

MANUEL ALFREDO ENTRENA GUADIX

EL PASADO REMOTO

**Desde la formación
del sistema solar,
hasta la aparición de
las primeras células**





MANUEL ALFREDO ENTRENA GUADIX

(Granada, 1952)

Es profesor de Enseñanza secundaria desde el año 1980, y catedrático de Biología y Geología desde el año 2000, formando parte del claustro del I.E.S. Padre Manjón desde el año 2006 hasta su jubilación.

A lo largo de su carrera docente ha desempeñado los cargos de Jefe de Estudios, Jefe de estudios Adjunto y Vicesecretario en los IES Iliberis de Atarfe (Granada) y Padre Manjón de Granada; en los que también ha sido Jefe de Departamento durante diversos cursos.

Ha colaborado, de manera habitual, como profesor de los cursos del CAP y Máster de Educación, en las Universidades de Murcia, Málaga y Granada; y como profesor de cursos de perfeccionamiento dirigidos a profesores de EGB.

Es doctor en Ciencias Biológicas por la Universidad de Granada desde 1994.

Ha sido miembro de la Ponencia de Biología de la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía desde el año 2007 hasta el año 2012.

Ha publicado artículos científicos entre los que destacan:

Producción de Estruvita y otras formas cristalinas por *Mixococcus coralloides* D (Tesis Doctoral). Morphological diversity of Struvite crystals by *Mixococcus coralloides* and *Myxococcus xanthus*. Toxicological and Environmental Chemistry. Production of Syngenetic Minerals with Struvite by *Mixococcus coralloides* D. Geomicrobiology Journal. Effects of pH and Phosphate on the production of Struvite by *Myxococcus xanthus*. Geomicrobiology Journal.

Ha presentado diversas comunicaciones en congresos y publicado dos libros de carácter didáctico: Cuadernos de Biología. Biomoléculas (1999) Granada: Ed. CSV y Cuadernos de Biología. Biología Celular (2000) Granada: Ed. CSV.

EL PASADO REMOTO

DESDE LA FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR...
...HASTA LA APARICIÓN DE
LAS PRIMERAS CÉLULAS

MANUEL ALFREDO ENTRENA GUADIX



LECCIÓN INAUGURAL DEL CURSO 2013/2014
4 de octubre de 2013

I.E.S. PADRE MANJÓN
GRANADA

Presentación

Sr. Director, miembros del equipo directivo, profesores, padres, personal no docente, alumnos y amigos.

No puedo comenzar mi intervención sin agradecer al Sr. Director, D. José Olivares, la invitación que me ha hecho para que sea yo el encargado de impartir esta lección inaugural del curso 2013/14, y a la Sra. Vicedirectora D^a Matilde Wood sus amables palabras de presentación.

Poder dirigirme a todos ustedes esta mañana supone para mi, además de un gran honor, un reto que espero poder superar gratamente.

Una novela que llamó mi atención desde que inicié su lectura, cuando era todavía un joven adolescente, es **La Máquina del Tiempo** (figura 1), de **H.G. Wells**. Está basada en la teoría del **Eternalismo**.

Al contrario que **Julio Verne**, padre del detalle y la explicación minuciosa, **Wells** describe, a propósito, la máquina de modo superficial y a la ligera, con algunas pinceladas de color; como cuando comenta que tenía partes de metal, cristal de roca y marfil, que dejan al lector con curiosidad por saber más del invento y su mecanismo.



Figura 1.- La Máquina del tiempo

Fue la primera novela de uno de los considerados como padres de la ciencia-ficción y, con su mezcla de aventuras y doctrina social y política, alcanzó un notable éxito; contribuyendo así a la estabilidad de **Wells** que, a partir de ese momento, pudo dedicarse plenamente a la escritura. La novela trata de las aventuras del viajero a través del tiempo.

Pues bien, eso es lo que yo me propongo hacer en esta lección inaugural, un pequeño viaje a través de unos cuantos miles de millones de años, desde la formación de nuestro Sistema Solar, hasta la aparición de las primeras células; es decir, desde hace 4500 millones de años, fecha aproximada de la formación del Sistema Solar, hasta hace 1500 millones de años, fecha aproximada de la aparición de las células eucarióticas.

El pasado remoto

Desde la formación del sistema solar hasta la aparición de las primeras células.

La historia de la humanidad está marcada, entre otras muchas cosas, por la inquietud por el conocimiento de nuestros orígenes. Esta es una cuestión fundamental para esa gran rama de la ciencia que es la Biología.

Sin duda alguna la aparición de la vida pudo llevarse a cabo porque, previamente, se crearon en nuestro planeta las condiciones apropiadas para ello.

Tenemos conocimientos sobre los astros que componen nuestro Sistema Solar (*Sol, planetas, planetas enanos, satélites, asteroides y cometas*). Todos ellos forman, muy probablemente, una familia común y parece que pudieron, debieron, formarse al mismo tiempo.

La aparición de una Atmósfera y de una Hidrosfera terrestres fue, sin duda, determinante para que se generaran las condiciones que permitieron la aparición de la vida.

A pesar de los grandes avances realizados en los últimos años en Biología molecular, en Astrobiología o en otras disciplinas científicas, aún nos encontramos lejos de comprender, de manera clara y absoluta, las condiciones que existieron en nuestro planeta en épo-

cas remotas y que permitieron que apareciera la vida tal y como la conocemos en la actualidad.

No conocemos con exactitud cómo se originaron las primeras células y qué procesos se llevaron a cabo para permitir una evolución posterior hacia niveles de organización más complejos.

Sabemos que todos los seres vivos conocidos están constituidos por una serie de elementos químicos que interaccionan entre sí debido a una serie de factores físico-químicos fundamentales. Dichos factores constituyen los procesos esenciales que necesitan las células para desenvolverse.

En esta lección inaugural, trataremos de hacer un repaso sobre el origen de nuestro planeta, enmarcado en el proceso de formación de nuestro Sistema Solar para, posteriormente, describir qué características de la biosfera tuvieron una importancia determinante a la hora de considerar la evolución química de las formas vivientes.

TEORÍAS HISTÓRICAS SOBRE EL SISTEMA SOLAR

El problema de la localización de la Tierra en el Universo ha cambiado a lo largo de la historia a medida que el hombre iba adquiriendo conocimientos más sólidos, que se desarrollaban y perfeccionaban las teorías científicas y que evolucionaban las condiciones sociales, políticas y religiosas. Obviamente dicho problema no ha quedado fuera de esta dinámica.

Hace 4000 años, los babilonios ya conocían los movimientos aparentes de las estrellas, planetas y satélites; y eran, incluso, capaces de predecir los eclipses.

Los egipcios estudiaron el firmamento buscando razones que les permitieran conocer la periodicidad de las inundaciones del Nilo. Su calendario tenía una duración de 365'25 días.

Los chinos pensaban que la Tierra era cuadrada y que estaba cubierta por un cielo redondo, con el Sol y el resto de las estrellas moviéndose alrededor de ella. Luego modificaron esta idea y empezaron a considerar que era redonda y que el resto de los cuerpos celestes giraban a su alrededor.

Los antiguos griegos, viajeros consumados, creyeron que la Tierra era plana y de forma circular, y que estaba rodeada por un enorme océano que terminaba en la bóveda fija del cielo. El Sol, la Luna y las estrellas se elevaban surgiendo del borde del océano y se trasladaban a través de la bóveda celeste para desaparecer de nuevo bajo las aguas. Fueron los primeros en construir un modelo cosmológico para tratar de interpretar estos movimientos.

En el siglo XI a. C., **Tales de Mileto** creía que el Universo era una gran esfera y que la Tierra era redonda, creencia a la que había llegado por medio del estudio de las matemáticas, según las cuales el círculo y la esfera eran formas perfectas. Desarrolló la idea de



que las estrellas estaban fijas en una esfera celeste, que rotaba alrededor de una Tierra esférica cada día; mientras que los planetas, el Sol y la Luna se movían en un éter comprendido entre la Tierra y las estrellas.

Este modelo fue recogido por **Claudio Ptolomeo** (figura 2) en su obra *Almagesto*

Figura 2.
Retrato medieval de Claudio Ptolomeo (100-170).

El **Geocentrismo** (figura 3) es una antigua teoría que coloca a la Tierra en el centro del universo, y los astros, incluido el Sol, girando alrededor de ella. (*geo*: Tierra; *centrismo*: agrupado o de centro).

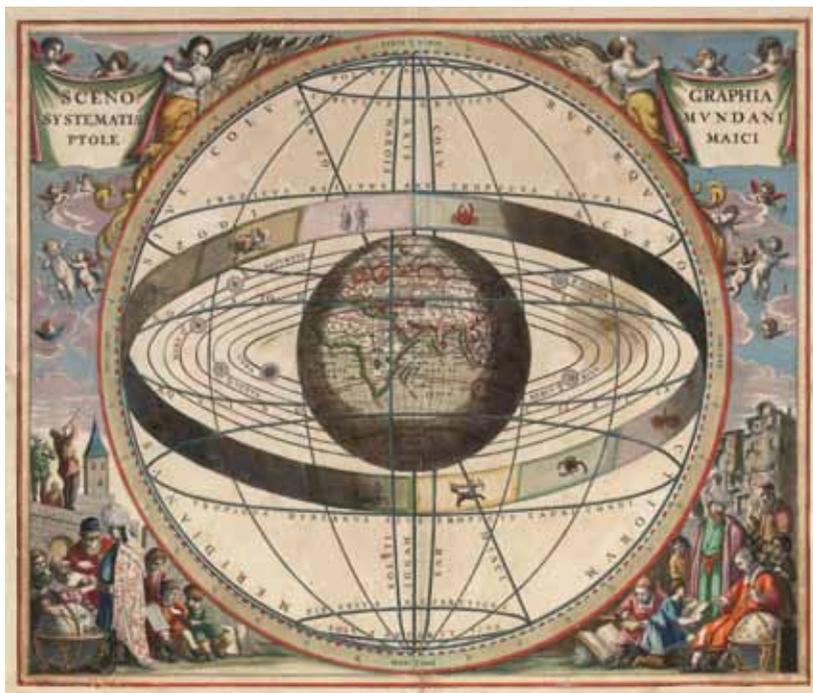


Figura 3.- Representación del modelo geocéntrico de Ptolomeo

El **Geocentrismo** estuvo en vigor hasta el siglo XVI cuando fue reemplazado por la **Teoría Heliocéntrica**.

Nicolás Copérnico (figura 4) propuso un modelo matemático completamente predictivo de un sistema heliocéntrico, al publicar el libro *Revolutionibus Orbium Coelestium*. Este marco inició lo que en la historia de la Ciencia se conoce como Revolución Copernicana.

El **Heliocentrismo** es un modelo astronómico según el cual la Tierra y los planetas se mueven alrededor de un Sol relativamente

estacionario que está situado en el centro del Sistema Solar (figura 5). Esta teoría ya había sido propuesta en el siglo III a. C. por **Aristarco de Samos**, aunque no recibió el apoyo de los astrónomos de la antigüedad.

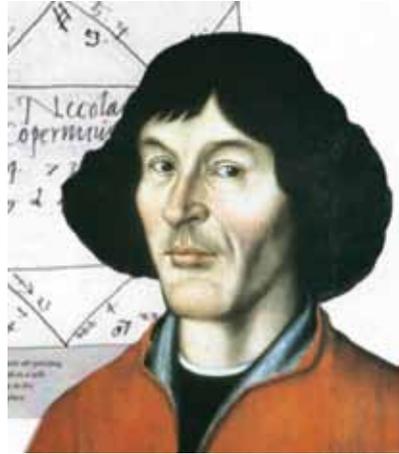


Figura 4.- Nicolás Copérnico (1473-1543).

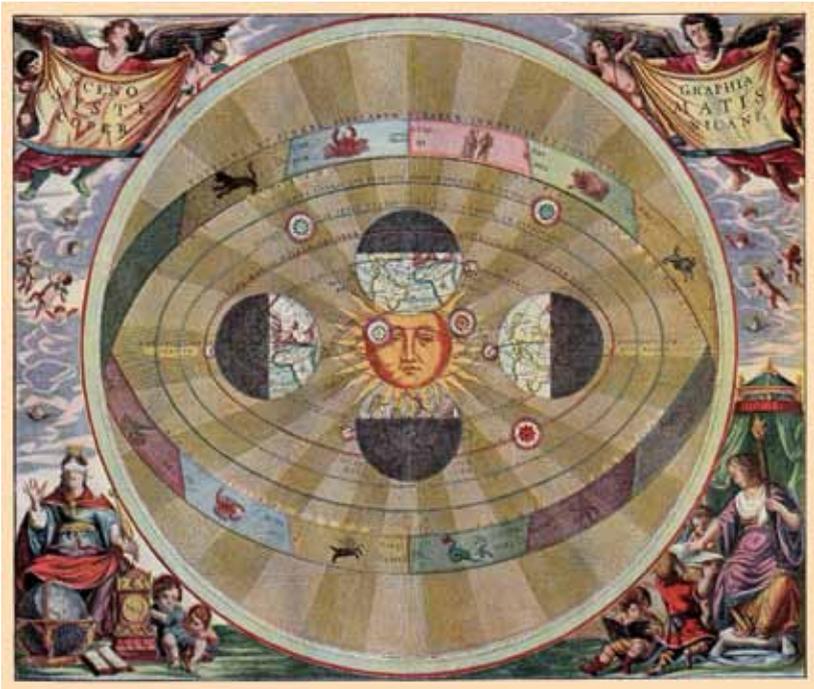


Figura 5.- Modelo heliocéntrico de Copérnico.

En el siglo XVII, **Johannes Kepler** (figura 6) trabajó y expandió este modelo incluyendo órbitas elípticas y sus trabajos fueron apoyados por las observaciones, hechas con telescopio, de **Galileo Galilei** (figura 6).



Figura 6.- Johannes Kepler (1571-1630) y Galileo Galilei (1564-1642).

ORIGEN DEL SISTEMA SOLAR

Los primeros intentos científicos para explicar el origen del Sistema Solar hacían referencia a colisiones o condensaciones de una nube de gas. El descubrimiento de los “universos-islas”, que ahora sabemos que son galaxias, se pensó que confirmaba esta teoría de las colisiones.

El físico y astrónomo británico **James Hopwood Jeans** (figura 7) propuso la idea de que los planetas, al principio, se condensaron a partir de material retirado del Sol por una hipotética colisión con otra estrella. Esta teoría no se acepta hoy en día, ya que cualquier teoría sobre el Sistema Solar debe explicar algunos hechos bastante

problemáticos, adicionalmente al hecho obvio de que el Sol está en el centro con los planetas orbitando a su alrededor, como:

- a) Que el Sol gira lentamente y sólo tiene el 1% del momento angular del Sistema Solar, pero tiene el 99'9 de su masa. Los planetas tienen el resto del momento angular.
- b) La formación de los planetas terrestres con núcleos sólidos.
- c) La formación de planetas gaseosos gigantes.
- d) La formación de los satélites planetarios.



Figura 7.- J. H. Jeans (1877-1946).

En la actualidad existen varias teorías que pueden ser consideradas validas para explicar el origen del Sistema Solar, a saber:

Teoría de Kant-Laplace.

Teoría de acreción.

Teoría de captura.

Teoría de los planetesimales.

Teoría de la nebulosa moderna.

Las repasaremos brevemente.

Teoría de Kant

El filósofo alemán **Emmanuel Kant** (figura 8) propuso, en 1775, la idea sobre el origen de los planetas y del Sol a partir de una gran nebulosa que, al achatarse y contraerse, formó los meteoros que originaron a los planetas. De la concentración central de esa nebulosa se formó nuestro Sol.



Figura 8.- Emmanuel Kant (1724-1804).

Teoría de Laplace

Pierre Simon Laplace (figura 9) fue un matemático, físico y astrónomo francés. Sus trabajos más destacados sobre astronomía fueron las investigaciones acerca de las variaciones de los movimientos planetarios.

En 1776, propuso su teoría sobre el origen del Sol y los planetas, también basada sobre una gran nebulosa. Por esta razón, ha sido identificada como teoría de **Kant y Laplace**. Esta teoría explica que la nebulosa se tornó inestable al adquirir un movimiento de rotación y

en las capas externas se originaron anillos concéntricos, cada uno de los cuales, al separarse, dio lugar a los planetas y a los satélites, en tanto que en el centro de la nube se formó el Sol. Dado que la nebulosa giraba en una misma dirección alrededor de su eje, todos los planetas quedaron girando alrededor del Sol en ese mismo sentido. Esta teoría no puede explicar la baja velocidad de rotación del Sol.

Teoría Laplaciana moderna

Actualmente, una manera de ver la teoría de **Kant** y **Laplace** sobre el origen del Sistema Solar, explica que hace unos 4660 millones de años se formó una nube de gas, polvo y otras partículas, llamada nube primordial, compuesta básicamente de hidrógeno, helio, carbono, nitrógeno y oxígeno.

Se especula que el cataclismo ocasionado por una vecina explosión en supernova de una estrella, apartó una nube de gas y polvo para formar el Sol y los planetas.



Figura 9.- Pierre Simón Laplace (1749-1827).

Esa nube gaseosa se aplanó y condensó como consecuencia de su rotación, formando en su parte central un protosol, es decir, un Sol en formación. Esa parte central que formaba al protosol se condensó y calentó hasta propiciar una combustión nuclear. De esa manera se formó el Sol en cuyo núcleo hay una transformación permanente de materia en energía.

Conforme el Sol pudo situarse en la parte central de la masa gaseosa, otras porciones ubicadas a diferentes distancias fueron agregándose para formar los planetas.

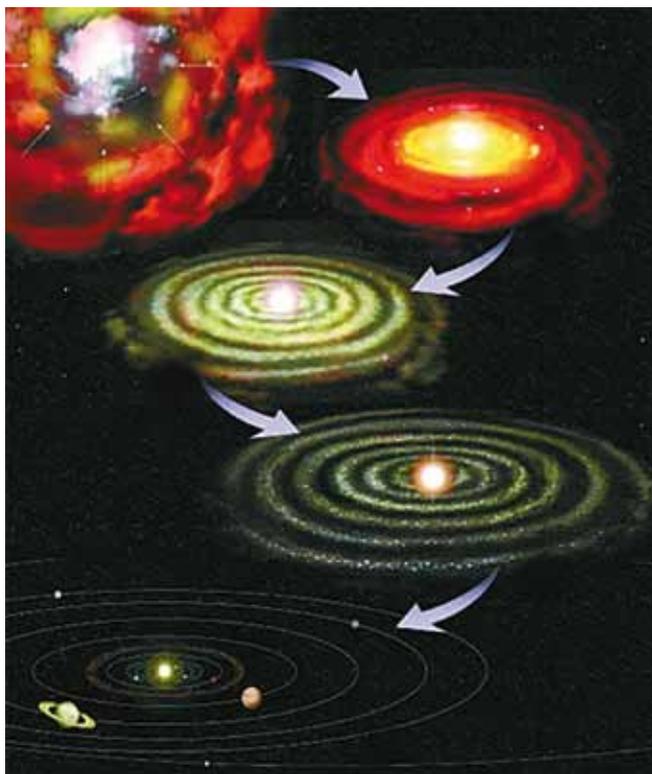


Figura 10. - Desarrollo del Sistema Solar según la hipótesis de Laplace.

La versión moderna asume que la condensación central contiene granos de polvo sólido que crean un roce en el gas al condensarse el centro.

Eventualmente, una vez que el núcleo ha sido formado, su temperatura aumenta, y el polvo es evaporado. El centro que rota lentamente se convierte en el Sol. Los planetas se forman a partir de la nube que rota más rápidamente.

En la figura 10, se representa un esquema de los distintos pasos que debieron sucederse desde la nebulosa inicial hasta la aparición del Sistema Solar, tal y como lo conocemos actualmente.

Teoría de Acreción

Acreción es la agregación de materia a un cuerpo. Por ejemplo, la acreción de masa por una estrella es la adición de masa a la estrella a partir de materia interestelar o de otra estrella compañera. La teoría de la acreción fue propuesta por el geofísico ruso **Otto Schmidl** en 1944.

Dicha teoría sostiene que el Sol pasó a través de una densa nube interestelar y emergió rodeado de un envoltorio de polvo y gas. Esto quiere decir que la formación del Sol y los planetas no se llevó a cabo de manera simultánea.

El problema que permanece es el de lograr que los planetas se formen a partir de la masa capturada a esa nube interestelar.

Según esta teoría, los planetas se formaron por condensación de pequeñas partículas de polvo cósmico procedente, bien de la explosión de una supernova o bien de una estrella gemela a nuestro Sol.

Los planetas interiores (rocosos) pueden formarse en un tiempo razonable mientras que los planetas exteriores (gaseosos) tardarían mucho más tiempo en formarse.

La teoría no explica la formación de los satélites ni puede explicar por qué las distancias de los planetas al Sol siguen una progresión aritmética (Ley de **Titius-Bode**). Debe considerarse como la teoría más débil de las aquí descritas.

Teoría de captura

Es una versión de la teoría de **J. H. Jeans**. Explica que el Sol interactuó con una proto-estrella cercana, expulsando un filamento de materia de ella.

La baja velocidad de rotación del Sol, se explica como debida a su formación anterior a la de los planetas.

La formación de los planetas interiores (planetas rocosos) se explica por medio de las colisiones entre los protoplanetas más cercanos al Sol.

La formación de los planetas gigantes (gaseosos) y de sus satélites se explica como condensaciones del filamento extraído.

Teoría de los planetesimales o de los protoplanetas

Esta teoría fue desarrollada, entre los años 1944 y 1950, por **Gerard P. Kuiper** y **Carl F. Von Weizsäcker** (figura 11). Es la teoría más aceptada actualmente sobre el origen del Universo.

Asume que inicialmente existió una densa nube interestelar a partir de la cual se formó la nebulosa solar. En dicha nebulosa se desarrolló un centro denso, el denominado protosol.

Como la parte exterior de la nube giraba alrededor del protosol, la gravedad generada fue la causante de que se formaran densos cúmulos dentro de la nebulosa solar. Estos cúmulos se fueron contrayendo para originar los protoplanetas.

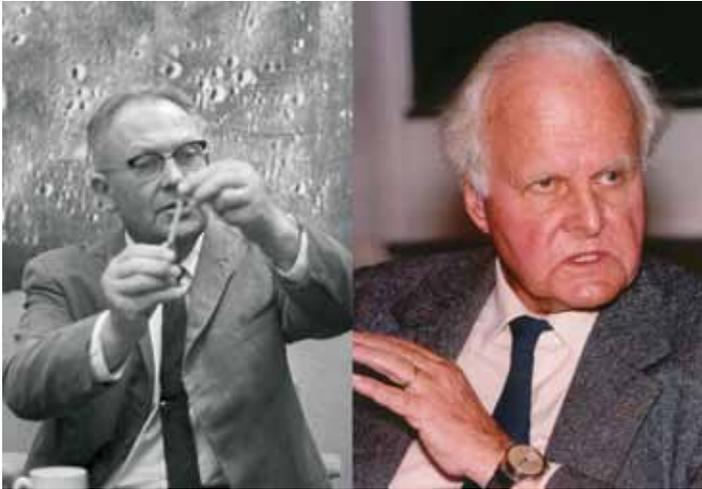


Figura 11.- Izda. Gerard P. Kuiper (1905-1973) y dcha. Carl F. Von Weizsäcker (1912-2007).

Con el paso del tiempo el protosol se comprimió debido a la fuerza de la gravedad, se calentó y arrojó gran parte del resto de la nube hacia el espacio. Los protoplanetas también perdieron sus envolturas exteriores, pero quedó materia suficiente para que evolucionaran hasta los planetas actuales. A una escala más pequeña, ocurrió algo parecido con los protosatélites, que fueron evolucionando hasta formar los satélites actuales.

De esta forma se cubren muchas de las áreas problemáticas sobre el origen del sistema solar, pero no queda claro cómo o por qué los planetas fueron confinados a un plano, o por qué sus rotaciones tienen el mismo sentido.

Podemos profundizar un poco más en la explicación de esta teoría.

En un principio una nube molecular de gas y polvo se colapsa por su propia fuerza gravitatoria. La perturbación que recibió esa nube pudo estar provocada por una onda de choque de una supernova cercana. Algunas regiones de esa nube molecular, poseen una den-

sidad mayor, por lo que el colapso gravitatorio del núcleo termina por formar una estrella (Sol). Esa estrella, debido a ese choque comenzaría a rotar a una velocidad tan grande que la haría romperse, pero no se rompe, puesto que se forma un disco en el plano del ecuador de la estrella. Ese disco de gas y polvo que tiene la misma composición de la estrella, queda orbitando alrededor de la estrella y acabará por formar los planetas.

El disco de gas y polvo va a tener una temperatura alta en las partes que se encuentran cerca del Sol y temperaturas más bajas en las que están más alejadas del Sol. Las partículas de polvo que contiene ese disco colisionan y se pegan entre sí, de este modo se forman objetos de mayor tamaño. Las partículas de polvo se distribuyen a lo largo de todo el disco. El crecimiento de esas partículas sigue y sigue. Algunos de estos acúmulos alcanzan una masa suficiente como para producir una fuerza gravitatoria significativa, por lo que su gravedad les da ventaja sobre otros de menor tamaño, y atraen a un mayor número de partículas más pequeñas y, de manera muy rápida, los objetos grandes acumulan toda la masa cercana a su órbita. El tamaño que alcancen va a depender de su composición y de su cercanía a la estrella central.

Algunas teorías sostienen que ese tamaño que alcanzan dichos objetos, en el interior del sistema, corresponde al de un gran asteroide o un tamaño cercano al de nuestra Luna. Mientras que en el exterior del sistema la masa de esos planetas sería aproximadamente unas 15 veces la masa de la Tierra. El crecimiento de esos cuerpos sólidos de poco volumen, llamados planetesimales cuando alcanzan un tamaño de un kilómetro, tuvo lugar en un intervalo de tiempo de entre unos cientos de miles hasta veinte millones de años, y los planetas más alejados del Sol habrían sido los últimos en formarse.

Pudo ocurrir que después del enfriamiento de la nebulosa de gas, la estrella produjo un fuerte viento solar que “barrió” todo el

gas y que los planetas que tenían más masa y por tanto más fuerza gravitatoria atrajeron esos gases hacia sus órbitas, como ya hubieran hecho tiempo atrás, y se convirtieron en gigantes de gas, mientras que los que tenían menos masa, permanecerían formados por grandes acumulaciones rocosas o por hielo.

Entonces, a partir de ese momento, el Sistema Solar quedó únicamente compuesto por cuerpos sólidos y cuerpos gaseosos. Los planetesimales seguirían chocando entre sí a un ritmo mucho menor aunque seguirían acumulando una masa mucho mayor.

Finalmente el Sistema Solar acabaría con unos diez planetas. Pudo haber sucedido que en el transcurso de tanto tiempo, algún cometa chocara contra la superficie de alguno de esos planetas, concretamente el que pudo ocupar el espacio que queda entre Marte y Júpiter, y a causa del impacto, el planeta pudo haber quedado reducido a fragmentos de material más pequeños que siguen girando en la misma órbita, formando el denominado cinturón de asteroides, y así originar el Sistema Solar que conocemos. En la actualidad queda constituido por 8 planetas, puesto que Plutón ya no se considera como tal sino como uno de los cuerpos de mayor tamaño de los muchos que forman el denominado Cinturón de **Kuiper**, localizado en los confines exteriores del Sistema Solar.

Teoría de la Nebulosa moderna

Las teorías nebulares implican que, antes de la existencia del Sistema Solar, una estrella, al final de su vida, se convirtió en una supernova que durante miles de años libero material estelar al espacio, finalmente al colapsar, explotó dando origen al material constitutivo del Sol y los planetas, agrupados en una gran nebulosa.

Este material fue creado por las reacciones de fusión nuclear en el núcleo de la estrella (H, He, Ca, y otros) así como por la formación

de elementos más pesados en el momento mismo de la explosión. La nube así formada viaja por el espacio con un movimiento rotatorio o movimiento angular, remanente del propio movimiento de la estrella primitiva.

La evidencia de una posible explosión en supernova de formación previa, aparece en forma de trazas de isótopos anómalos en las pequeñas inclusiones de algunos meteoritos.

La abundancia de estrellas múltiples y binarias, así como de grandes sistemas de satélites alrededor de Júpiter y Saturno, atestiguan la tendencia de las nubes de gas a desintegrarse fragmentándose en cuerpos múltiples.

Las observaciones de estrellas muy jóvenes indican que están rodeadas de densos discos de polvo.

En 1944 el astrónomo alemán **Carl F. Von Weizsäcker**, llevó a cabo un detenido análisis de la teoría de **Laplace**. Explicó que dependiendo del tamaño de esas nebulosas se originarían galaxias (remolinos mayores) y dentro de ellas sistemas planetarios como nuestro Sistema Solar (remolinos menores). En los límites de nuestro remolino solar, se podrían haber formado otros menores que serían el origen de los planetas.

Esta teoría no resolvió por sí sola las interrogantes sobre el momento angular de los planetas, ni aportó más aclaraciones que la versión mucho más simple de **Laplace**. El astrofísico sueco **Hannes Alfvén** (figura 12) incluyó en sus cálculos el campo magnético del Sol. En sus comienzos, el joven Sol, giraba rápidamente, su campo magnético actuaba como un freno moderador de ese movimiento y entonces se transmitiría a los planetas el momento angular.

Tomando como base dicho concepto, **Fred Hoyle** (figura 12) reelaboró la **Teoría de Weizsäcker** de tal forma que esta, una vez modifi-

cada para incluir las fuerzas magnéticas y gravitatorias, sigue siendo una de las mejores teorías para explicar el origen del Sistema Solar.

En años recientes los astrónomos han propuesto que la fuerza iniciadora de la formación del Sistema Solar debería ser la explosión de una supernova.

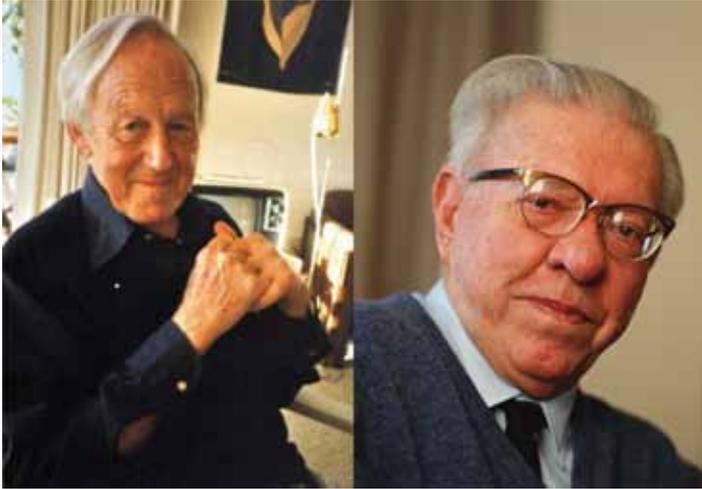


Figura 12.- Izda. Hannes Alfvén (1908-1995). Fred Hoyle (1915-2001).

Cabe imaginar que una nube de polvo y gas que ya existiría, relativamente invariable, durante miles de millones de años, habría avanzado hacia las vecindades de una estrella que acababa de explotar como una supernova. La onda de choque de esta explosión y la vasta ráfaga de polvo y gas que se formaría a su paso a través de la nube casi inactiva, comprimirían esta nube, intensificando su campo gravitatorio e iniciando la condensación que conlleva la formación de una estrella.

Conclusión

Como hemos visto, han sido muchos los intentos de desarrollar teorías sobre el origen del Sistema Solar. Ninguna de ellas puede

describirse como totalmente satisfactoria, y es posible que haya desarrollos posteriores que expliquen mejor los hechos conocidos hasta ahora. Sin embargo sí podemos decir que han ido complementándose y que de todas ellas podemos sacar la conclusión de que el sistema solar se originó a partir de una nube de gas y polvo, lo que denominamos Nebulosa.

En la figura 13, se muestra una imagen de lo que pudo ser la Nebulosa original, a partir de la cual pudo formarse nuestro Sistema Solar.



Figura 13.- Así pudo ser la Nebulosa original.

Podemos resumir que el mecanismo general consistió en que el Sol y los planetas se formaron a partir de la contracción de parte de una nube de gas y polvo, bajo su propia atracción gravitacional.

Esa nebulosa adquirió, al contraerse, un movimiento de rotación, lo que provocó que se formara un núcleo denso (protosol) que luego sería el Sol.

El resto de los materiales nebulares se dispusieron alrededor del protosol adoptando la forma de un disco (figura 14).

Los componentes de ese disco se distribuyeron en anillos concéntricos, más o menos circulares, en función de sus densidades (figura 15).



Figura 14.- Desarrollo del protosol y formación del disco de gas y polvo. En el centro de la nube se está formando el protosol.

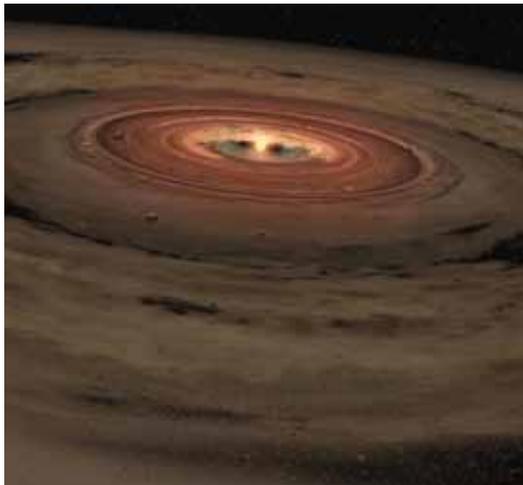


Figura 15.- Un estadio más avanzado, el Sol ya se ha formado y los planetas se están formando

Las partículas que formaban cada uno de esos anillos fueron chocando entre sí en el denominado proceso de acreción y uniéndose en otras cada vez de mayor tamaño, hasta formar los denominados planetesimales (figuras 16 y 17) que continuaron atrayéndose hasta originar los planetas actuales. Los más densos en las zonas próximas al centro y los menos densos en las zonas más alejadas del Sol.

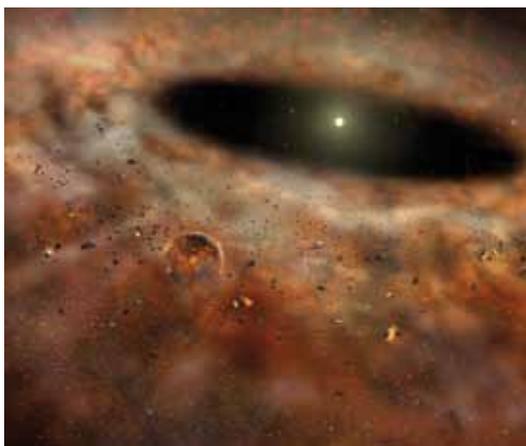


Figura 16.- Acreción de planetesimales, mediante choques producidos por atracción gravitatoria.



Figura 17.- Protoplanetas en una fase más avanzada de formación.

La condensación central formó el Sol, mientras que las condensaciones menores originaron los planetas y sus satélites. La energía del joven Sol sopló el remanente de gas y polvo, dejando el Sistema Solar como lo vemos actualmente (figura 18).

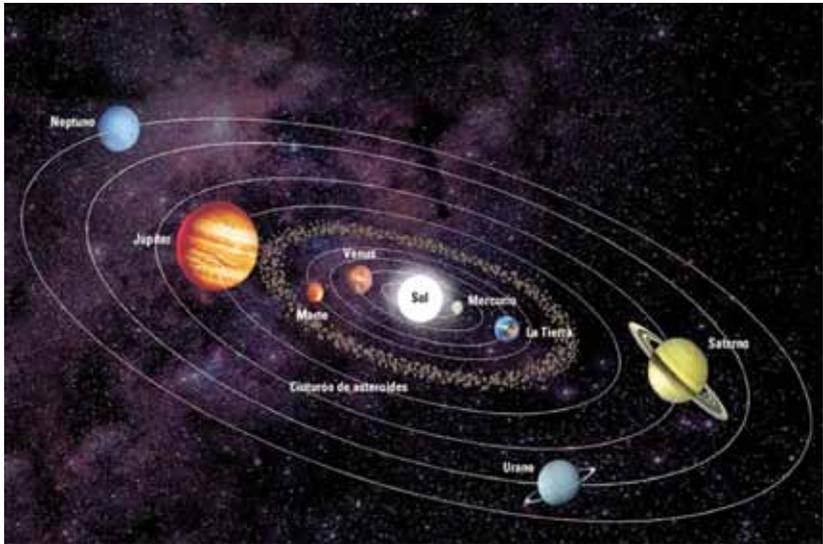


Figura 18.- El Sistema Solar.

Bien, ya tenemos formado nuestro Sistema Solar, uno de cuyos planetas, el tercero en orden de proximidad al Sol, es la Tierra, cuyo origen va indefectiblemente unido al del propio Sistema Solar.

EL ORIGEN DE LA TIERRA

Hablar del origen de la Tierra es lo mismo que hablar del origen del Sistema Solar, ya que hemos de partir de la idea de que todos los planetas tienen una relación directa o indirecta con el Sol y se han formado de la misma manera; las únicas diferencias radican en sus características y evolución.

Según los científicos, hace unos 15000 millones de años, se produjo una gran explosión, el denominado Big-Bang. La fuerza desencadenada impulsó la materia, extraordinariamente densa, en todas direcciones, a una velocidad próxima a la de la luz. Con el tiempo, y a medida que se alejaban del centro y se reducía su velocidad, masas de esa materia se quedaron más próximas, para formar, más tarde, las galaxias.

No sabemos qué ocurrió en el lugar que ahora ocupamos durante los primeros 10000 millones de años; si hubo otros soles, otros planetas, espacio vacío o, simplemente, nada. Hacia la mitad de este período, o quizás antes, debió formarse una galaxia. Cerca del límite de esa galaxia una porción de materia se condensó en una nube más densa hace unos 5000 millones de años. Las fuerzas gravitatorias hicieron que la mayor parte de esta masa formase una esfera central, y a su alrededor quedasen girando masas mucho más pequeñas.

La masa central se convirtió en una esfera incandescente, una estrella, el Sol. Las pequeñas también se condensaron mientras describían órbitas alrededor del Sol, formando los planetas y algunos satélites.

Uno de esos planetas pudo generar agua en estado líquido y retener una importante envoltura gaseosa, este planeta es la Tierra.

Después de un período inicial en que la Tierra era una masa incandescente una gran “bola de fuego” (figura 19), comenzó un proceso de enfriamiento que iba a permitir que las capas exteriores comenzaran un proceso de solidificación, pero el calor procedente del interior las volvía a fundir. Llegó un momento en que la temperatura bajó lo suficiente como para permitir la formación de una corteza terrestre estable.

La actividad volcánica era intensa, lo que motivaba que grandes masas de lava saliesen al exterior (figura 20) y, al enfriarse y solidi-

ficar, aumentasen el espesor de la corteza. Esta gran actividad volcánica generó una gran cantidad de gases (figura 21) que acabaron formando una capa sobre la corteza, la llamada *Atmósfera I* o *Atmósfera primitiva*, de composición muy distinta de la *Atmósfera actual*.



Figura 19.- Así pudo ser la superficie terrestre durante sus primeros tiempos, una gran "bola de fuego".

En las erupciones, a partir del oxígeno y del hidrógeno, se generaba vapor de agua que, al ascender por la *Atmósfera*, se condensaba hasta dar origen a las primeras lluvias. Al cabo del tiempo, con la corteza más fría, el agua de las precipitaciones se pudo mantener líquida en las zonas más profundas de la corteza, formando mares y océanos, es decir la *Hidrosfera*.



Figura 20.- Intensa actividad magmática en la superficie terrestre.



Figura 21.- Enfriamiento de los magmas y emisión de gases a la Atmósfera.

FORMACIÓN DE LA ATMÓSFERA Y LA HIDROFERA PRIMITIVAS

Después de lo que hemos visto hasta ahora, debemos pensar que los planetas gaseosos, también llamados planetas mayores, sean una muestra representativa de la nube original, con una composición similar a la del Universo en su conjunto, con abundancia de, hidrógeno, helio, metano, amoníaco y agua. Los planetas rocosos, también llamados menores, son algo más pobres en gases, como el helio o el neón, que pudieron escapar a la atracción gravitatoria, mientras muestran abundancia de elementos pesados.

La combinación de una gravedad relativamente baja y una temperatura elevada, condujo a la pérdida de la mayoría de los constituyentes volátiles de la Atmósfera primitiva terrestre, fundamentalmente el hidrógeno y el helio que se disiparon en el espacio interplanetario. A su vez en esa Atmósfera existía una abundancia relativa de oxígeno, no libre, sino unido a otros elementos químicos en los minerales no volátiles de la clase de los silicatos.

Durante la fase final de la formación de la Tierra surgió una Atmósfera primitiva secundaria, debido a los gases provenientes de las erupciones volcánicas. Sobre la composición de esta Atmósfera primitiva secundaria existe actualmente una fuerte controversia. Según algunos estaba formada básicamente por vapor de agua, algún residuo de hidrógeno, amoníaco, metano, y ácido sulfídrico. Según otros, los más creíbles en la actualidad, debía tener dióxido de carbono, nitrógeno y vapor de agua y el contenido de amoníaco sería poco probable, puesto que este compuesto es altamente fotosensible, lo que lleva a su degradación inmediata a nitrógeno.



Figura 22.- La Atmósfera terrestre.

En lo que sí parece que todo el mundo está de acuerdo es en que la Atmósfera primitiva poseía un fuerte carácter reductor.

La formación de la capa superficial líquida (figura 23) fue cuestión de tiempo. Mientras la temperatura se mantuvo alta, el agua se mantuvo en forma de vapor en la Atmósfera. La disminución de temperatura provocó que el vapor de agua se condensara y empezara a llover, formándose los primeros océanos en las regiones más deprimidas de la superficie terrestre.

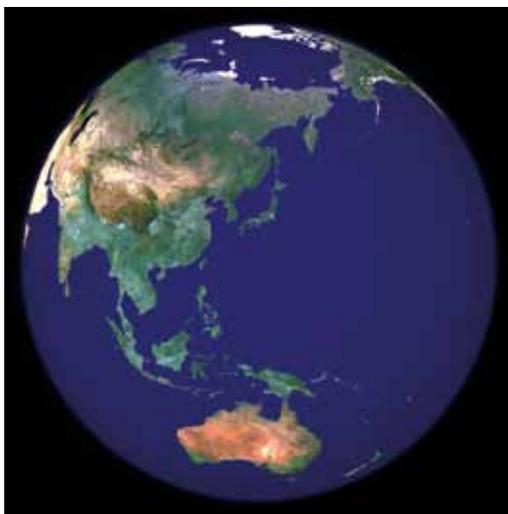


Figura 23.- Una parte de la hidrosfera terrestre.

EL ORIGEN DE LA VIDA: INTERPRETACIÓN HISTÓRICA Y VISIÓN ACTUAL.

Aunque la búsqueda de las causas que originaron la vida, tal y como la entendemos en la actualidad, data de hace relativamente poco tiempo, desde la antigüedad el hombre ya se preguntaba cómo surgió la vida y trató de dar explicaciones a esa pregunta.

A pesar de que las condiciones terrestres para la vida fueron muy diferentes a las actuales, en los últimos años se han descubierto múltiples evidencias que permiten hacer conjeturas sobre su origen. Por ejemplo, la utilización de técnicas de datación ha permitido fechar muchos sucesos; se ha demostrado que los compuestos que se encuentran en los seres vivos pueden formarse espontáneamente a partir de compuestos que existían en la Tierra hace miles de millones de años, y también que las formas de vida actuales poseen un antepasado común.

Si aceptamos la suposición de que los cuerpos que forman el Sistema Solar se originaron, más o menos simultáneamente, a partir de la misma nube de polvo primitiva, se puede deducir que la edad de nuestro planeta es de unos 4600 millones de años, similar a la de algunos meteoritos, ya que se han descubierto rocas inalteradas de edades superiores a los 4000 millones de años (Gneises de Acasta) en los Territorios del Noroeste, en Canadá. La datación se ha realizado mediante el estudio de los circones que contienen.

Un aspecto que ha llamado la atención y el interés científico es la rapidez de la evolución de la vida en la Tierra. Se han descubierto fósiles semejantes a bacterias en sedimentos datados entre los 3200 y 3400 millones de años, e incluso en las rocas sedimentarias más antiguas que se conocen (Groenlandia), datadas hace 3850 millones de años, se han hallado indicios de vida.

Esto quiere decir que en menos de 1000 millones de años después de formarse el planeta apareció en él la vida. Hasta la fecha, de este lapso de tiempo no ha aparecido ningún tipo de huella que pueda ayudarnos a esclarecer las etapas anteriores al origen de la vida. Por tanto, la historia de la Tierra y de la vida se ha intentado explicar a partir de la información disponible en etapas posteriores, aunque parte de ella haya sido borrada por acontecimientos recientes.

Al margen de las explicaciones creacionistas, que conceden el origen de todo lo existente en la Tierra a un Dios creador, repasaremos las principales hipótesis científicas propuestas para tratar de explicar el origen de la vida. Desde un punto de vista histórico destacan:

- **Teoría de la generación espontánea**
- **Hipótesis de la panspermia.**
- **Hipótesis de Oparin y Haldane.**

Teoría de la generación espontánea

En la antigüedad se pensaba que la vida surgía del lodo, del agua e incluso de los cuatro elementos fundamentales establecidos: aire, agua, fuego y tierra. **Aristóteles** (figura 24), además de filósofo un buen naturalista, al que se deben las primeras clasificaciones de los

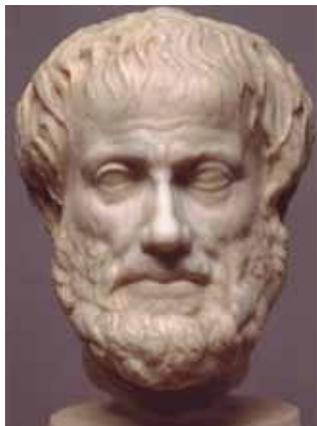


Figura 24.- Busto de Aristóteles
(384 a.C.-322 a.C.).

seres vivos, era un firme defensor de la generación espontánea y propuso que los gusanos, insectos y peces provenían del sudor, el rocío o la humedad, como resultado de la interacción de la materia “no viva” con “fuerzas capaces de dar vida”.

La teoría de la generación espontánea perduró a lo largo de la Edad Media, y una mala interpretación de las ideas aristotélicas sembró aún más la confusión, por lo que se llegaron a describir árboles que originaban gansos e incluso un cordero de origen vegetal encontrado en un fruto similar a una calabaza.

Aunque esta concepción estaba muy generalizada en los ambientes científicos, pronto hubo investigadores que se opusieron a ella. Los experimentos de **Francesco Redi** (figura 25) en el siglo XVII aportaron las primeras pruebas contra la generación espontánea.

Redi colocó trozos de carne en recipientes iguales, dos de ellos los dejó destapados, otros dos los cerró herméticamente y, por último, otros dos los cubrió con una gasa de poro muy fino. Tras un tiempo, observó que en los recipientes destapados la carne presentaba una gran cantidad de moscas y de larvas. En los que había cerrado herméticamente no había larvas ni moscas, pero la carne

estaba podrida y maloliente. Por último, en los recipientes cubiertos con la gasa, tampoco había larvas ni moscas aunque la carne también estaba podrida y maloliente y, además, sobre la superficie de la gasa había un buen número de huevos de moscas. De esta manera logró demostrar que eran los huevos de las moscas los que infectaban la carne y a partir de ellos se desarrollaban las larvas (figura 26).



Figura 25.- Francesco Redi (1626-1697).

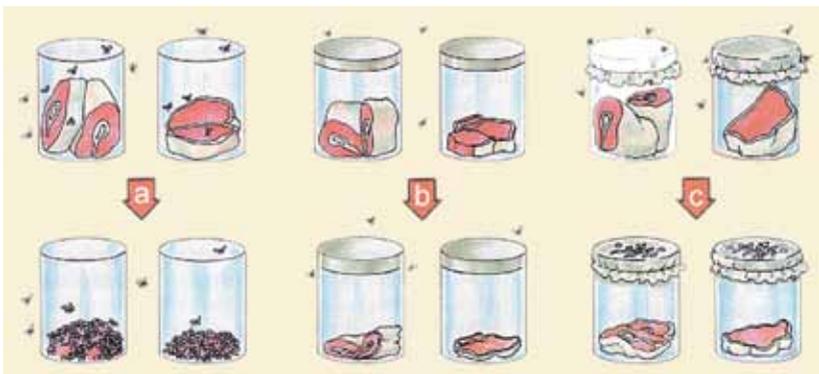


Figura 26.- Experimento de Redi.

La invención del microscopio aportó nuevas pruebas a los detractores de la generación espontánea. **Anton van Leeuwenhoek** (figura 27) demostró que los gorgojos, y las pulgas no surgían espontáneamente de granos de trigo y arena, sino que se desarrollaban a partir de huevos diminutos.

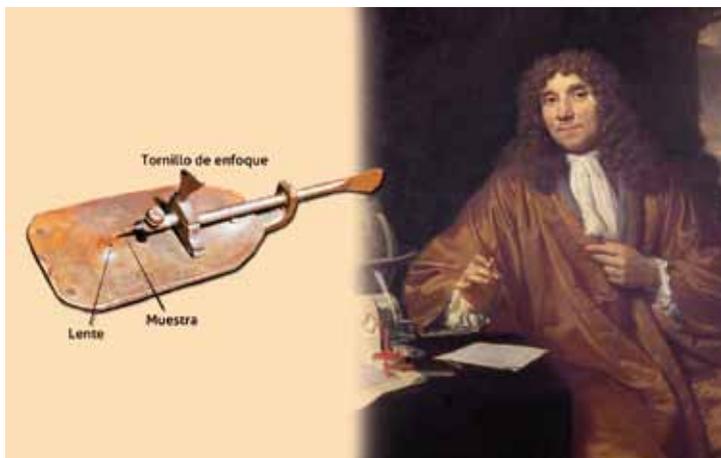


Figura 27.- Anton van Leeuwenhoek (1632-1723) y su rudimentario primer microscopio.

A pesar de las evidencias de que la generación espontánea no existe, puestas de manifiesto por **Redi** y **Leeuwenhoek**, hubo científicos que en el siglo XVIII todavía siguieron defendiéndola.

Uno de los muchos adeptos a la teoría de la generación espontánea fue **John T. Needham** (figura 28).

En 1745, **Needham** realizó un experimento; hirvió caldo de carne para destruir los organismos preexistentes y lo colocó en un recipiente que no estaba debidamente sellado ya que, según su teoría, se necesitaba aire para que esto se llevara a cabo. Al cabo de un tiempo observó colonias de microorganismos sobre la superficie y concluyó que se generaban espontáneamente a partir de la materia no viva.



Figura 28.- Isda. John T. Needham (1713-1781). Dcha. Lazzaro Spallanzani (1729-1799).

En 1769 **Lazzaro Spallanzani** (figura 28), repitió el experimento pero tapando los recipientes de manera correcta, evitando que aparecieran las colonias, lo que contradecía la teoría de la generación espontánea. Pero **Needham** argumentó que el aire era esencial para la vida incluida la generación espontánea de microorganismos y este aire había sido excluido en los experimentos de **Spallanzani**. Al faltar el aire se destruía lo que **Needham** llamaba la “fuerza vegetativa”, sin embargo, **Spallanzani** volvió a abrir los recipientes donde supuestamente se había destruido esa “fuerza vegetativa” o “fuerza vital” y observó cómo seguían apareciendo los organismos al cabo de un tiempo.

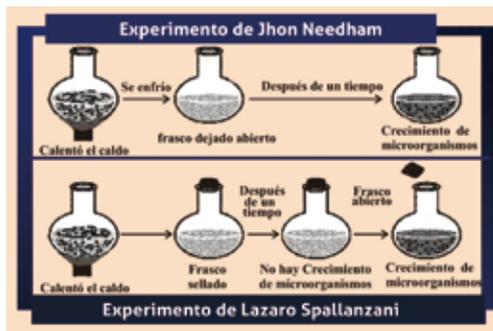


Figura 29.- Experimentos comparados de J.T. Needham y L. Spalanzani.

Fue **Louis Pasteur** (figura 30), en 1861, quien dio por terminada la controversia sobre la generación espontánea, al conseguir la esterilización perfecta, y demostrar que la generación espontánea no existe, sino que todo ser vivo procede de otro ser vivo.

Estudió de forma independiente el mismo fenómeno que **Redi**. Utilizó dos frascos de cuello de cisne. Estos matraces tienen cuellos muy alargados que se van haciendo cada vez más finos, terminando en una apertura pequeña, y tienen forma de “S”. En cada uno de ellos metió cantidades iguales de caldo de carne y los hizo hervir para poder eliminar todos los microorganismos presentes en el caldo. La forma de S del cuello de sus matraces permitía el paso del aire, pero impedía el de los microorganismos que quedaban atrapados en la parte baja de dicho cuello.



Figura 30.- Louis Pasteur (1822-1895).

Pasadas unas semanas observó que ninguno de los caldos previamente hervidos, presentaba señal alguna de la presencia de microorganismos. Cortó el cuello de uno de sus matraces y comprobó que, al poco tiempo, el caldo que contenía se había descompuesto, y al observarlo con el microscopio pudo ver que en el había gran cantidad de microorganismos, mientras que en los matraces a los que no cortaba el cuello, el caldo permanecía inalterable (figuras 31 y 32). **Pasteur** demostró así que los microorganismos tampoco provenían de la generación espontánea.



Figura 31.- Matraces que utilizó Pasteur.
Museo Pasteur de Paris.

Gracias a **Pasteur**, la idea de generación espontánea fue desterrada del pensamiento científico y a partir de entonces, se aceptó de forma general el principio de que todo ser vivo procede de otro ser vivo.

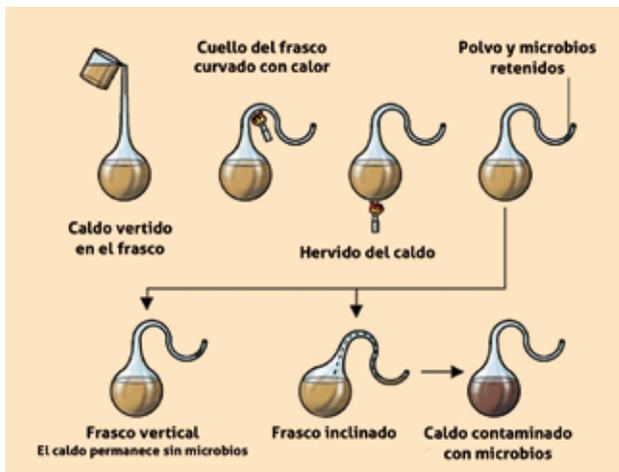


Figura 32.- Experimento de Pasteur.

Teoría de la Panspermia

Una vez solucionado el problema de que la vida procede de la vida, surge la siguiente pregunta: ¿cómo se originaron los primeros seres vivos? Las respuestas han sido de lo más variadas. **Hermann Richter** (1808-1876), en 1865, afirmaba que existían gérmenes que viajando por el espacio se desarrollaban en planetas donde encontraban las condiciones favorables. La posibilidad del origen extraterrestre de la vida ya había sido sugerida por el filósofo griego **Anaxágoras** hacia el año 500 a. C. Fue el propio **Richter** el que acuñó el término de panspermia y la describió como “intercambios vitales entre diferentes mundos habitados”.

Del estudio de la vida en otras partes del Sistema Solar se encarga una rama de la Biología denominada exobiología o Astrobiología. En la actualidad, el estudio de determinados meteoritos hizo que la teoría de la panspermia resucitara y **Svante August Arrhenius** (figura 33), premio Nobel de Química en 1903, llegó a afirmar que la vida se había propagado de un Sistema Solar a otros mediante esporas de microorganismos.



Figura 33.- Svante August Arrhenius (1859-1927).

En 1973, **Francis Crick** (figura 34), premio Nobel de Medicina en 1962, y **Leslie Eleazer Orgel** (figura 34), emitieron la hipótesis de que nuestro planeta, y posiblemente otros, fue sembrado de microorganismos por seres inteligentes que viven en sistemas con grados de evolución varios miles de millones de años por delante del nuestro. Ellos lo llaman “panspermia dirigida” y piensan que podría explicar fenómenos curiosos, como por ejemplo que el Molibdeno, aún siendo muy escaso en nuestro planeta, sea esencial para el funcionamiento de enzimas clave. Mas tarde **Orgel** declaró que todo era una broma o provocación hacia la comunidad científica.



Figura 34.- Izda. Francis Crick (1916-2004). Dcha. Leslie Eleazer Orgel (1927-2007)

En la actualidad el estudio de determinados meteoritos, como los caídos en Murchison (Australia), ha mostrado la existencia en su interior de aminoácidos y otros compuestos cuyo origen terrestre es difícil de explicar, e incluso en un meteorito marciano ALH84001, recuperado en la Antártida, se han hallado formas semejantes a bacterias terrestres. Basándose en el estudio de estas formaciones, semejantes a las bacterias, en su interior, el 7 de agosto de 1996, la NASA anunció que una posible forma primitiva de vida microscópica podría haber existido en Marte hace más de

3.000 millones de años. Posteriormente, el 16 de enero de 1998, la revista Science Magazine publicó un artículo en el que se rebatía esta posibilidad con evidencias aportadas por la Institución Oceanográfica Scripps de la Universidad de California: había pruebas claras de contaminación del hielo antártico circundante al meteorito. La controversia continúa abierta.

Para algunos científicos, como el español **Juan Oró**, algunas etapas de la síntesis prebiótica podrían haber ocurrido fuera de la Tierra, para completarse después en esta. Sin embargo, otros muchos opinan que las condiciones ambientales de dicha síntesis no eran mejores en el resto del Sistema Solar que en la Tierra. Hasta ahora la Astrobiología sigue sin dar una respuesta clara sobre el cómo y el dónde se originó la vida.

Hipótesis de Oparin y Haldane

También conocida como la **Hipótesis del origen físico-químico de la vida**. Quizás sea la mas estudiada y la que más interés científico ha suscitado y, como en casi todo lo relacionado con la ciencia, tiene tantos defensores como detractores.

Alexander Oparin (figura 35) publicó en 1924 su primer trabajo sobre el origen de la vida. En dicho trabajo parte de la idea de que la Tierra poseía todos los elementos básicos necesarios para el desarrollo de la vida, y propone que después de la formación de la Atmósfera primitiva, se habrían producido una serie de reacciones químicas que habrían aumentado la complejidad de las moléculas existentes, y por ello, moléculas sencillas se transformaron en estructuras coloidales llamadas coacervados, a partir de los cuales habría surgido la materia viva, que se originó en un ambiente acuático y caliente al que denominó “Sopa primitiva”. La aparición de las primeras células está ligada, por tanto, al origen de la vida.

John Burdon Haldane (figura 35), propuso en 1928 ideas similares a las de **Oparin**

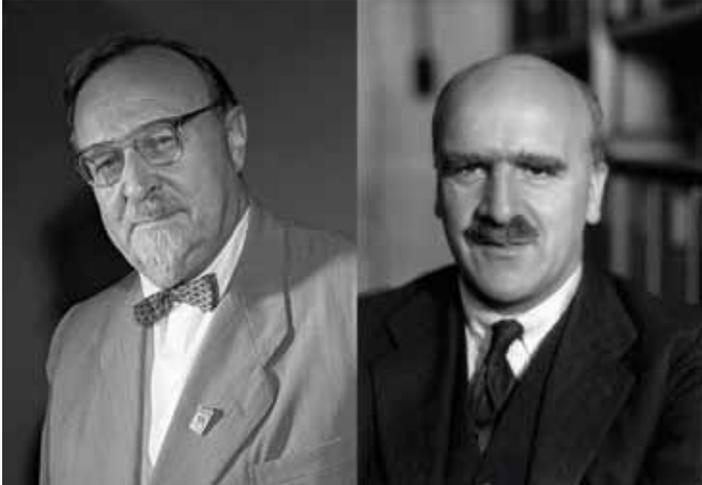


Figura 35.- Izda. Alexander Oparin (1894-1980) y John Burdon Haldane (1892-1964).

Según **Oparin** y **Haldane**, la vida sería el resultado de un proceso gradual que, según ellos, se llevó a cabo en tres etapas, a saber:

- a) Asociación progresiva de moléculas inorgánicas para originar moléculas orgánicas. La mezcla de gases de la primitiva Atmósfera, expuesta a la radiación solar, reaccionaría para dar lugar a moléculas orgánicas tales como aminoácidos, monosacáridos o ácidos grasos.
- b) Condensación de las moléculas orgánicas sencillas para formar moléculas orgánicas más complejas, como cadenas protéicas, grandes polisacáridos o moléculas fosfolipídicas. Estos compuestos complejos, acumulados en los océanos primitivos originarían una “sopa” o “caldo” primordial.
- c) Formación en el seno de la “sopa primitiva” (figura 36) de agregados moleculares en forma de pequeñas gotitas o

coacervados. Los coacervados serían los precursores de los primeros organismos.

Las dos primeras etapas constituirían lo que vino en llamarse síntesis prebiótica.

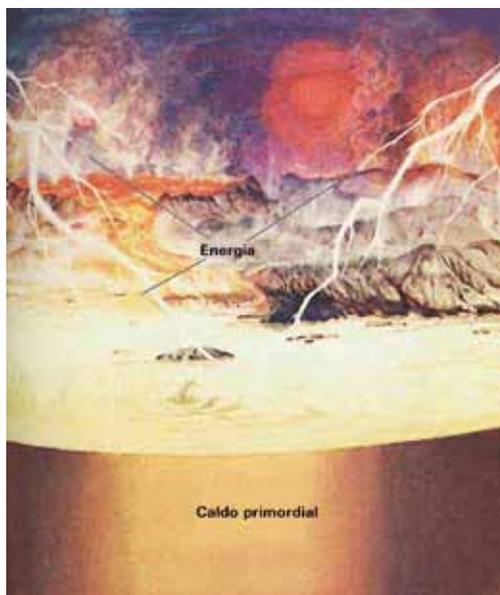


Figura36.- La sopa o caldo primordial.

Síntesis Prebiótica

Como ya hemos dicho, con anterioridad a la aparición de los primeros seres vivos, debió existir una síntesis de compuestos macromoleculares a partir de los elementos básicos por mecanismos prebióticos.

Según **Oparin** y **Haldane**, en la atmósfera primitiva reaccionaron de forma espontánea los compuestos químicos inorgánicos que existían en ella y dieron lugar a los compuestos orgánicos simples. Para que esto pudiera ocurrir fue necesaria la energía desprendida

en procesos naturales, como la de los rayos cósmicos, provenientes del espacio exterior, la energía eléctrica o la desprendida en procesos radiactivos. Todo ello fue favorecido por el carácter reductor de la Atmósfera primitiva, el cual favorece la formación de polímeros y dificulta su hidrólisis una vez formados.

Uno de los primeros experimentos que apoyó la hipótesis de **Oparin-Haldane** fue el realizado por **Stanley Miller** (figura 37) en 1953. **Miller** realizó el primer intento fructífero de simular en un aparato de laboratorio las supuestas condiciones de la Tierra primitiva.

Construyó un recipiente de vidrio al que soldó varios electrodos y en el que introdujo una mezcla de los gases que supuestamente formaban la Atmósfera primitiva: metano, amoníaco, hidrógeno, monóxido de carbono y vapor de agua. Durante una semana los sometió a descargas eléctricas semejantes a las que tienen lugar en las tormentas. El agua hervía en un recipiente para forzar a los gases a circular por un tubo frío; los gases condensados se recogían en un recipiente que representaba el océano primitivo.

Cuando, transcurrido un tiempo, analizó los resultados, comprobó que un 15% del carbono existente en la Atmósfera primitiva se encontraba en

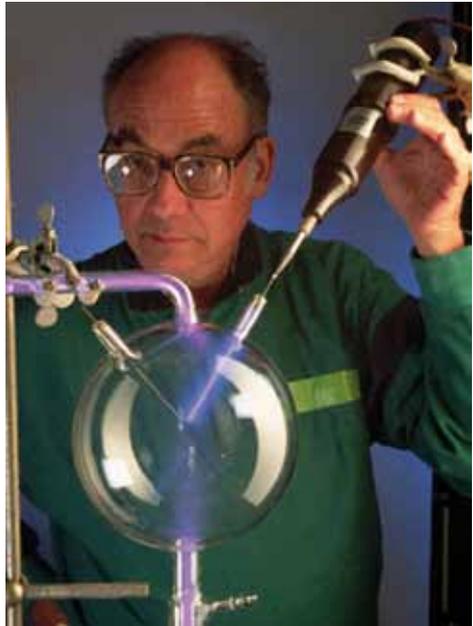


Figura 37.- Stanley Miller (1930-2007) y el aparato que utilizó en su laboratorio.

el océano en forma de compuestos orgánicos sencillos. Entre ellos identificó varios aminoácidos, urea y varios ácidos grasos (figura 38).

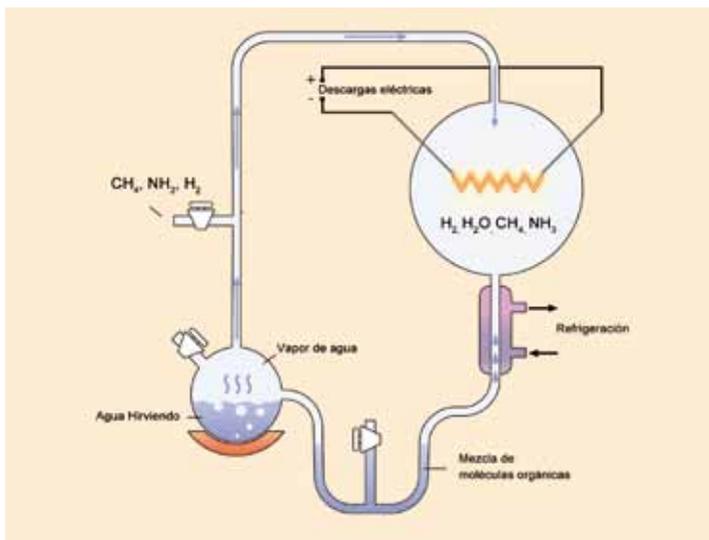


Figura 38.- Esquema del funcionamiento del aparato de Miller.

Ni el experimento de **Miller** ni otros posteriores han logrado sintetizar todos los componentes de los seres vivos, ni mucho menos explicar el origen de la vida. Sin embargo la conclusión innegable a la que conducen es que, al menos la materia prima para la vida, pudo haberse generado de forma espontánea.

Estas experiencias, junto a otras realizadas posteriormente por diversos investigadores como las de **E. Ander y col.** a altas temperaturas, o las de **Melvin Calvin** utilizando radiación UVA o radiactividad, avalaron la hipótesis de **Oparin-Haldane**.

Pero, a la luz de los conocimientos actuales, los experimentos de **Miller** estaban basados en una composición errónea de la Atmósfera primitiva. Con los gases que según las hipótesis actuales formaron la Atmósfera primitiva, dióxido de carbono, nitrógeno y

vapor de agua, no se pudieron formar aminoácidos.

La segunda etapa de la hipótesis de **Oparin-Haldane** es la síntesis de biopolímeros. En este caso las moléculas orgánicas sencillas formadas por procesos abiógenos se debieron unir por procesos de deshidratación para generar moléculas más grandes o biopolímeros, y así, a medida que se fue enfriando el caldo primitivo, aparecieron oligonucleótidos, polipéptidos y oligosacáridos. Estos biopolímeros adquieren, tras su síntesis, conformaciones espaciales que constituyen la denominada estructura secundaria, permitiendo una mayor estabilidad a las biomoléculas.

El paso siguiente, debió consistir en la formación de biopolímeros en un sistema metabólico aislado. El metabolismo requiere un control químico, y éste sólo es posible si el sistema se aísla del medio.



Figura 39.- Sidney Walter Fox (1912-1998).

Oparin mezcló proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos y comprobó que esas moléculas se asociaban en pequeñas esferas que denominó coacervados. Posteriormente los experimentos de **Sid-**

ney Walter Fox (figura 39) dieron como resultado la formación de largas cadenas de polipéptidos, a los que llamó **proteínoides**, al calentar aminoácidos en ausencia de agua.

Cuando ponía esos **proteínoides** en contacto con agua caliente y luego los volvía a enfriar observaba que se formaban unas **microesferas proteínoides** (figura 40) que tendían a acumular sustancias en su interior. Si además se añadían moléculas de lípidos, se formaba una especie de membrana lipoproteica, semejante a la membrana celular.

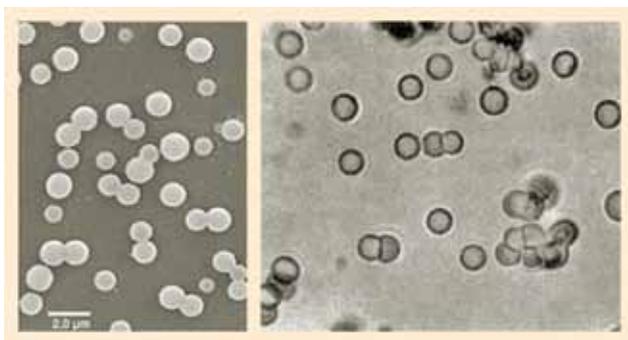


Figura 40.- Microesferas proteínoides de S. W. Fox.

Ni los **coacervados** ni las **microesferas proteínoides** son seres vivos, sino el resultado de la interacción del agua con ciertas moléculas orgánicas complejas. Pero la formación de estos compartimentos pudo ser el principio de una serie de procesos químicos iniciados con el aislamiento de polímeros, alguno de los cuales pudo actuar como precursor de un ácido nucleico.

Oparin denominó “**protobiontes**” a los sistemas biológicos precursores de las primeras células, muy parecidos a los **coacervados** que eran capaces de agruparse, dividirse, fusionarse y que debían realizar intercambios de materia y de energía con el medio, o lo que es lo mismo sistemas abiertos. Esos “**protobiontes**” se fueron

haciendo cada vez más complejos y evolucionaron para formar los denominados “eubiontes”, que ya eran células.

HIPÓTESIS ACTUALES

Más recientemente han surgido otras hipótesis que dan una visión más actual del origen de la vida; entre ellas citaremos: hipótesis del polímero primordial y la hipótesis del origen metabólico de la vida.

Hipótesis del polímero primordial

Para algunos investigadores como **Christian De Duve** (figura 41), premio Nobel de Medicina en 1974, el proceso de compartimentación que proponían **Oparin** y **Haldane** mediante la aparición de coacervados, debió de tener lugar después de la aparición de un polímero primordial que debía tener la propiedad de acumular información genética y la capacidad de producir copias de su propia estructura. Este polímero quedaría retenido dentro de pseudomembranas similares a los coacervados.

Pero, ¿cuál podría haber sido ese polímero primordial?

Primero se barajó la posibilidad de las proteínas, ya que muchas de ellas actúan como catalizadores, sin embargo no pueden almacenar información genética.

Por otro lado se pensó en los ácidos nucleicos. El ADN puede



Figura 41.- Christian de Duve (1917-2013).

almacenar información genética, pero necesita proteínas enzimáticas para su replicación.

Thomas R. Cech y **Sidney Altman** (figura 42), en la década de los 80 del siglo pasado, realizaron distintos descubrimientos sobre las moléculas de ARN que llevaron a la conclusión de que podía ser un buen candidato a polímero primordial.

Cech descubrió que ciertas secuencias de ARN de determinadas bacterias eran capaces de acelerar algunas reacciones, es decir, descubrió que el ARN se comportaba como una enzima y lo denominó ribozima.



Figura 42.- Izda. Sidney Altman (1939). Dcha. Thomas Robert Cech (1947), premios nobel de química en 1989.

Todas las evidencias llevaban a la conclusión de que el ARN había aparecido en la Tierra antes que las proteínas. Ello condujo a **Walter Gilbert** (figura 43), en 1986, a proponer un mundo de los ARN, en el que las moléculas de ARN catalizaban su propia síntesis y se habrían formado a partir de una sopa de nucleótidos. Posteriormente el ARN habría sido sustituido por el ADN como material genético.

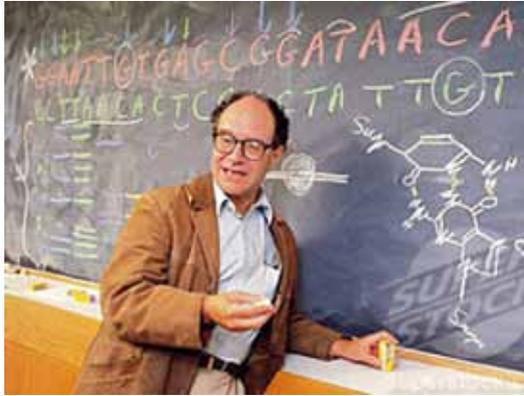


Figura 43.- Walter Gilbert (1932). Premio Nobel de Química en 1980.

Algunos investigadores han puesto en duda el llamado mundo de los ARN, aduciendo que el número de nucleótidos que se podría producir en una síntesis prebiótica sería sumamente escaso. Se ha sugerido entonces la posibilidad de moléculas autorreplicantes más sencillas que el ARN, llamadas análogos del ARN, que posteriormente darían paso al mundo de los ARN lo que, hoy por hoy es altamente especulativo y carece prácticamente de base experimental.

Hipótesis del origen metabólico de la vida

Más recientemente, **Robert Shapiro** (figura 44) y otros investigadores como **Christian de Duve**, han planteado otro modelo para el origen de la vida que está enfrentado al que supone una molécula autorreplicante. la **Hipótesis del micrometabolismo primigenio**. Dicha hipótesis parte de la base de que en la naturaleza existieron reacciones acopladas y los catalizadores primitivos necesarios para la vida. Supone la formación abiótica de moléculas sencillas, la aparición de una barrera, que separe el sistema metabólico primitivo del entorno, y la creación de un entramado de reacciones químicas cuya complejidad vaya en aumento para favorecer la adaptación y la evolución.

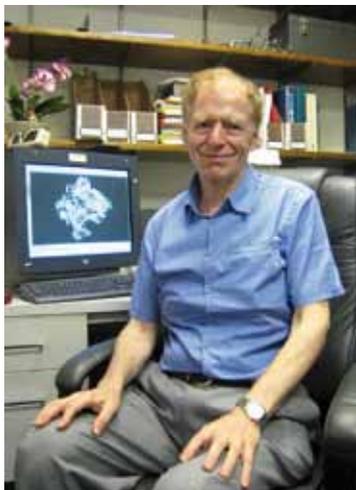


Figura 44.- Robert Shapiro (1935-2011).

El modelo no requiere ninguna molécula que almacene información, como los ácidos nucleicos; la herencia quedaría almacenada en la identidad y la concentración de los compuestos químicos del entramado.

ESCENARIOS DEL ORIGEN DE LA VIDA

Hasta la década de los 70 del siglo pasado se proponía como lugar ideal para el origen de la vida, un mar arcaico, somero y caliente. En la actualidad, la mayoría de los especialistas miran con otros ojos el problema y proponen ambientes de alta temperatura, sistemas hidrotermales, de mares someros o de zonas profundas. No faltan los que opinan lo contrario, que la vida se originó en medios fríos bajo glaciares.

La teoría de que la vida se originó en zonas hidrotermales ha ido ganando adeptos entre los científicos con el descubrimiento de microorganismos en dorsales oceánicas donde la temperatura pue-

de ser de unos 400 grados centígrados. Además ese ambiente sería independiente de la Atmósfera primitiva, y por tanto de la composición actualmente aceptada, no muy propicia para la aparición de moléculas orgánicas al no ser esencialmente reductora.

Los gases reductores emitidos por el vulcanismo podrían quedar confinados en microambientes en donde sí podrían haberse creado las condiciones indispensables para la formación de aminoácidos y de otras moléculas orgánicas.

Además los avances producidos en los años 80 del siglo pasado sobre los organismos más primitivos del “árbol de la vida”, ubican a estos en ambientes con temperaturas entre los 80 y 100 grados centígrados.

Los detractores de que la vida se originó en zonas hidrotermales, apuntan que la inestabilidad de estos sistemas (dorsales oceánicas) haría imposible la evolución prebiótica en tan corto periodo de tiempo.

LAS PRIMERAS CÉLULAS

A la luz de los conocimientos actuales, parece evidente que para que una macromolécula pudiera estar implicada en los procesos vitales, tendría que tener capacidad para autorreplicarse, ya que según **Geoffrey M. Cooper** (figura 45): *“Solamente una macromolécula capaz de dirigir la síntesis de nuevas copias de sí misma podría ser capaz de reproducirse y posteriormente evolucionar”*.

De las macromoléculas conocidas hoy día, sólo los ácidos nucleicos son capaces de autorreplicarse. Ya hemos visto como **Altman y Cech** demostraron que el ARN es capaz de catalizar una serie de reacciones, incluida la polimerización de nucleótidos. “El ARN era, por

tanto, la única molécula capaz de servir como molde para catalizar su propia replicación”.

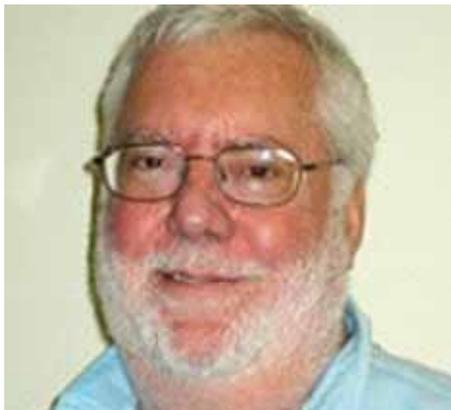


Figura 45.- Geoffrey M. Cooper.

Actualmente, está pues admitido que el ARN constituyó el primer sistema genético y, por tanto, existió un “mundo de ARN” en el que se debieron dar importantes pasos en la evolución química, basados en la propia replicación de las moléculas de ARN.

Lo que llamaríamos Primera célula estaría formada por su ARN autorreplicativo rodeado de una membrana compuesta de fosfolípidos. El ARN encerrado en esta membrana produciría su propia replicación y la síntesis de proteínas, formando el modelo celular más sencillo y primitivo.

TIPOS DE CÉLULAS Y SU RELACIÓN EVOLUTIVA

Carl Woese (figura 46) denominó progenote o protobionte al antepasado común de todos los organismos y representante de la unidad viviente más antigua, dotado ya con mecanismos de transcripción y traducción genética.

En la actualidad parece científicamente aceptado que el ancestro común más reciente de todos los organismos vivos, o hipotético último organismo del cual descendemos todos los existentes, es el conocido como **LUCA** (*last universal common ancestor*) que habría sido el precursor de las actuales células procarióticas de bacterias (figura 47).

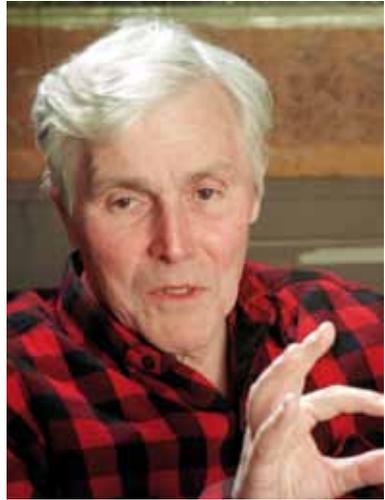


Figura 46.- Carl Woese (1928-2012).

Una vía para investigar las relaciones evolutivas en los primeros organismos vivos, y por tanto de los primeros tipos celulares, consiste en el estudio de la bioquímica celular, que ha conservado vestigios de las primitivas rutas metabólicas, pudiéndose deducir cuándo aparecieron determinadas funciones en la secuencia evolutiva.

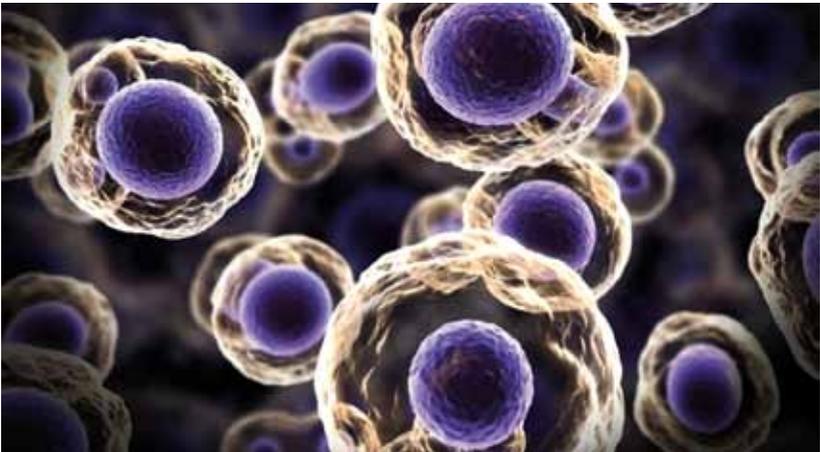


Figura 47.- LUCA (*last universal common ancestor*).

Las formas de vida más primitivas pudieron ser células procarióticas esferoidales, que en un principio serían heterótrofas y obtendrían su energía mediante fermentación anaeróbica de materiales no biológicos, aunque sí orgánicos. En la figura 48, se muestra un esquema de una bacteria en el que se puede observar el parecido con LUCA.

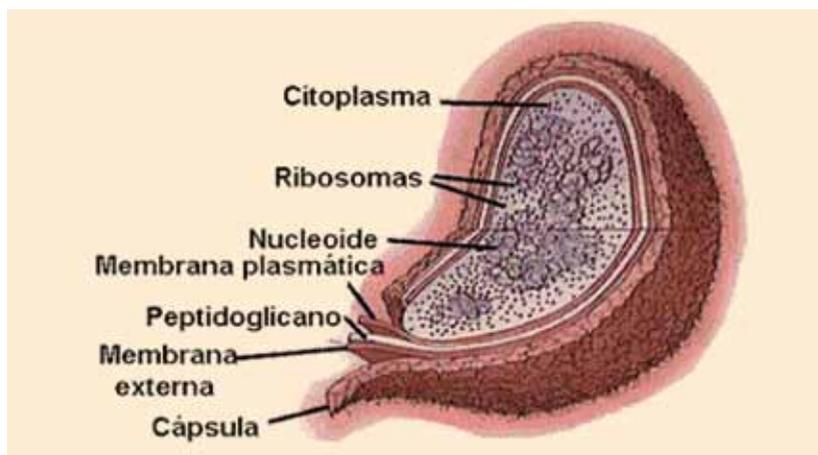


Figura 48.- Esquema de la estructura bacteriana.

Un acontecimiento de primera magnitud fue la aparición de los sistemas bioquímicos que permitieron la fotosíntesis. Los primeros organismos fotosintéticos surgieron hace unos 3000 millones de años, eran procariotas anaerobios que realizaban una fotosíntesis anoxigénica. La aparición de la fotosíntesis oxigénica (aeróbica) introdujo un cambio a escala global, ya que en ella se desprende oxígeno como subproducto. El oxígeno se fue acumulando en la Atmósfera y su existencia determinó un nuevo ciclo de adaptación biológica. Sería la causa de la extinción de muchas especies y del desplazamiento de otras a lugares pobres en este gas. Los organismos capaces de realizar la fotosíntesis oxigénica serían los precursores de las actuales cianobacterias.

Se cree que hace unos 2500 millones de años ya existía una Atmósfera con oxígeno libre. Posiblemente, los primeros organismos que reaccionaron ante este cambio ambiental, simplemente toleraron el oxígeno. Posteriormente las células consiguieron emplearlo en su metabolismo para obtener energía más eficientemente. El metabolismo dependiente del oxígeno o respiración aerobia se estableció probablemente hace 1500 millones de años. Con el desarrollo del ciclo de Krebs y su eficacia energética, los organismos aerobios desplazaron a los anaerobios hasta hacerse claramente dominantes.

Las bacterias actuales pueden ser tanto autótrofas como heterótrofas, y obtienen la energía necesaria para sus funciones vitales de las reacciones de oxidorreducción de sustratos orgánicos (quimioorganótrofas) o inorgánicos (quimiolitótrofas); o bien de la luz directamente, pudiendo ser fotolitótrofas (si lo hacen en presencia de sustancias inorgánicas) o fotoorganótrofas (si es en presencia de sustancias orgánicas). El resto de seres vivos actuales son quimiorganótrofos (hongos, muchos protistas y animales) o fotolitótrofos (vegetales y muchos protistas).

TEORÍA DE LA ENDOSIMBIOSIS

La compleja organización de las células eucarióticas sugiere que aparecieron posteriormente a las procarióticas.

La célula eucariótica que presenta compartimentación de las funciones celulares, es mucho más compleja que la procariótica que posee un único compartimento, el citosol, limitado por una membrana celular, en el que se llevan a cabo todas sus funciones.

En el transcurso del proceso evolutivo, la membrana celular pudo sufrir una invaginación que habría desencadenado una com-

partimentación superior de la célula ancestral (LUCA), dando lugar a una célula eucariótica. Esta célula se caracteriza ya por la presencia de un verdadero núcleo y unos orgánulos citoplasmáticos limitados por membranas intracelulares.

Este conjunto de membranas limitantes del núcleo y de los orgánulos explica la compartimentación total de la célula, que permite la especialización funcional de los orgánulos. Es más, la asociación de los diferentes compartimentos es necesaria e imprescindible para el funcionamiento integrado de toda la célula. En todos ellos se llevan a cabo complejos procesos metabólicos mediante reacciones bioquímicas (catalizadas por enzimas), que no podrían realizarse en el mismo espacio por ser incompatibles entre sí.

En general, en cualquier célula eucariótica se pueden distinguir dos formas de compartimentación:

- a) **Sistemas internos de membrana.** Formados por el retículo endoplasmático (liso y rugoso), que es la continuación de la membrana nuclear, y el complejo o aparato de Golgi.
- b) **Orgánulos membranosos.** Entre ellos se encuentran el núcleo, las mitocondrias, los plastos, (exclusivos de células vegetales), los peroxisomas, los lisosomas y las vacuolas (de mayor tamaño en vegetales).

La compartimentación de la célula precursora de la eucariótica supuso un importante paso evolutivo. Originalmente esta célula ancestral poseía una única membrana celular, que era la encargada de realizar todas las funciones asociadas a las actuales estructuras membranosas, como la obtención de energía, la síntesis proteica y lipídica, la síntesis de ATP, etc.

Teniendo en cuenta que la célula eucariótica tienen un tamaño que es entre 1000 y 10000 veces superior al de cualquier célula

procariótica, la única forma de conseguir este aumento de tamaño pudo ser mediante el desarrollo de sistemas de membranas internos, capaces de realizar todas aquellas funciones que originalmente realizaba la membrana celular.

La evolución de estos sistemas de membrana se pudo realizar de dos maneras:

1. **A partir de invaginaciones de la membrana celular**, que habrían dado lugar a la membrana nuclear, el retículo endoplasmático, el aparato de Golgi, los endosomas y los lisosomas. De esta forma se podría explicar la compleja red de comunicaciones que existe entre los componentes de este entramado de endomembranas con los demás orgánulos y con el exterior celular.
2. **A partir de relaciones de simbiosis entre las primitivas células eucarióticas y las bacterias**, que fueron ingeridas (fagocitadas) por estas. De esta forma se originarían las mitocondrias y los cloroplastos.

La teoría más ampliamente aceptada para explicar el origen de las mitocondrias y de los cloroplastos es la teoría endosimbiótica, propuesta por **Lynn Margulis** (figura 49) a mediados de los años sesenta del siglo pasado. Según dicha teoría algunas de las partes de las células eucarióticas, como los orgánulos celulares de tipo energético, se habrían formado por asociaciones de bacterias simbiotes en el interior de las primeras células eucarióticas.

Margulis propone que las células eucarióticas se originaron a partir de una célula primitiva a la que ella denominó célula Urcariótica que, en un momento dado, englobaría a otras células procarióticas, estableciéndose entre ambas una relación endosimbionte.

La teoría se basa en las siguientes observaciones:

- a) Las mitocondrias y los cloroplastos de las células eucarióticas tienen unas dimensiones parecidas a las de las bacterias.
- b) Ambos orgánulos contienen sus propias moléculas de ADN, pero se trata de un ADN de estructura circular, similar al de las bacterias. De igual forma presentan sus propias moléculas de ARN mensajero, transferente y ribosómico, y los estudios de secuenciación del ARN ribosómico lo relacionan con bacterias primitivas.
- c) Ambos orgánulos tienen capacidad de multiplicarse independientemente del núcleo celular, mediante la replicación de su ADN.
- d) Son capaces de sintetizar parte de sus proteínas bajo el control de sus propios genes.



Figura 49.- Lynn Margulis (1938-2011).

Todo sugiere que estos orgánulos, involucrados en funciones energéticas, derivan de bacterias que fueron fagocitadas, eludieron los mecanismos de fagocitosis y se establecieron como simbioses en otras células procarióticas más grandes, heterótrofas y anaerobias. Estas bacterias fueron capaces de autorreproducirse y sintetizar la totalidad de sus proteínas, aunque contienen menos ADN que las bacterias actuales. De esta forma se estableció una simbiosis entre los distintos organismos, lo que acabaría dando los primeros seres unicelulares eucarióticos. Las células eucarióticas serían, por tanto, unas comunidades microbianas bien integradas y coevolucionadas (figura 50).

La teoría de **Margulis** ha ido revisándose conforme se producían nuevos descubrimientos en Biología celular y propone que en un principio se fusionaron una arqueobacteria con una espiroqueta (bacteria helicoidal y muy móvil). La espiroqueta aportaría a la célula original los microtúbulos que serán el origen de las actuales prolongaciones móviles, como cilios y flagelos; en momentos posteriores esta célula habría fagocitado a las bacterias precursoras de las actuales mitocondrias y cloroplastos.

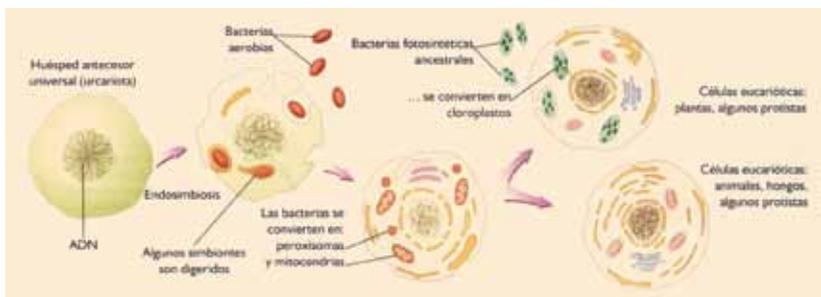


Figura 50.- Fagocitosis de bacterias aerobias y fotosintéticas que originarían las mitocondrias y los cloroplastos respectivamente.

Las mitocondrias podrían haber evolucionado de antiguas bacterias purpúreas y haber aportado a la simbiosis la respiración aerobia

de la cual carecía la célula original. Por otro lado los cloroplastos se habrían diferenciado a partir de antiguas cianobacterias y fijaron el dióxido de carbono para la síntesis de moléculas orgánicas.

Existirían células eucarióticas hace ya 1400 o 1500 millones de años, siendo totalmente aerobias desde el principio; la diversidad encontrada permite suponer algún tipo de reproducción sexual.

En la figura 51, se muestran dos esquemas correspondientes a los dos tipos de células eucarióticas que existen las denominadas célula animal y célula vegetal. Esencialmente son muy parecidas si bien existen algunas pequeñas diferencias. La célula animal posee un orgánulo denominado centrosoma (centriolos) del que carece la célula vegetal, mientras que esta posee cloroplastos y pared celular, estructuras de las que carece la célula animal.

Durante los 400 millones de años posteriores, la rápida diversificación de los organismos eucarióticos condujo a la formación de organismos pluricelulares complejos. Lo demás, hasta nuestro días, fue coser y cantar.

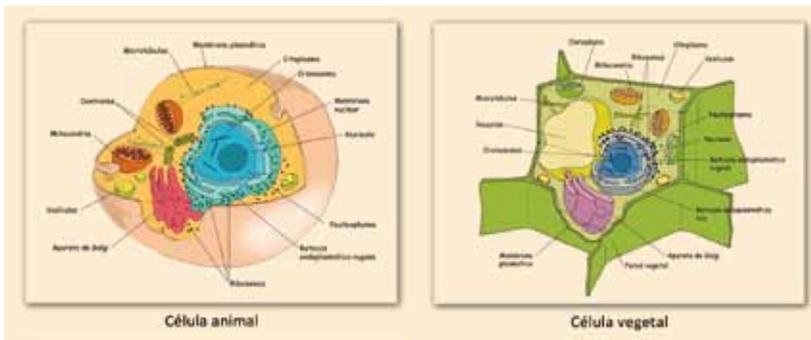


Figura 51.- Células eucarióticas.

BIBLIOGRAFÍA

ALBERTS, B. y col. (2004): Biología molecular de la célula . Barcelona: Omega.

ALBERTS, B. y col. (2006): Introducción a la Biología celular. Madrid: Médica Panamericana.

ANGUITA VIRELLA, F. (2002): Biografía de la Tierra, historia de un planeta singular. Madrid: Aguilar.

ANGUITA VIRELLA, F. (1993): Geología planetaria. Madrid: Mare-nóstrum Ediciones Didácticas, S.A.

ANGUITA VIRELLA, F. (1988): Origen e historia de la Tierra. Madrid: Rueda.

AYALA, F.J. (1999): La teoría de la evolución. Madrid: Temas de Hoy.

BECKER, W.H.; KLEINSMITH, L.J. y HARDIN, J. (2007): El mundo de la célula. Madrid: Pearson Educación.

CAMPBELL, N. y REECE, J. (2007): Biología. Madrid: Médica Panamericana.

CASTILLA, G. (2007): El rumor de los planetas. Madrid: Sirius.

COOPER, G.M. y HAUSMAN, R.E. (2005): La célula. Madrid: Marbán.

CURTIS, H. (2000): Invitación a la biología. Madrid: Médica Panamericana.

CURTIS, H. y SUE, N. (2001): Biología. Madrid: Médica Panamericana.

FREEMAN, S. y HERRON, J.C. (2002): Análisis evolutivo. Madrid: Pearson Educación.

GRIBBIN, J. (1997): Diccionario del Cosmos. Barcelona: Crítica.

LEHNINGER, A. L. (1994): Bioquímica: las bases moleculares de la estructura y la función celular. Barcelona: Omega.

MARGULIS, L. y SAGAN, D. (2003): Captando genomas: una teoría sobre el origen de las especies. Barcelona: Kairós.

MEDIAVILLA PÉREZ, M.J. (1999): La historia de la Tierra. Un estudio global de la materia. Madrid McGraw-Hill. Serie de divulgación científica.

OPARIN, A.I. (2000): El origen de la vida. Barcelona: Edicomunicación.

PANIAGUA, R. (2007): Biología celular. Madrid: McGraw-Hill.

SHAPIRO, R. (2007): El origen de la vida. Investigación y Ciencia, 371.

TARBUCK, E.J. y LUTGENS, F.K. (1999): Ciencias de la Tierra. Una introducción a la geología Física. Madrid: Prentice Hall.

VOET, D. (2007): Fundamentos de bioquímica. La vida a nivel molecular. Madrid: Médica Panamericana.

WILMUT, I. (2000): La segunda creación. Barcelona: BSA.

COLECCIÓN "LECCIONES INAUGURALES"

Títulos publicados:

- 1 *Diario de un testigo de la Guerra de África.*
Juan Machado Grima
- 2 *La Parapsicología ante el método científico. Siete tesis.*
Tomás Moreno Fernández
- 3 *Estudios, Estudiantes y Capigorriones.*
Eladio Cuadrado Cuadrado
- 4 *Aproximación al flamenco.*
Jorge Vasallo Navarro
- 5 *Valores éticos de los géneros de cine.*
Juan Antonio Bernabé Llorente
- 6 *Don Quijote y Cervantes o la libertad como proyecto de vida.*
Juan José Gallego Tribaldos
- 7 *Cambio climático. Alternativas energéticas.*
José Antonio Baena Gómez
- 8 *La canción popular griega: Tradición y actualidad.*
Rosario García Ortega
- 9 *Transformación, deterioro y recuperación de la medina de la Alhambra.*
Carlos Vílchez Vílchez
- 10 *Granada a la plancha. Aproximación a la obra gráfica y sus técnicas a través de estampas de tema granadino.*
Manuel Martínez Vela
- 11 *La Música: el arte que no se ve.*
Jesús Gil Corral
- 12 *El Pasado remoto. Desde la formación del sistema solar, hasta la aparición de las primeras células.*
Manuel Alfredo Entrena Guadix



INSTITUTO DE
EDUCACIÓN SECUNDARIA
PADRE MANJÓN
GRANADA