

## II-a

# FISIOLOGÍA CELULAR

## EL ORIGEN DE LOS SERES VIVOS

### CONDICIONES INICIALES

Uno de los aspectos más sorprendentes del origen de la vida sobre la Tierra es el de la rapidez con la que se llevó a cabo. Los estudios de datación basados en los meteoritos indican todos ellos una edad de 4500 millones de años para el Sistema Solar. Si aceptamos que el Sol, los planetas, los meteoritos y el resto de los componentes del Sistema Solar se formaron al mismo tiempo a partir de una nube de polvo primitiva, 4500 millones de años será también la edad de nuestro planeta. Algunas rocas sedimentarias con una edad de 3400 a 3200 millones de años contienen microfósiles similares a bacterias. Por lo tanto, sólo 1000 millones de años después de que se originase la Tierra ya existía sobre ella una vida primitiva.

Debemos de tener también en cuenta que las condiciones que existían antes de la aparición de los seres vivos sobre la Tierra eran muy diferentes de las actuales. Sin entrar en cuestiones tales como la presión o la temperatura, la composición de la atmósfera primitiva de la Tierra era muy distinta de la actual. Se piensa que estaba formada fundamentalmente por una mezcla de metano ( $\text{CH}_4$ ), amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) y vapor de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Al no haber oxígeno, la atmósfera no era oxidante como la actual sino reductora, y la falta de ozono ( $\text{O}_3$ ) hacía posible que los rayos ultravioleta pudiesen atravesar la atmósfera.

### EL ORIGEN DE LA VIDA. TEORÍA DE OPARIN-HALDANE

La generación espontánea: teoría según la cual los seres vivos pueden originarse a partir de la materia inanimada, fue una idea corriente y ampliamente aceptada hasta el siglo XIX. Se basaba en la observación de que si se ponía en un recipiente cualquier clase de materia orgánica, al cabo de un cierto tiempo, aparecerían en ella los organismos más diversos. Se creía que estos organismos se formaban espontáneamente, sin necesidad de que otros los hubiesen engendrado. El origen de la vida sobre la Tierra no planteaba por lo tanto ningún tipo de dificultad, pues era claro que podría haberse originado también de manera espontánea. En 1860 Louis Pasteur realizó cuidadosos experimentos mediante los cuales demostró que todo ser vivo procede de otros seres vivos semejantes a él. Estas experiencias, al destruir la generación espontánea, plantearon de nuevo el problema de cómo se habían originado en un principio los seres vivos.

En 1924 el bioquímico ruso A.I. Oparin y en 1929 el inglés J.B. Haldane, emitieron, independientemente el uno del otro, una teoría según la cual las radiaciones ultravioleta o las descargas eléctricas producidas por las tormentas, al atravesar la atmósfera, originaron los componentes básicos de los seres vivos. La ausencia de oxígeno y de organismos, hizo posible que estas sustancias orgánicas, que se habían formado al azar, se fuesen

acumulando en las aguas de mares y lagos. Se formó así lo que se llamó "el caldo nutritivo". Las moléculas se fueron asociando hasta que en algún momento adquirieron la capacidad de autorreplicarse y de formar nuevas moléculas orgánicas que les sirviesen de fuente de materiales y energía.



Fig. 1 Alexandr I. Oparin (1894 -1980).

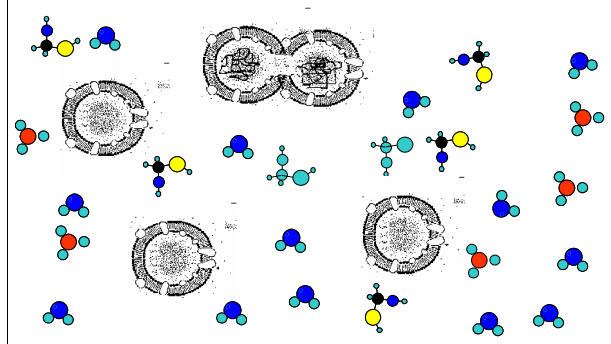
La hipótesis de Oparin y Haldane no se trataba de una nueva edición de las viejas teorías de la generación espontánea. Para ellos la vida se originó en un momento muy concreto con unas condiciones que ya no existen en la actualidad. Pues la atmósfera con O<sub>2</sub> y los seres vivos hacen imposible que esto pueda darse ahora.

**PRIMERAS ETAPAS DEL ORIGEN DE LOS SERES VIVOS**

<p><b>1) El punto de partida, hace 3800 m.a.</b></p> <p>La atmósfera primitiva estaba formada por: metano (CH<sub>4</sub>), amoníaco (NH<sub>3</sub>), hidrógeno (H<sub>2</sub>) y vapor de agua (H<sub>2</sub>O), era reductora y anaerobia. No obstante en estas sustancias estaban los principales bioelementos que forman la materia viva: carbono (C), nitrógeno (N), hidrógeno (H) y oxígeno (O).</p>	
<p><b>2) ¿Cómo se formaron las biomoléculas?</b></p> <p>Las radiaciones solares y las descargas eléctricas proporcionaron la energía suficiente para que los componentes de la atmósfera reaccionasen y se formasen las biomoléculas, compuestos orgánicos sencillos como los que ahora forman los principales compuestos de los seres vivos.</p>	
<p><b>3) ¿Cuáles fueron estas biomoléculas?</b></p> <p>Se formaron así, azúcares, grasas simples, aminoácidos y otras moléculas sencillas que reaccionaron entre sí para dar lugar a moléculas más complejas: proteínas, grasas complejas, polisacáridos y ácidos nucleicos.</p>	
<p><b>4) ¿Cómo se formó el "caldo primitivo"</b></p> <p>Según Oparin, los compuestos orgánicos que se formaron en la atmósfera fueron arrastrados hacia los mares por las lluvias y allí, a lo largo de millones de años, se concentraron formando una disolución espesa de agua y moléculas orgánicas e inorgánicas que él llamó "caldo primitivo".</p>	

### 5) Los precursores de las bacterias

En este "caldo primitivo" algunas moléculas formaron membranas, originándose unas estructuras esféricas llamadas coacervados. Algunos coacervados pudieron concentrar en su interior enzimas con las que fabricar sus propias moléculas y obtener energía. Por último, algunos pudieron adquirir su propio material genético y la capacidad de replicarse (reproducirse). Se formaron así los primitivos procariontes.



## EL EXPERIMENTO MILLER

En 1952 H.C. Urey volvió a expresar la tesis de Oparin-Haldane en su libro "Los planetas". Tanto él como S.L. Miller iniciaron en la Universidad de Chicago una serie de experiencias para averiguar si era posible que las fuentes de energía que había en un principio en la Tierra, hubiesen podido generar compuestos orgánicos a partir de los componentes que se encontraban en la atmósfera del planeta. Para ello montaron un dispositivo consistente en un balón de vidrio de 5 l conectado a otro más pequeño de 0,5 l. En el primero introdujeron una mezcla formada por  $H_2$ ,  $NH_3$ ,  $CH_4$  y  $H_2O$ . En el matraz mayor situaron unos electrodos y sometieron la mezcla a una serie de descargas eléctricas. La mezcla de gases era posteriormente introducida en el matraz pequeño que contenía agua hirviendo. Las sustancias que se formaban en el matraz grande se disolvían en el agua del pequeño, y los gases que aún no habían reaccionado se volvían al matraz grande por medio de un circuito cerrado. Al cabo de unos días Miller analizó el contenido del agua del recipiente menor y encontró una gran variedad de compuestos orgánicos y entre ellos descubrió los 20 aminoácidos que forman las proteínas (en la tabla siguiente se relacionan los compuestos obtenidos por Miller en su experiencia).

Esta experiencia permitió dar una base experimental a la hipótesis de Oparin-Haldane sobre el origen de la vida.

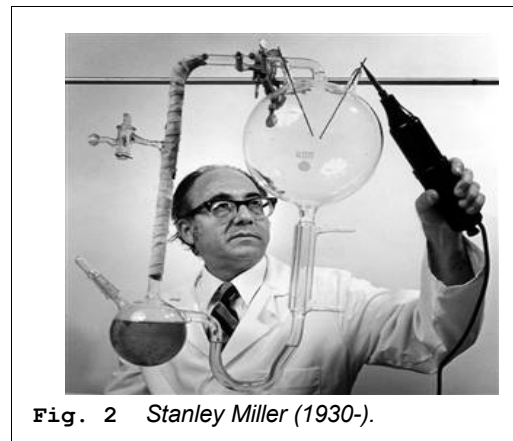


Fig. 2 Stanley Miller (1930-).

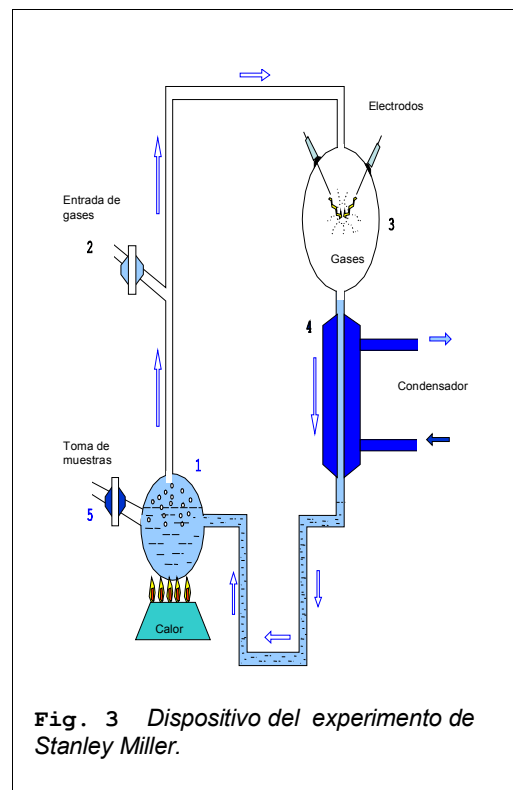


Fig. 3 Dispositivo del experimento de Stanley Miller.

---

## ETAPAS EN EL ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LOS SERES VIVOS

La evolución fue un proceso que transcurrió de una manera continua. No obstante, vamos a dividirlo para su estudio en una serie de etapas:

- 1ª La evolución química. Los primeros organismos.
- 2ª La evolución de los organismos procarióticos.
- 3ª Origen de las células eucariotas
- 4ª Orígenes de la célula vegetal y animal.
- 5ª Origen y evolución de los organismos pluricelulares.
- 6ª La evolución en los vegetales.
- 7ª La evolución en los animales.

## PRIMERAS ETAPAS DE LA EVOLUCIÓN BIOLÓGICA

### 1ª) LA EVOLUCIÓN QUÍMICA

La evolución química de los primeros organismos a partir de la materia inanimada se dio siguiendo los siguientes pasos:

- 1º Síntesis y concentración de los monómeros biológicos: aminoácidos, azúcares y bases orgánicas.
- 2º Polimerización de los monómeros y formación de los primeros polímeros: proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos.
- 3º Segregación a partir de la "sopa de Haldane" de pequeñas gotitas y formación de "protobiontes" diferentes químicamente del medio que les rodeaba y con una identidad propias.
- 4º Desarrollo de algún tipo de maquinaria reproductora que permitiese a las "células hijas" adquirir las características de las "células paternas".

#### **1-1 Síntesis y concentración de los monómeros biológicos. <sup>1</sup>**

*La experiencia de Miller nos ha permitido demostrar que es posible la formación al azar de los monómeros básicos que constituyen los compuestos de los seres vivos a partir de las sustancias existentes en la Tierra primitiva. La energía necesaria pudo muy bien provenir de las radiaciones o de los rayos producidos por las tormentas. No obstante, las cantidades que se obtienen son muy pequeñas y además enseguida quedarían diluidas en las grandes masas de agua de los mares y lagos. De alguna manera debieron de existir mecanismos que permitieron su concentración. Se han propuesto algunos muy sencillos como la concentración por evaporación o por congelación del agua de los lagos. Otros son más complejos; así, por ejemplo, se ha propuesto que las sustancias pudieron concentrarse al ser absorbidas selectivamente por ciertos minerales.*

---

<sup>1</sup> *Los textos en cursiva son de ampliación y deben leerse pero no estudiarse.*

### **1-2 Polimerización de los monómeros.**

*Es de destacar que las reacciones de polimerización se encuentran desplazadas normalmente en el sentido de los monómeros. En los seres vivos, la formación de polímeros es posible al encontrarse catalizada por enzimas. Pero las enzimas son también polímeros. ¿Cómo pudieron formarse entonces los polímeros constituyentes de los seres vivos?*

*Se ha observado que cuando los adenilaminoácidos quedan absorbidos por ciertos minerales arcillosos, se polimerizan espontáneamente formando cadenas peptídicas de 50 o más elementos. También se ha observado en mezclas secas de aminoácidos una cierta tasa de polimerización espontánea a temperaturas entre los 60°C y los 130°C. En ciertas condiciones los polímeros así formados pueden llegar a tener hasta 200 aminoácidos. Muy probablemente se produjo uno de estos mecanismos u otro similar. Los polímeros, una vez formados, pudieron difundirse hacia las disoluciones acuosas e irse concentrando a lo largo de millones de años por un mecanismo similar a los estudiados en el punto anterior.*

### **1-3 Formación de los coacervatos**

*Las células se caracterizan por mantener un medio interno químicamente diferente del medio externo. Esto se consigue por la presencia de una membrana limitante entre ambos medios. Esta membrana impide que los componentes de la célula se diluyan y desaparezcan. Oparin estudió durante muchos años la tendencia a aislarse de las disoluciones acuosas de polímeros para formar coacervatos: pequeñas gotitas ricas en polímeros y separadas del medio acuoso por una membrana.*

*Existen varias combinaciones de polímeros que dan lugar a la formación de coacervatos. Por ejemplo: las de proteína-hidratos de carbono, las de proteína solas y las de proteína-ácido nucléico.*

*Las gotitas de coacervatos son no obstante inestables. Tienen tendencia a descender hacia el fondo de la disolución donde forman una capa no acuosa. Oparin descubrió que si dotaba a los coacervatos de moléculas que les permitiesen llevar un cierto metabolismo celular, se hacían más estables. Así, al añadir al medio la enzima fosforilasa, ésta se concentraba en el interior de las gotitas. Si posteriormente se añadía glucosa-1-fosfato, ésta se difundía hacia el interior y la enzima la polimerizaba formando almidón. El almidón se va añadiendo a la membrana de la gotita con lo que aumenta de tamaño. Cuando el coacervato es excesivamente grande se divide espontáneamente dando lugar a varias gotitas "hijas". La energía necesaria proviene del enlace rico en energía de la glucosa-1-fosfato.*

*Si se le añaden al medio otras enzimas, los coacervatos se van transformando en estructuras con un metabolismo y una individualidad química que realizan intercambios de materiales y energía. Los coacervatos no son seres vivos pero poco les falta para serlo. Podríamos pensar que en el origen de la vida pudo pasar un proceso parecido y que poco a poco las "gotitas de vida" que tuviesen un metabolismo más adecuado "sobrevivirían" más tiempo y pudieron aumentar en tamaño y número.*

### **1-4 Adquisición de la maquinaria genética.**

*Se trata de algo para lo que no disponemos de modelos de laboratorio. Además, la complejidad del material genético y su gran diversidad no nos dan muchas pistas acerca de como pudo suceder el proceso. Es posible que los primeros coacervatos estuviesen constituidos por ADN u otros polinucleótidos que fuesen capaces de autoduplicarse y de traducirse a proteínas. Aunque la secuencia primaria de ésta fuese al azar, pudieron formar una membrana protectora que envolviese al ADN. Se pudo establecer así una relación mutua: el ADN se traducía a proteínas y éstas protegían al ADN formando una membrana a su alrededor. A partir de aquí ambas sustancias pudieron seguir una evolución conjunta.*

*Esta hipótesis presenta la dificultad de que la traducción de las proteínas necesita en la actualidad de una compleja maquinaria química: varios tipos de ARN, ribosomas, enzimas, etc. Esto es, se necesitan proteínas para sintetizar el ADN y ADN para sintetizar las proteínas. Esta moderna versión de la paradoja del "huevo y de la gallina" puede resolverse contestando que la maquinaria genética debió de evolucionar conjuntamente a partir de mecanismos más simples que no existen en la actualidad, al haber sido eliminados por competencia con otros más perfeccionados. En resumidas cuentas, en algún momento se formó una asociación ADN, codificador de una proteína, que a su vez catalizaba la formación de un ácido nucleico y ambos evolucionaron conjuntamente.*

## **2 - LA EVOLUCIÓN DE LOS ORGANISMOS PROCARIÓTICOS**

*Los distintos pasos descritos hasta ahora debieron de dar lugar a los primeros seres vivos. Posiblemente se trató de organismos similares a las bacterias fermentadoras, como las actuales del género Clostridium, aunque naturalmente su maquinaria bioquímica sería mucho más simple.*

*Estos organismos debieron de sobrevivir a base de fermentar los componentes orgánicos que se habían formado a lo largo de millones de años de evolución química. La disminución de la cantidad de materia orgánica, como consecuencia de los propios procesos de fermentación, debió de estimular el desarrollo de los primeros organismos fotosintéticos.*

*Parece ser que la fotosíntesis basada en el  $\text{SH}_2$  como fuente de hidrógeno y electrones, como lo hacen en la actualidad las bacterias del azufre, es anterior a la fotosíntesis basada en el  $\text{H}_2\text{O}$ . Esta hipótesis se fundamenta en el hecho de que la atmósfera primitiva de la Tierra era rica en  $\text{SH}_2$ . Además, la maquinaria bioquímica que se necesita para la fotosíntesis basada en el  $\text{SH}_2$  es menos compleja que la fotosíntesis basada en la fotólisis del  $\text{H}_2\text{O}$ .*

*No obstante, la abundancia de  $\text{H}_2\text{O}$  trajo este tipo de fotosíntesis. Los primeros organismos en dar este gran paso debieron ser similares a las cianobacterias, llamadas también algas verde-azuladas. Las cianobacterias actuales, como las del género nostoc, son organismos procariontes que forman colonias multicelulares de aspecto filamentosas.*

*Durante  $2000 \cdot 10^6$  años siguientes (hasta hace  $1500 \cdot 10^6$  años) estos organismos revolucionaron la composición química de la atmósfera. La producción de oxígeno transformó la atmósfera reductora en una atmósfera oxidante y se formó además una capa de ozono ( $\text{O}_3$ ) que filtró considerablemente los rayos ultravioleta.*

*El oxígeno comenzó a concentrarse en la atmósfera en un porcentaje superior al 1% hace unos  $2000 \cdot 10^6$ . Esto se sabe porque los granos del mineral de uranio llamado uraninita se oxidan rápidamente si la concentración de oxígeno es superior al 1%. El óxido de uranio así formado se disuelve en el agua y es arrastrado hacia los mares donde se mantiene en disolución. Efectivamente, sólo encontramos depósitos de uraninita en sedimentos que tiene una antigüedad superior a los  $2000 \cdot 10^6$  años y no se encuentran cuando los estratos son más jóvenes. Un resultado similar lo proporcionan los estudios basados en la formación de los depósitos de óxido de hierro.*

## **3 - EL ORIGEN DE LOS EUCARIOTAS**

*Es difícil distinguir entre los microfósiles de hace miles de millones de años si son procariontes o eucariotas. Sabemos que ambos tipos de células se diferencian en su aspecto, tamaño, morfología, bioquímica, etc.*

Los eucariotas, tal y como los conocemos ahora, no pudieron aparecer antes de hace  $1500 \cdot 10^6$  años ( $3500 \cdot 10^6$  años después del origen de la Tierra). Con los eucariotas apareció la reproducción sexual. No olvidemos que las principales características de los eucariotas son la presencia de un núcleo separado del citoplasma y la estructuración del ADN en cromosomas. Todo esto se desarrolló posiblemente para poder intercambiar más fácilmente el material genético. Es cierto que los procariotas actuales pueden también intercambiarlo, pero en ellos priman sobre todo los mecanismos de reproducción asexual sobre los de reproducción sexual.

La reproducción sexual fue lo que permitió la diversificación de los seres vivos, la aparición de los organismos megascópicos y que estos alcanzasen la gran complejidad que tiene en la actualidad.

Según la **Teoría de la Simbiogénesis** (Lynn Margulis. Chicago 1938) las células eucariotas serían el resultado de la simbiosis de diferentes organismos procariotas. Esto se basa en el hecho de que muchos orgánulos y estructuras celulares (mitocondrias y plastos,) poseen su propio ADN, e incluso sus propios ribosomas, ambos de tipo bacteriano.

## II-B

# FISIOLOGÍA CELULAR

## 1) ORGANIZACIÓN CELULAR DE LOS SERES VIVOS

### TEORÍA CELULAR

En 1665, Robert Hooke, al observar al microscopio, muy rudimentario en aquella época, un fragmento de corcho, descubre que está compuesto por una serie de estructuras parecidas a las celdas de los panales de las abejas, por lo que las llamó células. El posterior desarrollo de la microscopía permitió que en 1838 Scheleiden y en 1839 Schwan, uno para los vegetales y el otro para los animales, planteasen la denominada TEORÍA CELULAR, que, resumidamente, indica:

- 1º- Todos los organismos son células o están constituidos por células.
- 2º- Las unidades reproductoras, los gametos y esporas, son también células.
- 3º- Las células no se crean de nuevo, toda célula proviene siempre de otra célula.
- 4º- Existen seres unicelulares y seres pluricelulares.

En pocas palabras, según la TEORÍA CELULAR, la célula es **la unidad estructural, fisiológica y reproductora de los seres vivos**; pues todo ser vivo está constituido por células: **UNIDAD ANATÓMICA**, su actividad es consecuencia de la actividad de sus células: **UNIDAD FISIOLÓGICA** y se reproduce a través de ellas: **UNIDAD REPRODUCTORA**.

La TEORÍA CELULAR ha sido de gran importancia y supuso un gran avance en el campo de la Biología pues sentó las bases para el estudio estructurado y lógico de los seres vivos.

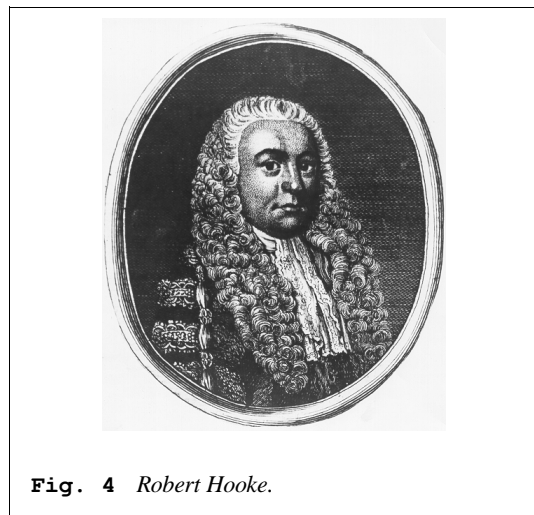


Fig. 4 Robert Hooke.

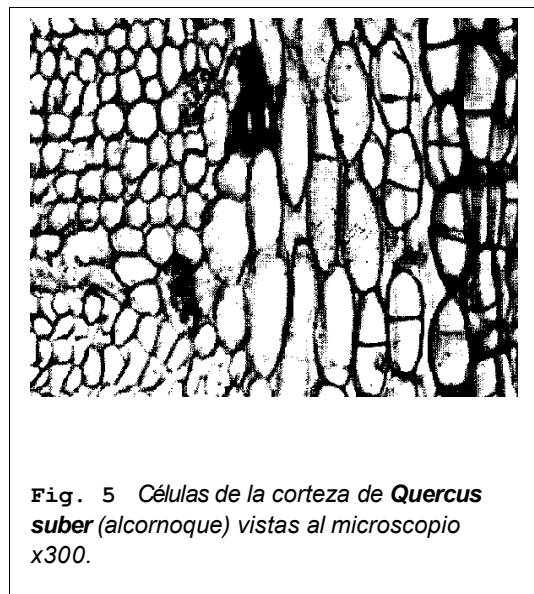


Fig. 5 Células de la corteza de *Quercus suber* (alcornoque) vistas al microscopio x300.



**UNICELULARES Y PLURICELULARES**

Como consecuencia del cuarto punto de la teoría celular, vamos a dividir los seres vivos en dos grandes grupos:

- Unicelulares: con una sola célula.
- Pluricelulares: con muchas células.

No todos los seres vivos están constituidos por células. Un claro ejemplo son los virus, a estos organismos que no son células se les conoce como **acelulares**.

**EUCARIOTAS Y PROCARIOTAS**

Por su estructura se distinguen dos tipos de células: procarióticas y eucarióticas:

**-PROCARIÓTICAS.** Muy simples y primitivas. Apenas tienen estructuras en su interior. Se caracterizan por no tener un núcleo propiamente dicho; esto es, no tienen el material genético envuelto en una membrana y separado del resto del citoplasma. Además, su ADN no está asociado a ciertas proteínas como las histonas y está formando un único cromosoma. Son procariotas, entre otras: las bacterias y las cianofíceas.

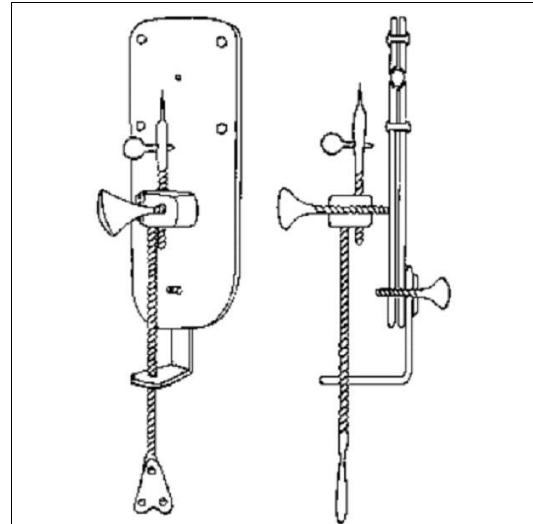
**-EUCARIÓTICAS:** Células características del resto de los organismos unicelulares y pluricelulares, animales y vegetales. Su estructura es más evolucionada y compleja que la de los procariotas. Tienen orgánulos celulares y un núcleo verdadero separado del citoplasma por una envoltura nuclear. Su ADN está asociado a proteínas (histonas y otras) y estructurado en numerosos cromosomas.

**ESTRUCTURA GENERAL DE LA CÉLULA EUCARIÓTICA**

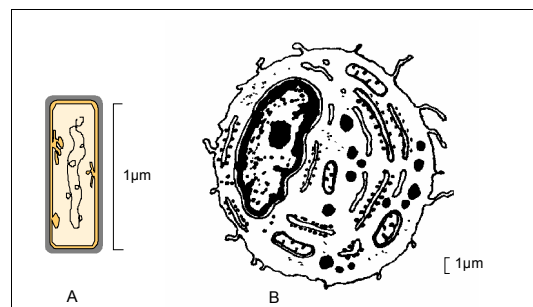
En toda célula eucariótica vamos a poder distinguir la siguiente estructura:

- Membrana plasmática
- Citoplasma
- Núcleo

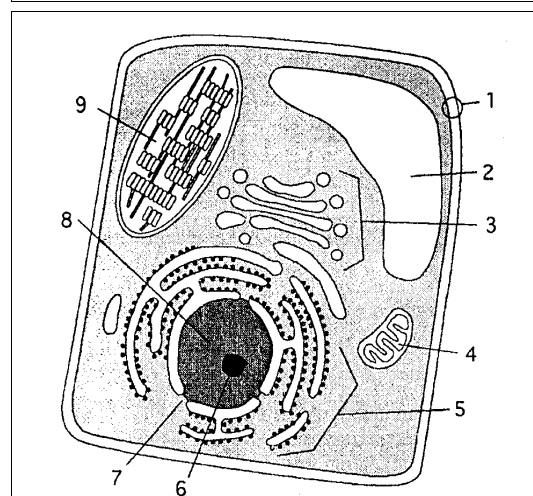
El aspecto de la célula es diferente según se observe al microscopio óptico (MO) o al electró-



**Fig. 6** Con este primitivo microscopio Antony van Leeuwenhoek (1632-1723) realizó las primeras observaciones microscópicas.



**Fig. 7** A) Célula procariota. B) Célula eucariota. La primera está representada a un aumento mucho mayor que la segunda (ver escala).



**Fig. 8** Dibujo esquemático de una célula eucariota vista al MET (P.A.U. junio de 1999).

nico (MET). Al MO observaremos la **estructura celular** y al MET la **ultraestructura**.

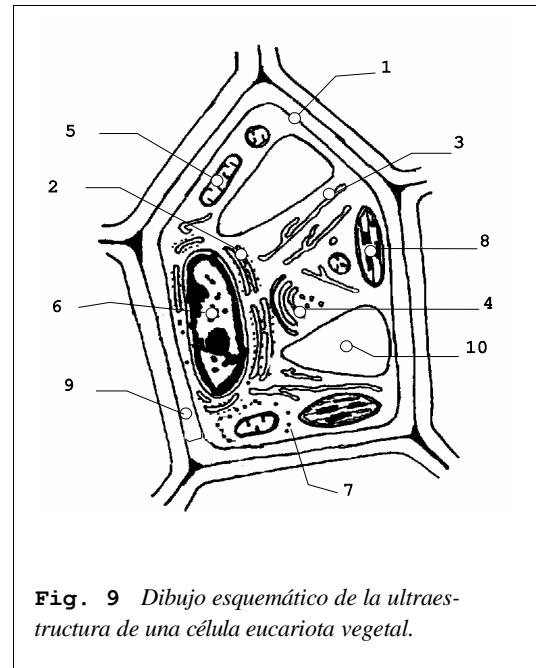
## DIFERENCIAS ENTRE LAS CÉLULAS VEGETALES Y ANIMALES

Por lo general las células vegetales son de mayor tamaño que las animales, tienen plastos y están envueltas en una gruesa pared celular, también llamada pared celulósica o membrana de secreción. Sus vacuolas son de gran tamaño y no tienen centriolos.

### ULTRAESTRUCTURA DE LA CÉLULA

#### CÉLULA VEGETAL

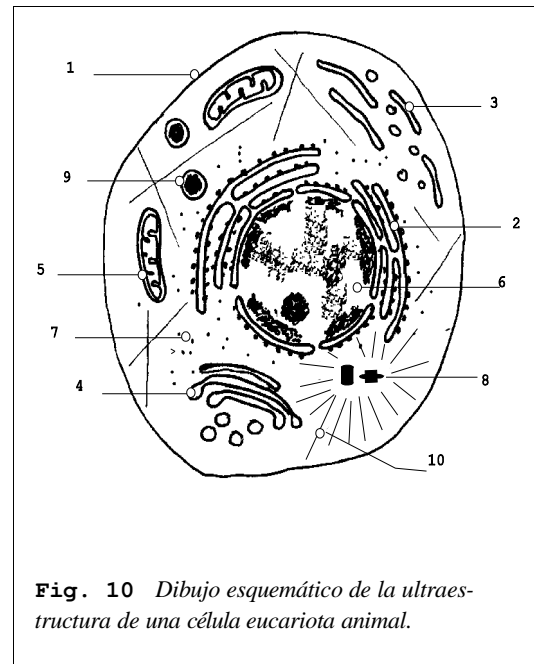
- 1 Membrana plasmática
- 2 Retículo endoplasmático granular
- 3 Retículo endoplasmático liso
- 4 Aparato de Golgi
- 5 Mitocondria
- 6 Núcleo
- 7 Ribosomas
- 8 Cloroplasto
- 9 Pared celulósica
- 10 Vacuola



**Fig. 9** Dibujo esquemático de la ultraestructura de una célula eucariota vegetal.

#### CÉLULA ANIMAL

- 1 Membrana plasmática
- 2 Retículo endoplasmático granular
- 3 Retículo endoplasmático liso
- 4 Aparato de Golgi
- 5 Mitocondria
- 6 Núcleo
- 7 Ribosomas
- 8 Centrosoma (Centriolos)
- 9 Lisosomas
- 10 Microtúbulos (citoesqueleto)



**Fig. 10** Dibujo esquemático de la ultraestructura de una célula eucariota animal.

## BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LOS ORGÁNULOS CELULARES

### MEMBRANA

**Membrana plasmática:** Delgada lámina que recubre la célula. Está formada por lípidos, proteínas y oligosacáridos. Regula los intercambios entre la célula y el exterior.

**Pared celular:** Gruesa capa que recubre las células vegetales. Está formada por celulosa y otras sustancias. Su función es la de proteger la célula vegetal de las alteraciones de la presión osmótica.

### CITOPLASMA

**Hialoplasma:** Es el citoplasma desprovisto de los orgánulos. Se trata de un medio de reacción en el que se realizan importantes reacciones celulares, por ejemplo: la síntesis de proteínas y la glicólisis. Contiene los microtúbulos y microfilamentos que forman el esqueleto celular.

**Retículo endoplasmático:** Red de membranas intracitoplasmática que separan compartimentos en el citoplasma. Hay dos clases: granular y liso. Sus funciones son: síntesis de oligosacáridos y maduración y transporte de glicoproteínas y proteínas de membrana.

**Ribosomas:** Pequeños gránulos presentes en el citoplasma, también adheridos al retículo endoplasmático granular. Intervienen en los procesos de síntesis de proteínas en el hialoplasma.

**Aparato de Golgi:** Sistema de membranas similar, en cierto modo, al retículo pero sin ribosomas. Sirve para sintetizar, transportar y empaquetar determinadas sustancias elaboradas por la célula y destinadas a ser almacenadas o a la exportación.

**Lisosomas:** Vesículas que contienen enzimas digestivas. Intervienen en los procesos de degradación de sustancias.

**Vacuolas:** Estructuras en forma de grandes vesículas. Almacenamiento de sustancias.

**Mitocondrias:** En ellas se extrae la energía química contenida en las sustancias orgánicas (ciclo de Krebs y cadena respiratoria).

**Centrosoma:** Interviene en los procesos de división celular y en el movimiento celular por cilios y flagelos.

**Plastos:** Orgánulos característicos de las células vegetales. En los cloroplastos se realiza la fotosíntesis.

### NÚCLEO

Contiene la información celular.

**Nucleoplasma:** En él se realizan las funciones de replicación y transcripción de la información celular. Esto es, la síntesis de ADN y ARN.

**Nucleolo:** Síntesis del ARN de los ribosomas.

**Envoltura nuclear:** Por sus poros se realizan los intercambios de sustancias entre el núcleo y el hialoplasma.