

### **GUIA DE ESTUDIO N° 3**

#### **TEMA: EL ORIGEN Y LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA**

##### **OBJETIVOS:**

Conocer las diferentes teorías acerca del origen de la vida y establecer las evidencias que apoyan a la TEORÍA ENDOSIMBIÓTICA.

---

##### ***EN LA ACTUALIDAD. LAS PREGUNTAS SOBRE EL ORIGEN DE LA VIDA***

*Las preguntas que siguen en pie sobre cómo se produjo ese fenómeno que condujo a lo que llamamos*

*"vida" son muchas y de diversos tipos ¿En qué ambiente primitivo pudo haberse originado la vida?*

*Pudo haber sido en el océano, en una laguna, en un charco, en una fisura de roca, entre capas de arcilla, cerca de fuentes termales o bajo el hielo de los polos. Se trataba de un caldo primitivo o de una "pizza primordial"?*

*¿Por medio de qué fuentes de energía? Pudo haber sido geotérmica, por la luz ultravioleta del Sol, por el calor del vulcanismo, por las descargas eléctricas atmosféricas o por la combinación de todas estas fuentes. ¿Cómo era la atmósfera primitiva?*

*Pudo haber sido una atmósfera muy reductora o menos reductora. ¿Bajo qué forma los complejos plurimoleculares se delimitaron en un compartimiento?*

*Estos complejos podrían haber adoptado la forma de coacervado como los propuestos por A. Oparin o de microesferas como lo sugirió S. Fox. La polimerización también pudo haber ocurrido en las superficies minerales de las arcillas, como sugiriera A. Cairn-Smith.*

*Si bien los trabajos sobre el origen de la vida han proliferado enormemente, han suscitado muchas controversias aún sin dilucidar. Esto pone en evidencia que, frente a ciertas preguntas acerca del mundo natural, la comunidad científica no adhiere a un único modelo explicativo, sino que varios modelos coexisten, lo que da lugar a diferentes hipótesis que deben ser contrastadas críticamente*

*“En algún momento de la historia de la tierra aparecieron sistemas biológicos capaces de producir descendientes y evolucionar, un hecho íntimamente asociado con los cambios que sufrió el planeta. Para introducirnos en el origen de las primeras formas vivas, debemos conocer las condiciones iniciales de la Tierra a partir de las cuales pudieron haberse establecido”.*

---

##### **ACTIVIDADES**

**Lee los fragmentos de textos que se encuentran más abajo y luego realiza las siguientes actividades:**

1. Realiza un diagrama y explica brevemente las diferentes teorías acerca del origen de la vida.
2. ¿Qué afirma la “teoría endosimbiótica”? y ¿cuales evidencias la apoyan?

***Una de las preguntas fundamentales de la biología moderna es cómo empezó la vida.***

*Las evidencias actuales aportan muchas pistas acerca de la aparición de la vida en la Tierra. La edad de nuestro planeta se estima en 4.600 millones de años. Como evidencias de vida, se han encontrado microfósiles de células semejantes a bacterias que tienen 3.500 millones de años de antigüedad y existen, además, otras evidencias indirectas de vida de hace 3.850 millones de años. Se han propuesto diversas hipótesis para explicar cómo podrían haber surgido compuestos orgánicos en forma espontánea en la Tierra primitiva y estructuras semejantes a células a partir de esos agregados de moléculas orgánicas. Desde una perspectiva bioquímica, tres características distinguen a las células vivas de otros sistemas químicos:*

- 1. la capacidad para duplicarse generación tras generación;***
- 2. la presencia de enzimas, las proteínas complejas que son esenciales para las reacciones químicas de las que depende la vida, y***
- 3. una membrana que separa a la célula del ambiente circundante y le permite mantener una identidad química distinta.***

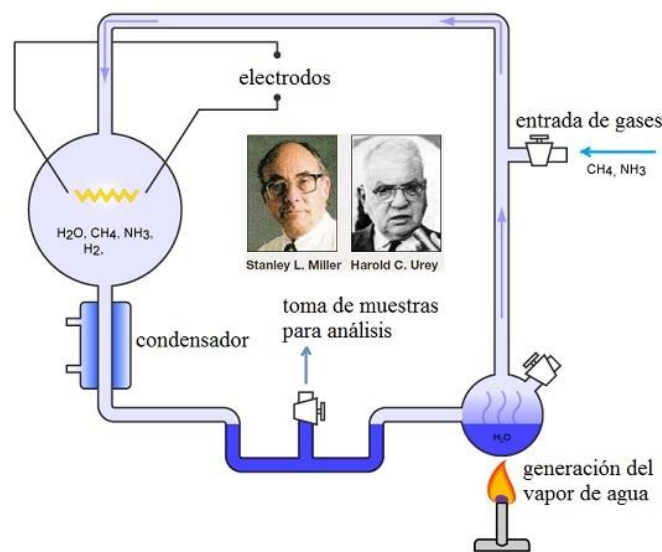
***¿Cómo surgieron estas características? ¿Cuál de ellas apareció primero e hizo posible el desarrollo de las otras?***

*El primer conjunto de hipótesis verificables acerca del origen de la vida fue propuesto por **Alexander Oparin** y **John Haldane** quienes, trabajando en forma independiente, postularon que la aparición de la vida fue precedida por un largo período de "evolución química". Hay un acuerdo general en dos aspectos críticos acerca de la identidad de las sustancias presentes en la atmósfera primitiva y en los mares durante este período:*

- 1. había muy poco o nada de oxígeno libre, presente y***
- 2. los cuatro elementos primarios de la materia viva (hidrógeno, oxígeno, carbono y nitrógeno) estaban disponibles en alguna forma en la atmósfera y en las aguas de la Tierra primitiva.***

*La energía necesaria para desintegrar las moléculas de estos gases y volver a integrarlas en moléculas más complejas estaba presente en el calor, los relámpagos, los elementos radiactivos y la radiación de alta energía del Sol. Oparin postuló que en las condiciones de la Tierra primitiva se formaron moléculas orgánicas a partir de los gases atmosféricos que se irían acumulando en los mares y lagos de la Tierra y, en esas condiciones (sin oxígeno libre), tenderían a persistir. Al concentrarse algunas moléculas, habrían actuado sobre ellas fuerzas químicas, las mismas que actúan sobre las moléculas orgánicas hoy en día. Estos agregados plurimoleculares fueron progresivamente capaces de intercambiar materia y energía con el ambiente. En estas estructuras coloidales (a las que Oparin llamó coacervados, y en cuyo interior podían optimizarse ciertas reacciones) se habría desarrollado un metabolismo sencillo, punto de partida de todo el mundo viviente. Los sistemas constituyen un nuevo nivel de organización en el proceso del origen de la vida, lo que implica el establecimiento de nuevas leyes. En los sistemas químicos modernos, ya sea en el laboratorio o en el organismo vivo, las moléculas y los agregados más estables tienden a sobrevivir, y los menos estables son transitorios. De igual modo, dado que los sistemas presentaban heterogeneidad, los agregados que tenían mayor estabilidad química en las condiciones prevalecientes en la Tierra primitiva habrían sobrevivido.*

*Stanley Miller aportó las primeras evidencias experimentales 29 años después de que Oparin publicara su teoría. Los experimentos de laboratorio han mostrado que, en estas condiciones, pueden formarse moléculas orgánicas características de los sistemas vivos. Otros experimentos han sugerido el tipo de procesos por los cuales agregados de moléculas orgánicas pudieron haber formado estructuras semejantes a células, separadas de su ambiente por una membrana y capaces de mantener su integridad química y estructural (Figura 2).*



**Figura 2. Esquema del experimento.** Miller simuló en el laboratorio las condiciones que habrían imperado en la Tierra primitiva. Hizo circular el gas hidrógeno (H<sub>2</sub>), el vapor de agua, el metano (CH<sub>4</sub>) y el amoníaco (NH<sub>3</sub>) permanentemente entre el "océano" y la "atmósfera" de su dispositivo. El "océano" se calentaba, el agua se evaporaba y pasaba a la "atmósfera", donde se producían descargas eléctricas. El vapor de agua, al ser refrigerado, se condensaba y el agua líquida arrastraba las moléculas orgánicas recién formadas. Estas moléculas se concentraban en la parte del tubo que conducía al "océano". Al cabo de 24 horas, cerca de la mitad del carbono presente originalmente como metano se había convertido en aminoácidos y otras moléculas orgánicas. Ésta fue la primera evidencia experimental de la teoría de Oparin (fuente: Curtis, 2008).

*En el marco de la teoría de Oparin, se desarrollaron modelos alternativos, entre otros, el de Sidney W. Fox quien obtuvo estructuras proteicas limitadas por membrana -llamadas microesferas proteinoideas que podían llevar a cabo algunas reacciones químicas análogas a las de las células vivas. Si bien estas microesferas no son células vivas, su formación sugiere los tipos de procesos que podrían haber dado origen a entidades proteicas con mantenimiento autónomo, distintas de su ambiente y capaces de llevar a cabo las reacciones químicas necesarias para mantener su integridad física y química.*

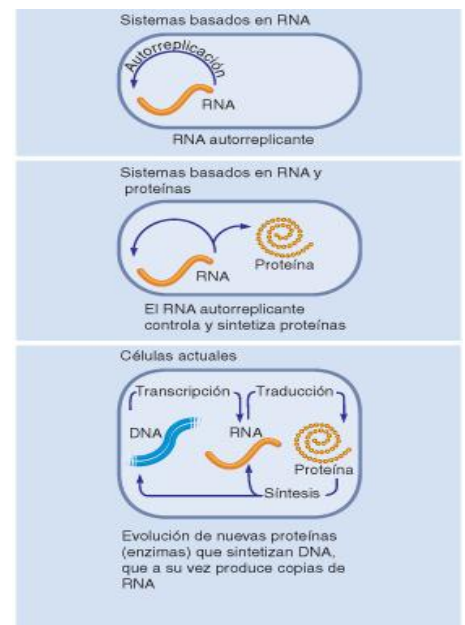
*Todos los biólogos acuerdan en que la forma ancestral de vida necesitaba un rudimentario manual de instrucciones que pudiera ser copiado y transmitido de generación en generación.*

*La propuesta más aceptada es que el ARN habría sido el primer polímero en realizar las tareas que el ADN y las proteínas llevan a cabo actualmente en las células. Esta hipótesis*

se vio corroborada con los trabajos realizados por los bioquímicos científicos norteamericanos Thomas Cech y Sidney Altman que el Premio Nobel en 1989 por descubrir que el ARN puede comportarse como una enzima. Cech bautizó a ese ARN como "**ribozima**", es decir, una enzima constituida por ácido ribonucleico. Por errores de copia en su duplicación habría aparecido una inmensa variedad de ARN; más tarde, estas moléculas pasaron a ejercer control sobre la síntesis de proteínas. En una etapa posterior, las proteínas habrían reemplazado al ARN en la función de acelerar las reacciones químicas. Mediante un proceso aún no esclarecido, la función de almacenar la información genética habría sido transferida del ARN al ADN que es menos susceptible a la degradación química. Posteriormente, estas moléculas autorreplicantes se habrían introducido dentro de compartimientos. Uno de los mayores interrogantes que permanece abierto es cómo se produjo el pasaje de la química prebiótica a la aparición de la vida. Hasta el día de hoy los científicos no han podido transformar en el laboratorio la materia no viva en una célula funcional (Figura 3).

**Figura 3. Ensamble de moléculas durante la evolución temprana de la vida**

Possible camino evolutivo de sistemas simples autorreplicantes de moléculas de ARN hasta los sistemas presentes en las células actuales, en las cuales el ADN almacena la información genética y el ARN actúa como un intermediario en la síntesis de proteínas. En los inicios del proceso es posible que coexistieran una inmensa variedad de diferentes moléculas de ARN surgidas por errores de copia en su duplicación. Posteriormente, el ARN habría pasado a ejercer control sobre la síntesis de proteínas. En una etapa posterior, las proteínas habrían reemplazado al ARN en la función de acelerar las reacciones químicas. Mediante un proceso aún no esclarecido, la función de almacenar la información genética de gran parte de los organismos habría sido transferida del ARN al ADN, que es menos susceptible a la degradación química. Entre los ácidos nucleicos y las proteínas se habría desarrollado una compleja y cooperativa serie de interacciones de controles y equilibrios. Así, estos compuestos, en un proceso de autoorganización, habrían resultado complementarios (fuente: Curtis, 2008).



Sobre la base de los estudios astronómicos y de las exploraciones llevadas a cabo por vehículos espaciales no tripulados, parece que sólo la Tierra, entre los planetas de nuestro sistema solar, sustenta vida. Las condiciones en la Tierra son ideales para los sistemas vivos basados en moléculas que contienen carbono. Frente a las controversias sobre el origen de la vida, algunos científicos reconocidos postularon que hasta las formas de vida más simples son demasiado complejas para haber surgido mediante reacciones químicas al azar en el seno de una sopa oceánica y ubicaron el origen de la vida en el espacio interestelar. Sin embargo, la vida podría ser muy distinta de como nosotros la conocemos. En el caso de que la vida hubiera surgido en Marte en forma independiente, no habría por qué esperar que ésta compartiera sus rasgos con la de los seres vivos terrestres. El fenómeno de la vida podría haber sido resultado de una combinación inimaginable de moléculas desconocidas y con propiedades diferentes. La uniformidad que subyace a la vida en la Tierra -notablemente, todos los organismos comparten un mecanismo de

*transmisión genética común basado en el ADN- sugiere que toda la vida actual descende de un único ancestro y, aunque no sería imposible que hubieran existido otras formas de vida que se extinguieron sin dejar rastros, no existen evidencias de ellas, ni siquiera por un breve período.*

### ***Las células más tempranas pudieron haber sido heterótrofos o autótrofos***

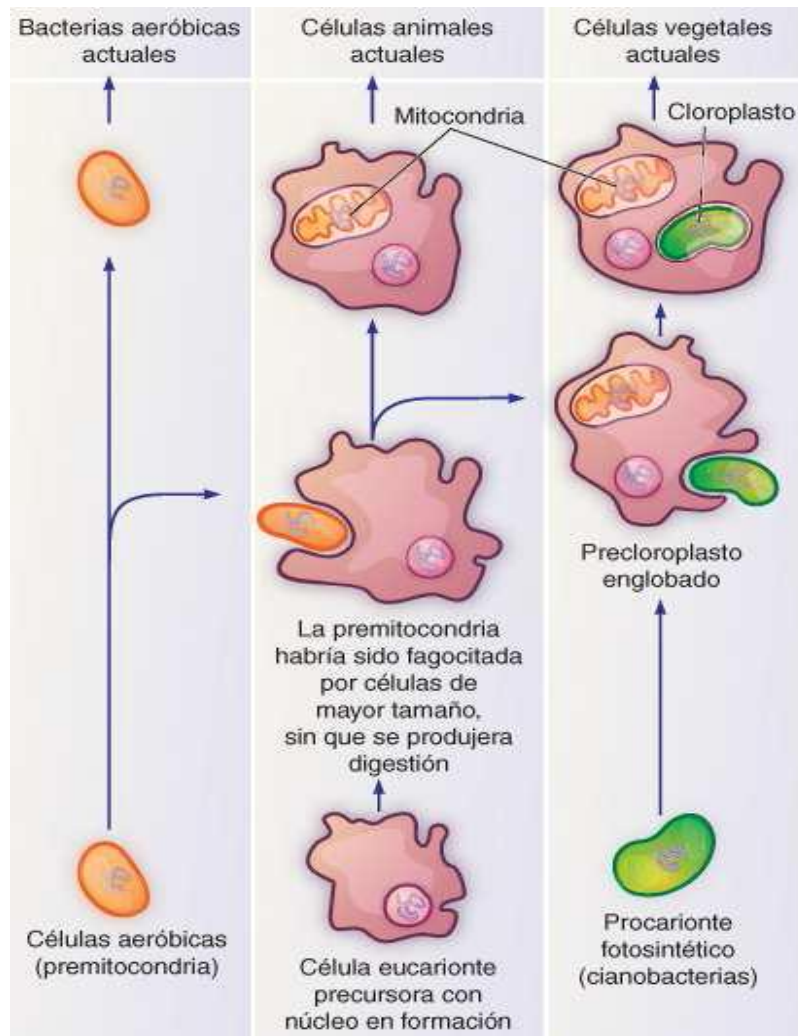
*La energía que produjeron las primeras moléculas orgánicas provino de una variedad de fuentes existentes en la Tierra primitiva y en su atmósfera: calor, radiaciones ultravioletas y perturbaciones eléctricas. Cuando aparecieron las primeras células primitivas, o estructuras semejantes a células, requirieron un aporte continuo de energía para mantenerse, crecer y reproducirse. El modo como estas células obtuvieron la energía actualmente es objeto de una discusión vivaz. Los organismos modernos y las células de las cuales están compuestos pueden satisfacer sus requerimientos energéticos en una de dos formas. Los heterótrofos son organismos que dependen de fuentes externas de moléculas orgánicas para obtener su energía y sus moléculas estructurales. Todos los animales y los hongos, así como muchos organismos unicelulares, son heterótrofos. Los autótrofos por contraste, se "autoalimentan". No requieren moléculas orgánicas procedentes de fuentes externas para obtener su energía o para usarlas como pequeñas moléculas de tipo estructural; en cambio, son capaces de sintetizar sus propias moléculas orgánicas ricas en energía a partir de sustancias inorgánicas simples. La mayoría de los autótrofos, incluyendo las plantas y varios tipos diferentes de organismos unicelulares, realizan fotosíntesis lo que significa que la fuente de energía para sus reacciones de síntesis es el Sol. Ciertos grupos de bacterias, sin embargo, son quimiosintéticas; estos organismos capturan la energía liberada por reacciones inorgánicas específicas para impulsar sus procesos vitales, incluyendo la síntesis de las moléculas orgánicas necesarias. Tanto los heterótrofos como los autótrofos parecen estar representados entre los microfósiles más antiguos. Se ha postulado durante largo tiempo que la primera célula viva fue un heterótrofo extremo. Sin embargo, descubrimientos recientes han planteado la posibilidad de que las primeras células hayan sido autótrofas, quimiosintéticas o fotosintéticas antes que heterótrofas. Se han descubierto varios grupos diferentes de bacterias quimiosintéticas que hubieran sido muy adecuadas para las condiciones que prevalecían en la joven Tierra. Algunas de estas bacterias son habitantes de los pantanos, mientras que otras se han encontrado en profundas trincheras oceánicas, en áreas donde los gases escapan por las fisuras de la corteza terrestre. Hay evidencia de que estas bacterias representan los sobrevivientes de grupos muy antiguos de organismos unicelulares. Aunque los biólogos aún no han podido resolver el problema acerca de si las primeras células fueron heterótrofas o autótrofas, es seguro que sin la evolución de los autótrofos la vida en la Tierra pronto habría llegado a su fin. En los más de 3.500 millones de años transcurridos desde que apareció la vida, los autótrofos más exitosos (o sea, aquellos que han dejado la mayor cantidad de descendencia y se han diversificado en la mayor variedad de formas) han sido los que desarrollaron un sistema para hacer uso directo de la energía solar en el proceso de fotosíntesis. Con el advenimiento de la fotosíntesis, el flujo de energía en la biosfera asumió su forma dominante moderna: la energía radiante del Sol, canalizada por medio de los autótrofos fotosintéticos pasa a todas las otras formas de vida.*

***Hay dos tipos distintos de células: las procariotas y las eucariotas.***

*Todas las células comparten dos características esenciales. La primera es una membrana externa, la membrana celular -o membrana plasmática- que separa el citoplasma de la célula de su ambiente externo. La otra es el material genético -la información hereditaria- que dirige las actividades de una célula y le permite reproducirse y transmitir sus características a la progenie. Existen dos tipos fundamentalmente distintos de células, las procariotas y las eucariotas.*

*Las células procarióticas carecen de núcleos limitados por membrana y de la mayoría de las organelas que se encuentran en las células eucarióticas. Los procariotas fueron la única forma de vida sobre la Tierra durante casi 2.000 millones de años; después, hace aproximadamente 1.500 millones de años, aparecieron las células eucarióticas. El paso de los procariotas a los primeros eucariotas fue una de las transiciones evolutivas principales sólo precedida en orden de importancia por el origen de la vida. La cuestión de cómo ocurrió esta transición es actualmente objeto de viva discusión. Una hipótesis interesante, que gana creciente aceptación, es que se originaron células de mayor tamaño, y más complejas, cuando ciertos procariotas comenzaron a alojarse en el interior de otras células.*

*La investigadora L. Margulis propuso el primer mecanismo para explicar cómo pudo haber ocurrido esta asociación. La llamada "**TEORÍA ENDOSIMBIÓTICA**" (endo significa interno y simbiote se refiere a la relación de beneficio mutuo entre dos organismos) intenta explicar el origen de algunas organelas eucarióticas. Hace aproximadamente 2.500 millones de años, cuando la atmósfera era ya rica en oxígeno como consecuencia de la actividad fotosintética de las cianobacterias, ciertas células procarióticas habrían adquirido la capacidad de utilizar este gas para obtener energía de sus procesos metabólicos. La capacidad de utilizar el oxígeno habría conferido una gran ventaja a estas células aeróbicas que habrían prosperado y aumentado en número. En algún momento, estos procariotas aeróbicos habrían sido fagocitados por células de mayor tamaño, sin que se produjera una digestión posterior. Algunas de estas asociaciones simbióticas habrían sido favorecidas por la presión selectiva: los pequeños simbiotes aeróbicos habrían hallado nutrientes y protección en las células hospedadoras a la vez que éstas obtenían los beneficios energéticos que el simbiote les confería. Estas nuevas asociaciones pudieron conquistar nuevos ambientes. Así, las células procarióticas, originalmente independientes, se habrían transformado en las actuales mitocondrias, pasando a formar parte de las flamantes células eucarióticas. Investigaciones recientes sugieren que la relación metabólica entre los miembros del par simbiótico podría haber sido diferente de lo postulado por Margulis. En la actualidad, varias líneas de evidencia sustentan la teoría de la endosimbiosis (Figura 4). De forma análoga, se cree que los procariotas fotosintéticos ingeridos por células no fotosintéticas de mayor tamaño fueron los precursores de los cloroplastos. Por medio de la hipótesis endosimbiótica, Margulis también explica el origen de cilias y flagelos por la simbiosis de ciertas células con espiroquetas de vida libre. Los organismos multicelulares, compuestos de células eucarióticas especializadas para desempeñar funciones particulares, aparecieron en una época comparativamente reciente, sólo hace unos 750 millones de años.*



**Figura 4 Teoría endosimbiótica:** Según esta teoría, hace aproximadamente 2.500 millones de años, cuando la atmósfera era ya rica en oxígeno proveniente de la actividad fotosintética de las cianobacterias, ciertas células procariontes habrían comenzado a utilizar este gas en sus procesos metabólicos de obtención de energía. La capacidad de utilizar el oxígeno habría conferido una gran ventaja a las células aeróbicas, que habrían prosperado y proliferado. En algún momento, estos procariontes aeróbicos habrían sido fagocitados por células de mayor tamaño, sin que se produjera una digestión posterior. Algunas de estas asociaciones simbióticas habrían resultado favorables: los pequeños huéspedes aeróbicos habrían hallado nutrientes y protección en las células hospedadoras, mientras que éstas obtenían beneficios energéticos de su hospedador. Esto les permitió conquistar nuevos ambientes. Así, células procarióticas respiradoras originalmente independientes se habrían transformado en las actuales mitocondrias (fuente: Curtis, 2008).