

1b- LA TEORÍA 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:

- 11- Todos los organismos son células o están constituidos por células.
- 21- Las unidades reproductoras, los gametos y esporas, son también células.
- 31- Las células no se crean de nuevo, toda célula proviene siempre de otra célula.
- 41- 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 las Biología pues sentó las bases para el estudio estructurado y lógico de los seres vivos.

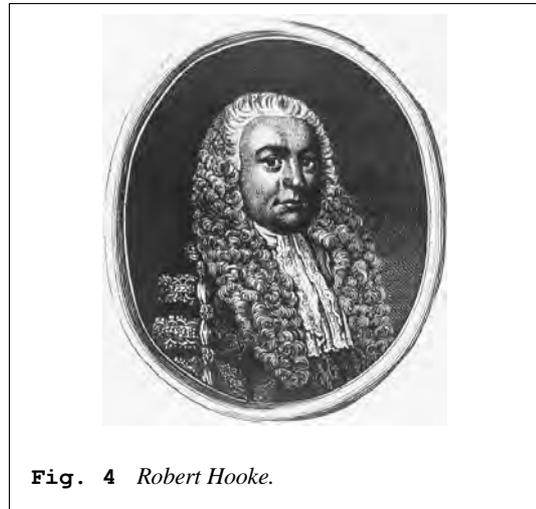


Fig. 4 Robert Hooke.

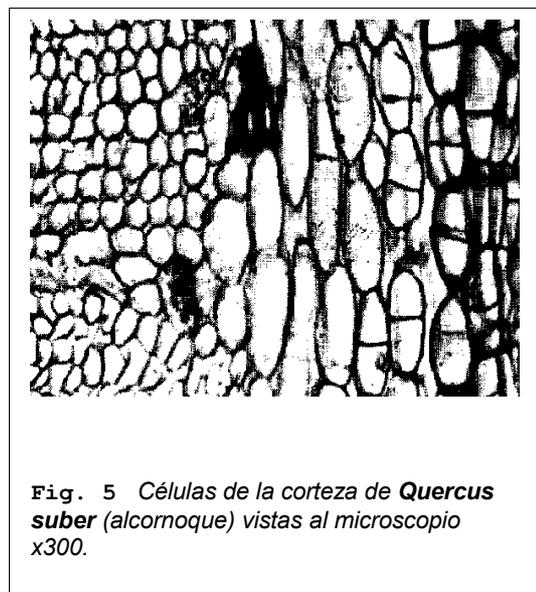


Fig. 5 Células de la corteza de *Quercus suber* (alcornoque) vistas al microscopio x300.

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

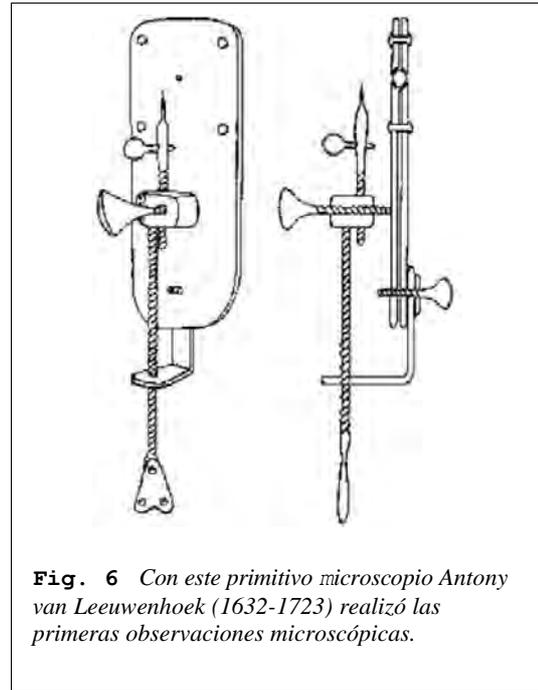


Fig. 6 Con este primitivo microscopio Antony van Leeuwenhoek (1632-1723) realizó las primeras observaciones microscópicas.

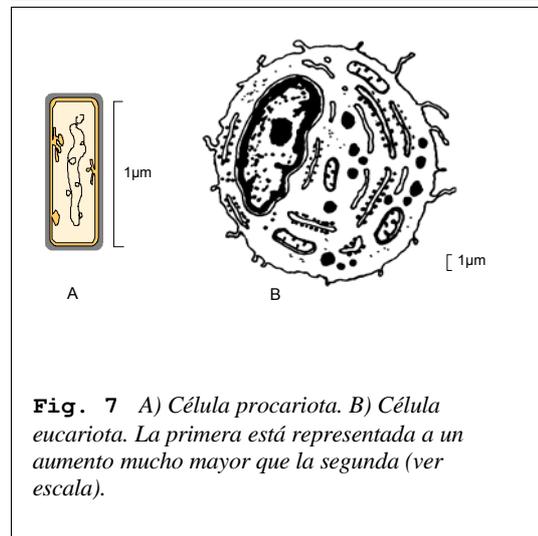


Fig. 7 A) Célula procariota. B) Célula eucariota. La primera está representada a un aumento mucho mayor que la segunda (ver escala).

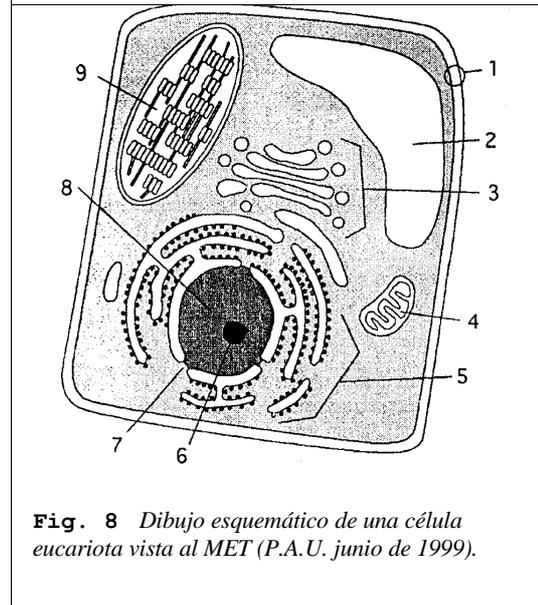


Fig. 8 Dibujo esquemático de una célula eucariota vista al MET (P.A.U. junio de 1999).

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

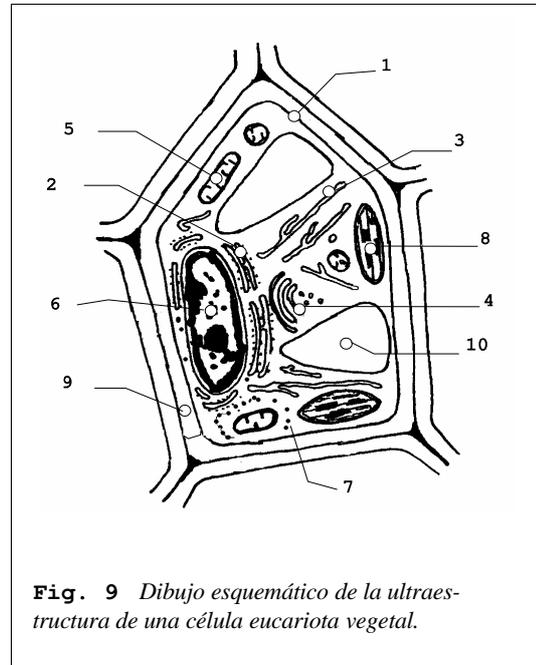


Fig. 9 Dibujo esquemático de la ultraestructura de una célula eucariota vegetal.

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)

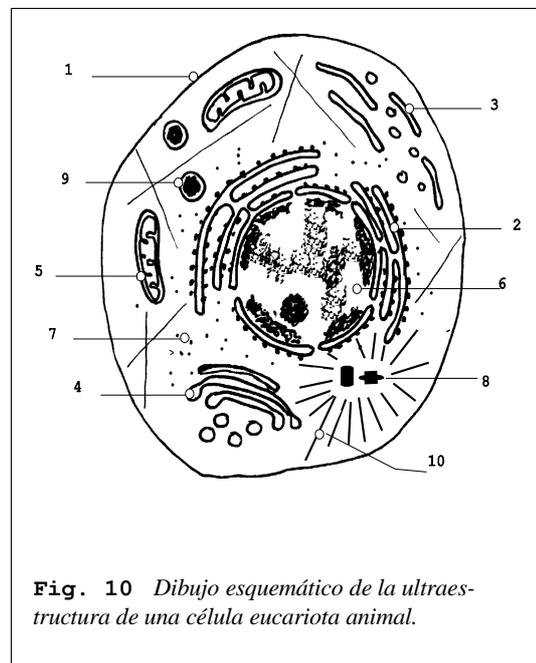


Fig. 10 Dibujo esquemático de la ultraestructura de una célula eucariota animal.

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.

II-2A) LAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS.

LA MEMBRANA UNITARIA

Muchas estructuras de la célula están formadas por membranas. Las membranas biológicas constituyen fronteras que permiten no sólo separar sino también poner en comunicación diferentes compartimentos en el interior de la célula y a la propia célula con el exterior.

La estructura de todas las membranas biológicas es muy parecida. Las diferencias se establecen más bien al nivel de la función particular que tienen los distintos orgánulos formados por membranas; función que va a depender de la composición que tengan sus membranas. Este tipo de membranas se denomina, debido a esto, **unidad de membrana o membrana unitaria**. La membrana plasmática de la célula y la de los orgánulos celulares está formada por membranas unitarias.

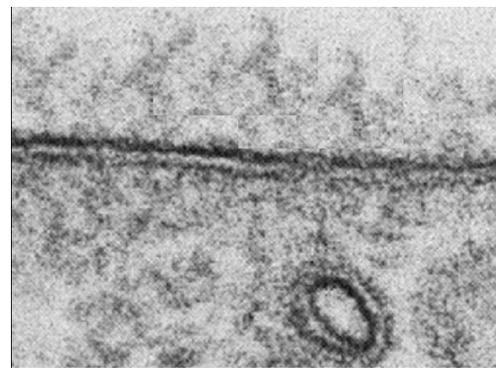


Fig. 1 Membrana celular vista a gran aumento al microscopio electrónico. Se destacan dos capas oscuras y una intermedia clara.

ORGÁNULOS Y OTRAS ESTRUCTURAS FORMADOS POR MEMBRANAS UNITARIAS

- Membrana plasmática
- Retículo endoplasmático granular y liso
- Aparato de Golgi
- Lisosomas
- Peroxisomas
- Mitocondrias
- Plastos
- Vacuolas
- Envoltura nuclear

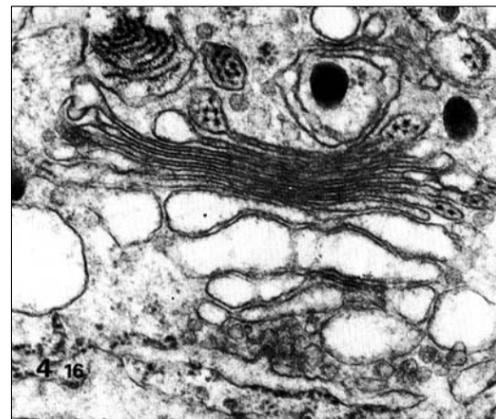


Fig. 2 Sistemas de membranas celulares.

CARÁCTER ANFIPÁTICO DE LOS LÍPIDOS.

Ciertos lípidos, y en particular los fosfolípidos, tienen una parte de la molécula que es polar: hidrófila y otra (la correspondiente a las cadenas hidrocarbonadas de los ácidos grasos) que es no polar: hidrófoba. Las moléculas que presentan estas características reciben el nombre de **anfipáticas**. A partir de ahora representaremos la parte polar (hidrófila) y la no polar (hidrófoba) de los lípidos anfipáticos como se indica en la *figura 3*.

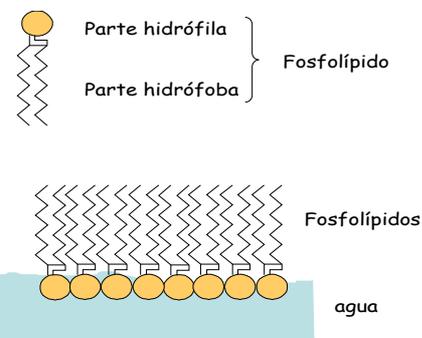


Fig. 3 Monocapa de lípidos anfipáticos (fosfolípidos, por ejemplo) en agua.

FORMACIÓN DE BICAPAS LIPÍDICAS

Si se dispersa por una superficie acuosa una pequeña cantidad de un lípido anfipático, se puede formar una capa de una molécula de espesor: **monocapa**. Esto es debido a que las partes hidrófilas se disponen hacia el interior y los grupos hidrófobos hacia el exterior de la superficie acuosa. Pueden también formarse **bicapas**, en particular entre dos compartimentos acuosos. Entonces, las partes hidrófobas se disponen enfrentadas y las partes hidrófilas se colocan hacia la solución acuosa. Los lípidos anfipáticos forman este tipo de estructuras espontáneamente. Las bicapas pueden formar compartimentos cerrados denominados **liposomas**. Las bicapas lipídicas poseen características similares a las de las membranas celulares: son permeables al agua pero impermeables a los cationes y aniones y a las grandes moléculas polares. En realidad, las membranas celulares son, esencialmente, bicapas lipídicas.

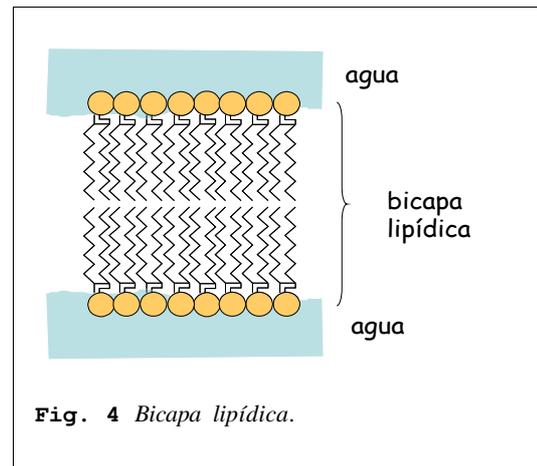


Fig. 4 Bicapa lipídica.

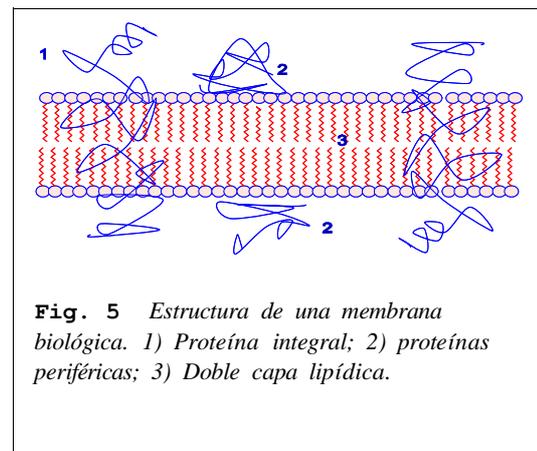


Fig. 5 Estructura de una membrana biológica. 1) Proteína integral; 2) proteínas periféricas; 3) Doble capa lipídica.

ESTRUCTURA EN MOSAICO DE LAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS

Las membranas biológicas están constituidas por una doble capa de fosfolípidos con proteínas. Las proteínas se pueden encontrar adosadas a la membrana pero sin penetrar en la doble capa lipídica: **proteínas periféricas**, o empotradas: **proteínas integrales**. Las proteínas forman así una especie de mosaico (**estructura en mosaico**). Las partes hidrófilas de las proteínas integrales quedan hacia el interior o hacia el exterior de la capa lipídica y las partes lipófilas (hidrófobas) se sitúan en su seno. Las proteínas integrales atraviesan completamente la membrana.

CARACTERÍSTICAS DE LAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS

Las moléculas que constituyen las membranas se encuentran libres entre sí pudiendo desplazarse en el seno de ella, girar o incluso rotar, aunque esto último más raramente. La membrana mantiene su estructura por uniones muy débiles: Fuerzas de Van der Waals e interacciones hidrofóbicas. Esto le da a la membrana su característica **fluidez**. Todos estos movimientos se realizan sin consumo de energía. Los lípidos pueden presentar una mayor o menor movilidad en función de factores internos: cantidad de colesterol o de ácidos grasos insaturados, o externos: temperatura, composición de moléculas en el exterior, etc. Así, una mayor cantidad de ácidos grasos insaturados

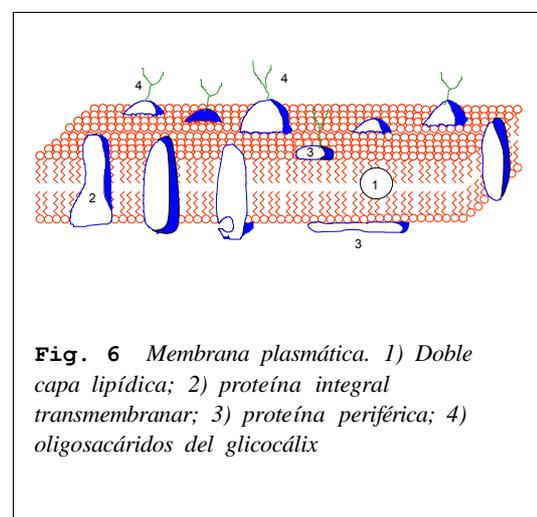


Fig. 6 Membrana plasmática. 1) Doble capa lipídica; 2) proteína integral transmembrana; 3) proteína periférica; 4) oligosacáridos del glicocáliz

o de cadena corta hace que la membrana sea más fluida y sus componentes tengan una mayor movilidad; una mayor temperatura hace también que la membrana sea más fluida. Por el contrario, el colesterol endurece la membrana y le da una mayor estabilidad y por lo tanto una menor fluidez.

Otra característica de las membranas biológicas es su **asimetría**, debida a la presencia de proteínas distintas en ambas caras. Por lo tanto, las dos caras de la membrana realizarán funciones diferentes. Estas diferencias son de gran importancia a la hora de interpretar correctamente las funciones de las estructuras constituidas por membrana.

II-2B) FLUJO DE SUSTANCIAS ENTRE LA CÉLULA Y EL EXTERIOR

LA MEMBRANA PLASMÁTICA. CONCEPTO

Es una fina membrana que limita y relaciona el interior de la célula, el **protoplasma**, con el exterior. Como toda membrana biológica está constituida sobre todo por lípidos y proteínas. En la membrana plasmática encontramos muchas proteínas diferentes, hasta 50 clases diferentes. También hay oligosacáridos asociados a las proteínas y a los lípidos.

ESTRUCTURA EN MOSAICO FLUIDO DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

La membrana plasmática es extraordinariamente delgada, teniendo un espesor medio de aproximadamente 10 nm (100Å), por lo que sólo se ve con el microscopio electrónico.

La estructura de la membrana plasmática es la misma que la de cualquier membrana biológica. Está formada por una doble capa lipídica con proteínas integrales y periféricas que se encuentran dispuestas formando una estructura en **mosaico fluido**. En su cara externa presenta una estructura fibrosa, que no se encuentra en las membranas de los orgánulos celulares: el **glicocálix**, constituido por **oligosacáridos**. Los oligosacáridos del glicocálix están unidos tanto a los lípidos, **glicolípidos**, como a las proteínas, **glicoproteínas**. En la cara interna las proteínas están asociadas a microtúbulos, a microfilamentos y a otras proteínas con función esquelética.

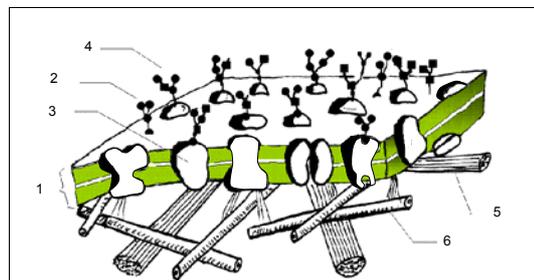


Fig. 7 Esquema tridimensional de la membrana plasmática. 1) Doble capa lipídica; 2) Oligosacáridos del glicocálix; 3) proteína integral; 4) glicoproteína; 5) microtúbulo; 6) microfilamento.

MECANISMOS DE FUSIÓN DE MEMBRANAS

La fluidez de los componentes de la membrana plasmática permite su crecimiento por fusión con membranas provenientes de otros orgánulos celulares, como las llamadas vesículas de exocitosis. Éstas van a poder fusionarse con la membrana. De esta manera las sustancias que puedan contener las vesículas pasan al exterior y al mismo tiempo los componentes de la membrana de la vesícula se integran en la membrana plasmática haciéndola crecer.

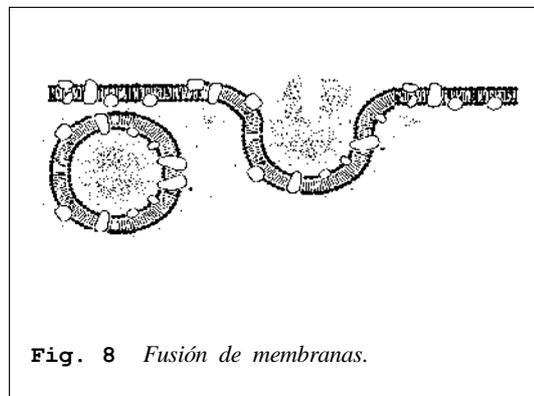


Fig. 8 Fusión de membranas.

DIFERENCIACIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

La membrana plasmática puede tener las siguientes diferenciaciones morfológicas:

MICROVELLOSIDADES. Las células que por su función requieren una gran superficie, por ejemplo, las que realizan la absorción de los nutrientes en el tubo digestivo, tienen una membrana con una gran cantidad de repliegues que reciben el nombre de microvellosidades.

DESMOSOMAS. Se dan en células que necesitan estar fuertemente soldadas con sus vecinas; por ejemplo: las células de la epidermis de las mucosas. En ellas, el espacio intercelular se amplía en la zona de los desmosomas y por la parte interna de ambas membranas se dispone una sustancia densa asociada a finos filamentos (tonofilamentos), lo que da a estas uniones una gran solidez.

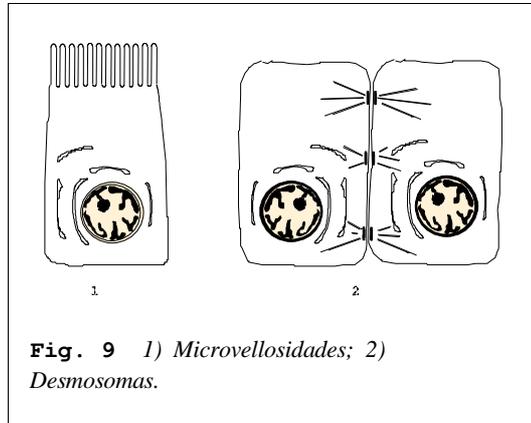


Fig. 9 1) Microvellosidades; 2) Desmosomas.

UNIONES IMPERMEABLES. Se dan entre células que forman barreras que impiden el paso de sustancias, incluso del agua. En ellas, el espacio intercelular desaparece y las membranas de ambas células se sueldan.

FUNCIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

INTERCAMBIOS. La membrana es, básicamente, una barrera **selectiva (permeabilidad selectiva)**. Limita a la célula e impide el paso de sustancias, no de todas, pero sí de muchas, tanto del exterior al interior como en sentido inverso. No obstante, y a pesar de esta función limitante, la célula va a necesitar intercambios constantes con el medio que la rodea. Necesita sustancias nutritivas y tiene que eliminar productos de desecho, que serán transportados a través de la membrana y por la propia membrana. La membrana es un elemento activo que "escoge" lo que entrará o saldrá de la célula.

RECEPTORA. Algunas proteínas de la membrana plasmática van a tener esta función, por ejemplo: receptoras de sustancias hormonales. Muchas hormonas regulan la actividad de la célula fijándose en determinados puntos de proteínas receptoras específicas. La proteína receptora va a liberar en el interior de la célula una molécula orgánica: **el mediador hormonal**. Esta sustancia va a actuar regulando ciertos aspectos del metabolismo celular, por ejemplo, activando determinadas enzimas o desencadenando la activación de determinados genes. Al existir diferentes proteínas receptoras en la membrana celular y al tener las células diferentes receptores, la actividad de cada célula será diferente según sean las hormonas presentes en el medio celular.

RECONOCIMIENTO. Se debe a las glicoproteínas de la cara externa de la membrana. Así, las células del sistema inmunológico, células que nos defienden de los agentes patógenos, van a reconocer las células que son del propio organismo diferenciándolas de las extrañas a él por las glicoproteínas de la membrana. Estas sustancias constituyen un verdadero código de identidad.

DIFUSIÓN

Es el fenómeno por el cual las partículas de un soluto se distribuyen uniformemente en un disolvente de tal forma que en cualquier punto de la disolución se alcanza la misma concentración. Así, si ponemos un grano de azúcar en un recipiente que contenga 1 litro de agua destilada y esperamos el tiempo suficiente, el azúcar se disolverá y en cualquier parte de la disolución un volumen dado de ésta contendrá la misma cantidad de moléculas que cualquier otro. Esto es debido a que las moléculas del soluto se comportan, en cierto modo, como las de un gas encerrado en un recipiente desplazándose en todas las direcciones.

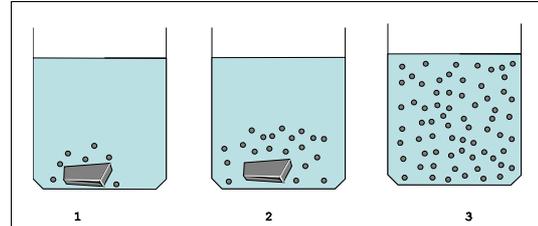


Fig. 10 Difusión de un soluto (glucosa) en el seno de un disolvente (agua).

CLASES DE MEMBRANAS

En los medios orgánicos la difusión está dificultada por la existencia de membranas. Las células están separadas del medio intercelular y de las otras células por la membrana plasmática y determinados orgánulos celulares están también separados del hialoplasma por membranas biológicas.

En general, las membranas pueden ser: permeables, impermeables y semipermeables. Las membranas permeables permiten el paso del soluto y del disolvente, las impermeables impiden el paso de ambos y las semipermeables permiten pasar el disolvente pero impiden el paso de determinados solutos. Esto último puede ser debido a diferentes causas. Así, por ejemplo, muchas membranas tienen pequeños poros que permiten el paso de las pequeñas moléculas y no de las que son mayores; otras, debido a su composición, permiten el paso de las sustancias hidrófilas y no de las lipófilas, o a la inversa.

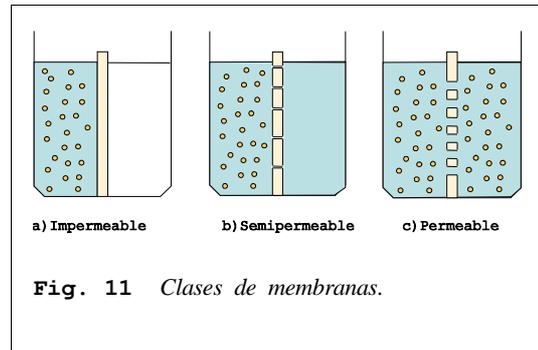


Fig. 11 Clases de membranas.

LA PERMEABILIDAD SELECTIVA

Las membranas biológicas se comportan en cierto modo como membranas semipermeables y van a permitir el paso de pequeñas moléculas, tanto las no polares como las polares. Las primeras se disuelven en la membrana y la atraviesan fácilmente. Las segundas, si son menores de 100 u también pueden atravesarla. Por el contrario, las moléculas voluminosas o las fuertemente cargadas, iones, quedarán retenidas. La membrana plasmática es permeable al agua y a las sustancias lipídicas. No obstante, como veremos más adelante, determinados mecanismos van a permitir que atraviesen la membrana algunas moléculas que por su composición o tamaño no podrían hacerlo. Esto es, las membranas biológicas tienen permeabilidad selectiva. De este modo la célula asegura un medio interno diferente del exterior.

ÓSMOSIS

Si a ambos lados de una membrana semipermeable se ponen dos disoluciones de concentración diferente el agua pasa desde la más diluida a la más concentrada. Este proceso se denomina **ósmosis** y la presión necesaria para contrarrestar el paso del agua se llama **presión osmótica**.

La ósmosis se debe a que la membrana semipermeable impide el paso del soluto del medio más concentrado al menos concentrado, pero si puede pasar el disolvente, el agua, en la mayoría de los casos, en sentido inverso. Si se trata de un compartimento cerrado, este aumento de la cantidad de disolvente a un lado de la membrana semipermeable es el responsable de la presión osmótica.

Al medio que tiene una mayor concentración en partículas que no pueden atravesar la membrana (solutos), se le denomina **hipertónico**, mientras que al menos concentrado en solutos se le llama **hipotónico**. Si dos disoluciones ejercen la misma presión osmótica, por tener la misma concentración de partículas que no se pueden difundir a ambos lados de la membrana semipermeable, diremos que son **isotónicas**. Es de destacar que podemos tener dos disoluciones diferentes a ambos lados de una membrana semipermeable y, sin embargo, ambas ser isotónicas entre sí. Así, por ejemplo, si a un lado de una membrana semipermeable tenemos una disolución 0,1 molal de glucosa y al otro lado una disolución 0,1 molal de fructosa, ambas disoluciones son diferentes, pero como tienen el mismo número de partículas de soluto por unidad de volumen, ambas ejercerán la misma presión osmótica.

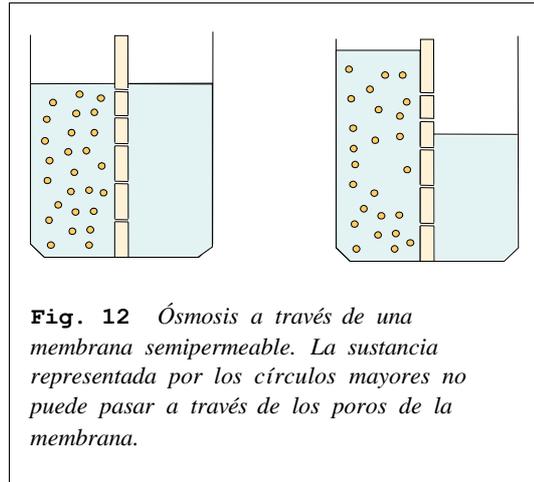


Fig. 12 Ósmosis a través de una membrana semipermeable. La sustancia representada por los círculos mayores no puede pasar a través de los poros de la membrana.

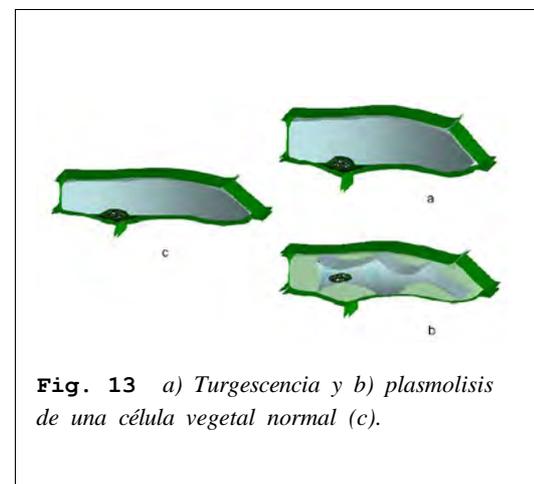


Fig. 13 a) Turgescencia y b) plasmolisis de una célula vegetal normal (c).

LAS CÉLULAS Y LA PRESIÓN OSMÓTICA

El interior de la célula es una compleja disolución que, normalmente, difiere del medio extracelular. La membrana de la célula, membrana plasmática, se comporta como una membrana semipermeable.

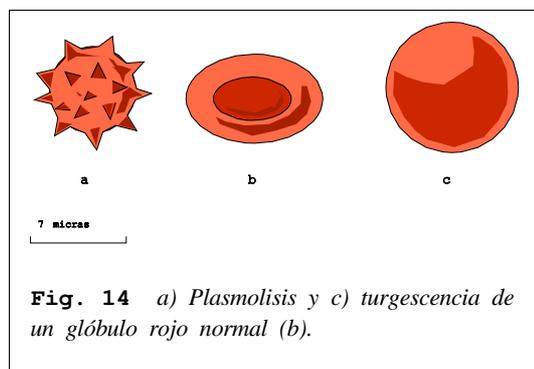


Fig. 14 a) Plasmolisis y c) turgescencia de un glóbulo rojo normal (b).

Cuando una célula se encuentra en un medio hipertónico, el hialoplasma y el interior de los orgánulos formados por membranas, por ejemplo: las vacuolas de las células

vegetales, pierden agua, produciéndose la **plasmolisis** del contenido celular. Por el contrario, si la célula se introduce en una disolución hipotónica se producirá una penetración del disolvente y la célula se hinchará: **turgencia** o **turgescencia**. En las células vegetales la turgencia no suele presentar un grave problema pues están protegidas por una gruesa pared celular. En las células animales la turgencia puede acarrear la rotura de la membrana plasmática. Así, los glóbulos rojos introducidos en agua destilada primero se hinchan y después explotan (**hemolisis**) liberando el contenido celular¹.

TRANSPORTE DE SUSTANCIAS A TRAVÉS DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

La célula necesita sustancias para su metabolismo. Como consecuencia de éste se van a producir sustancias de desecho que la célula precisa eliminar. Así pues, a través de la membrana plasmática se va a dar un continuo transporte de sustancias en ambos sentidos. Según la dirección de este y el tipo de sustancia tendremos:

- **Ingestión:** Es la entrada en la célula de aquellas sustancias necesarias para su metabolismo.
- **Excreción:** Salida de los productos de desecho.
- **Secreción:** Si lo que sale no son productos de desecho sino sustancias destinadas a la exportación.

Aunque vamos a referirnos únicamente al transporte a través de la membrana plasmática, deberá tenerse en cuenta que los fenómenos de transporte que estudiaremos a continuación se dan también a través de las membranas biológicas de los orgánulos formados por membranas: retículo, aparato de Golgi, lisosomas, vacuolas, mitocondrias y plastos.

Mediante estos fenómenos la célula asegura un medio interno diferente y funciones distintas en cada uno de los orgánulos formados por membranas.

¹ *Curiosidades: La presión osmótica de nuestras células está entre 7 y 8 atm, que se corresponde con la que ejercería una disolución conteniendo 9,596 g/l de NaCl. En nuestro organismo existe un órgano especializado en regular la presión osmótica, se trata del riñón. Su misión, entre otras, es la de extraer agua y sales del plasma sanguíneo para mantener estable la concentración de solutos y por lo tanto la presión osmótica. La presión osmótica interviene en muchos otros procesos biológicos; por ejemplo en los que determinan la absorción y transporte de la savia en los vegetales o en el movimiento en ciertos animales.*

Ciertos organismos unicelulares de las aguas dulces, por ejemplo, el paramecio, al vivir en agua dulce, su citoplasma es hipertónico con respecto al exterior, por lo que se produce una entrada continua de agua. No obstante disponen de ciertos orgánulos, las vacuolas pulsátiles, que extraen el agua del citoplasma y la expulsan al exterior.

A) EL TRANSPORTE DE SUSTANCIAS EN FORMA MOLECULAR A TRAVÉS DE LAS MEMBRANAS

En el caso de sustancias disueltas, según se consuma o no energía, distinguiremos los siguientes tipos de transporte:

1) **Transporte pasivo.** Se trata de un transporte a favor del gradiente de concentración, por lo que no requiere un aporte de energía. Puede ser:

a) **Transporte pasivo simple** o difusión de moléculas a favor del gradiente.

a) **Difusión a través de la bicapa lipídica.** Pasan así sustancias lipídicas como las hormonas esteroideas, los fármacos liposolubles y los anestésicos, como el éter. También sustancias apolares como el oxígeno y el nitrógeno atmosférico y algunas moléculas polares muy pequeñas como el agua, el CO₂, el etanol y la glicerina.

b) **Difusión a través de canales protéicos.** Se realiza a través de **proteínas canal**. Proteínas que forman canales acuosos en la doble capa lipídica. Pasan así ciertos iones, como el Na⁺, el K⁺ y el Ca⁺⁺.

b) **Transporte pasivo facilitado (difusión facilitada).** Las moléculas hidrófilas (glúcidos, aminoácidos...) no pueden atravesar la doble capa lipídica por difusión a favor del gradiente de concentración. Determinadas proteínas de la membrana, llamadas **permeasas**, actúan como "barcas" para que estas sustancias puedan salvar el obstáculo que supone la doble capa lipídica. Este tipo de transporte tampoco requiere un consumo de energía, pues se realiza a favor del gradiente de concentración.

II) **Transporte activo:** Cuando el transporte se realiza en contra de un gradiente químico (de concentración) o eléctrico (ver nota 1). Para este tipo de transporte se precisan transportadores específicos instalados en la

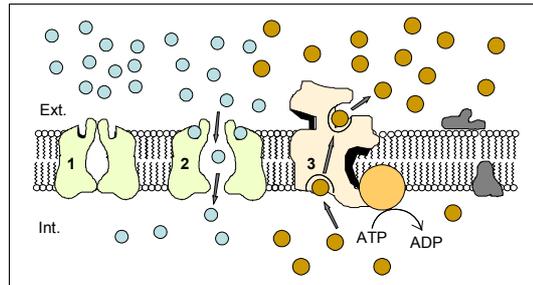


Fig. 15 1 y 2) Transporte pasivo. 3) Transporte activo.

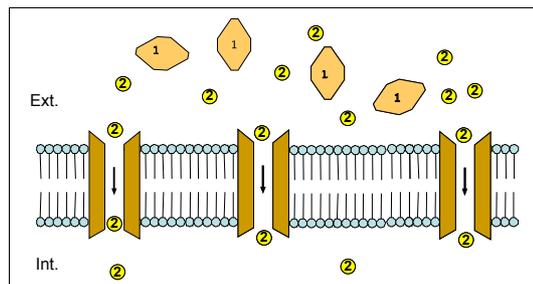


Fig. 16 Transporte pasivo simple de iones a través de una proteína canal. 1) glucosa; 2) ión sodio.

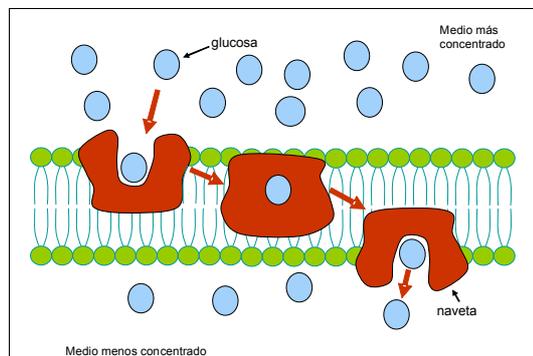


Fig. 17 Transporte pasivo facilitado de moléculas de glucosa a través de permeasas.

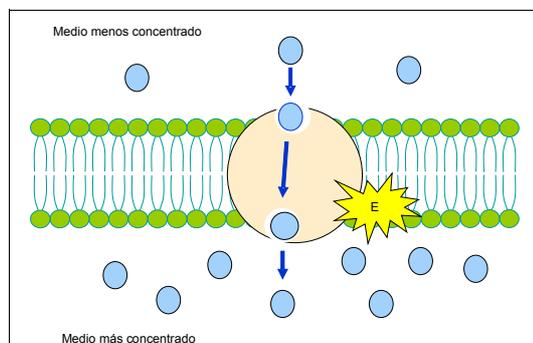


Fig. 18 Transporte activo. La molécula pasa del medio menos concentrado al más concentrado con gasto de energía (E).

membrana, siempre proteínas, que, mediante un gasto de energía en forma de ATP, transportan sustancias a través de ésta. Con este tipo de transporte pueden transportarse, además de pequeñas partículas, moléculas orgánicas de mayor tamaño, siempre en contra del gradiente de concentración o eléctrico.

Nota 1 : Puede darse el caso de que el interior y el exterior de la célula sean isotónicos pero que exista una diferencia en el potencial eléctrico que impida el paso de los iones. Así, por ejemplo, entre el interior y el exterior de la neurona hay una diferencia de potencial de -70 mV , estando el interior cargado negativamente respecto al exterior. En este caso, los iones positivos tendrán dificultades para salir de la célula, incluso si esta salida se realiza a favor de la presión osmótica.

B) TRANSPORTE CITOQUÍMICO Permite la entrada o la salida de la célula de partículas o grandes moléculas envueltas en una membrana. Se trata de un mecanismo que sólo es utilizado por algunos tipos de células, por ejemplo: amebas, macrófagos o las células del epitelio intestinal.

I) ENDOCITOSIS. Las sustancias entran en la célula envueltas en vesículas formadas a partir de la membrana plasmática.

Cuando lo que entra en la célula son partículas sólidas o pequeñas gotitas líquidas el transporte se realiza por mecanismos especiales e incluso se hace perceptible. Estos mecanismos implican una deformación de la membrana y la formación de vacuolas. Este tipo de transporte puede ser de gran importancia en ciertas células, como por ejemplo, en los macrófagos y en las amebas. Distinguiremos dos tipos de endocitosis: la fagocitosis y la pinocitosis

a) Fagocitosis: Es la ingestión de grandes partículas sólidas (bacterias, restos celulares) por medio de pseudópodos. Los pseudópodos son grandes evaginaciones de la membrana plasmática que envuelven a la partícula. Ésta pasa al citoplasma de la célula

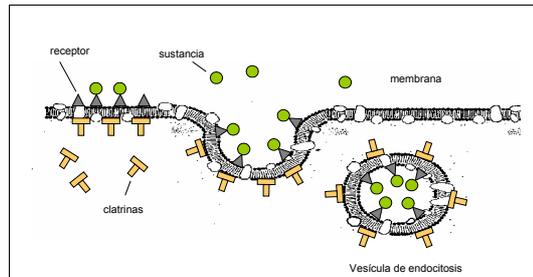


Fig. 19 La endocitosis mediada por receptor implica la presencia en la membrana de receptores específicos de la sustancia que va a ser ingerida.



Fig. 20 Ameba.

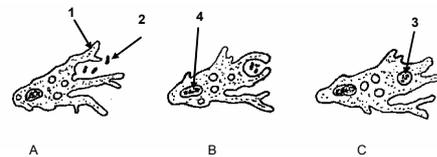


Fig. 21 A, B y C) Ameba fagocitando bacterias. 1) Seudópodo. 2) Bacteria. 3) Vacuola digestiva. 4) Núcleo.

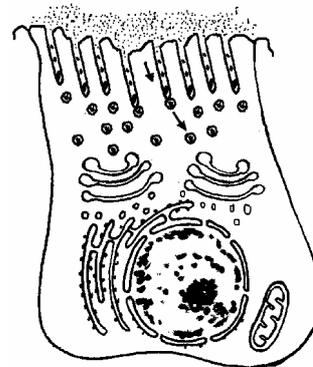


Fig. 22 Pinocitosis.

en forma de vacuola fagocítica. Este tipo de ingestión la encontramos, por ejemplo, en las amebas o en los macrófagos.

b) Pinocitosis. Es la ingestión de sustancias disueltas en forma de pequeñas gotitas líquidas que atraviesan la membrana al invaginarse ésta. Se forman así pequeñas vacuolas llamadas vacuolas pinocíticas que pueden reunirse formando vacuolas de mayor tamaño.

II) EXOCITOSIS: Consiste en la secreción o excreción de sustancias por medio de vacuolas, vesículas de exocitosis, que se fusionan con la membrana plasmática abriéndose al exterior y expulsando su contenido. Las vacuolas provienen de los sistemas de membranas o de la endocitosis. La membrana de la vacuola queda incluida en la membrana celular, lo que es normal teniendo en cuenta que ambas membranas poseen la misma estructura.

En todos los mecanismos de endocitosis hay una disminución de la membrana plasmática al introducirse ésta en el citoplasma. Esta disminución es compensada por la formación de membranas por exocitosis. La membrana plasmática está en estas células en un continuo proceso de renovación. En un macrófago, por ejemplo, toda su membrana es ingerida en 30 min.

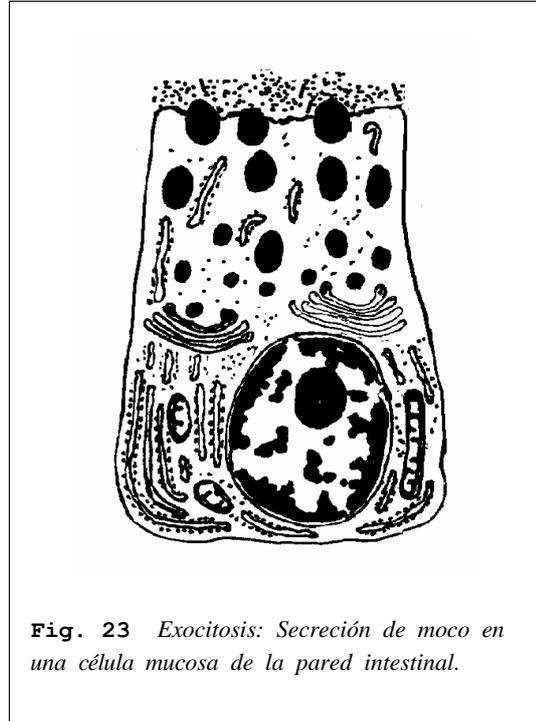


Fig. 23 *Exocitosis: Secreción de moco en una célula mucosa de la pared intestinal.*

3) EL MEDIO INTERNO CELULAR

EL HIALOPLASMA

Si retiramos los orgánulos del citoplasma obtendremos una disolución constituida por agua, sales minerales y moléculas orgánicas, proteínas, fundamentalmente. Esta disolución es el **hialoplasma**. Entre las proteínas, unas son enzimáticas y otras estructurales. Estas últimas forman el citoesqueleto.

En el hialoplasma se van a realizar gran cantidad de procesos químicos: la síntesis de proteínas, la glucólisis y las primeras fases de la degradación de las grasas y de algunos aminoácidos. El hialoplasma es un medio de reacción.

El hialoplasma, al tener grandes moléculas, va a sufrir transformaciones en el estado sol-gel. Estas transformaciones darán lugar al movimiento **ameboide** y a los fenómenos de **ciclosis**.

EL CITOESQUELETO

Es un verdadero almacén interno celular. Está constituido por unos finos tubos: los **microtúbulos**. El citoesqueleto es el responsable de la forma de la célula y del movimiento celular.

Los **microtúbulos** son pequeños cilindros huecos. Están unidos a la membrana celular a los orgánulos y a la envoltura nuclear, formando una compleja red bajo la membrana plasmática y alrededor del núcleo celular. Los microtúbulos se forman a partir de unas proteínas globulares denominadas **tubulinas**.

En el hialoplasma vamos a encontrar también otros tipos de estructuras filamentosas.



Fig. 1 Ameba. Los cambios sol-gel en el hialoplasma están relacionados con el movimiento ameboide.

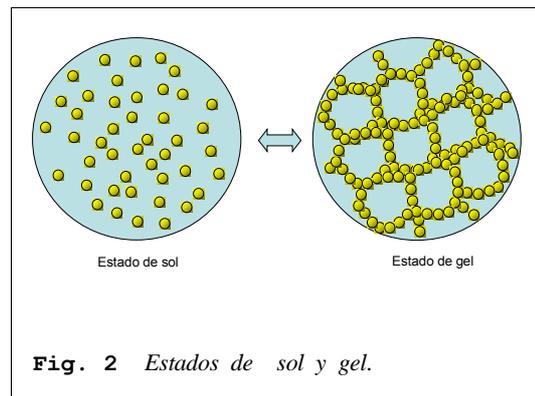


Fig. 2 Estados de sol y gel.

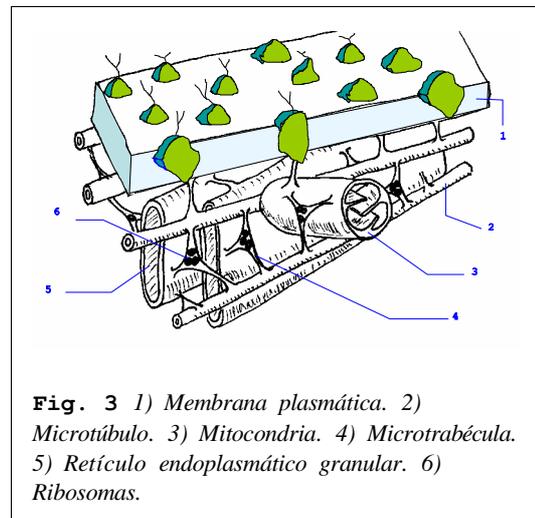


Fig. 3 1) Membrana plasmática. 2) Microtúbulo. 3) Mitocondria. 4) Microtrabécula. 5) Retículo endoplasmático granular. 6) Ribosomas.



Fig. 4 Microfotografía en la que se observan dos microtúbulos.

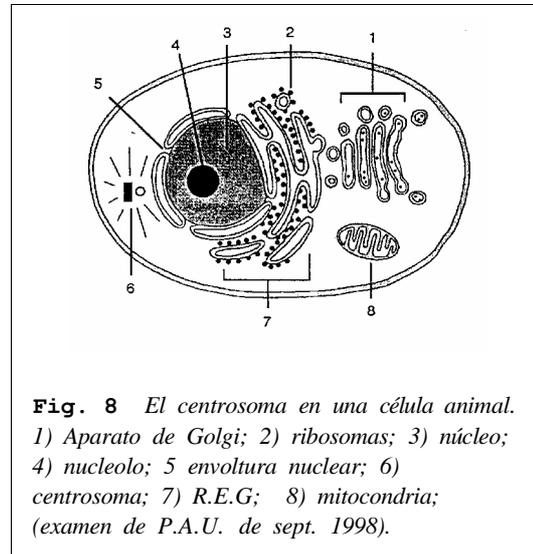
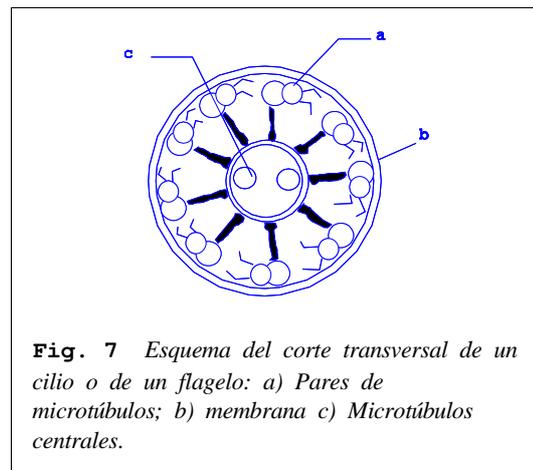
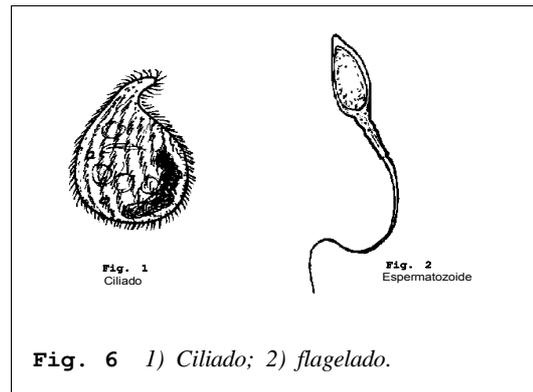
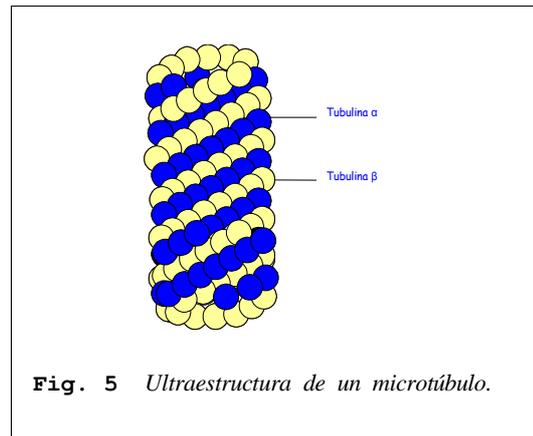
FUNCIONES DEL CITOESQUELETO

Los microtúbulos juegan un papel de gran importancia en el movimiento celular. La capacidad de estas estructuras para formarse y destruirse (polimerizarse y despolimerizarse) con gran rapidez es la responsable de fenómenos tales como la variación de la forma celular o los movimientos celulares tanto intra como extracitoplasmáticos.

A) Movimientos intracelulares de los orgánulos. Los microtúbulos pueden constituir un soporte sobre el que los orgánulos (mitocondrias, plastos, vesículas, cromosomas, etc.) van a poder desplazarse por el interior del citoplasma.

B) Movimientos extracelulares. Cilios y flagelos son prolongaciones citoplasmáticas que aseguran los movimientos de la célula o de los fluidos alrededor de ésta. Estas estructuras reciben el nombre de orgánulos vibrátiles de la célula. Ambos tienen la misma estructura, pero los cilios son cortos y numerosos, mientras los flagelos son largos y poco numerosos. Los vamos a encontrar en organismos unicelulares y pluricelulares, tanto animales como vegetales. Así, el interior de nuestros órganos respiratorios se encuentra recubierto por células con cilios que forman el epitelio vibrátil o ciliado, y lo mismo ocurre en las trompas de Falopio del aparato genital femenino. Tienen flagelos muchos organismos unicelulares, la mayoría de los gametos masculinos de los animales y muchos de los vegetales (algas, musgos, helechos).

Si hacemos un corte transversal a un flagelo o a un cilio y lo observamos a gran aumento al MET, veremos que presenta 9 pares de microtúbulos. En el interior se encuentran dos microtúbulos centrales y todo ello está rodeado por la membrana. En la base de cada cilio o flagelo hay una estructura denominada **corpúsculo basal**. Los corpúsculos basales tienen una estructura similar, en cierto modo, a la de los centriolos.



Dato: Los microtúbulos de cilios y flagelos se deslizan unos sobre otros rápidamente, batiendo a un ritmo de 500 a 1000 veces por minuto.

EL CENTROSOMA

Se trata de un centro organizador de microtúbulos. Se encuentra tanto en las células animales como en las vegetales. En las células animales encontramos además unas estructuras denominadas **centriolos** que no se encuentran en las células vegetales.

Los centriolos son elementos permanentes de la célula animal. Vistos al microscopio electrónico de transmisión (MET) tienen forma de barril. Son dos estructuras cilíndricas de 0.5 μm situadas perpendicularmente una a la otra. Están constituidos por 9 tripletas de cortos microtúbulos que se disponen paralelamente unos a otros formando una hélice.

El centrosoma es muy importante en los procesos de división celular. En la división celular a partir del centrosoma se originará una estructura llamada **huso acromático** responsable del desplazamiento de los cromosomas a polos opuestos de la célula.

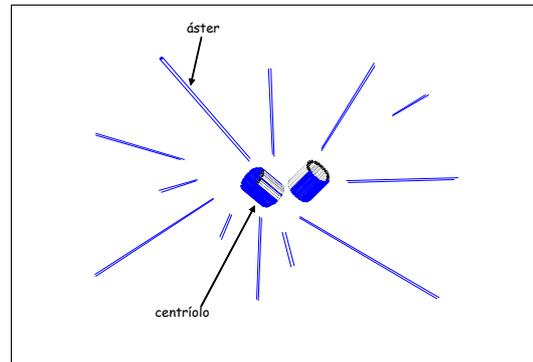


Fig. 9 Esquema del centrosoma de una célula animal.

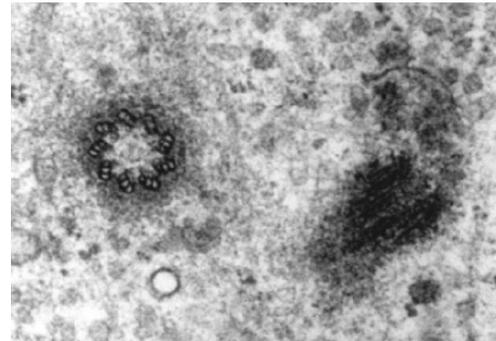


Fig. 10 Microfotografía de una pareja de centriolos.

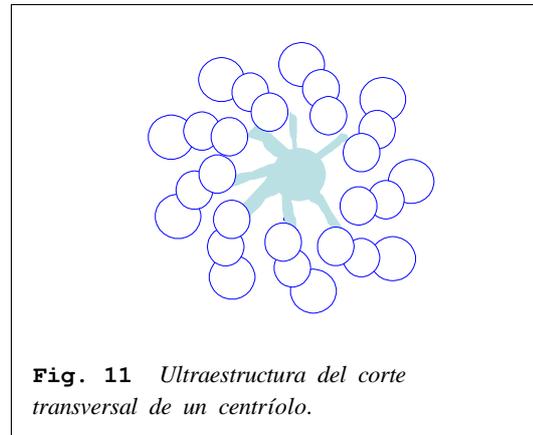


Fig. 11 Ultraestructura del corte transversal de un centriolo.

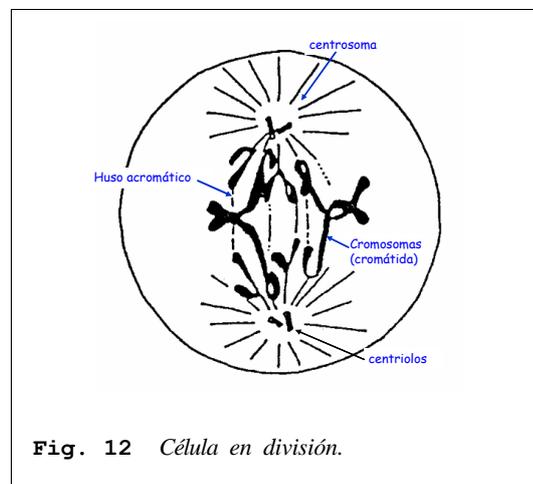


Fig. 12 Célula en división.

4) SISTEMAS DE MEMBRANAS DEL CITOPLASMA

El citoplasma se encuentra compartimentado por un complejo sistema de estructuras formadas por membranas biológicas relacionadas entre sí tanto físicamente como por la función que realizan, por lo que las estudiaremos conjuntamente.

Estos orgánulos son:

- Retículo endoplasmático granular (REG)
- Retículo endoplasmático liso (REL)
- Aparato de Golgi (AG)
- Lisosomas y peroxisomas
- Vacuolas

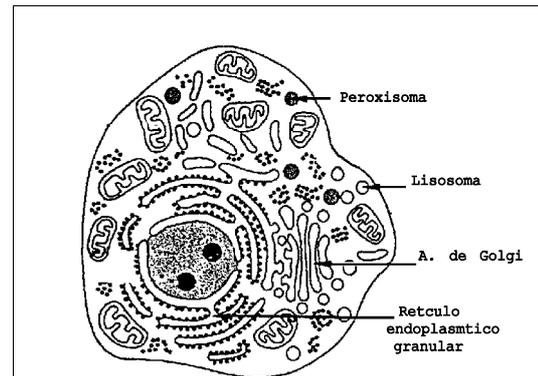


Fig. 1 Esquema de una célula visto al M.E.T. en el que se observan diferentes estructuras constituidas por membranas. (P.A.U. de septiembre de 1997).

RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO (RE)

Es un complejo sistema de tubos, sacos y cisternas constituidos por membranas biológicas y que pueden ocupar una gran parte de la célula.

Existen dos tipos de retículo endoplasmático: el **retículo endoplasmático liso (REL)** y el **retículo endoplasmático rugoso o granular (REG)**. En el REG se observan adheridos a las membranas unos gránulos: **los ribosomas**. En el REL no existen éstos gránulos y sus estructuras tienen formas más tubulares. También se diferencian en la función.

Las estructuras que forman el retículo endoplasmático granular se disponen generalmente en capas concéntricas paralelas al núcleo celular (como las hojas del bulbo de una cebolla). Es de destacar que la envoltura nuclear es en realidad una estructura derivada del retículo endoplasmático.

El retículo endoplasmático granular (REG) está muy desarrollado en las células que por su función deben de realizar una activa labor de síntesis, como es el caso de las células del páncreas y las células hepáticas. Si un animal es sometido a un ayuno prolongado, el REG de sus células pancreáticas se reduce

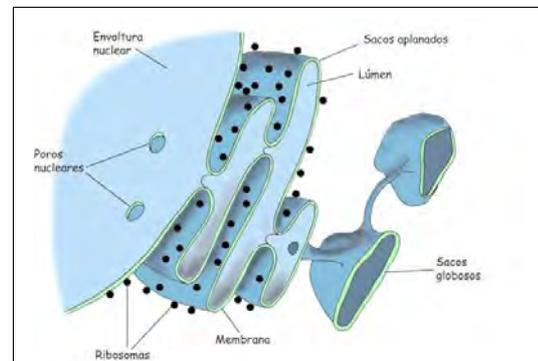


Fig. 2 Elementos del retículo endoplasmático.

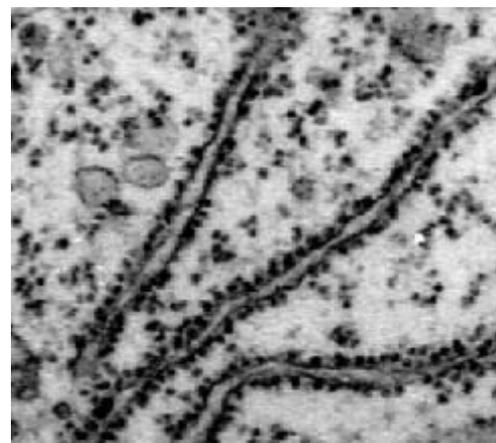


Fig. 3 Microfotografía al microscopio electrónico de elementos del retículo endoplasmático granular.

considerablemente. Por el contrario, si se le suministra una rica dieta alimenticia, el REG se recupera. Esta recuperación se realiza a partir de zonas próximas a la envoltura nuclear.

RIBOSOMAS

Son pequeños orgánulos invisibles al microscopio óptico y poco visibles al electrónico, no pudiéndose casi ni adivinar su estructura. Invaden en gran número el citoplasma y pueden estar libres o adheridos a las membranas del retículo endoplasmático granular. Los que están adheridos al REG intervienen en la síntesis de las proteínas de las membranas o de aquellas destinadas al exterior. Los ribosomas están constituidos básicamente por proteínas y ARN-r (40% de proteínas y 60% de ARN ribosomal).

Están formados por dos subunidades: la subunidad mayor y la subunidad menor. En el citoplasma ambas están separadas pero pueden volver a unirse en el momento de la síntesis de proteínas.

EL APARATO DE GOLGI (AG)

Está formado por unos conjuntos de sacos concéntricos muy apretados, mucho más concentrados y de menor tamaño que los del retículo endoplasmático granular y sin ribosomas. Cada conjunto de sacos es un **dictiosoma**. El número de dictiosomas por célula varía entre 5 ó 6 a algunas decenas, en función del tipo de célula y de su estado funcional. Todos ellos se encuentran relacionados física y funcionalmente.

Los dictiosomas presentan dos caras: una convexa, la **cara de formación**, y otra cóncava, la **cara de maduración**. De esta última se van desprendiendo pequeñas vacuolas que se independizan y que reciben el nombre de **vesículas de secreción**.

El AG se encuentra en permanente trans-

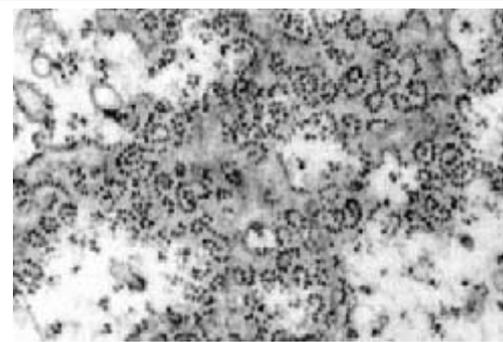


Fig. 4 Ribosomas y polirribosomas.

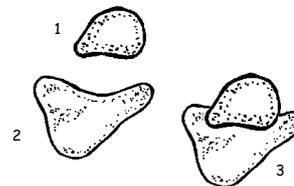


Fig. 5 Ultraestructura del ribosoma. 1) Subunidad menor (40S). 2) Subunidad mayor (60S). 3) Ribosoma completo (80S).

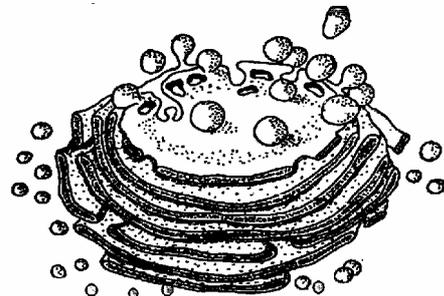


Fig. 6 Dictiosoma del aparato de Golgi.

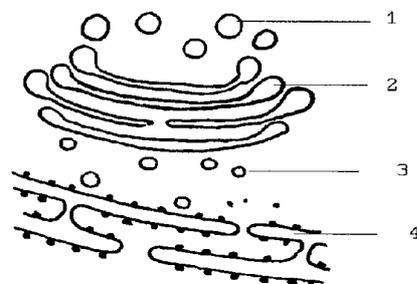


Fig. 7 Esquema de un dictiosoma del aparato de Golgi. 1) Vesículas de secreción. 2) Sáculos. 3) Vesículas de transición. 4) Retículo endoplasmático granular.

formación. Sus sáculos se forman de manera continua por su cara de formación a partir de vesículas que se desprenden del REG y se desintegran por la cara de maduración para formar las vesículas de secreción.

El aparato de Golgi se encuentra muy desarrollado en las células que realizan funciones de secreción, como las células secretoras de mucus del epitelio intestinal.

Los dictiosomas son el sistema de empaquetamiento de ciertas sustancias químicas, sobre todo de proteínas, para su almacenamiento o secreción.

LOS LISOSOMAS

Los lisosomas son pequeñas vesículas constituidas por membranas provenientes de los sistemas de membranas (AG y, ocasionalmente, REG). Se caracterizan por tener en su interior enzimas hidrolíticas, enzimas que rompen los enlaces de los polímeros por adición de H_2O . Estas enzimas están empaquetadas e inactivas en los lisosomas y así se evita que puedan destruir las propias estructuras celulares.

Los lisosomas se originan en los dictiosomas del aparato de Golgi y, en algunos casos, en ciertas regiones del retículo endoplasmático granular a partir de vesículas que se destacan de los sáculos de los dictiosomas. Sólo se encuentran en las células animales.

LOS PEROXISOMAS

Parecidos a los lisosomas, diferenciándose de estos en que contienen enzimas que degradan los ácidos grasos y los aminoácidos. Como estos procesos generan peróxidos, contienen también catalasa, enzima que descompone los peróxidos y en particular el H_2O_2 en H_2O y O_2 .

LAS VACUOLAS

Son estructuras celulares variables en número y forma. En general están constituidas por una membrana y un contenido interno. Hay diferencias entre las vacuolas de las células vegetales y las de las células animales. Las células vegetales es frecuente

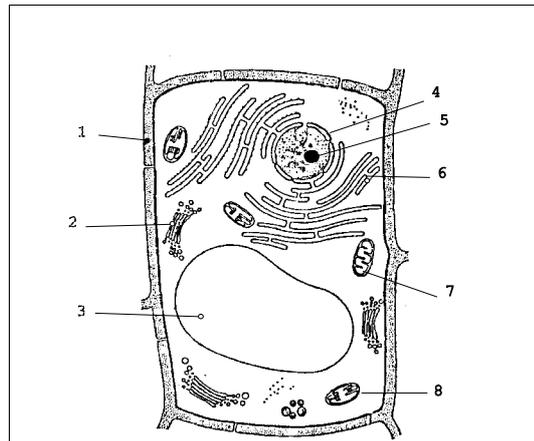


Fig. 8 Célula vegetal. 1) pared celular; 2) dictiosoma de aparato de Golgi; 3) vacuola; 4) envoltura nuclear; 5) nucleolo; 6) retículo endoplasmático granular; 7) mitocondria; 8) cloroplasto.

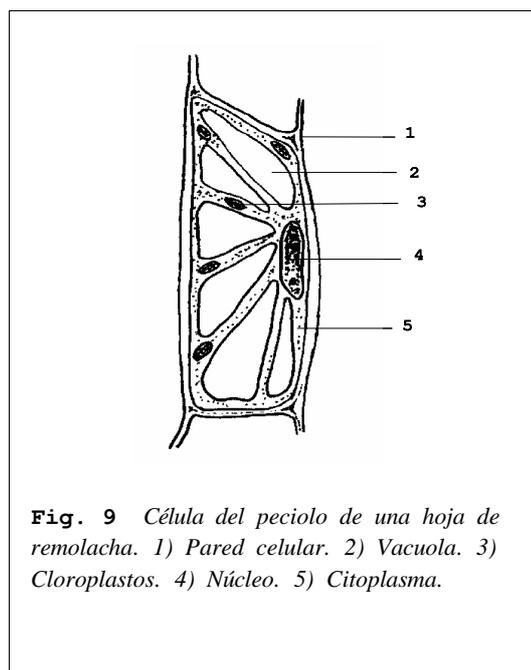


Fig. 9 Célula del peciolo de una hoja de remolacha. 1) Pared celular. 2) Vacuola. 3) Cloroplastos. 4) Núcleo. 5) Citoplasma.

que presenten una única o unas pocas vacuolas de gran tamaño. Las células animales, en el caso de tener vacuolas, son de pequeño tamaño.

Las vacuolas se originan por la agregación de las pequeñas vesículas formadas a partir de los dictiosomas de aparato de Golgi o por invaginación de la membrana plasmática (endocitosis).

Las vacuolas, en general, tienen función de almacenamiento de sustancias de reserva y, en ciertos casos, de almacenamiento de sustancias tóxicas.

Existen otras estructuras que se llaman también vacuolas pero cuya función es muy diferente. Así:

- **Las vacuolas pulsátiles**, como las que se observan en muchos organismos unicelulares de las aguas dulces, por ejemplo, el paramecio. Este organismo, al vivir en agua dulce, su citoplasma es hipertónico con respecto al exterior, por lo que se produce una entrada continua de agua. Las vacuolas pulsátiles extraen el agua del citoplasma y la expulsan al exterior por transporte activo.

- **Las vacuolas digestivas**. Se dan en las células que capturan alimentos del medio y los engloban en una membrana formando una vacuola llamada vacuola digestiva. En esta vacuola es donde se va a producir la digestión de esas sustancias nutritivas. Una vez digeridas pasan al interior de la célula y los productos de desecho son eliminados hacia el exterior.

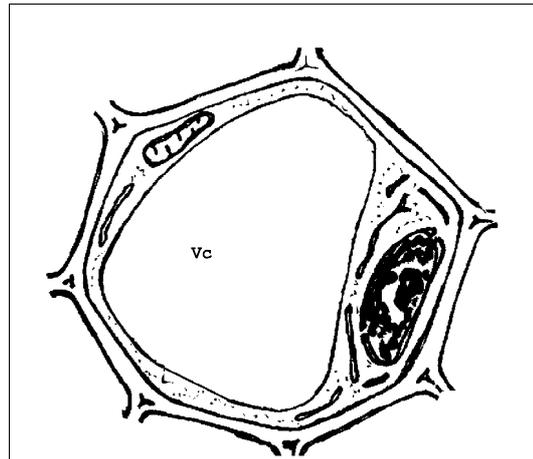


Fig. 10 Vc) gran vacuola en una célula vegetal.



Fig. 11 Paramecios en los que se observan vacuolas digestivas.

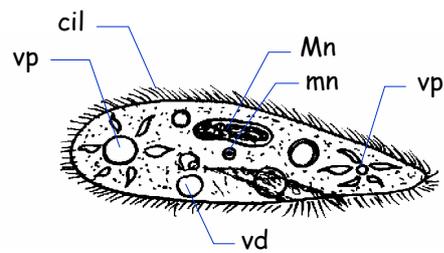
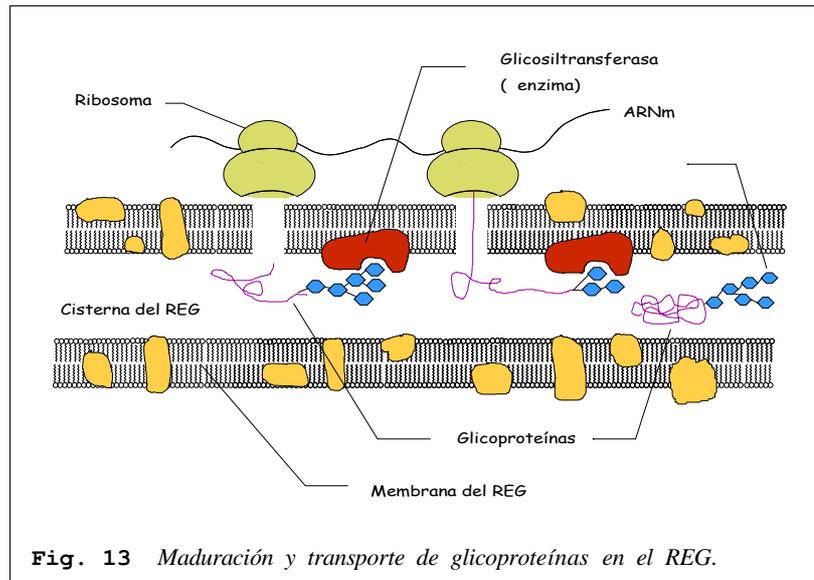


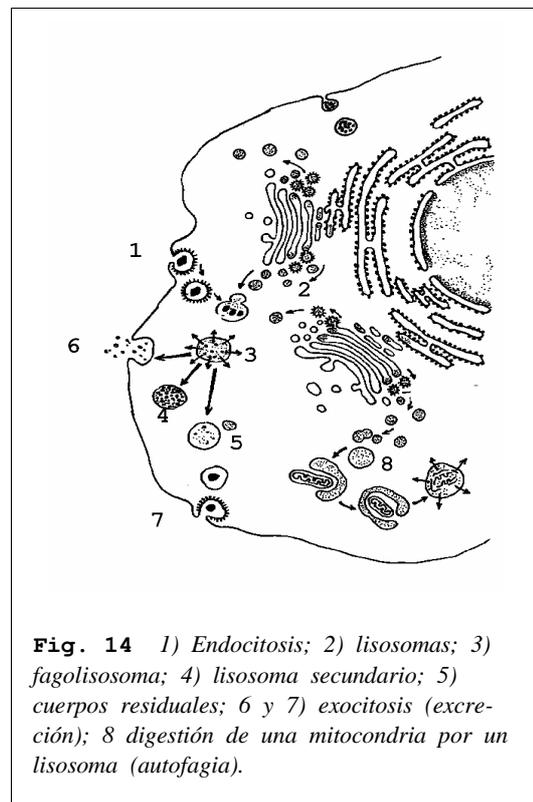
Fig. 12 Paramecio, ciliado de las aguas dulces. vp) Vacuola pulsátil. vd) Vacuola digestiva. cil) Cilios. Mn) Macronúcleo. mn) Micronúcleo.

FUNCIONES DE LOS SISTEMAS DE MEMBRANAS

> **Maduración de proteínas:** Los sistemas de membranas están relacionados con la síntesis, maduración y transporte de proteínas y glicoproteínas. Intervienen, sobre todo, en los procesos subsiguientes a la síntesis de las proteínas de secreción, las proteínas de las membranas y las enzimas de los lisosomas. Muchas de estas proteínas son glicoproteínas. La parte protéica se sintetiza en el hialoplasm y de aquí pasa al interior del REG y del A. Golgi donde unas enzimas les añaden los oligosacáridos (maduración de las glicoproteínas). Después se dirigen, por medio de las vesículas de secreción que se desprenden del Golgi, a formar los lisosomas, a integrarse en la membrana plasmática o a la exportación.



> **Función de los lisosomas:** Hemos visto que ciertas células tienen la capacidad de ingerir sustancias por medio de fenómenos de **endocitosis**. Las sustancias son englobadas por la membrana plasmática que, a continuación, se invagina formando una vesícula denominada **fagosoma**. El fagosoma se fusiona con los lisosomas formando los **fagolisosomas**. Las grandes moléculas contenidas en el fagosoma: polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos, etc., son sometidas a la acción del medio ácido de los lisosomas y a las enzimas, que en este momento ya son activas. Los polímeros son hidrolizados y transformados en moléculas menores: monosacáridos, aminoácidos, etc., que se difunden a través de la membrana hacia el citoplasma. Quedan en el lisosoma los productos no degradados. Un lisosoma que ya ha actuado recibe el nombre de **lisosoma secundario** y conserva aún la capacidad de unirse a



nuevos fagosomas. Las sustancias no degradadas se van acumulando progresivamente en el interior de los lisosomas secundarios. En ciertos organismos, estos lisosomas secundarios pueden fusionarse con la membrana plasmática y expulsar su contenido al exterior (exocitosis). En los organismos pluricelulares lo normal es que los lisosomas secundarios se transformen en **cuerpos residuales**. Esta acumulación de cuerpos residuales en una célula a lo largo de su vida es un signo de degeneración celular.

La membrana de los lisosomas puede englobar también orgánulos celulares que de esta manera son digeridos. Por este sistema la célula renueva sus estructuras celulares.

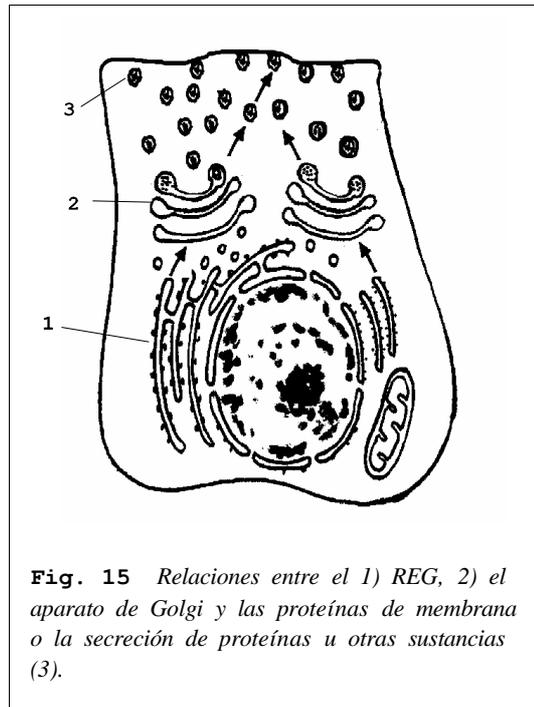


Fig. 15 Relaciones entre el 1) REG, 2) el aparato de Golgi y las proteínas de membrana o la secreción de proteínas u otras sustancias (3).

> Síntesis de los polisacáridos de la pared celular

En el aparato de Golgi se produce la síntesis de los polisacáridos y en particular la síntesis de la celulosa que constituye la sustancia fundamental de las paredes de las células vegetales.

Las células vegetales disponen de una estructura que las envuelve denominada **pared celular**, constituida, fundamentalmente, por **celulosa**. La celulosa está formada por moléculas de glucosa unidas entre sí mediante enlaces β (1-4). Esto hace que las moléculas de celulosa adopten una conformación lineal y que se puedan establecer puentes de hidrógeno entre moléculas dispuestas en paralelo formando **microfibrillas** entre las que se sitúan entrecruzadas moléculas de otras sustancias, como la **lignina**, que le da a la pared una gran rigidez, o **ceras**, que la impermeabilizan. La pared celular no es un orgánulo celular sino un producto de secreción de la célula que deposita en su exterior estas sustancias concéntricamente. La pared celular aparece además atravesada por una gran cantidad, hasta 20 000 en ciertos casos, de finísimos conductos denominados **plasmodesmos**. Los plasmodesmos comunican el protoplasma de las células contiguas que, en cierto modo, forman una unidad.

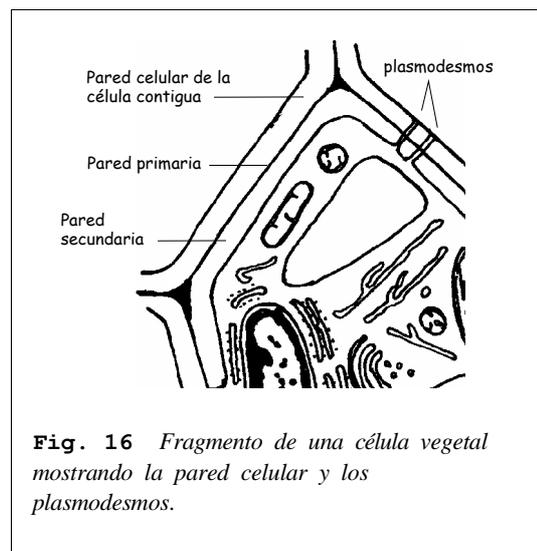


Fig. 16 Fragmento de una célula vegetal mostrando la pared celular y los plasmodesmos.

En la pared celular distinguiremos, del interior al exterior de la célula, la pared secundaria, la pared primaria y la laminilla media.

- **La pared secundaria.** Más gruesa y resistente, crece bajo la primera y se la

encuentra principalmente en células que están ya diferenciadas.

- **La pared primaria.** Formada por microfibrillas de celulosa más desordenadas y es la única que está presente en células jóvenes y en células que se dividen activamente.
- **La laminilla media.** Difícil de ver al microscopio. Está formada por sustancias pécticas y mantiene unidas a las células contiguas.

> **Funciones del retículo endoplasmático liso (REL)**

El retículo endoplasmático liso está relacionado con el metabolismo (síntesis, degradación y transporte) de los lípidos. Las hormonas esteroídicas son sintetizadas en el REL. Se ha observado que también interviene en los procesos para metabolizar ciertos medicamentos y determinadas sustancias tóxicas.