



Esquema 1: El proceso histórico del surgimiento de la vida sobre la tierra.

### CONDICIONES PREBIOTICAS

Antes de pasar a describir, de manera general, cómo pudo originarse la vida sobre nuestro planeta, sería apropiado aclarar lo que entendemos por “condiciones prebióticas” [6]. Lamentablemente, no hay evidencia directa de cómo fue el ambiente de la tierra primitiva. La composición química de la atmósfera primigenia aún permanece en discusión, particularmente en lo referente al estado de oxidación del carbono y del nitrógeno, pero lo que sí hay que enfatizar es que no hubo oxígeno libre en el planeta primitivo. La ausencia de oxígeno molecular y por consiguiente la falta de una capa de ozono nos sugiere que la intensidad de la radiación ultravioleta sobre la superficie de la tierra fue significativamente mucho mayor que en la actualidad, lo que permitió una mayor velocidad de síntesis y descomposición fotoquímicas de los compuestos formados.

La presencia de cuerpos de agua (v. g. charcos, lagunas, lagos y océanos) fue de suma importancia para el origen de la vida. Su pH presumiblemente fue cercano al de los océanos actuales (pH 8,0 - 8,5) o al menos no alejado de la neutralidad. Debido a que el agua líquida fue requerida probablemente ya sea como un solvente o como un medio para la redistribución de los reactantes y productos, el rango de temperatura para la síntesis prebiótica debió haber sido entre 0 y 100°C; sin embargo, la inestabilidad de las complejas moléculas orgánicas (v. g. azúcares y aminoácidos) a temperaturas cercanas a los 100°C nos hace suponer que el término inferior a esta escala de temperatura fue la más apropiada para la síntesis orgánica.

Por otro lado se ha sugerido como posibles lugares para el origen de la vida zonas de elevadas temperaturas que se presentaron en lugares muy limitados (v. g. manantiales subterráneos calientes), pero muchos investigadores han preferido enfocar este punto sobre sistemas que fueron probablemente más abundantes, tales como charcos y lagunas. Un problema muy serio se presenta con respecto a la probable falta de una concentración suficientemente alta de reactantes; una posible solución para este dilema consistiría en la posibilidad de que los reactantes se hayan concentrado, por adsorción, sobre superficies sólidas tales como las arcillas minerales (v. g. montmorillonita, zeolita, etc.). Las propiedades catalíticas de las arcillas minerales, por lo tanto, constituyen un importante foco de investigación.

## EN EL PRINCIPIO

Probablemente todo comenzó con la formación de la proto-Tierra, hace aproximadamente 4600 millones de años, como resultado de la condensación de la nebulosa solar. Aquí apareció la primera atmósfera primitiva y cuya composición química fue similar a la del denso gas y polvo cósmico que le dieron origen. La proto-Tierra inició un proceso de calentamiento y su atmósfera inicial se disipó. Parte de las rocas ígneas formadas por los procesos de calentamiento se separaron a consecuencia de su baja densidad para formar el manto y la corteza de la tierra. Las moléculas más volátiles ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ) fueron expulsadas del interior de la tierra debido a la acción volcánica. Esta atmósfera secundaria reemplazó a la original y fue de carácter reductor. Por otro lado esta atmósfera secundaria se enriqueció con moléculas volátiles provenientes de los cometas, condritos carbonosos y nubes interestelares durante los viajes del sistema solar alrededor del centro de la galaxia, aunque en este último de manera no muy significativa [8].

Sobre esta atmósfera reductora incidían diferentes fuentes de energía [9], como por ejemplo, la luz ultravioleta de ondas corta y larga, las descargas eléctricas, la energía térmica de los volcanes, las ondas de choque, entre otras. Como consecuencia de dichas interacciones se sintetizaron compuestos orgánicos más complejos (v. g. aminoácidos, purinas, pirimidinas, azúcares y ácidos grasos). Simultáneamente hubo precipitaciones de agua, las cuales formaron inicialmente charcos, luego lagunas y posteriormente océanos que sirvieron de protección a estos compuestos orgánicos.

Con la acumulación de estos monómeros bioquímicos en los lagos y otros cuerpos de agua de poca profundidad en la superficie de la tierra primitiva, ocurrieron procesos de condensación y polimerización que produjeron compuestos de elevado peso molecular y productos oligoméricos, principalmente oligopéptidos, oligonucléotidos y lípidos [8].

## EVOLUCION PROTOBIOLOGICA

Dentro del proceso de la evolución química hay un evento, quizás el más importante, pero el menos comprendido que marca la principal transición entre la materia no viviente hacia la viviente. Esta fase de transición es referida algunas veces como evolución protobiológica [3].

Durante este período de transición probablemente se llevaron a cabo interacciones selectivas y asociaciones de oligómeros que dieron lugar a la síntesis de péptidos con actividades biocatalíticas (proto-enzima), a la síntesis de moléculas informacionales autoduplicantes (proto-ADN o proto-ARN), a la formación de moléculas capaces de transferir información codificada (proto-tARN). Todo ello llevó a la formación de un complejo que tuvo la capacidad de sintetizar péptidos (proto-ribosoma) dentro de microsistemas semipermeables (proto-membrana).

Esta fase de la evolución protobiológica, descrita brevemente, explicaría la formación de los primeros sistemas vivientes y daría una continuidad evolutiva entre la hipótesis de la evolución química, dada por primera vez por A. I. Opanin y J. B. S. Haldane, y la teoría darwiniana de la evolución biológica [3].

## LOS PRIMEROS ORGANISMOS

Los primeros sistemas vivientes sobre la tierra primitiva debieron haber crecido y reproducido a expensas de la llamada "sopa prebiótica". Ellos

debieron haber sido organismos heterotróficos anaeróbicos relativamente simples, los cuales dependieron de la materia orgánica sintetizada prebióticamente, tanto como una fuente de carbono como de energía. Es posible que los procesos de síntesis prebiótica se llevaran a cabo, por algún tiempo, con la existencia de la vida primitiva. Sin embargo, tarde o temprano, la demanda para los componentes esenciales de la sopa prebiótica debió haber excedido el suministro. Esto constituyó la primera crisis de materia y energía que experimentó la vida sobre la Tierra.

Cuando esto ocurrió, la expansión de la vida dependió de la habilidad de los organismos para encontrar la manera de sintetizar sus propios constituyentes. Ellos pudieron haber utilizado, como materiales iniciales, compuestos orgánicos simples que quedaron abundantemente en sus ambientes acuosos lo que implicó la aparición de un tipo de metabolismo primitivo, o pudieron utilizar los componentes de la atmósfera permitiendo el surgimiento de procesos quimiolitotróficos y de fotosíntesis primitiva.

Paralelamente, los organismos primitivos debieron haber utilizado moléculas orgánicas ricas en energía, formadas abióticamente en sus alrededores, permitiendo la síntesis prebiótica y la replicación del ácido nucleico. Aquí también la fuente de moléculas ricas en energía no fue la suficiente para mantener la rápida expansión de la vida. En este punto debió haberse utilizado otras fuentes químicas y físicas de energía disponibles. Esto probablemente incluyó, por un lado, los sustratos de fosforilación resultante de los procesos fermentativos, también como las reacciones de los compuestos reducidos ( $H_2$ ,  $SH_2$ , etc.) con el  $CO_2$  (reacciones quimioautotróficas). Más aún, la más importante fuente de energía, la radiación proveniente del sol, debió haber participado en un proceso análogo a la fosforilación fotosintética. Realmente, esto representa una solución permanente a la primera crisis energética experimentada por la vida [8].

## AGRADECIMIENTO

El autor desea expresar su más profundo agradecimiento al Sr. Hernando Olivos por su invaluable colaboración en el mecanografiado del presente artículo.

## BIBLIOGRAFIA

1. Miller, S. L. and Orgel, L. E. (1974) **The Origins of Life on the Earth**; Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
2. Blake, G. A. (1987) Carbon Chemistry in dense molecular clouds: Theory and Observational constraints, In: **Carbon in the Galaxy: Studies from Earth and Space**. NASA Conference Publication 3061, pp. 159-179.
3. Oró, J. (1980) Prebiological Synthesis of Organic Molecules and Origin of Life, In: H. O. Halvorson and K. van Holde (Editors), **The Origins of Life and Evolution**. Alan R. Liss, New York, pp. 47-63.
4. Ferris, J. P. (1984) The Chemistry of Life's Origin. C & EN special report, **American Chemical Society**, 1155-16th St., N. W., Washington, D. C. 20036.
5. Shklovski, I. S. (1977) **Universo, Vida, Intelecto**. Editorial MIR, Moscú.
6. Ferris, J. P. and Hagan, W. J. Jr. (1984) HCN and Chemical: The possible role of cyano compounds in prebiotic synthesis. *Tetrahedron*, **40**, N° 162.
7. Stephen-Sherwood, E. and Oró, J. (1972) Chemical Evolution Recent Syntheses of bioorganic molecules. *Space Life Sciences*, **4**.
8. Lazcano, A.; Oró, J. and Miller, S. L. (1983) Primitive Earth environments: Organic Syntheses and the Origin and Early Evolution of Life. *Precambrian Research*, **20**.
9. Miller, S. L.; Urey, H. C. and Oró J. (1976) Origin of organic compounds on the primitive earth. *J. Mol. Evol.*, **9**.