
EL ORIGEN DE LA VIDA: SINTESIS DE SU ESTUDIO*

Soledad Rodas**
Departamento de Biología

INTRODUCCIÓN

¿Cómo se originó la vida? Esta tal vez ha sido una de las preguntas que más se ha cuestionando el hombre a través de toda la historia y que aún no ha podido resolver por completo. Dicho cuestionamiento ha sido importante no sólo en el ámbito de la biología, sino para la ciencia en general. Pero es desde el punto de vista de la evolución que el origen de la vida toma aún más importancia, como lo dijo Theodoro Dobzhansky- "En la biología nada tiene sentido excepto a la luz de la evolución". Porque fue en el inicio de la vida que se formó el sistema que permitió que ocurrieran los procesos evolutivos, dando lugar a que pudieran existir todas las especies que han habitado y cambiado el planeta.

Todavía no se conoce exactamente cómo se originó la vida, ni cómo fueron los primeros organismos. La principal razón es la falta de evidencia geológica y por ende la evidencia fósil que preservara dichos eventos, imposibilitándolo que se reconstruyan, o que se pueda poner a prueba la veracidad de las hipótesis (Miller y Orgel, 1974). La evidencia más antigua de vida son microbios fosilizados en una formación rocosa en Australia, que datan de hace 3.5 billones¹ de años, quedando así un espacio de más o menos de un billón de años en los cuales pudo surgir la vida (la Tierra se formó aproximadamente hace 4.6 billones de años).

La falta de información (e información esencial) como lo es el origen y condiciones primitivas de la Tierra, así como la formación y composición de la atmósfera primitiva, ha permitido que surjan muchas hipótesis sobre los sucesos que llevaron al origen de la vida y las características de los primeros organismos. Las hipótesis están basadas principalmente en evidencia indirecta como lo son experimentos de laboratorio, deducciones hechas con información filogenética y estudios astronómicos.

El hecho de que aún no se ha determinado con exactitud cómo y en dónde se creó la vida de ninguna manera le resta importancia a tanta información que se ha obtenido a través de los años. Cada experimento, investigación y nueva información

es un paso más que nos acerca a encontrar los detalles que nos podrán explicar con exactitud cómo fue el origen de la vida. En esta investigación, al igual que muchas otras investigaciones científicas, el hecho de que no se han encontrado explicaciones concretas y cierta información aún sea desconocida, de ninguna manera quiere decir que las hipótesis no sean ciertas.

A través de la historia se han postulado muchas hipótesis en base a nueva información que va surgiendo. Actualmente la hipótesis que más apoyo tiene es la de la abiogénesis – la cual dice que la vida surgió espontáneamente por procesos naturales de materia no viviente (Henahan, 1996). La hipótesis sobre la abiogénesis tuvo su auge en 1953 cuando Stanley Miller sintetizó moléculas orgánicas presentes en seres vivientes (especialmente precursores de proteínas) a partir de compuestos químicos que se piensan que estaban presentes en la Tierra primitiva (Henahan, 1996). A partir de este momento se han hecho una gran cantidad de experimentos para apoyar o rechazar dicha hipótesis.

Aunque los científicos en su mayoría aceptan la hipótesis de abiogénesis, las condiciones y lugares en donde pudo surgir la vida, así como la formación y características del primer organismo, ha sido fuertemente debatido. Las hipótesis van desde el surgimiento de la vida en otros planetas, hasta un origen subterráneo aquí en la Tierra, así como en lagos, océanos, playas, bajo condiciones de temperaturas frías, tibias, extremadamente calientes. Esto hace que el estudio del origen de la vida sea aún más complicado.

A continuación se pretende dar a conocer las distintas hipótesis que han sido propuestas acerca del origen de la vida en el ámbito científico. El hecho de que hasta el momento no se ha podido descifrar el "enigma" del origen de la vida, hace que cualquier hipótesis (basada científicamente) aún puede ser la correcta.

* Trabajo presentado para el curso de Sistemática y Evolución, 1999; Departamento de Biología.

**Estudiante de 5o. año de la Licenciatura en Biología de la Universidad del Valle de Guatemala.

¹ billones equivale a 1×10^9 años, o sea mil millones o un millardo.

ORIGEN Y CONDICIONES DE LA TIERRA PRIMITIVA

Es esencial conocer cómo se formó la Tierra y cómo eran las características físicas y químicas de la Tierra primitiva para tener una guía de cómo, dónde, a partir de qué materiales y en qué condiciones fue que surgió la vida en la Tierra; porque la vida tuvo que haber surgido del material y condiciones disponibles en la Tierra primitiva. Para determinar cómo fue la Tierra en su inicio, es necesario conocer cómo se originó.

Se cree que el universo se formó a partir de una gran explosión conocida como la teoría del "Big Bang" hace aproximadamente 14 billones de años (los sucesos antes de este hecho no son para este tema importantes). La galaxia data de aproximadamente hace unos 10 billones de años y nuestro sistema solar de hace 4.6 billones de años (Futuyma, 1998). En el inicio se asume que el material que formó el sistema solar fue en un momento una gran nebulosa difusa de polvo cósmico que se fue uniendo en distintas regiones formando los planetas. Hay modelos matemáticos que muestran que una nebulosa de ese tamaño tiende a condensarse en una sola masa por efectos de gravedad. Por esta evidencia se cree que hubo mucha energía involucrada en la formación de los planetas, ya que se formaron varias masas en vez de haberse formado un solo planeta de mayor tamaño. Es por eso que se cree que la temperatura en la región de los planetas durante la condensación fue alta. En el caso de la Tierra, se cree que hubo temperaturas de aproximadamente 300° C. Por lo tanto, en su inicio la Tierra era una gran masa de materia derretida (Miller y Orgel, 1974).

La evidencia geológica y geofísica no es suficiente para determinar con precisión cuáles eran las condiciones en la superficie de la Tierra primitiva (las primeras rocas sedimentarias con información son de hace 3.8 billones de años). Por esto mismo los argumentos sobre la composición de la atmósfera primitiva son particularmente controversiales (Miller y Orgel, 1974).

A través de modelos matemáticos y estudios en áreas como astrología, física y química se cree que al irse enfriando la Tierra, se escapó una mezcla de metano, dióxido de carbono, monóxido de carbono, amonio, nitrógeno, hidrógeno y agua, formando la atmósfera primitiva (detenida hasta cierto punto por fuerza gravitacional) (Miller y Orgel, 1974). Las concentraciones y proporciones de los compuestos en la superficie así como en la atmósfera es otro de los puntos fuertemente debatidos.

El enfriamiento de la Tierra también tuvo como consecuencia condensación de agua, permitiendo la formación de cuerpos de agua como océanos y lagos. Muchos compuestos químicos que estaban presentes en la atmósfera se cree que cayeron al agua.

En lo que sí han acordado los científicos es que tuvo que haber un periodo en el cual la atmósfera primitiva en la Tierra era un tanto reductora y con muy poco oxígeno libre, a diferencia de la atmósfera actual que es no reductora. Esto es porque la síntesis de compuestos de interés biológico se lleva a cabo únicamente bajo condiciones reductoras (presencia de hidrógeno) ya que en condiciones oxidantes estos compuestos se desintegran (Keosian, 1964).

Una atmósfera reductora con metano, amonio, nitrógeno, helio y agua en equilibrio, no contiene o deposita cantidades significativas de compuestos orgánicos. Pero es en la presencia de una fuente energética que ciertos compuestos pueden ser sintetizados significativamente (más adelante se hablará de esto con más detalle). Las fuentes directas de energía presentes en la Tierra primitiva, disponibles para la síntesis orgánica, fueron descargas eléctricas, energía solar, energía termal de volcanes (habían muchos presentes en el inicio), rayos cósmicos, radioactividad y ondas de choque (provenientes de colisiones entre cometas y/o meteoritos con la atmósfera) (Keosian, 1964).

La acumulación de compuestos orgánicos más complejos tuvo que depender de la síntesis de compuestos orgánicos simples a partir del material disponible presente en la atmósfera o en la superficie de la Tierra en combinación con una alta disponibilidad de energía y una alta reactividad. Es a partir de esta información que han surgido las distintas hipótesis sobre la evolución de la vida.

HIPÓTESIS SOBRE EL ORIGEN DE LA VIDA

Un poco de historia

En el pasado se creía con cierta seguridad que los eventos de la aparición y las características del primer organismo viviente eran esencialmente desconocidos, sobre todo por la falta de evidencia fósil. Pero con nueva tecnología científica en áreas no sólo biológicas, sino en astronomía, geología, química y física, se tiene evidencia indirecta (ej. experimental) de la cual han surgido las distintas hipótesis. Nuevamente se demuestra que lo desconocido no necesariamente es inexistente.

El primer gran adelanto fue en 1820 cuando Woeller, un químico alemán, sintetizó en su laboratorio urea, justo cuando se pensaba que los compuestos producidos por organismos vivientes no podían ser sintetizados a partir de procesos abióticos (Henahan, 1996). Pero aún se mantenía el misterio de cómo se podían sintetizar compuestos orgánicos bajo condiciones geológicas y organizarse dentro de organismos vivientes (Henahan, 1996). Durante los años siguientes surgieron otras hipótesis, pero no fue hasta 1924 cuando otro científico, Oparin, presentó su hipótesis acerca del primer organismo viviente como heterotrófico² y propuso la idea de una atmósfera reductora en donde se podían sintetizar compuestos orgánicos. Propuso que los compuestos orgánicos simples fueron juntándose poco a poco y especializándose hasta formar un organismo que pudo ser llamado viviente (Henahan, 1996). A partir de este momento se aceptó, casi dogmáticamente, que fueron una variedad de procesos los que llevaron a la formación que pudo ser llamada viviente.

En 1951, Harold Urey, sin conocer el trabajo de Oparin, llegó a la misma conclusión sobre una atmósfera reductora en la Tierra primitiva (Dobzhansky *et al.*, 1977). Además, sus conocimientos en biología y química le permitieron descifrar que es posible obtener compuestos orgánicos esenciales para la vida, a partir de ciertos compuestos químicos bajo ciertas condiciones. Pero no fue hasta 1953 que se llevó a cabo el experimento para probar dicha hipótesis. Urey no fue en sí quien llevó a cabo el experimento, sino un alumno llamado Stanley Miller (Henahan, 1996). Este fue el experimento clave en la síntesis prebiótica (antes de la primera "vida") de compuestos orgánicos. El experimento conocido como "The Miller-Urey Electric Discharge Experiment", consistió en reconstruir las condiciones presentes en la Tierra primitiva para ver si se sintetizaban compuestos orgánicos. El experimento consistió en un aparato cerrado, bajo condiciones reductoras, que hacía circular una mezcla de gases- agua, metano, hidrógeno y amonio- en representación de la atmósfera primitiva - por medio de vapor de agua proveniente de un recipiente cerrado lleno de agua hirviendo (representando el océano primitivo) y sometido a una descarga eléctrica (en representación de relámpagos). La mezcla de gases luego era condensada y caía nuevamente al agua en el recipiente y ésta volvía a ser circulada; cualquier compuesto no gaseoso que aparecía se acumulaba en el agua (Dobzhansky, *et al.*, 1977). El aparato corrió únicamente por una semana, pero los resultados fueron increíbles. Fueron sintetizados 11 de los 20 amino ácidos³ que hay en organismos vivientes, así como un gran número de

otros compuestos presentes en la "vida" (purinas⁴, pirimidinas⁴, azúcares) (Henahan, 1996).

La hipótesis de Miller tomó más fuerza cuando en 1969 cayó un meteorito en Murchison, Australia (de Duve, 1995), en el cual se encontró amino ácidos y otros compuestos con importancia biológica. Asombrosamente, el meteorito contiene los mismos amino ácidos que obtuvo Miller en su experimento en 1953, hasta en las mismas proporciones, dándole más credibilidad a su hipótesis.

Uno de los grandes argumentos en contra de la hipótesis de Miller ha sido que en la atmósfera primitiva, aunque había amonio, las cantidades que se pudieron haber formado por procesos químicos y las cantidades presentes en la atmósfera seguramente eran muy bajas, además que el gas que se encontraba en mayor cantidad era nitrógeno, no amonio. Durante años este fue uno de los grandes contras de Miller, pero en 1998, se publicó un artículo por R. Service en el cual se planteó la posibilidad de haber encontrado una fuente grande de amonio como el que se necesita para sintetizar compuestos como los del experimento de Miller. La fuente eran "manantiales calientes" del fondo del océano, los cuales se cree que existían en la Tierra primitiva. Según el artículo de Service, en una serie de experimentos de laboratorio, encontraron que minerales depositados en estos "manantiales calientes" funcionan de catalizadores⁵ eficientes para convertir nitrógeno en amonio cuando se someten a elevadas temperaturas y presiones, condiciones que justamente fueron encontradas en dichos lugares. Lo que falta es determinar si realmente hubo estos manantiales calientes en la Tierra primitiva.

La importancia de la hipótesis de Miller, esté o no en lo cierto, es que demostró que amino ácidos presentes en las proteínas (parte básica de la estructura, funcionamiento y características de la "vida") de cualquier organismo viviente, pueden ser sintetizados a partir de compuestos abióticos y sobre todo a partir de compuestos que se creen que estuvieron presentes en la Tierra y atmósfera primitiva.

Desde el experimento original se han hecho otros experimentos de los cuales se han obtenido una gran gama de compuestos químicos, después de haber sido sometidos a una gran variedad de condiciones presuntamente prebióticas. Los productos más interesantes de la síntesis prebiótica incluyen purinas, pirimidinas, azúcares y 18 de los 20 amino ácidos. Pero

²Que no puede sintetizar su propio alimento, vs. autotrófico, como las plantas fotosintéticas que sí fabrican su propio alimento.

³Grupo grande de compuestos orgánicos que contienen nitrógeno y que son los componentes básicos de las proteínas de todo ser viviente.

⁴Componentes del ADN y ARN y otras sustancias biológicamente activas.

⁵Compuestos que aceleran las reacciones químicas.

ningún experimento aislado ha tenido tan buen resultado como el de Miller-Urey. Los compuestos sintetizados en todos estos experimentos, a su vez, pueden ser utilizados para formar polímeros (como proteínas y precursores del ADN) bajo condiciones prebióticas, aunque por experimentos más complejos. Según Orgel (Dobzhansky *et al.*, 1977) los océanos y lagos prebióticos pudieron haber contenido hasta un gramo de materia orgánica por litro. En tiempos geológicos la cantidad de material orgánico que pudo acumularse de síntesis prebiótica es alta.

Otra hipótesis muy aceptada en el pasado fue la hipótesis de S. Fox, quien reportó la síntesis de compuestos con gran parecido a proteínas, que llamó protenoides. Propuso que la vida pudo originarse en partículas discretas pequeñas que se separaron espontáneamente de la mezcla de químicos del ambiente. Tal idea viene del hecho de que al tratar un protenoide con agua caliente, luego de enfriarse, se separan de la solución. Estas microesferas mostraron fenómenos osmóticos, de permeabilidad y de actividad de rompimiento de ATP. Aún así, están muy lejos de estar en estado viviente (Keosian, 1964). Aunque tuvo buenos resultados hay más evidencia a favor de la hipótesis de Miller y estudios posteriores de ADN y ARN³ reemplazaron esta hipótesis.

Hasta el día de hoy todavía no se ha aceptado una "fórmula" universal entre los científicos, una que sea aceptada por todos, en donde se determine cuáles fueron las condiciones de la Tierra primitiva, a partir de qué compuestos se pudieron formar los primeros monómeros y cuáles fueron. Por lo tanto aún no se sabe exactamente cómo esta materia prima se concentró, formó compuestos más complejos y cómo se organizó para formar la primera célula.

A continuación se presentarán las hipótesis más aceptadas en la actualidad y las que en este momento están bajo investigación; hipótesis que tratan de determinar los lugares en donde se cree que se originó la vida, así como los procesos y los precursores de la primera célula.

¿Dónde y cómo se concentraron los compuestos prebióticos?

Hay hipótesis que proponen un origen en aguas tibias, como la hipótesis de Miller, en el que los compuestos pudieron concentrarse por medio de la evaporación de aguas no profundas (Dobzhansky, *et al.*, 1977). En el pasado, Miller propuso que el origen de la vida se llevó a cabo en el océano, pero en una entrevista reciente realizada por S. Henahan (1996), Miller ha actualizado su hipótesis y propone que los compuestos orgánicos se formaron en lagos o lagunas cerca de playas (siendo más probable que los

compuestos hayan estado más concentrados y pudieron juntarse más fácilmente de esta manera). Según estos científicos, después que se evaporaron regiones en donde el agua era poco profunda, eventualmente hubo precipitación de los compuestos. Este precipitado pudo haberse concentrado sobre todo en capas sobre algún tipo de sustrato (Dobzhansky, *et al.*, 1977) y poco a poco formar moléculas más complejas.

Otra hipótesis acerca de la forma de acumulación de compuestos (también en aguas poco profundas) sugiere que los compuestos pudieron concentrarse en las superficies internas de minerales, los cuales atraen ciertas moléculas y actúan como catalizadores de ciertas reacciones que podrían formar un posible precursor de ARN (Monastersky, 1998). Críticos de ésta hipótesis argumentan que hay sólo ejemplos aislados en los cuales los minerales han hecho una diferencia, por lo que la hipótesis no ha sido de mucho peso.

La concentración por congelación es otra de las hipótesis. El hielo pudo haber encerrado agua en solución que al quedar inmóvil pudo concentrarse y eventualmente precipitarse. Además, las temperaturas bajas retardan la descomposición de las moléculas orgánicas pudiendo ocurrir así una síntesis (Dobzhansky *et al.*, 1977). Según J. Boda (Monastersky, 1998), bioquímico del Instituto de Oceanografía Scripps, "cuanto más baja es la temperatura, más estables son los compuestos". Según él, las reacciones atmosféricas, restos interplanetarios y las fumarolas hidrotermales pudieron aportar que al combinarse con el agua en un retículo de hielo pudo dar como resultado amino ácidos.

Hay evidencia reciente que apoya que la cuna de la vida fue fría (no exactamente congelada). Un estudio basado en ARN muestra que el ancestro común de todos los organismos vivientes fue seguramente termofóbico. El estudio se basa en el análisis de 2 genes de 40 organismos vivientes (desde bacterias hasta mamíferos) que actualmente actúan como un tipo de termómetro para la temperatura ideal para el crecimiento del organismo. Este trabajo sugiere que en la célula ancestral, estos genes no hubieran permitido soportar temperaturas arriba de los 70° C. Según estos científicos este ancestro está muy cercano a los primeros organismos vivientes, indicando que éstos tuvieron que haber sido termofóbicos (Vogel, 1999).

Hay evidencia en contra de la hipótesis anterior, la cual sugiere que la vida surgió en condiciones

³ Moléculas llamadas ácidos nucleicos, que conforman los genes, almacenan el código genético de un ser viviente, y se heredan de padres a hijos.

hipertermofílicas (muy calientes), ya que los organismos que ocupan las ramas más bajas del "árbol de la vida" viven hoy en día bajo este tipo de condiciones (Vogel, 1999). Carl Woese, microbiólogo evolucionista (Morell, 1997) sugiere que los primeros organismos probablemente "nacieron" en ambientes marginales como en aguas hirvientes, azufradas o fumarolas del fondo del océano. Woese confirma, basado en ARN y otras secuencias genéticas, que los organismos vivos se separan en tres grandes dominios: Archaea, Bacteria y Eukarya. Comparando las secuencias de los tres dominios, se puede llegar al ancestro común entre Archaea y Bacteria- la mayoría resultan siendo termofílicos o hipertermofílicos. Esto sugiere que el ancestro común fue hipertermofílico. Apoyando esta hipótesis, Norman Sleep de la Universidad de Stanford (Vogel, 1999), propone que la atmósfera primitiva contenía altos niveles de dióxido de carbono y que el continuo bombardeo de meteoritos y asteroides emitieron grandes cantidades de energía, lo que no permitiría ningún tipo de vida en la superficie de la Tierra. Por esta razón, Sleep propone que la vida surgió en "fumarolas volcánicas en el fondo del mar" - lugares en los que actualmente habitan organismos hipertermofílicos. Críticos de tales hipótesis argumentan que en el fondo del océano en fumarolas se destruyen las moléculas orgánicas y vida simple (Russell y Hall, 1997). Russell y Hall presentan la posibilidad que haya distintos tipos de fumarolas, con distintas propiedades químicas. Experimentos de Russell y Hall (1997) y otros, han podido sintetizar moléculas orgánicas de precursores simples en condiciones hidrotermales. Algunos experimentos aún no han sido publicados.

La última hipótesis de la cual se hablará, propone que la vida se originó en fisuras de rocas subterráneas. Thomas Gold, físico de la Universidad de Cornell (Horgan, 1992), especula que un microorganismo primitivo migró hacia la superficie dando origen a la vida como la conocemos y que la mayoría vive aún subterráneamente. Gold cree que estos organismos se sustentan de compuestos sulfurados, metano y otros químicos ricos en energía. Señala que hace 4 billones de años el interior de la Tierra proveería un ambiente mucho más hospitable para la primera vida que lo que hubiera sido la superficie terrestre-bombardeada por asteroides y radiación cósmica.

ORGANIZACIÓN DE LOS COMPUESTOS ORGANICOS Y LA PRIMERA "VIDA"

Es aquí donde nos encontramos con el mayor de todos los dilemas **¿a qué le podemos llamar vida?** ¿Dónde está el límite entre lo que es o no vida? ¿Se puede determinar tal límite?

Muchos científicos están de acuerdo en que no se puede postular una definición científica precisa de vida. G. Joyce, bioquímico del Instituto de Investigación Scripps, quien actualmente trata de fabricar vida en un tubo de ensayo (Monastersky, 1998), señala que aunque los científicos han propuesto muchas definiciones de vida, todas se quedan cortas en algún aspecto. Algunas son tan amplias que abarcan entes no vivos, como el fuego o cristales minerales. Según él otras son tan específicas, que excluyen a las mulas. Joyce le da la siguiente definición a la vida: "un sistema químico que se sostiene a sí mismo y es susceptible de experimentar la evolución darwiniana." Este último término -evolución darwiniana- realmente es un proceso que se conforma de tres elementos: reproducción, heredabilidad (en donde puedan ocurrir mutaciones que pasen de padre a hijo, permitiendo variabilidad genética) y un sistema de selección natural que permita que haya sobrevivencia y/o reproducción diferencial.

El mayor de los problemas para determinar cómo se dio ese paso entre materia no viviente y materia viviente, reside en el hecho que hasta el momento, a pesar de múltiples experimentos, **nadie ha sintetizado vida en un tubo de ensayo.** Aunque se tenga una idea de cómo pudo haber originado la "vida" y los pasos que tuvieron que haber ocurrido, aún no se conoce en sí cómo fue el origen de la vida. Por esta razón se continúa con un gran esfuerzo en distintas áreas de la ciencia para darle respuesta a éste enigma. (Futuyma, 1998).

Para entender el origen de la vida la clave es entender y conocer como pueden actuar las mutaciones, selección natural y evolución. El surgimiento del orden biológico fue la producción de compuestos con replicación imperfecta en los cuales pudo actuar la selección natural (Miller y Orgel, 1974). Nos encontramos aquí con la primera paradoja: ambas proteínas y ácidos nucleicos (precursores de ADN y ARN) se requieren antes de que actúe la selección natural y el origen de ésta asociación es muy improbable sin selección, ya que la probabilidad de crear cualquier proteína particular de una fuente de amino ácidos prebióticos por procesos al azar es muy remota (Dobzhansky *et al.*, 1977). Luego nos encontramos con la segunda paradoja que consiste en determinar qué macromolécula fundamental se formó primero ¿proteína o ácido nucleico? En el pasado se tuvo una gran controversia con ésta pregunta, un ejemplo claro de la pregunta del huevo y la gallina. El ADN es sólo la "información" de toda la célula, no puede catalizar ninguna función, ni puede replicarse sola. Las proteínas sí catalizan, pero no pueden ser manufacturadas sin las especificaciones en el ADN. Un escenario para el origen de la vida es la posibilidad de que ambas moléculas hayan surgido juntas- una

de información y otra catalítica- pero esto es extremadamente complicado y altamente improbable (de Duve, 1995).

Una posibilidad es que una de éstas moléculas pudiera llevar a cabo múltiples funciones, por lo que se empezó a estudiar detenidamente el ARN. Fue en los años 70's cuando el dilema de proteína - ácido nucleico pareció haberse resuelto al descubrirse que el ARN podía catalizar reacciones (como una proteína) para su propia replicación, además de su función como ácido nucleico. Parecía totalmente posible que hubiera existido una molécula de ARN que contenía la información para su propia replicación a través de bases apareadas recíprocas y que pudiera catalizar la síntesis de más hebras iguales de ARN. En 1986, W. Gilbert (de Duve, 1995) designó el término "Mundo del ARN" para la etapa hipotética del desarrollo de la vida en la cual moléculas de ARN y cofactores eran un conjunto suficiente de enzimas para llevar a cabo todas las reacciones necesarias para las primeras estructuras celulares. Hasta el día de hoy es casi un dogma indicar que la evolución de la vida incluyó una fase en donde el ARN era la macromolécula biológica predominante. Esta hipótesis aún sigue bajo investigación.

Origen y evolución del mundo del ARN

En la primera etapa, se tuvo el material orgánico "crudo" que de alguna forma se convirtió en ARN. Los primeros compuestos tuvieron que convertirse en constituyentes de nucleótidos (precursores de ARN). De aquí los nucleótidos tenían que unirse y formar las primeras moléculas de ARN (de Duve, 1995). La segunda etapa tuvo que ser el desarrollo de la replicación del ARN. Teniendo la replicación del ARN, la evolución darwiniana fue posible por primera vez. Las mutaciones permitieron que hubiera variantes de las moléculas originales. Algunas de éstas variantes fueron replicadas más rápido que otras o mostraron más estabilidad. Eventualmente una especie molecular simple combinó estabilidad con replicabilidad en una forma óptima, convirtiéndose en dominante. Esto, sólo que a nivel molecular, es exactamente el mecanismo propuesto por Darwin: variación fortuita, competencia, selección y amplificación de la entidad más apta (de Duve, 1995).

La tercera etapa, el desarrollo de la síntesis de proteínas dependientes de ARN. Probablemente la máquina química apareció primero; mensajes genéticos entre ciertas moléculas de ARN - precursores de futuros ARN (transferencia, ribosomal y mensajeros) y amino ácidos. Las moléculas en este momento pudieron dejar de ser seleccionadas por su

estabilidad, sino más bien por su función (de Duve, 1995).

Para poder evolucionar más allá, el sistema tenía que ser dividido en un gran número de células primitivas competidoras, o protocélulas, capaces de crecer y multiplicarse. Esta condición implica producir los materiales necesarios para poder cubrir la protocélula con una membrana. Después que la maquinaria para la síntesis de proteínas estaba funcionando, podía entrar el sistema de información por medio de las interacciones de ciertos componentes de ARN, permitiendo que se desarrollara progresivamente el código genético. Cuando la traducción se volvió lo suficientemente precisa el mundo del ARN entró en su etapa final. Ligaba secuencias de proteínas individuales con secuencias de genes de ARN individuales (de Duve, 1995).

Es durante esta etapa que las enzimas⁷ proteínicas debieron aparecer por primera vez, emergiendo una por una como resultado de alguna mutación en un gen ARN que le permitió a la protocélula mutante la habilidad de llevar a cabo una nueva reacción química o mejorar una reacción ya existente. Esas mejoras permitirían crecer o multiplicarse de una manera más efectiva comparada con las no mutadas. Al ocurrir esto un sin número de veces, permitiría la formación de un metabolismo dependiente de enzimas (como el actual) que sustituiría el protometabolismo⁸ (de Duve, 1995). La aparición del ADN fue un refinamiento de este sistema. Cómo y cuándo apareció el ADN se desconoce aún.

Muchos científicos no creen que el mundo ARN fue el primer indicio de vida, ya que debaten que es demasiado complejo; creen entonces que es un descendiente distante del primer autoreplicador. Asumen que los primeros replicadores fueron en alguna forma basados en ácidos nucleicos, pero mucho más simples (Ellington, 1995).

Aún no se conoce cómo fue realmente la primera célula, cuáles fueron sus características o a qué tipo de organismo pudo haber pertenecido. La falta de evidencia fósil ha dificultado tal estudio. Se cree que los primeros organismos fueron heterótrofos, ya que eran demasiado simples como para formar su propia energía y que se reproducían por división protocelular.

⁷ Catalizador proteínico formado dentro de un organismo vivo y que acelera procesos químicos específicos.

⁸ Metabolismo primitivo.

CONCLUSIONES

Los estudios científicos que han tratado de explicar y reconstruir la evolución del origen de la vida por casi dos siglos no han sido suficientes para contestar realmente la pregunta ¿Cómo y en dónde se originó la vida? No obstante, se ha obtenido gran cantidad de información valiosa que ha abierto nuevas puertas y nos acerca cada vez más a contestar la gran pregunta.

Aunque está casi generalmente acordado que la vida surgió espontáneamente por procesos naturales a partir de compuestos abióticos, el tipo de "materia prima" para la formación de estos primeros compuestos es todavía fuertemente debatido, porque aún no se conoce bien como era la Tierra primitiva, las condiciones iniciales y sobre todo su atmósfera. Esto se debe principalmente a la falta de evidencia geológica y geofísica, a lo que se suma la falta de evidencia fósil por más de un billón de años después de la creación de la Tierra. La nueva tecnología, sumada al gran interés de científicos en la materia hace que cada año se tengan nuevos descubrimientos e información que apoyan las hipótesis planteadas.

Como se puede ver, aún faltan muchos estudios por hacer y todavía no conocemos todos los detalles sobre el origen de la vida. Pero sí se tiene una idea muy clara de cómo seguramente fueron los mecanismos generales. Compuestos simples, abióticos, presentes en la Tierra primitiva de alguna forma fueron combinados y se convirtieron en compuestos orgánicos simples que al concentrarse poco a poco fueron especializándose y convirtiéndose en moléculas más complejas, que a su vez se especializaron de distintas formas y con distintas funciones hasta que se formó lo que conocemos como vida. Los estudios y la evidencia actual acerca de qué pudo ser la primera "vida" apunta hacia la hipótesis del mundo del ARN; todavía no se ha determinado bien si hubo alguna molécula intermedia menos compleja, pero lo más seguro es que en alguna etapa temprana hubo un "mundo del ARN".

LITERATURA CITADA

- Ellington, A. 1995. *Probability of abiogenesis*. <http://www.talkorigins.org/faq/faq-abiogenesis.html>
- Dobzhansky, T., F. Ayala, L. Stebbins, J. Valentine. 1977. *Evolution*. W. H. Freeman and company, San Francisco. 572pp.
- de Duve, C. 1995. *The beginnings of life on earth*. <http://www.sigmaxi.org/amsci/articles/articles95/CdeDuve.html>
- Futayma, D. J. 1998. *Evolutionary biology*. 3rd edition. Sinauer, Sunderland, Massachusetts. 763pp.
- Galtier, N. 1999. *A nonhyperthermophilic common ancestor to extant life forms*. *Science* 283: 220-221.
- Henahan, S. 1996. *From primordial soup to prebiotic beach*. <http://www.gene.com/ae/WN/NM/miller.html>
- Horgan, J. 1992. *It came from within*. *Scientific American* 267:20.
- Horgan, J. *Life, life everywhere*. <http://www.sciam.com/explorations/112596explorations.html>
- Keosian, R. 1964. *The origin of life*. Reinhold Publishing Corporation, New York. 118pp.
- Monastersky, R. 1998. *El origen de la vida en la tierra*. *National Geographic Latinoamérica* 2(3): 54-81.
- Miller, S. y L. Orgel. 1974. *The origins of life on earth*. Prentice Hall, New Jersey. 229pp.
- Morell, V. 1997. *Tracing the mother of all cells*. *Science* 276: 700-701.
- Russel, M. y A. Hall. *Origin of life research*. <http://www.gla.ac.uk/Project/originoflife/qas.html>
- Service, R. F. 1998. *A biomolecule building block from vents*. *Science* 281: 1936-1937.
- Vogel, G. 1999. *RNA study suggests cool cradle for life*. *Science* 283: 155-157.