

## Capítulo 4. Las células: Introducción

En algún momento de la historia de este planeta aparecieron sistemas biológicos capaces de producir descendientes y evolucionar, un hecho íntimamente asociado con los cambios que sufrió la Tierra. 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.

La vida se caracteriza por una serie de propiedades que emergen en el nivel de organización celular. La teoría celular constituye uno de los principios fundamentales de la biología y establece que:

- a. todos los organismos vivos están formados por una o más células;
- b. las reacciones químicas de un organismo vivo, incluyendo los procesos liberadores de energía y las reacciones biosintéticas, tienen lugar dentro de las células;
- c. las células se originan de otras células, y
- d. las células contienen la información hereditaria de los organismos de los cuales son parte y esta información pasa de la célula progenitora a la célula hija.

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 la 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.

Las células más tempranas pudieron haber sido heterótrofas o autótrofas. Los primeros autótrofos pueden haber sido quimiosintéticos o fotosintéticos. Con la aparición de la fotosíntesis, la energía que fluía a través de la biosfera adoptó su forma moderna dominante: la energía radiante del Sol es capturada por autótrofos fotosintéticos y encauzada por ellos hacia los organismos heterótrofos. Los heterótrofos modernos incluyen a los hongos y a los animales, al igual que a muchos tipos de organismos unicelulares. Los autótrofos modernos incluyen a otros tipos de organismos unicelulares y, lo más importante, a las plantas verdes.

Hay dos tipos 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. Las 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. Se ha postulado la llamada "teoría endosimbiótica" para explicar el origen de algunas organelas eucarióticas. 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.

Por ser de un tamaño muy pequeño, las células y las estructuras subcelulares necesitan de microscopios para poder ser observadas por el ojo humano, de limitado poder de resolución. Los tres tipos principales son el microscopio óptico, el microscopio electrónico de transmisión y el microscopio electrónico de barrido. Se han desarrollado además otras técnicas microscópicas. Los sistemas ópticos especiales de contraste de fase, de interferencia diferencial y de campo oscuro hacen posible estudiar células vivas. Un avance tecnológico importante fue el uso de computadoras y cámaras de video integradas a los microscopios.

### La formación de la tierra

Hace aproximadamente 5.000 millones de años, según calculan los cosmólogos, la estrella que es nuestro Sol comenzó su existencia. El Sol se formó como otras estrellas a partir de la acumulación de partículas de polvo y gases de hidrógeno y helio, que formaban remolinos en el espacio entre las estrellas más viejas. La inmensa nube que se convertiría en el Sol se condensó gradualmente a medida que los átomos de hidrógeno y de helio eran atraídos unos a otros por la fuerza de la gravedad y caían en el centro de la nube, cobrando velocidad mientras caían. Cuando la aglomeración se hizo más densa, los átomos se movieron más rápidamente, más átomos chocaban

unos contra otros y el gas de la nube se tornó más y más caliente. A medida que la temperatura se elevaba, se intensificó la violencia de las colisiones hasta que átomos de hidrógeno chocaron con tal fuerza que sus núcleos se fusionaron formando átomos de helio adicionales y liberando energía nuclear. Esta reacción termonuclear aún ocurre en el corazón del Sol y es la fuente de energía que se irradia desde su incandescente superficie. Los planetas se habrían formado a partir de los restos del gas y del polvo que giraban alrededor de la estrella recién formada. Al comienzo, las partículas deben haberse reunido al azar, pero a medida que la masa aumentaba de tamaño otras partículas comenzaron a ser atraídas por la gravedad de las masas más grandes. El torbellino de polvo y las esferas en formación continuaron girando alrededor del Sol hasta que, finalmente, cada planeta hubo limpiado por completo su propia órbita, recogiendo la materia suelta, a la manera de una bola de nieve gigantesca.

Se estima que los planetas, incluyendo la Tierra, comenzaron su existencia hace aproximadamente 4.600 millones de años. Durante el tiempo en que la Tierra y otros planetas estaban formándose, la liberación de energía a partir de materiales radiactivos mantenía sus interiores muy calientes. Cuando la Tierra aún estaba tan caliente que era principalmente un líquido, los materiales más pesados se reunieron en un centro denso, cuyo diámetro es aproximadamente la mitad del diámetro del planeta. A medida que la superficie de la Tierra se enfriaba, fue formándose una corteza externa, una cáscara tan delgada como la de una manzana. Las rocas más viejas de esta capa datan, según los métodos isotópicos, de hace unos 4.100 millones de años.

Sólo 50 kilómetros por debajo de su superficie, la Tierra está aún caliente y una pequeña fracción todavía está derretida. Vemos evidencia de esto en las erupciones volcánicas ocasionales que expulsan lava (roca fundida) a través de los puntos débiles de la corteza terrestre, o en los géiser, que arrojan el agua hirviendo que se había escurrido gradualmente hacia el interior de la Tierra.

Poco después de haberse formado, es muy probable que la superficie de la Tierra se hallara en un estado turbulento. Estudios realizados sobre cráteres de la Luna llevaron a la conclusión de que hasta hace unos 3.800 millones de años, nuestro satélite fue constantemente bombardeado por meteoritos. Tal vez, la Tierra haya pasado por un estado similar al que se encuentra la Luna en la actualidad: estaba salpicada de cráteres y carecía de atmósfera.

Se supone que la atmósfera primitiva estaba formada principalmente por hidrógeno y helio. Sin embargo, estos elementos se habrían fugado hacia el espacio exterior debido a que las fuerzas gravitacionales eran aún muy débiles como para retenerlos. Posteriormente, a partir de los gases desprendidos por los volcanes, se habría formado una atmósfera secundaria, a su vez, diferente de la actual.

El agua habría emanado de los géiseres en forma gaseosa y habría permanecido como vapor de agua en la atmósfera. Al descender la temperatura, las nubes de vapor se habrían condensado y se habrían formado los océanos calientes y poco profundos de la Tierra primitiva.

En la actualidad, la vida existe en lo que se denomina biosfera. Esta capa se extiende sólo entre 8 y 10 kilómetros en la atmósfera y aproximadamente la misma distancia en las profundidades del mar.

## El comienzo de la vida

Desde una perspectiva bioquímica, tres características distinguen a las células vivas de otros sistemas químicos:

- la capacidad para duplicarse generación tras generación;
- la presencia de enzimas, las proteínas complejas que son esenciales para las reacciones químicas de las que depende la vida, y
- 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 A. I. Oparin y J. B. 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:

- a. había muy poco o nada de oxígeno presente y
- b. 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.

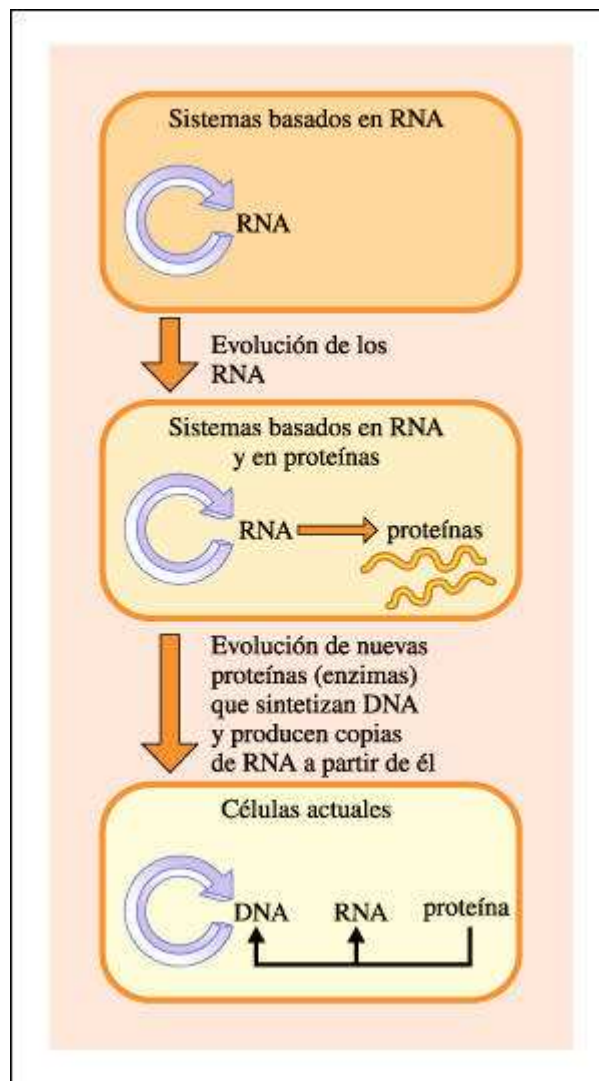
Estos agregados plurimoleculares fueron progresivamente capaces de intercambiar materia y energía con el ambiente. En estas estructuras coloidales -a las que Oparin llamó coacervados (en cuyo interior podían optimizarse ciertas reacciones) se habría desarrollado un metabolismo sencillo, punto de partida de todo el mundo viviente.

Con estos sistemas se pasó a una nueva etapa, la de evolución prebiológica. 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 tendido a sobrevivir.

S. 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 los tipos de 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. 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 proteínicas- 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 RNA habría sido el primer polímero en realizar las tareas que el DNA y las proteínas llevan a cabo actualmente en las células. Por errores de copia en su duplicación habría aparecido una inmensa variedad de RNA; más tarde, estas moléculas pasaron a ejercer control sobre la síntesis de proteínas. En una etapa ulterior, las proteínas habrían reemplazado al RNA 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 RNA al DNA, que es menos susceptible a la degradación química.



Posible camino de la evolución de sistemas simples autorreplicantes de moléculas de RNA hasta las células actuales, en las cuales el DNA almacena la información genética y el RNA actúa como un intermediario en la síntesis de proteínas.

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.

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 DNA- 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.

## Heterótrofos y 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.

## Procariotas y 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.

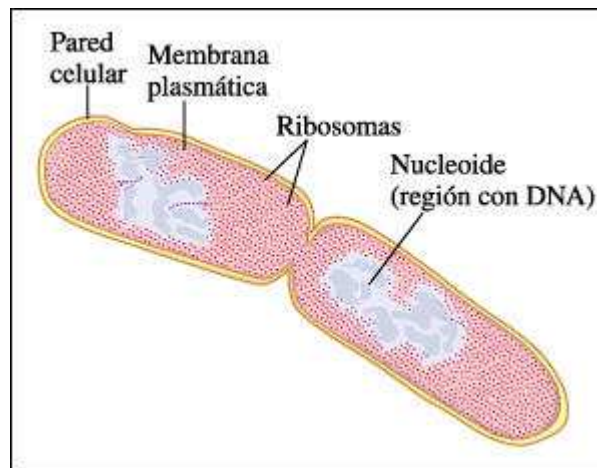
Existen dos tipos fundamentalmente distintos de células, las procariotas y las eucariotas. En las células procarióticas, el material genético se encuentra en forma de una molécula grande y circular de DNA a la que están débilmente asociadas diversas proteínas. En las células eucarióticas, por el contrario, el DNA es lineal y está fuertemente unido a proteínas especiales. Dentro de la célula eucariótica, el material genético está rodeado por una doble membrana, la envoltura nuclear, que lo separa de los otros contenidos celulares en un núcleo bien definido. En las procariotas, el material genético no está contenido dentro de un núcleo rodeado por una membrana, aunque está ubicado en una región definida llamada nucleóide.

En el citoplasma se encuentra una gran variedad de moléculas y complejos moleculares. Por ejemplo, tanto los procariotas como los eucariotas contienen complejos proteicos y de RNA llamados ribosomas que desempeñan una función clave en la unión de los aminoácidos individuales durante la síntesis de proteínas. Las moléculas y complejos moleculares están especializados en determinadas funciones celulares. En las células eucarióticas, estas funciones se llevan a cabo en una gran variedad de estructuras rodeadas por membranas -llamadas organelas- que constituyen distintos compartimientos internos dentro del citoplasma. Entre las organelas se destacan los peroxisomas que realizan diversas funciones metabólicas; las mitocondrias, centrales energéticas de las células y, en las algas y células vegetales, los plástidos como los cloroplastos, donde acontece la fotosíntesis.

La membrana celular de los procariotas está rodeada por una pared celular externa que es elaborada por la propia célula. Ciertas células eucarióticas, incluyendo las de las plantas y hongos, tienen una pared celular, aunque su estructura es diferente de la de las paredes celulares procarióticas. Otras células eucarióticas, incluyendo las de nuestros propios cuerpos y las de otros animales, no tienen paredes celulares. Otro rasgo que distingue a los eucariotas de los procariotas es el tamaño: las células eucarióticas habitualmente son de mayor tamaño que las procarióticas.

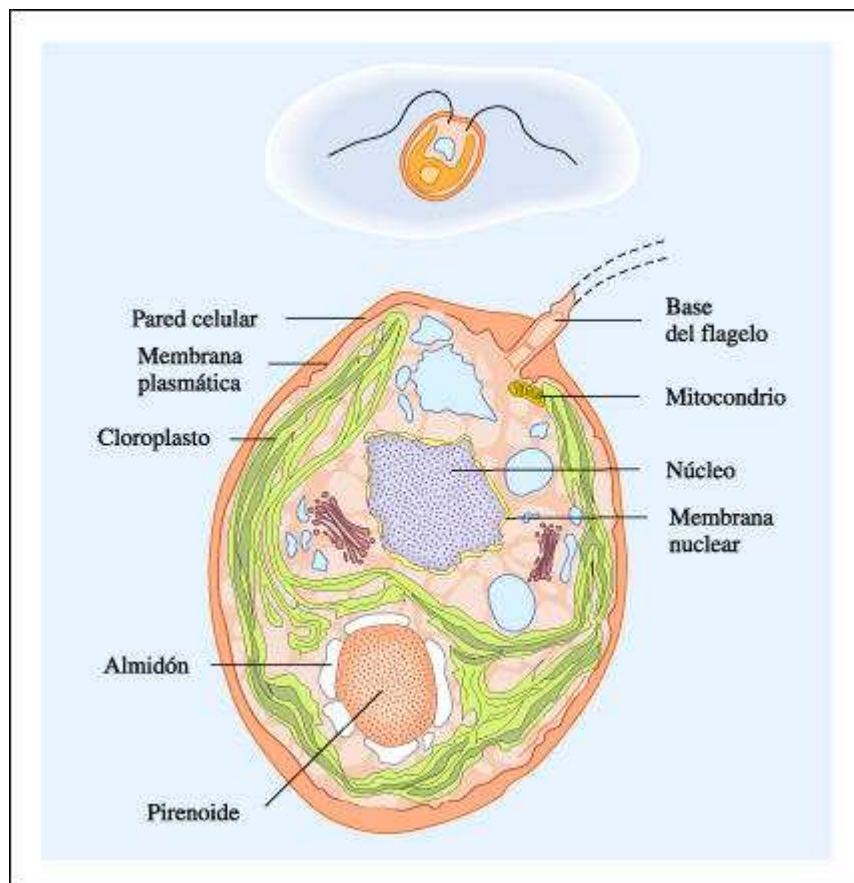
En las células eucarióticas, ciertas proteínas se organizan formando intrincadas estructuras que dan lugar a una especie de esqueleto interno, el citoesqueleto, que aporta sostén estructural y posibilita el movimiento celular.

Algunos ejemplos de células procariotas son la bacteria *Escherichia coli* y las cianobacterias, grupo de procariotas fotosintéticos llamadas antes algas azules. Un eucariota fotosintético unicelular es el alga *Chlamydomonas*.



Esquema de *Escherichia coli*.

La *Escherichia coli* es un procariota heterotrófico que resulta ser el más estudiado de todos los organismos vivos. El material genético (DNA) se encuentra en la zona más clara, en el centro de cada célula. Esta región no delimitada por membrana se llama nucleoide. Los pequeños granos del citoplasma son los ribosomas. Las dos células del centro se acaban de dividir y todavía no se han separado completamente.



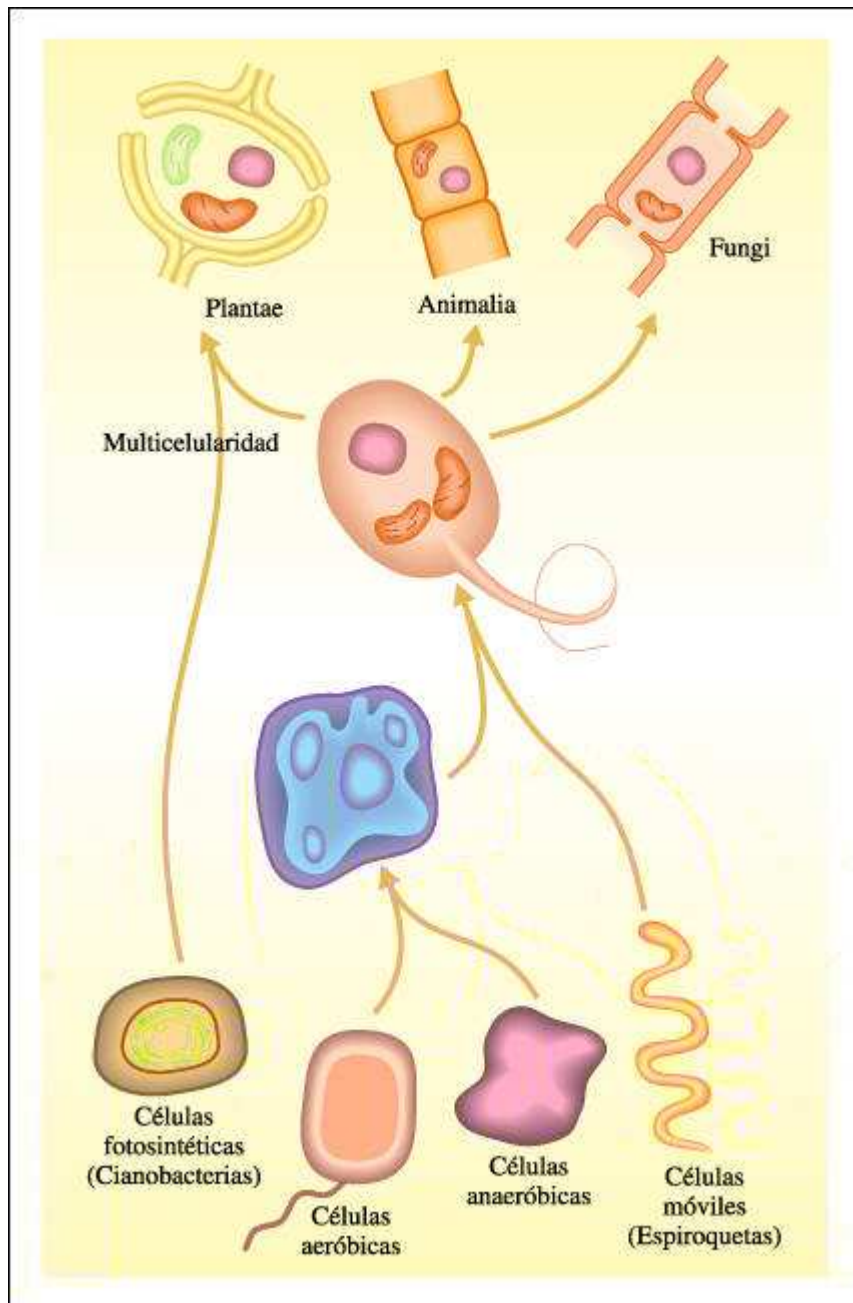
Esquema de Chlamydomonas.

La comparación entre los dos tipos de células ponen de manifiesto la mayor complejidad de las células eucarióticas frente a las procarióticas. Sin embargo, ambas comparten muchas semejanzas en su funcionamiento, lo que no deja dudas acerca de su parentesco. Los científicos han podido establecer que, en algún momento de la historia de la Tierra, diversos tipos de eucariotas se escindieron de un tronco procariótico, formando ramas que evolucionaron de manera independiente.

El paso de los procariotas a los primeros eucariotas (los protistas) 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.



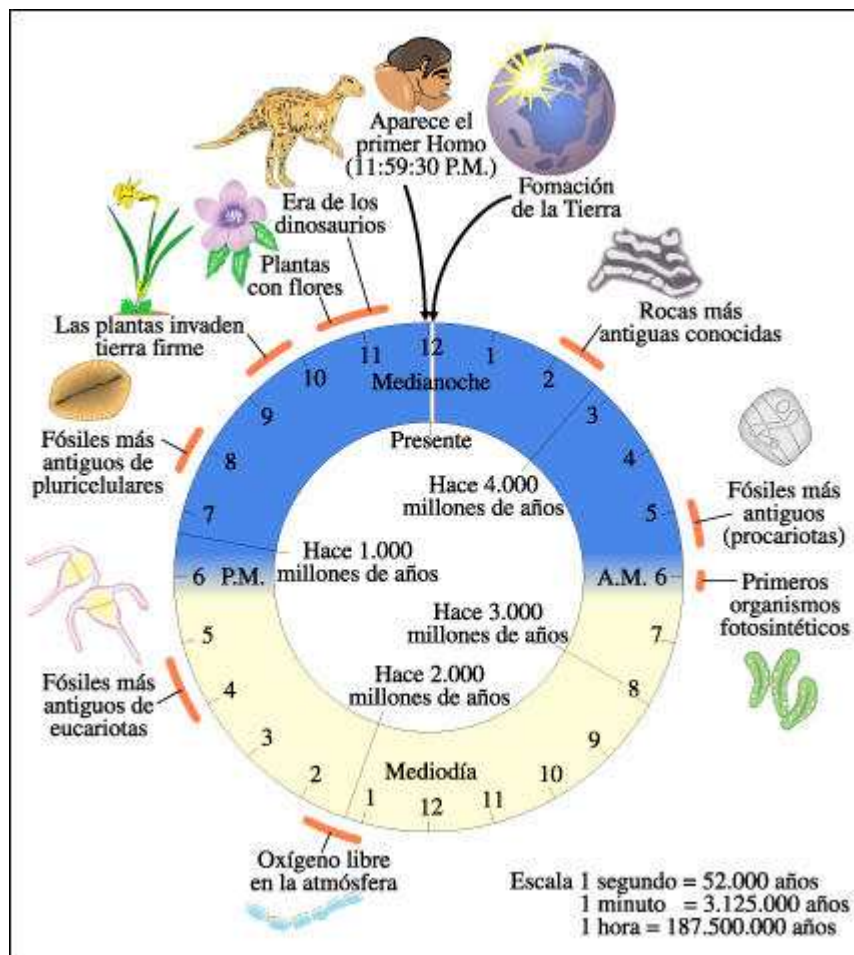


Esquema que representa la posible secuencia de eventos que dieron origen a diversas células eucarióticas.

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. 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.

La mayor complejidad de la célula eucariótica la dotó de un número de ventajas que finalmente posibilitaron la evolución de organismos multicelulares.





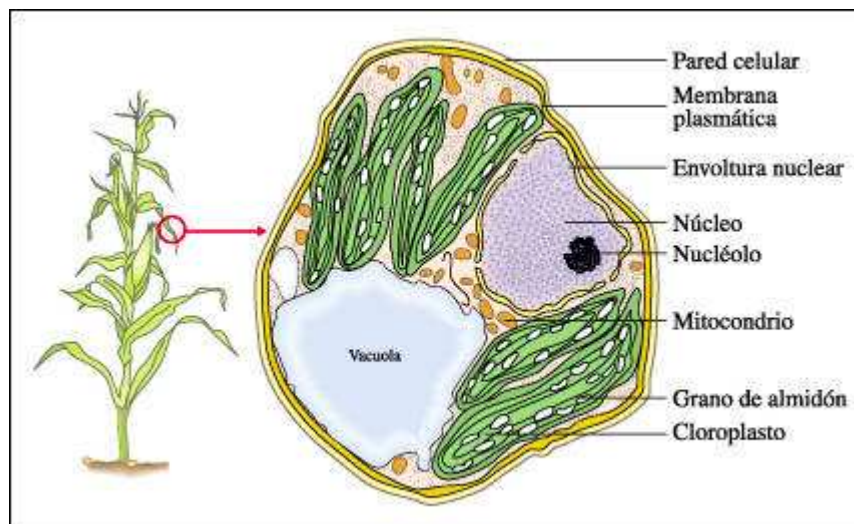
Representación del tiempo biológico en horas.

La figura anterior muestra, condensados en un día, los sucesos más importantes de la historia biológica durante los 4.600 millones de años de la Tierra. La vida aparece relativamente temprano, antes de las 6 de la mañana, en una escala de tiempo de 24 horas. Los primeros seres pluricelulares no surgen hasta bien entrada la tarde, y Homo, el género al cual pertenecemos los humanos, hace su aparición casi al acabar el día, a sólo 30 segundos de medianoche.

Los primeros organismos multicelulares hicieron su aparición hace apenas 750 millones de años y se cree que los principales grupos (hongos, plantas y animales) evolucionaron a partir de diferentes tipos de eucariotas unicelulares.

Las células de los organismos multicelulares están especializadas para llevar a cabo una función bastante limitada en la vida del organismo. Sin embargo, cada una sigue siendo notablemente una unidad con mantenimiento autónomo.

Nótese cuán similar es una célula de una hoja de una planta de maíz a una Chlamydomona. Esta célula vegetal también es fotosintética y satisface sus propias necesidades de energía a partir de la luz del Sol. No obstante, a diferencia del alga, es parte de un organismo multicelular y depende de otras células para obtener agua, minerales, protección contra la desecación y otras necesidades.



Esquema de células de una hoja de maíz.

El núcleo de esta hoja de maíz puede verse a un lado en la célula central. El material granulado del núcleo es la cromatina. Contiene DNA asociado con las proteínas histonas. El nucléolo es la región del núcleo donde se sintetizan los componentes de RNA ribosómico. Obsérvese que las mitocondrias y los cloroplastos se encuentran envueltos por membranas. La vacuola, una región llena de líquido rodeada por una membrana, y la pared celular son características de las células vegetales y no se encuentran en los animales. Como puede verse por comparación, esta célula es muy parecida a *Chlamydomonas*.

El cuerpo humano, constituido por billones de células individuales, está compuesto, cuando menos, por 200 tipos diferentes de células, cada una especializada para su función particular, pero todas trabajando como un conjunto cooperativo.

Los organismos se agrupan en tres categorías principales llamadas dominios (Bacteria, Archaea y Eukarya). Dentro del dominio de los Eukarya se encuentran los reinos protistas, hongos, plantas y animales, todos ellos eucariontes. Los organismos pertenecientes al dominio Bacteria incluyen el reino de las Eubacterias. En el dominio Archaea se pueden mencionar las archeobacterias acidófilas, termoplasmiales y metanobacterias. Tanto las Eubacterias como las Archeobacterias son procariontes.

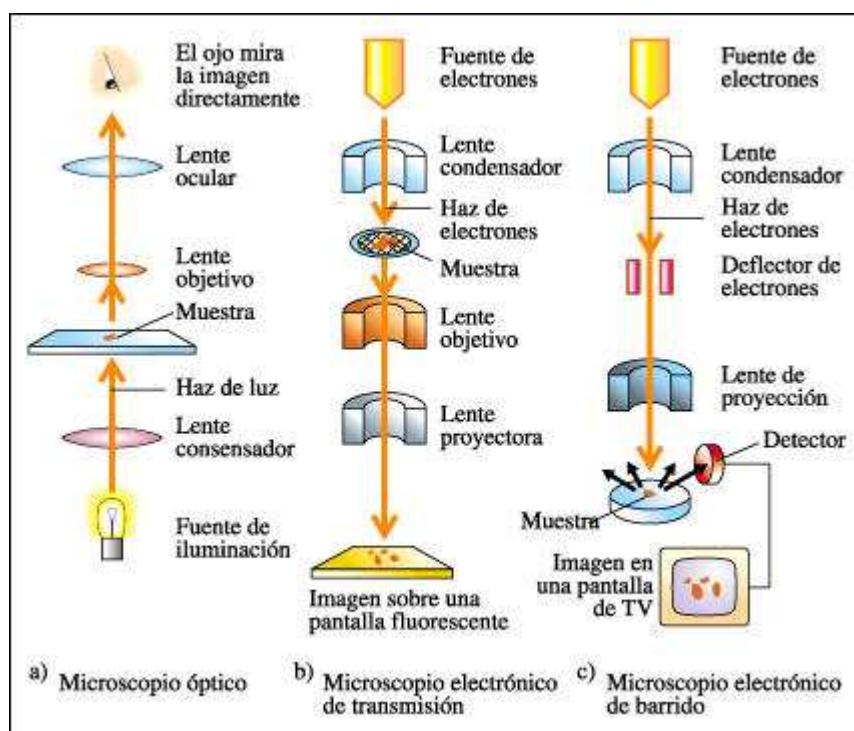
Los procariotas son esencialmente unicelulares, aunque en algunos tipos las células forman racimos, filamentos o cadenas; este reino incluye formas quimiosintéticas, fotosintéticas y heterótrofas. Los protistas son un grupo diverso de organismos eucarióticos unicelulares y algunos multicelulares simples; incluyen tanto heterótrofos como autótrofos fotosintéticos. Los hongos, las plantas y los animales son organismos eucarióticos multicelulares. Todos los animales y hongos son heterótrofos, mientras que todas las plantas, con unas pocas excepciones curiosas (como la pipa india o monótrofa y la cuscuta, que son parásitas) son autótrofos fotosintéticos. Sin embargo, dentro del cuerpo de una planta multicelular, algunas de las células son fotosintéticas, como las células de una hoja, y algunas son heterótrofas, como las células de una raíz. Las células fotosintéticas suministran sacarosa a las células heterótrofas de la planta.

## Visita al mundo celular

El ojo humano sólo tiene un poder de resolución de aproximadamente 1/10 milímetros o 100 micrómetros. El poder de resolución es una medida de la capacidad para distinguir un objeto de otro; es la distancia mínima que debe haber entre dos objetos para que sean percibidos como objetos separados.

La mayoría de las células eucarióticas miden entre 10 y 30 micrómetros de diámetro, entre 3 y 10 veces menos que el poder de resolución del ojo humano; las células procarióticas son aun más pequeñas. Para distinguir células individuales, y con mayor razón las estructuras que las componen, debemos usar instrumentos que suministren una mejor resolución. La mayor parte del conocimiento actual acerca de la estructura celular se obtuvo con la ayuda de tres tipos diferentes de instrumentos: el microscopio óptico o fotónico, el microscopio electrónico de transmisión y el microscopio electrónico de barrido.

Las lentes que focalizan la luz en el microscopio óptico son de vidrio o de cuarzo; las de los microscopios electrónicos son electroimanes. Tanto en el microscopio óptico como en el electrónico de transmisión, el rayo de iluminación atraviesa la muestra. En el microscopio electrónico de barrido, se refleja sobre la superficie de la muestra.



Comparación entre diversos tipos de microscopios.

Los mejores microscopios ópticos tienen un poder de resolución de 0,2 micrómetros, o 200 nanómetros, aproximadamente 500 veces mayor que el del ojo. Con el microscopio óptico podemos distinguir las estructuras más grandes dentro de las células eucarióticas y también células procarióticas individuales. Sin embargo, no podemos observar la estructura interna de las células procarióticas ni distinguir entre las estructuras más finas de las células eucarióticas.

Con el microscopio electrónico de transmisión, el poder de resolución aumentó cerca de 1.000 veces respecto del microscopio óptico. Esto se logra utilizando "iluminación" de una longitud de onda mucho más corta, que consiste en haces de electrones en lugar de rayos de luz. Las áreas del espécimen que permiten la transmisión de más electrones ("regiones electrotransparentes") aparecen brillantes y las áreas que dispersan los electrones ("regiones electroopacas") son oscuras. La microscopía electrónica de transmisión suministra en la actualidad un poder de resolución de aproximadamente 0,2 nanómetros, unas 500 mil veces mayor que el del ojo humano. Esa medida equivale más o menos al doble del diámetro de un átomo de hidrógeno.

El poder de resolución del microscopio electrónico de barrido sólo es de aproximadamente 10 nanómetros; sin embargo este instrumento se ha transformado en una herramienta valiosa para los biólogos. En la microscopía electrónica de barrido los electrones que se registran provienen de la superficie del espécimen y no de un corte a través de éste. Las variaciones en la superficie del espécimen afectan el patrón con que se dispersan los electrones; los huecos y fisuras aparecen oscuros y las protuberancias y crestas son claras.

La imagen que finalmente se observa sobre una pantalla de televisión sugiere al observador sensaciones de relieve que corresponden en muy buena aproximación a la topografía de la muestra observada. Se obtienen así representaciones tridimensionales vívidas de las células y de las estructuras celulares, lo cual compensa, en parte, su resolución limitada.

Para ser observadas, las muestras deben ser sometidas a un tratamiento previo. Tanto en el microscopio óptico como en el microscopio electrónico de transmisión, la formación de una imagen con un contraste perceptible exige que diferentes partes de la célula difieran en su transparencia al haz de iluminación, ya sean rayos de luz o electrones. Las partes del espécimen que permiten el paso de la luz o de los electrones aparecen brillantes, mientras que las partes que bloquean el paso

del haz de iluminación aparecen oscuras. En el microscopio electrónico de barrido la intensidad de la señal de electrones dispersados por la muestra depende de la inclinación local de la superficie de ésta con respecto al haz. Así, un borde agudo o saliente genera una mayor dispersión de electrones hacia el detector y aparece más claro que una fisura o un hueco. Este hecho posibilita interpretar una micrografía electrónica de manera análoga a una micrografía óptica.

Las células vivas y sus partes componentes son, no obstante, casi completamente transparentes a la luz porque el 70% del peso de las células, aproximadamente, corresponde al agua, a través de la cual la luz pasa fácilmente. Más aun, el agua y las moléculas mucho más grandes que forman estructuras celulares se componen de pequeños átomos de peso atómico bajo (CHNOPS). Estos átomos son relativamente transparentes a los electrones, que son desviados fuertemente por los átomos de peso atómico elevado, como los de los metales pesados. Para crear suficiente contraste cuando se usa el microscopio óptico, las células deben ser tratadas con colorantes u otras sustancias que se adhieran diferencialmente a componentes subcelulares específicos, o reaccionen con ellos, produciendo regiones de opacidad diferente. Para el microscopio electrónico los especímenes se tratan por lo general con compuestos de metales pesados.

Los especímenes que serán estudiados usando un microscopio óptico convencional o un microscopio electrónico de transmisión deben ser fijados, teñidos, deshidratados (para el microscopio electrónico), incluidos y seccionados en cortes finos. Las réplicas de las superficies generalmente se preparan cuando se las quiere estudiar con el microscopio electrónico de barrido.

Para observar células vivas se usan otras técnicas microscopios de contraste de fase y de interferencia diferencial, sistemas ópticos especialmente diseñados que intensifican la escasa interferencia y proporcionan un mayor contraste. La resolución de estos microscopios es limitada, como ocurre en un microscopio óptico común, pero suministran una perspectiva diferente de la célula viva, mostrando aspectos difíciles de detectar con otros sistemas.

Una técnica usada con frecuencia para observar las células vivas es la microscopia de campo oscuro. El haz de iluminación llega a la muestra desde el costado y los sistemas de lentes detectan la luz reflejada por el espécimen, que aparece como un objeto brillante contra un fondo oscuro. Los rasgos de las células que son invisibles en otras microfotografías, a menudo adquieren gran relieve en las de campo oscuro.

En la actualidad se está produciendo un rápido progreso en el uso de otras técnicas microscópicas; por ejemplo, acoplando cámaras de televisión a los microscopios ópticos es posible efectuar las observaciones en la pantalla y grabarlas en una cinta de video o en una computadora personal. Se puede reducir el "ruido" de fondo, mejorar el contraste e intensificar aspectos particulares ajustando los controles (o ejecutando determinadas operaciones con software especialmente diseñado para tal fin). Las técnicas de televisión aplicadas al estudio de la célula viva revelan procesos no vistos previamente dentro de la célula.

