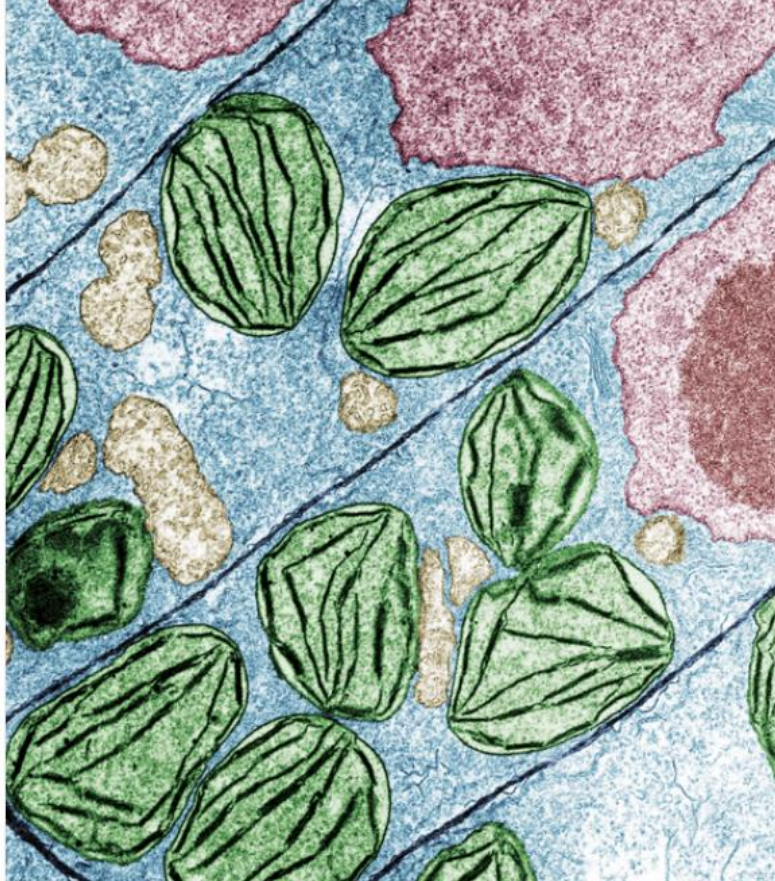


4.- LA ESTRUCTURA DE LA CÉLULA



¿POR QUÉ ESTUDIAR LA CÉLULA?

La biología actual considera que las primeras «cosas vivas» aparecieron en la Tierra hace unos 3 800 millones de años y que debieron de ser lo que se ha llamado protocélulas, es decir, vesículas limitadas por membranas lipídicas estables, capaces de intercambiar materia con el medio y capaces de replicarse. Estos primeros organismos aumentaron su complejidad para dar origen a las primeras células.

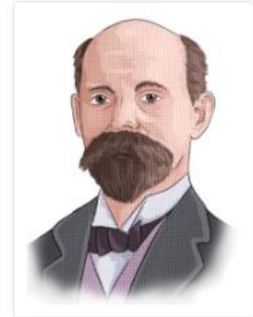
Desde entonces, la vida ha evolucionado hacia una gran diversidad de organismos. Sin embargo debido a su origen común, todos esos seres vivos están formados por una o más células que constituyen su unidad estructural y funcional, que están constituidas por los mismos componentes básicos y que funcionan de forma similar.

Por esa razón, el estudio detallado de la estructura y el funcionamiento de las células es la clave para entender importantes procesos biológicos que tienen gran relevancia para el ser humano, como la sensibilidad de las bacterias a los antibióticos, o los mecanismos de transformación celular que dan origen al cáncer, o el modo en que las neuronas transmiten los impulsos nerviosos...

ERNEST OVERTON

En 1865 nació en Cheshire, Inglaterra, Charles Ernest Overton. Fue uno de los primeros en investigar sobre las membranas lipídicas, y presentó la primera teoría sobre la estructura de estos elementos, que estableció los cimientos para desarrollar las ideas modernas sobre las funciones de las membranas.

Ernest trabajaba en el campo de la botánica, y durante el desarrollo de uno de sus experimentos observó que algunas células vegetales absorbían unas sustancias y excretaban otras. De hecho, algunas de tipo lipídico atravesaban fácilmente la membrana, cuando en aquella época se pensaba que las membranas celulares solo dejaban pasar agua. Ante sus observaciones, Ernest formuló dos hipótesis: que existían similitudes entre las membranas biológicas y los lípidos como el aceite de oliva, y que ciertas moléculas (lípidos en este caso) pasaban por «disolución» hacia el interior de la membrana. También afirmó que no había diferencia entre la permeabilidad de las membranas entre células animales y vegetales. Investigaciones posteriores, realizadas tanto por Overton como por otros científicos, concluyeron que la membrana celular estaba compuesta por lecitina y colesterol.



La **teoría celular**, que afirma que la célula es la unidad estructural y funcional de los seres vivos, constituye, junto con la teoría de la evolución y la teoría genética, la base conceptual de todas las ciencias biológicas. Su establecimiento es, además, un ejemplo de la progresión gradual en la ciencia y de la aplicación de método científico inductivo, que obtiene conclusiones generales a partir de premisas particulares.

1.1

Historia de la teoría celular

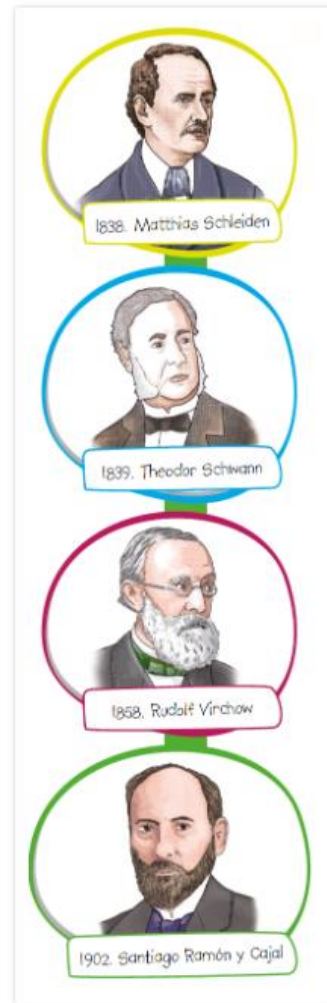
Aunque las primeras observaciones de células se produjeron en el siglo XVII, en esa época aún no se comprendía la importancia que tenían estas estructuras en los seres vivos. Pero hacia 1830, las mejoras en la resolución de los microscopios y en las técnicas de tratamiento de los tejidos permitieron realizar observaciones histológicas más precisas que llevaron a importantes conclusiones. Así:

- El botánico alemán **Matthias Jakob Schleiden** sugirió en 1838 que cada elemento de la estructura de todas las plantas estaba formado por células.
- Un año después, en 1839, el zoólogo alemán **Theodor Schwann** declaró que las partes elementales de todos los tejidos animales estaban formadas por células.
- Para completar las tesis, el patólogo alemán **Rudolf Virchow**, influenciado por muchos trabajos que demostraban que las células se formaban por escisión de otras preexistentes, publicó en 1858 la famosa sentencia «toda célula proviene de otra célula» (*Omnis cellula ex cellula*).

Estas tres conclusiones confirmaban que las células son un constituyente de todos los seres vivos y que, además, son una unidad fundamental o mínima de la vida, ya que no se originan a partir de algo más elemental sino de otras células.

El único obstáculo que quedaba para la confirmación de la teoría celular era el tejido nervioso, en el que, por esa época, aún no podían observarse células individuales sino una especie de red de fibras: la llamada teoría reticular.

- Pero, en 1902, el neuroanatomista español **Santiago Ramón y Cajal** refutó la teoría reticular y enunció la teoría neuronal, al observar neuronas individuales e independientes en un tejido nervioso juvenil. La visualización de las neuronas, que hizo a la teoría celular universal, fue posible gracias a una técnica de tinción desarrollada por el italiano Camillo Golgi, por lo que ambos recibieron conjuntamente el Premio Nobel de Medicina en 1906.



1.2

Postulados de la teoría celular

La teoría celular se desarrolla en cuatro postulados fundamentales que determinan que la célula:

- **Es una unidad estructural.** Pues todos los organismos vivos están compuestos de una o más células.
- **Es una unidad funcional.** Pues una célula es capaz de realizar por sí misma las tres funciones vitales: nutrición, relación y reproducción. Además, todas las reacciones metabólicas se producen dentro de ella.
- **Toda célula se origina a partir de otra preexistente.** No surge de una unidad elemental más simple porque no la hay.
- **Es una unidad genética.** Contiene toda información hereditaria necesaria para el desarrollo, funcionamiento y reproducción de un organismo. Todas las células de un organismo contienen esa misma información hereditaria.

Las células son estructuras diminutas. Esta circunstancia hizo que las células no pudieran ser descubiertas por la ciencia hasta que apareció el instrumento que permitió verlas: el microscopio.

2.1

Primeros microscopios y primeros hallazgos

- Aunque hay dudas, probablemente fue el inventor holandés Zacharias Janssen (¿1583?-¿1638?) quien construyó el primer microscopio. Pudo ser un simple tubo con lentes convexas en los extremos que conseguía unos 10 aumentos.
- Algo después, Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), un comerciante holandés aficionado a la ciencia, realizó excelentes observaciones con sencillos microscopios que él mismo construía con pequeñas lentes biconvexas encastradas en una placa de latón. Las muestras se montaban en un alfiler desplazable mediante tornillos para enfocar. Con estos instrumentos consiguió hasta 200 aumentos, lo que le permitió observar por primera vez bacterias, protozoos, que llamó «animálculos», glóbulos rojos y espermatozoides.

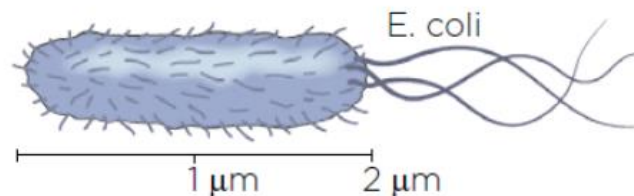
- El inglés Robert Hooke (1635-1703), publicó en su libro *Micrographia* las observaciones que había llevado a cabo con un microscopio compuesto de unos 30 aumentos, diseñado por él mismo. Hooke utilizó por primera vez la palabra célula (*cella* en latín), para describir las pequeñas cavidades poliédricas parecidas a las celdillas de un panal que observó en una fina lámina de corcho.
- Tiempo después, el escocés Robert Brown (1773-1858) fue el primero en observar y nombrar el núcleo en varias células de las hojas de las orquídeas.



Mycoplasma



Bacteria promedio



Célula vegetal, 100 μm



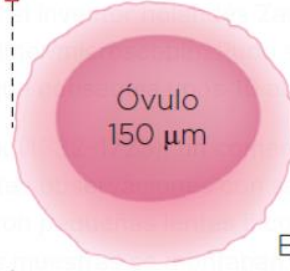
Hepatocito
20 μm



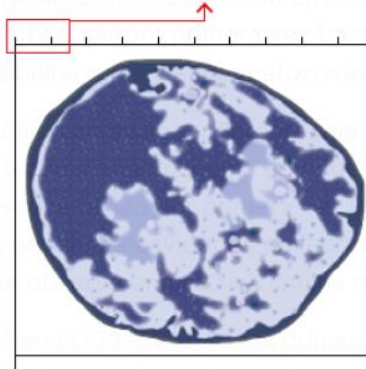
Eritrocito
7 μm



Óvulo
150 μm



Espermatozoide
50 μm



Thiomargarita namibiensis

2.2

Los microscopios modernos

Los microscopios ópticos

En la actualidad, estos instrumentos evolucionados a partir de los primeros microscopios consiguen unos 1500 aumentos con excelente resolución. Permiten ver muestras vivas y, empleando con ellos técnicas de tinción o de marcaje con fluorescencia, permiten observar, además de células completas, estructuras celulares grandes, movimientos celulares o incluso la concentración y la distribución de sustancias en la célula. Hoy día se emplean en la investigación en citología, histología y microbiología, y en anatomía patológica, para el diagnóstico de infecciones o del cáncer.

Los microscopios electrónicos

Emplean, en lugar de luz visible, haces de electrones en una cámara de vacío y lentes electromagnéticas. Así consiguen hasta un millón de aumentos. A pesar de que solo permiten observar muestras deshidratadas (sus réplicas metálicas) o ultracongeladas, y por tanto no permiten observar células vivas, los microscopios electrónicos supusieron un enorme salto tecnológico que permitió estudiar en detalle las diminutas estructuras de la célula, y distinguir, a veces, las grandes biomoléculas que las componen. Hay dos tipos de microscopios electrónicos:

- Los de **transmisión** (MET). En ellos, los electrones atraviesan muestras superfinas de cortes celulares, así que permiten visualizar las estructuras internas de los orgánulos e incluso biomoléculas de gran tamaño.
- Los de **barrido** (MEB). En ellos el haz de electrones rebota en la superficie de la muestra, lo que permite visualizar superficies celulares y de orgánulos con gran detalle. Combinada con técnicas de fractura de las muestras congeladas ha permitido observar la superficie de diminutos orgánulos.

Como se ha indicado, la célula es la unidad estructural, funcional y genética de todos los seres vivos y, a pesar de lo diversas que pueden llegar a ser, todas las células presentan una estructura general común con tres partes:

- **La membrana plasmática.** Es una doble capa de naturaleza lipídica y proteica que separa el interior de la célula del exterior, pero sin aislarlo completamente, porque permite el intercambio de sustancias.
- **El citoplasma.** Es el material líquido viscoso que llena el interior celular, en el que se encuentran las estructuras internas de la célula, como orgánulos o grandes biomoléculas y en el que se dan los procesos vitales de la célula.
- **El material genético.** Consiste en una o más moléculas de ADN que codifican las características de la célula, que dirigen sus actividades y que se transmiten a la descendencia en la reproducción celular.

Pero a pesar de estas importantes semejanzas, las células de los seres vivos presentan numerosas diferencias. Las más importantes, que tienen que ver con el grado de complejidad y de organización, permiten distinguir dos tipos celulares: las **células procariotas** y las **células eucariotas**.

SÍNTESIS: Niveles de organización

	Función	Acelular	Procarionta	Eucariota animal	Eucariota vegetal
Membrana plasmática	Intercambio de materiales con el medio. Recepción de señales	Algunos virus tienen una envoltura membranosa	✓	✓	✓
Material genético	Información para la síntesis de proteínas	ADN o ARN	ADN	ADN	ADN
Pared celular	Protección	—	✓ Sin celulosa	—	✓ Con celulosa
Cápsula	Protección	Presentan una cápsida de proteínas	✓	—	—
Nucleoide	Control de la actividad celular	—	✓	—	—
Plásmidos	Información genética transmisible	—	✓	—	—
Ribosomas	Síntesis de proteínas	—	✓	✓	✓
Núcleo	Control de la actividad celular	—	—	✓	✓
Citoesqueleto	Resistencia mecánica y movimiento	—	—	✓	✓
Centriolos	Organización de los microtúbulos	—	—	✓	—
Retículo endoplásmico	Síntesis de lípidos y de proteínas exportables	—	—	✓	✓
Aparato de Golgi	Síntesis y distribución de moléculas	—	—	✓	✓
Mitocondrias	Respiración celular	—	—	✓	✓
Lisosomas	Digestión intracelular	—	—	✓	✓
Peroxisomas	Reacciones de oxidación	—	—	✓	✓
Cloroplastos	Fotosíntesis	—	—	—	✓
Sistema vacuolar	Almacén de sustancias, regulación osmótica y digestión intracelular	—	—	✓	✓

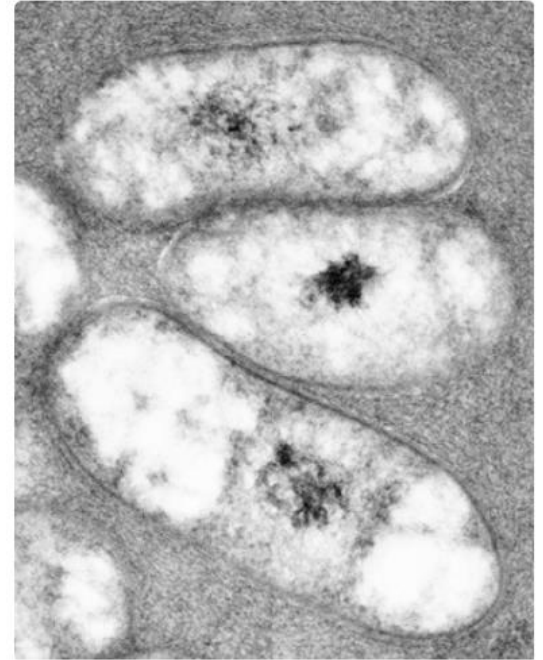
ESTRUCTURA DE LA CÉLULA EUCARIOTA				Animal	Vegetal	
Membranas	Membrana plasmática			Sí	Sí	
	Membrana de secreción	Pared celular celulósica		No	Sí	
		Matriz extracelular		Sí/No	No	
Citoplasma	Citosol (= Hialoplasma)			Sí	Sí	
	Estructuras delimitadas por una o dos membranas	Orgánulos con membrana sencilla (sistema endomembranoso)	Retículo endoplasmático	Liso	Sí	Sí
				Rugoso	Sí	Sí
			Aparato de Golgi		Grande	Pequeño
			Vacuolas		Varias pequeñas	Una grande
			Lisosomas		Muchos	Pocos
			Peroxisomas/Glioxisomas		Sí/No	Sí/Sí
		Orgánulos con doble membrana (transductores de energía)	Cloroplastos		No	Sí/No
			Mitocondrias		Sí	Sí
	Estructuras carentes de membrana o no delimitadas totalmente por una membrana	Estructuras granulares		Ribosomas	Sí	Sí
		Estructuras microtubulares	Centríolos		Sí	No
			Cilios		En algunas	No
			Flagelos		En algunas	Excepcionalmente
			Microtúbulos	Citoesqueleto	Sí	Sí
		Estructuras microfibrilares	Microfilamentos (actina-miosina)		Sí	No
			(Filamentos intermedios cél. nerv. y epid.)	Sí	No	
Inclusiones citoplasmáticas		Gránulos de reserva de almidón		No	Sí	
		Reservas de glucógeno		Sí	No	
Núcleo		Envoltura nuclear/Posición del núcleo			Sí central	Sí lateral
	Nucleoplasma			Sí	Sí	
	Cromatina			Sí	Sí	
	Nucléolo			Sí	Sí	

3.1

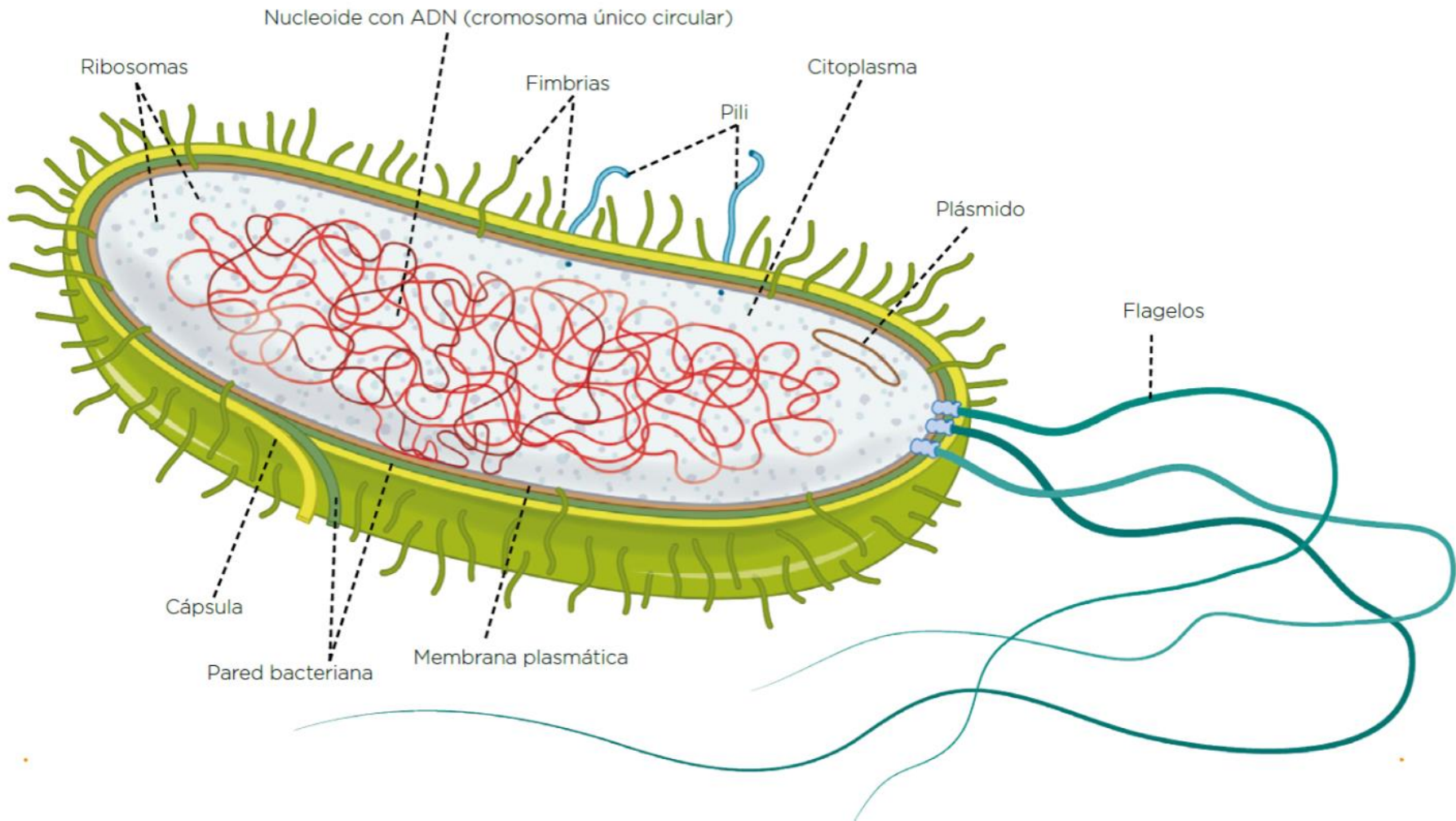
Las células procariotas

Son las células propias de los seres de los dominios Archaea (las arqueobacterias) y Bacteria, que comprende a las eubacterias.

La **célula procariota** se caracteriza por que en ella no existen membranas internas que compartimenten su citoplasma, protejan su ADN en forma de núcleo o delimiten orgánulos para realizar funciones específicas.

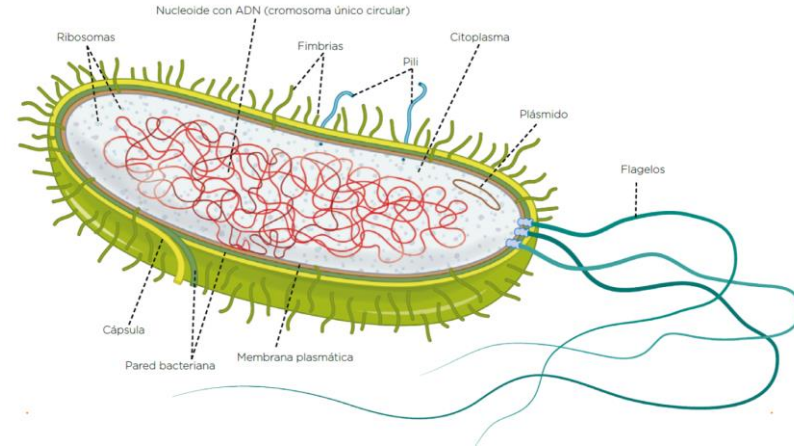


Aspecto de las células procariotas de tres bacterias a través del microscopio electrónico de transmisión (MET).



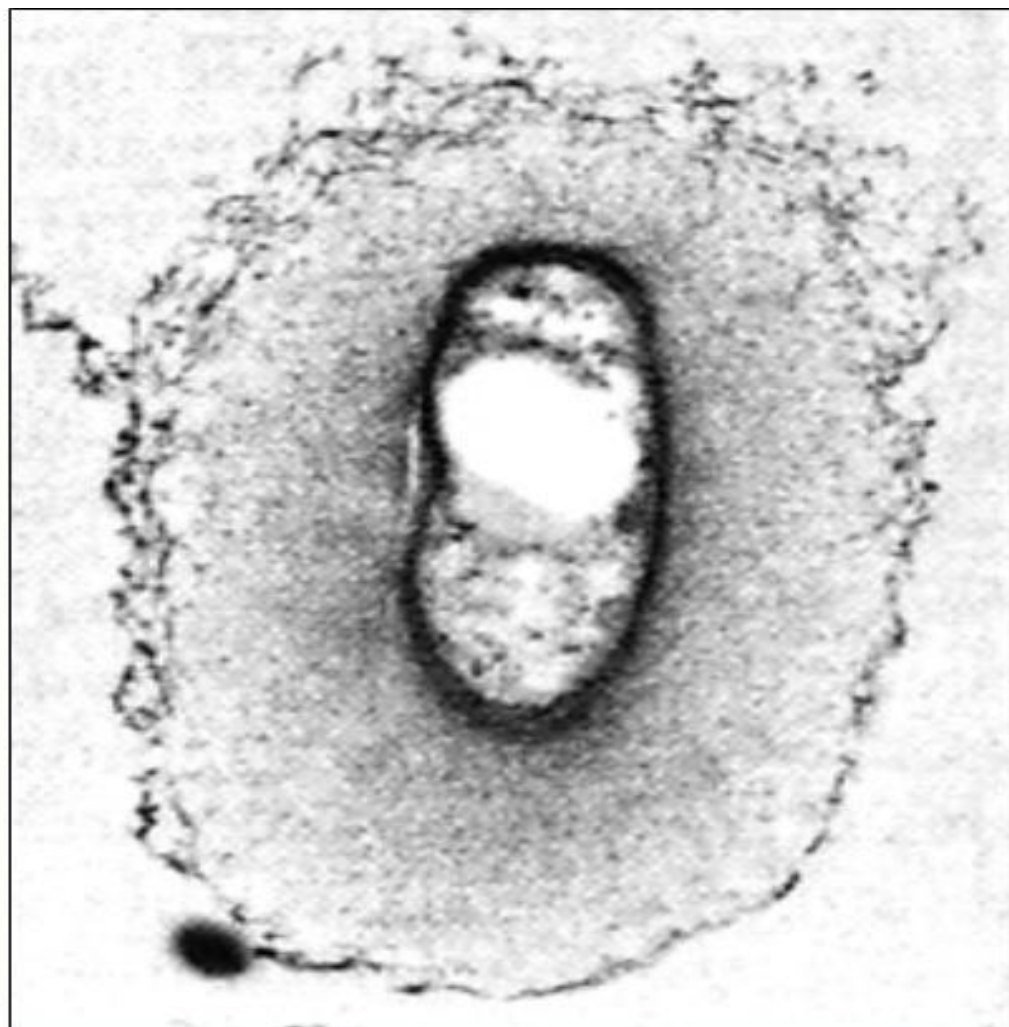
Los componentes de la célula procariota

- **La cápsula.** Solo está presente en algunas bacterias. Es una capa externa y viscosa, rica en polisacáridos y moléculas proteicas, que se encarga de proteger a la célula de la desecación del medio y de regular los procesos de intercambio de agua y nutrientes con dicho medio. También cohesiona las células cuando se forman las colonias bacterianas y, en las bacterias patógenas, sirve para fijarse al huésped y como defensa frente a anticuerpos y fagocitos.



Bacteria encapsulada

En numerosas bacterias se forma en la parte externa de la pared una cápsula viscosa compuesta por sustancias glucídicas. Esta envoltura, que se presenta en casi todas las bacterias patógenas, las protege de la desecación y de la fagocitosis por los leucocitos del hospedador, así como del ataque de los anticuerpos, lo que aumenta la virulencia de las bacterias encapsuladas. La presencia de la cápsula no es, sin embargo, un carácter diferenciador, pues determinadas bacterias pueden o no formarla en función de los medios de cultivo.



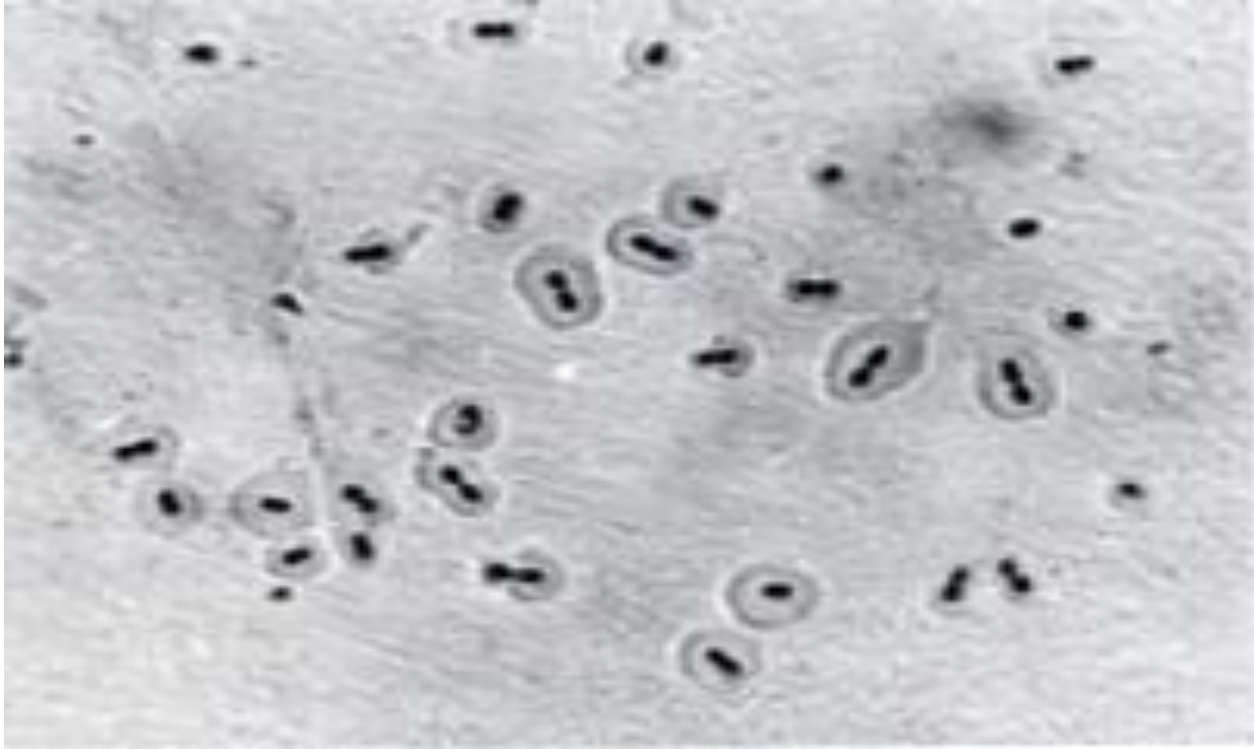
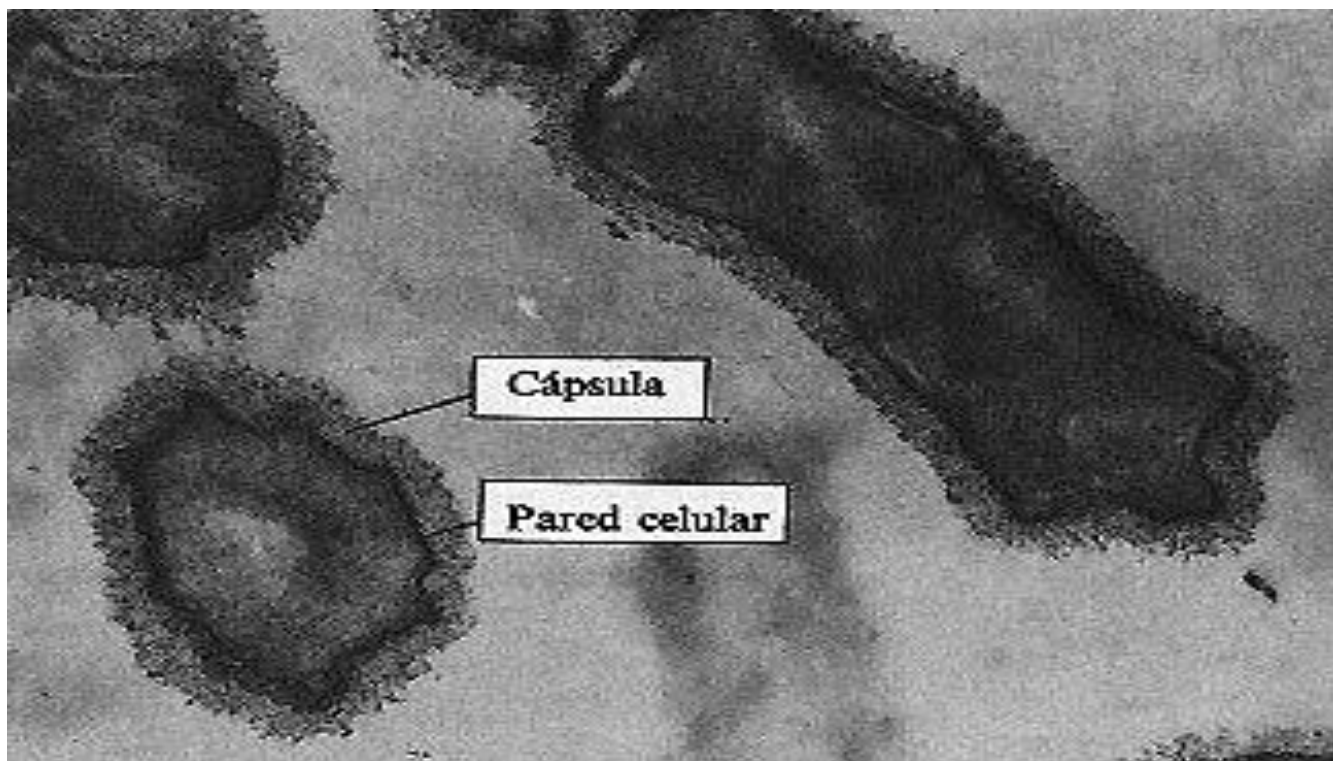
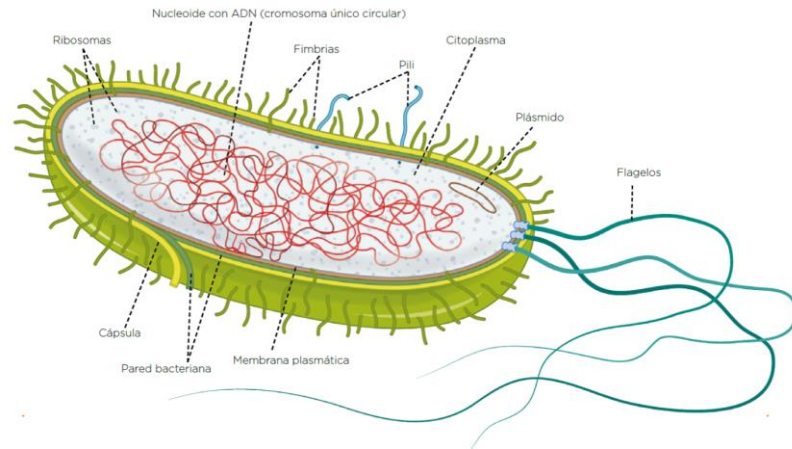


Imagen a microscopía óptica de la cápsula del neumococo
(*Streptococcus pneumoniae*)



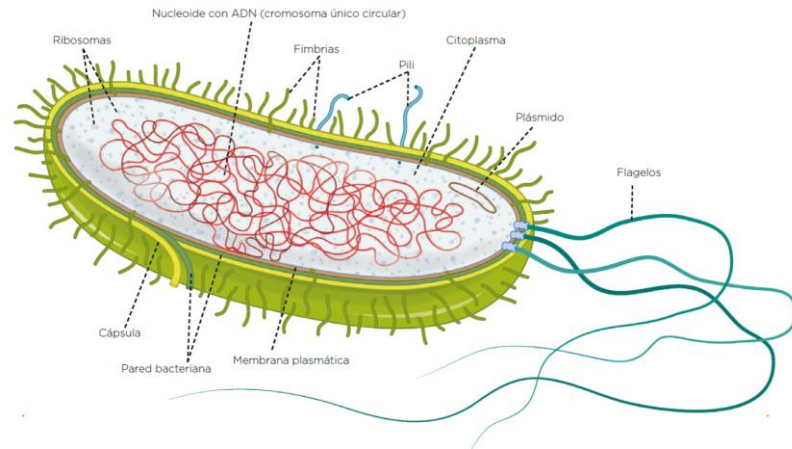
Los componentes de la célula procariota

- **La cápsula.** Solo está presente en algunas bacterias. Es una capa externa y viscosa, rica en polisacáridos y moléculas proteicas, que se encarga de proteger a la célula de la desecación del medio y de regular los procesos de intercambio de agua y nutrientes con dicho medio. También cohesiona las células cuando se forman las colonias bacterianas y, en las bacterias patógenas, sirve para fijarse al huésped y como defensa frente a anticuerpos y fagocitos.
- **La pared bacteriana.** Está presente en la mayoría de bacterias. Rodea la membrana y se encarga de mantener la forma de la célula y protegerla frente a los cambios de presión osmótica del medio. Su componente químico principal es un polisacárido llamado **peptidoglucano**, por lo que es totalmente diferente de las paredes de celulosa de las células vegetales.
- **La membrana plasmática.** Es como las membranas celulares de todas las células pero se diferencia de la de las células eucariotas porque **no contiene esteroides**. Además de limitar la célula y regular el paso de agua y sustancias nutritivas, se encarga de anclar el material genético y dirigir su duplicación durante la división celular. También realiza una buena parte de la actividad metabólica celular, pues en ella están las enzimas necesarias para la respiración celular, la fotosíntesis o la quimiosíntesis. Por esa razón, la membrana de algunas bacterias tiene repliegues hacia el interior para aumentar la superficie activa dedicada a estos procesos.



Los componentes de la célula procariota

- **La cápsula.** Solo está presente en algunas bacterias. Es una capa externa y viscosa, rica en polisacáridos y moléculas proteicas, que se encarga de proteger a la célula de la desecación del medio y de regular los procesos de intercambio de agua y nutrientes con dicho medio. También cohesiona las células cuando se forman las colonias bacterianas y, en las bacterias patógenas, sirve para fijarse al huésped y como defensa frente a anticuerpos y fagocitos.
- **La pared bacteriana.** Está presente en la mayoría de bacterias. Rodea la membrana y se encarga de mantener la forma de la célula y protegerla frente a los cambios de presión osmótica del medio. Su componente químico principal es un polisacárido llamado **peptidoglucano**, por lo que es totalmente diferente de las paredes de celulosa de las células vegetales.
- **La membrana plasmática.** Es como las membranas celulares de todas las células pero se diferencia de la de las células eucariotas porque **no contiene esteroides**. Además de limitar la célula y regular el paso de agua y sustancias nutritivas, se encarga de anclar el material genético y dirigir su duplicación durante la división celular. También realiza una buena parte de la actividad metabólica celular, pues en ella están las enzimas necesarias para la respiración celular, la fotosíntesis o la quimiosíntesis. Por esa razón, la membrana de algunas bacterias tiene repliegues hacia el interior para aumentar la superficie activa dedicada a estos procesos.



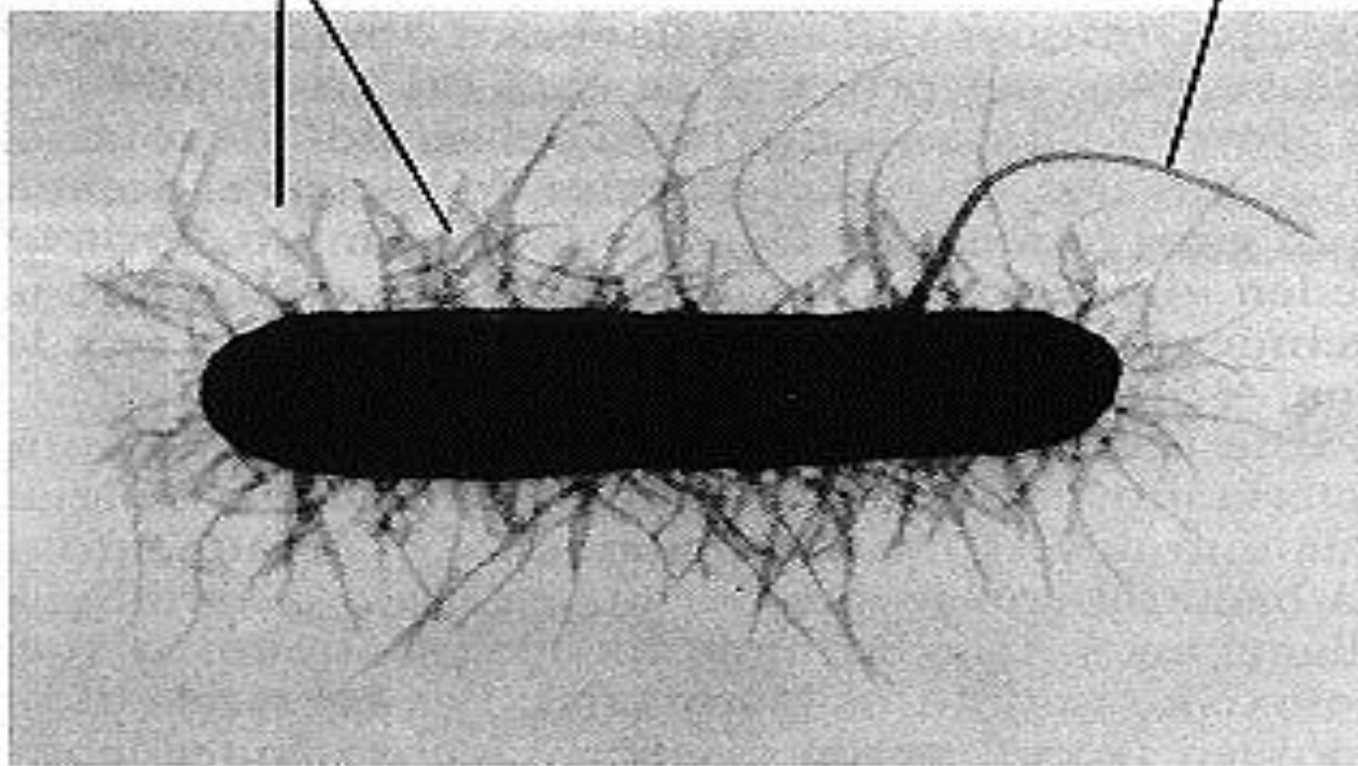
- **El citoplasma.** No se diferencia en esencia de los citoplasmas de otras células. En su interior solo se encuentran el material genético de la bacteria, los ribosomas y algunas inclusiones con sustancias de reserva.
- **Los ribosomas.** Estos complejos macromoleculares son similares a los de las células eucariotas, pero de menor tamaño que estos. Se encargan de la síntesis de proteínas.
- **El ADN.** En las células procariotas está asociado a unas proteínas (diferentes de las histonas de las células eucariotas) y constituye un único cromosoma circular. Esta molécula, que contiene la información genética de la célula, no está protegida por ninguna membrana y se localiza en una región del citoplasma denominada **nucleoide**. Fuera de esta región existen una o varias moléculas circulares de ADN más pequeñas, denominadas **plásmidos**, que contienen información complementaria al genoma básico de la célula, como, por ejemplo, los genes que confieren resistencia frente a antibióticos.
- **Flagelos, pili y fimbrias.** Algunas células procariotas cuentan con estructuras filamentosas que sobresalen de la superficie celular, como los **flagelos**, que les proporcionan movimiento; los **pili**, cuya función es el intercambio de material genético con otras bacterias, y las **fimbrias**, que están relacionadas con la fijación de la célula a otras células o al medio de soporte.

Los mesosomas son unos repliegues de la membrana celular de las bacterias que se observan en las muestras de cortes finos de estas células preparadas para la observación con el MET. En un principio se pensó que eran estructuras especializadas de la membrana bacteriana y se les asignaron incluso funciones relacionadas con la replicación del ADN bacteriano. Sin embargo, más tarde se comprobó que eran deformaciones de la membrana inducidas por el método de preparación de las muestras para observar en el MET.

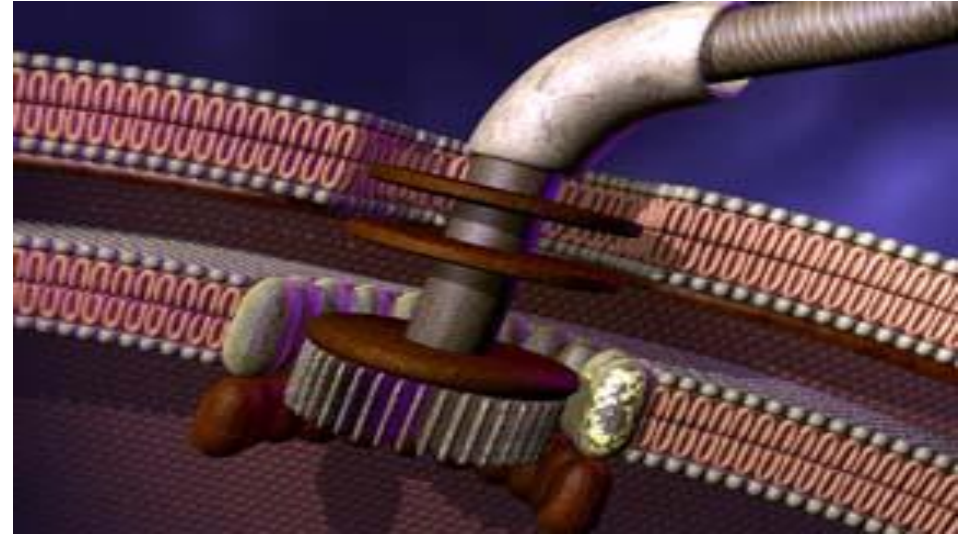
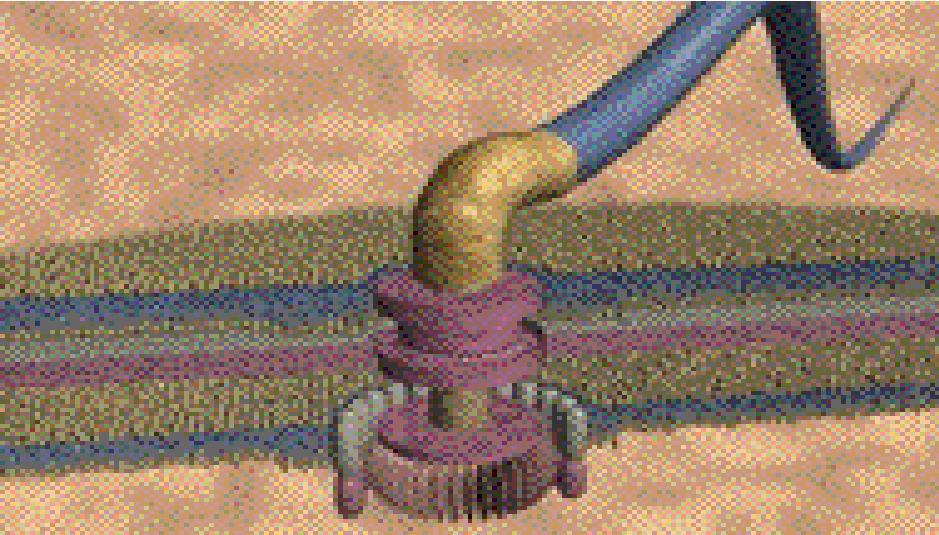


Fimbrias

Flagelo



FLAGELO





TEM

1 μ m

3.2

Las células eucariotas

Son las células que tienen los organismos del dominio *Eucarya*, que incluye los protocistas, los hongos, las plantas y los animales.

Las **células eucariotas** tienen membranas internas que protegen el ADN formando el núcleo, y que delimitan diversos orgánulos celulares especializados en realizar determinadas funciones.

Existen dos tipos básicos de células eucariotas:

Células eucariotas de tipo animal o heterótrofas. Son aquellas de las que se componen los animales y algunos organismos unicelulares, como los protozoos. Los hongos tienen un tipo de célula semejante a este, pero, a menudo, con una pared celular de quitina.

Células eucariotas de tipo vegetal o autótrofas. Son las que se encuentran en las plantas y las algas.

Células eucariotas de tipo animal

Estas células se pueden encontrar con una gran diversidad de formas, aunque la más común es la redondeada, con el núcleo en una posición central.

Como orgánulos exclusivos, que no están presentes en las células vegetales, presentan un **centrosoma, cilios y flagelos**.

Células eucariotas de tipo vegetal

Tienen una forma mucho más uniforme que las células animales, ya que casi todas son poligonales y tienen el núcleo en una posición lateral.

Como orgánulos específicos, que no están presentes en las células animales, presentan: **cloroplastos, pared celular y grandes vacuolas**.

Componentes básicos de la célula eucariota

- **La membrana plasmática.** Es una membrana celular típica, formada por una doble capa de lípidos con moléculas integradas de proteínas y, a diferencia de la membrana de las bacterias, de esteroides.
- **El citoplasma.** Su composición es similar al citoplasma de las células procariotas, pero contiene un gran número y variedad de **orgánulos celulares** y un **citoesqueleto**, que es una red de filamentos de naturaleza proteica que da forma a la célula y que permite y dirige tanto los movimientos de los orgánulos como los de la propia célula.
- **El núcleo.** Esta estructura exclusiva de las células eucariotas consta de una doble membrana, denominada **envoltura nuclear**, que está atravesada por numerosos poros. En su interior hay un medio acuoso llamado **nucleoplasma**, y **varias moléculas de ADN** asociado con unas proteínas llamadas histonas. También hay una estructura esférica llamada **nucléolo**, en la que se sintetizan los ribosomas.

Orgánulos membranosos

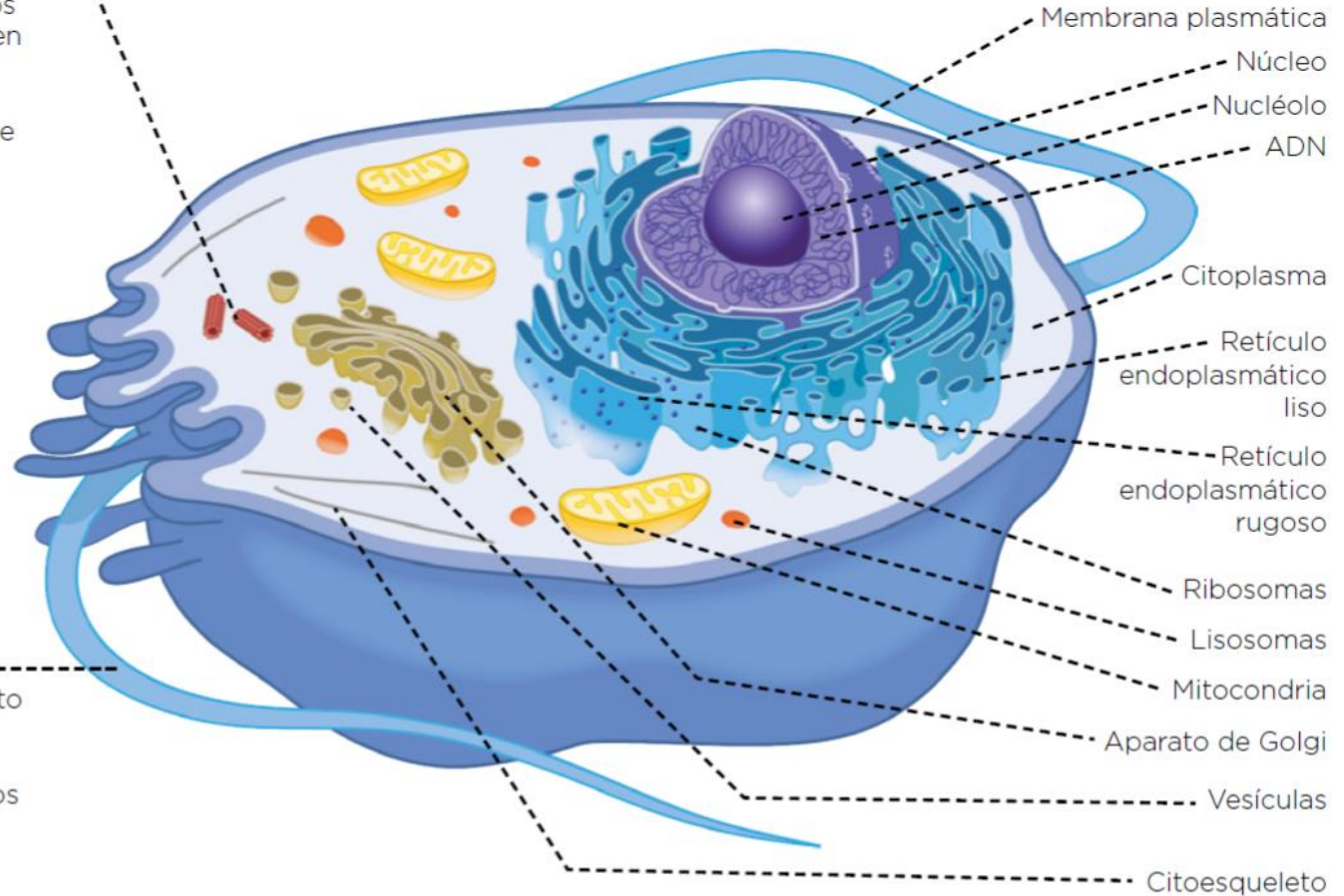
- **El retículo endoplasmático (RE).** Es un conjunto de canales y sáculos que suele situarse cerca del núcleo y que se encarga de la síntesis y el transporte de sustancias. El **RE rugoso** tiene ribosomas adheridos y se encarga de recoger y modificar las proteínas sintetizadas por ellos. El **RE liso** carece de ribosomas y sintetiza y transporta lípidos.
- **El aparato de Golgi.** Es un conjunto de sáculos aplanados que recogen y modifican sustancias sintetizadas en el RE y las empaquetan en compartimentos membranosos llamados **vesículas** para su almacén, su transporte o su secreción.
- **Vesículas.** Destacan los **lisosomas** y los **peroxisomas**, que contienen enzimas especializadas en la digestión y la oxidación de las moléculas de orgánulos deteriorados y del contenido de los **fagosomas**, que son las vesículas que forma la célula cuando fagocita materia del exterior.
- **Las mitocondrias.** Son estructuras ovaladas, con doble membrana y una molécula de ADN propio. La membrana interna tiene numerosas invaginaciones y el espacio interno, denominado **matriz**, contiene las enzimas oxidativas implicadas en la respiración celular para la obtención de energía.

Orgánulos no membranosos

- **Los ribosomas.** Son complejos macromoleculares que se encargan de la síntesis de proteínas. Pueden encontrarse adheridos al retículo endoplasmático o dispersos por el citoplasma.

Centrosoma. Es una estructura sin membrana formada por dos cilindros huecos de microtúbulos y filamentos (los llamados **centriolos**), que dirigen la formación del citoesqueleto, del huso acromático durante las divisiones celulares y de los cilios, de los flagelos y de los pseudópodos.

Cilios y flagelos. Estas estructuras son prolongaciones del citoesqueleto rodeadas por la membrana, que sobresalen de la superficie celular. Son capaces de realizar movimientos que permiten la locomoción de las células o generan corrientes en el medio que las rodea.



Membrana plasmática

Núcleo

Nucléolo

ADN

Citoplasma

Retículo
endoplasmático
liso

Retículo
endoplasmático
rugoso

Ribosomas

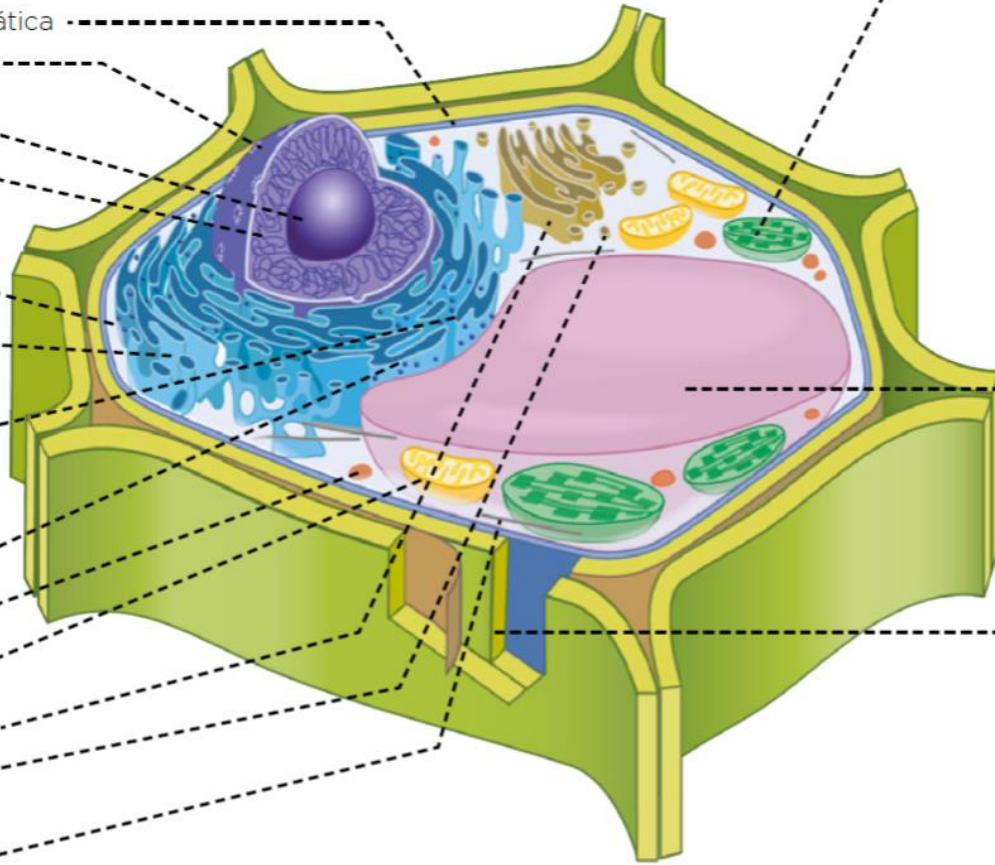
Lisosomas

Mitocondria

Aparato de Golgi

Vesículas

Citoesqueleto



Cloroplastos. Son orgánulos con una doble membrana y un ADN propio. La membrana interna forma un entramado de sacos planos o tilacoides, que contiene la clorofila, el pigmento necesario para captar la energía solar. El espacio interno, denominado **estroma**, contiene las enzimas involucradas en los procesos de síntesis de materia orgánica de la fotosíntesis.

Vacuolas. Son compartimentos membranosos que pueden ocupar un 90 % del volumen celular. Contienen agua y otras sustancias y contribuyen a mantener la rigidez de la célula vegetal.

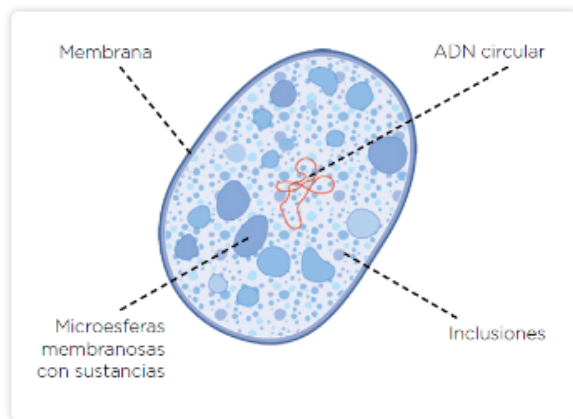
Pared celular. Es una envoltura gruesa que recubre el exterior de la membrana plasmática y protege la célula vegetal de las fuertes variaciones de turgencia que se producen cuando las vacuolas ganan o pierden agua. Está compuesta fundamentalmente de celulosa y otros polisacáridos parecidos.

Uno de los componentes fundamentales de todas las células, tanto procariontas como eucariotas, es la **membrana celular** o **membrana plasmática**, que es la envoltura que separa a la célula del medio extracelular y permite el mantenimiento de su contenido interno.

Se piensa que el desarrollo de membranas estables capaces de conservar un contenido, de intercambiar materia y energía con el medio y de permitir la replicación fue la clave del origen de la vida; las primeras protocélulas, que después darían origen a los organismos procariontas.

Las células eucariotas, más complejas, además de la membrana plasmática, han desarrollado un sistema de membranas de composición y estructura similares, que forman el núcleo y muchos de los orgánulos.

Posible aspecto de una protocélula



4.1

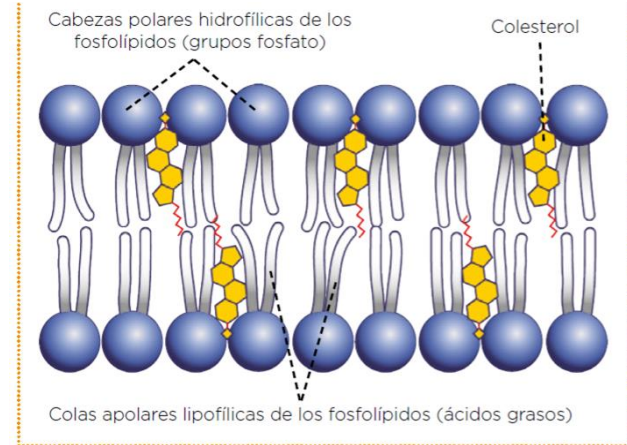
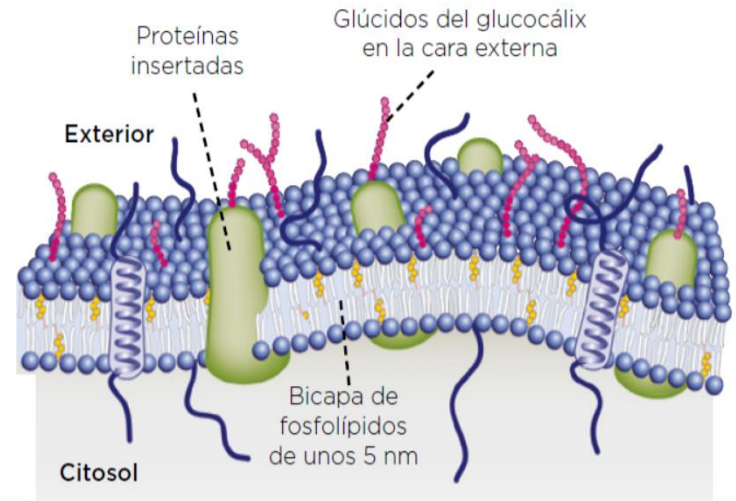
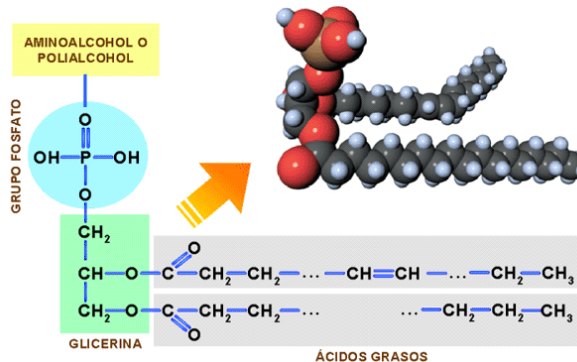
La composición de la membrana

La membrana celular está compuesta fundamentalmente de lípidos y, en menor medida, de proteínas y glúcidos.

Los lípidos de la membrana

- **Los fosfolípidos** son los principales componentes de las membranas biológicas. Son moléculas anfipáticas, con una parte o «cabeza» polar e hidrofílica y dos «colas» apolares e hidrofóbicas. Esta característica les confiere la capacidad de formar **bicapas**, en las que las cabezas hidrofílicas se disponen hacia las caras externa e interna de la membrana, mientras que las colas hidrofóbicas quedan en el interior de la membrana.

Fosfolípido



4.1

La composición de la membrana

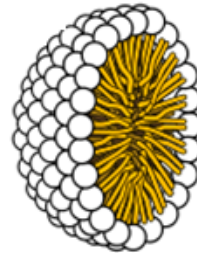
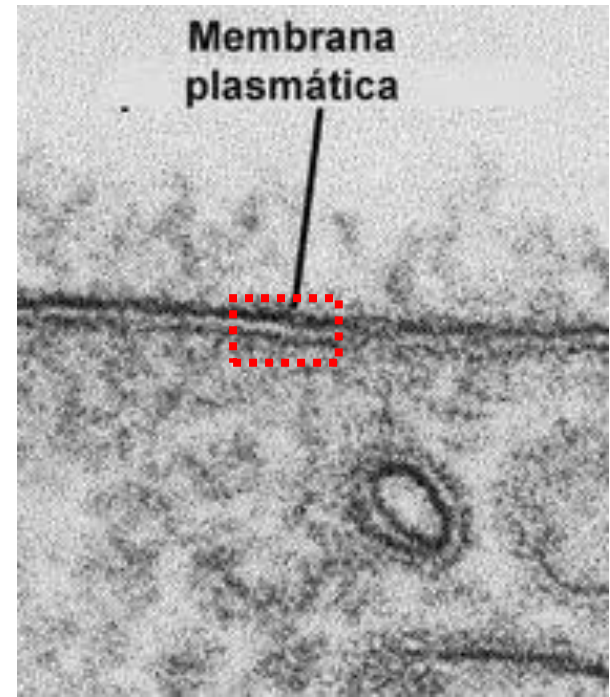
La membrana celular está compuesta fundamentalmente de lípidos y, en menor medida, de proteínas y glúcidos.

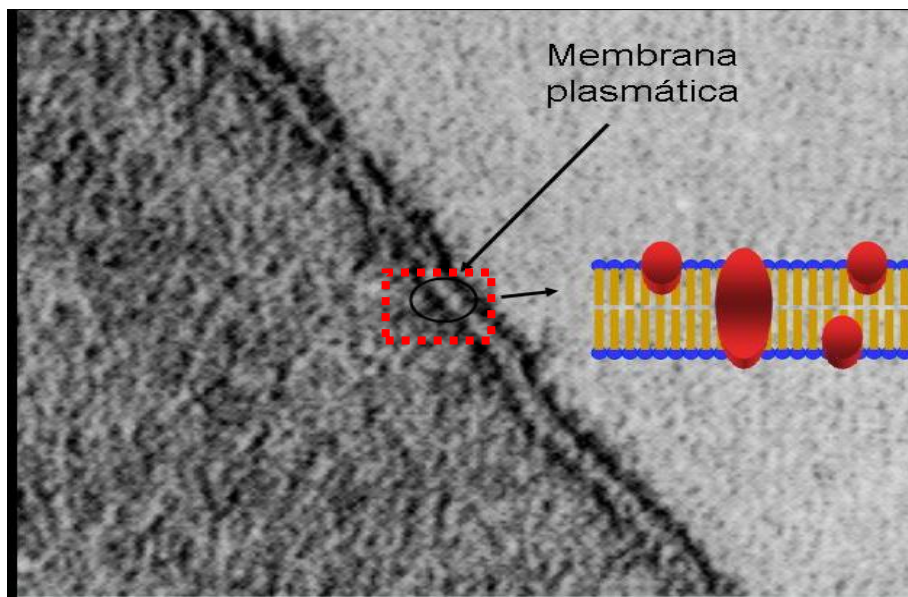
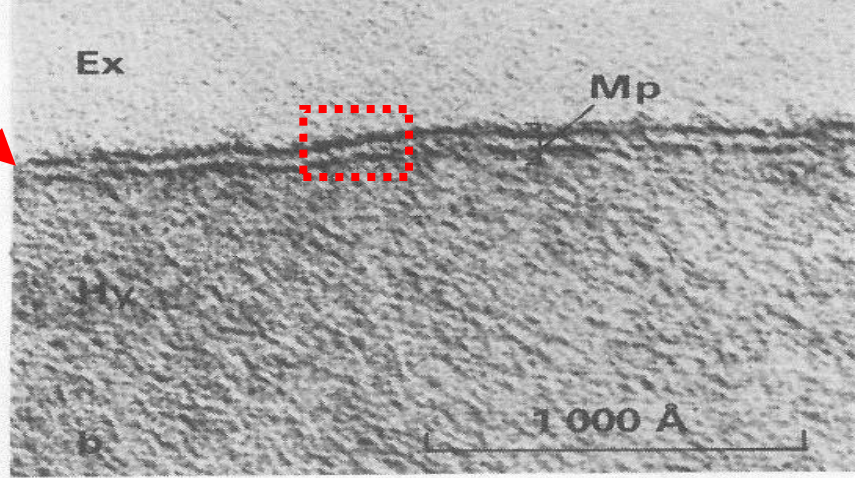
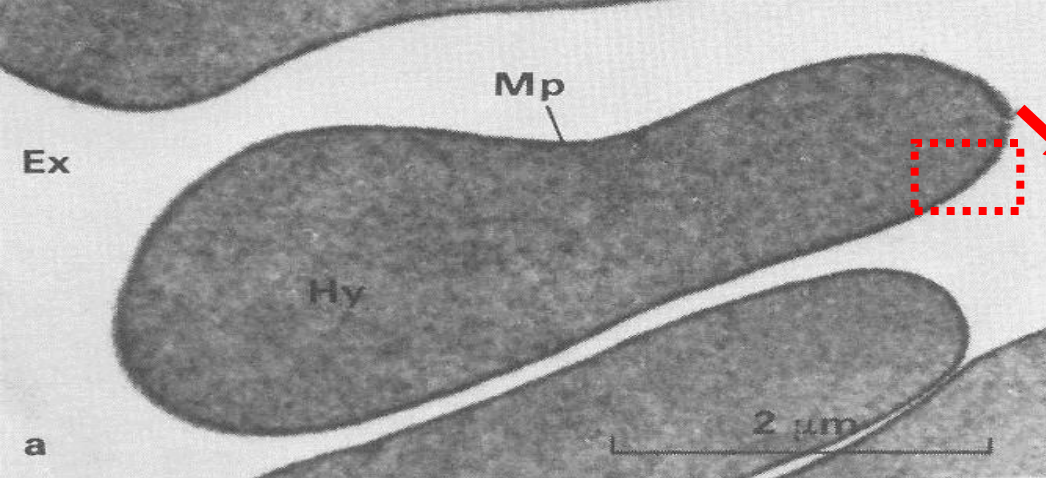
Los lípidos de la membrana

- **Los fosfolípidos** son los principales componentes de las membranas biológicas. Son moléculas anfipáticas, con una parte o «cabeza» polar e hidrofílica y dos «colas» apolares e hidrofóbicas. Esta característica les confiere la capacidad de formar **bicapas**, en las que las cabezas hidrofílicas se disponen hacia las caras externa e interna de la membrana, mientras que las colas hidrofóbicas quedan en el interior de la membrana.

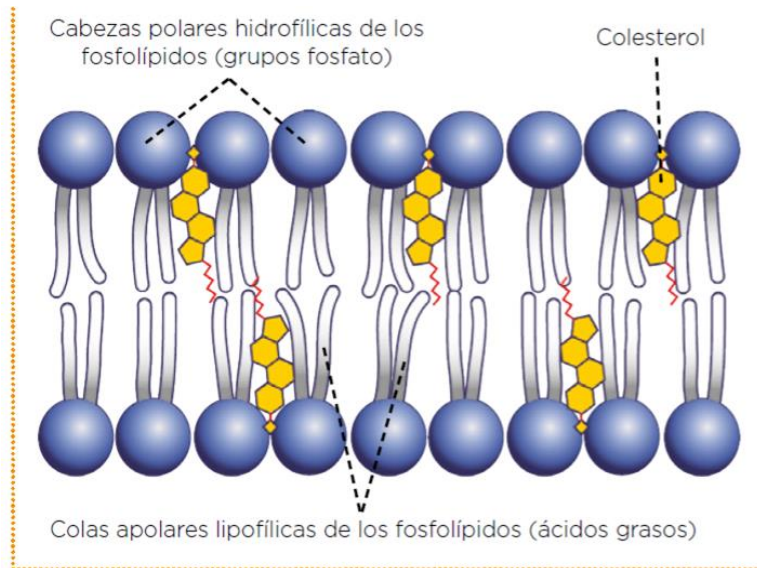
De hecho, cuando se observa la membrana plasmática mediante un microscopio electrónico, se aprecian en ella dos bandas oscuras finas, que corresponden a las cabezas polares de los fosfolípidos, y entre ellas una zona clara más amplia, que corresponde a las colas lipídicas apolares.

Las esferas de bicapas de fosfolípidos se forman de manera espontánea, dirigidas por las interacciones que se dan entre las colas hidrofóbicas cuando estas se aíslan del medio acuoso. Además, cuando estas membranas se rompen, tienden a cerrarse de nuevo por sí mismas; una propiedad clave para permitir procesos como la división celular, la endocitosis, la exocitosis o la fusión de vesículas.





- **El colesterol**, presente en las membranas de las células eucariotas, es un componente fundamental que aporta estabilidad a las bicapas a través del control de su fluidez. Aparece insertado en la capa de colas apolares y su cantidad es variable de unas membranas a otras. Por ejemplo, las membranas de orgánulos como el retículo endoplasmático tienen poco colesterol y tienden a ser muy fluidas.

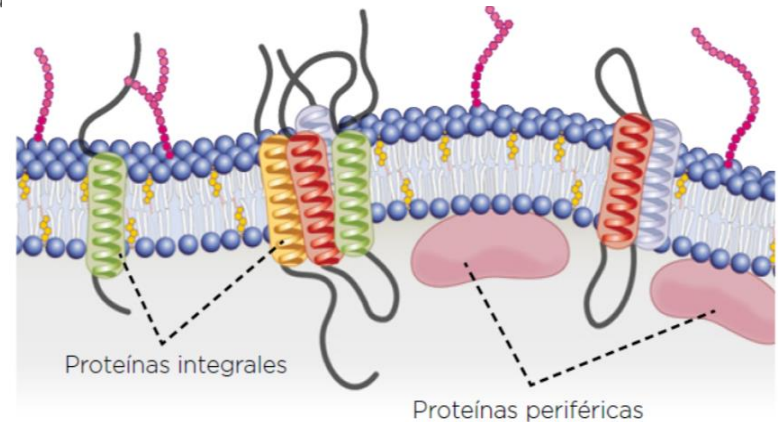
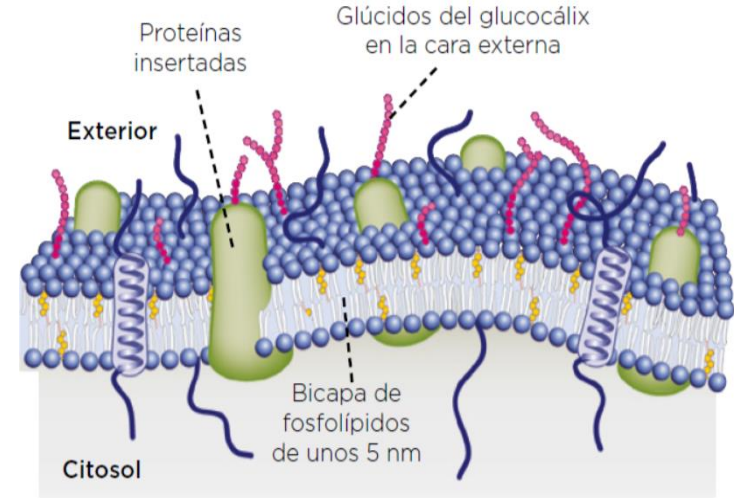


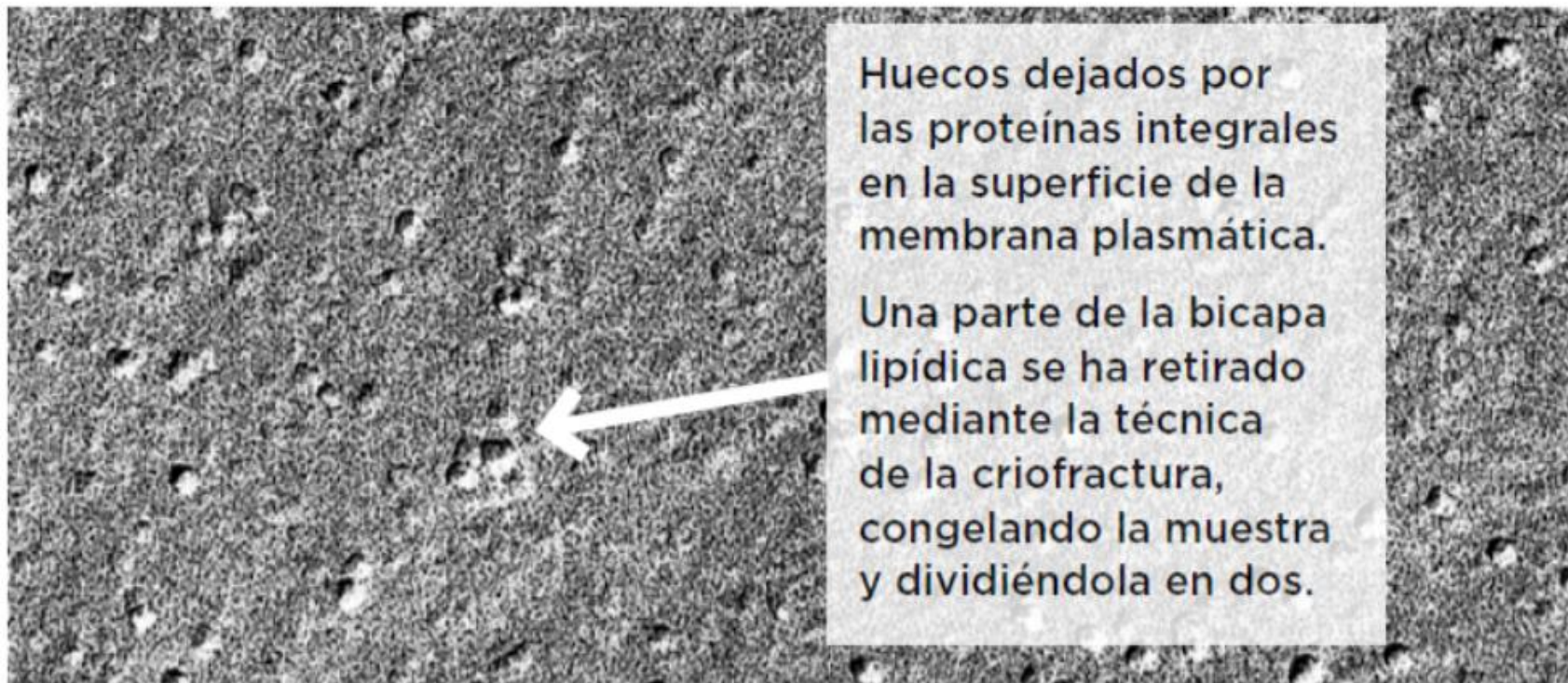
Las proteínas de la membrana

Las proteínas constituyen otro componente esencial de las membranas biológicas, pues en ellas desempeñan multitud de funciones de vital importancia para la célula.

Según su estructura y localización dentro de la membrana, se distinguen dos tipos de proteínas: las proteínas integrales y las proteínas periféricas.

- **Las proteínas integrales** de membrana penetran profundamente en la bicapa de lípidos. Se comportan como moléculas anfipáticas, con regiones que interaccionan con el interior hidrofóbico de la membrana y regiones polares que afloran a sus superficies. Su interacción con la membrana es muy fuerte y para extraerlas de ella son necesarios tratamientos que rompen la bicapa lipídica.
- **Las proteínas periféricas** son hidrosolubles y se unen débilmente a la su de la membrana celular, por lo que pueden separarse de ella mediante tratamientos suaves.





Huecos dejados por las proteínas integrales en la superficie de la membrana plasmática.

Una parte de la bicapa lipídica se ha retirado mediante la técnica de la criofractura, congelando la muestra y dividiéndola en dos.

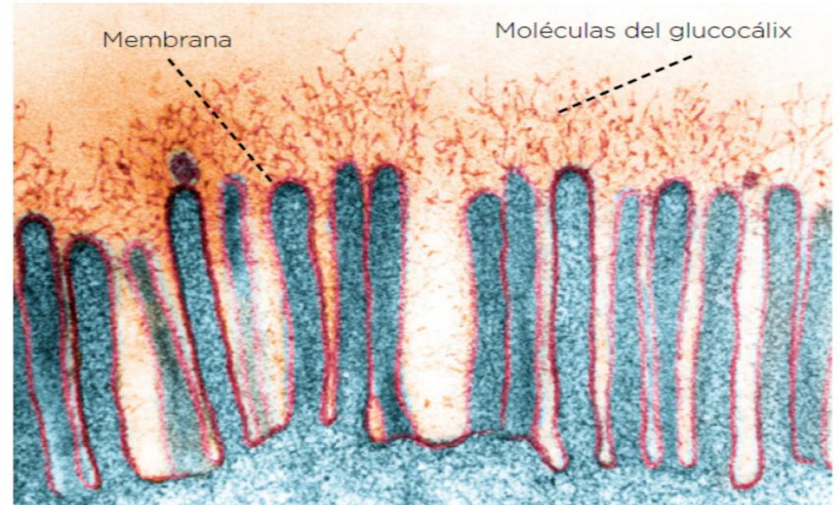
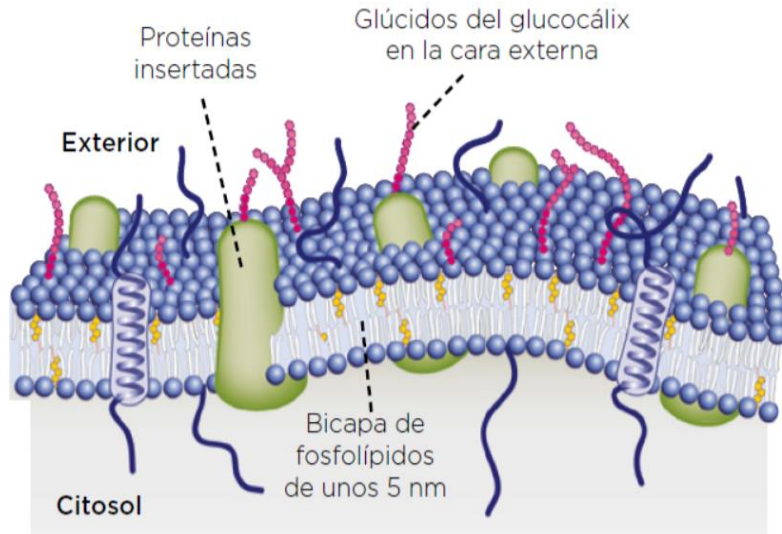
Tanto si son integrales como si son periféricas, las proteínas de la membrana llevan a cabo funciones muy importantes. Según la función que desempeñan hay:

- **Proteínas canal y proteínas transportadoras.** Son proteínas integrales que regulan el paso de sustancias a través de la membrana.
- **Receptores celulares de ligandos específicos.** Son proteínas periféricas que detectan sustancias, como hormonas o nutrientes, y se unen a ellas.
- **Enzimas.** Las hay periféricas e integrales y catalizan reacciones químicas en el entorno de la membrana.
- **Proteínas de señalización.** Están implicadas, por ejemplo, en el reconocimiento celular.
- **Proteínas de anclaje del citoesqueleto.** Afloran a la cara interna de la membrana y se relacionan con los microtúbulos y los microfilamentos.
- **Anticuerpos.** Tienen función defensiva frente a patógenos o sustancias tóxicas.

Los glúcidos de la membrana

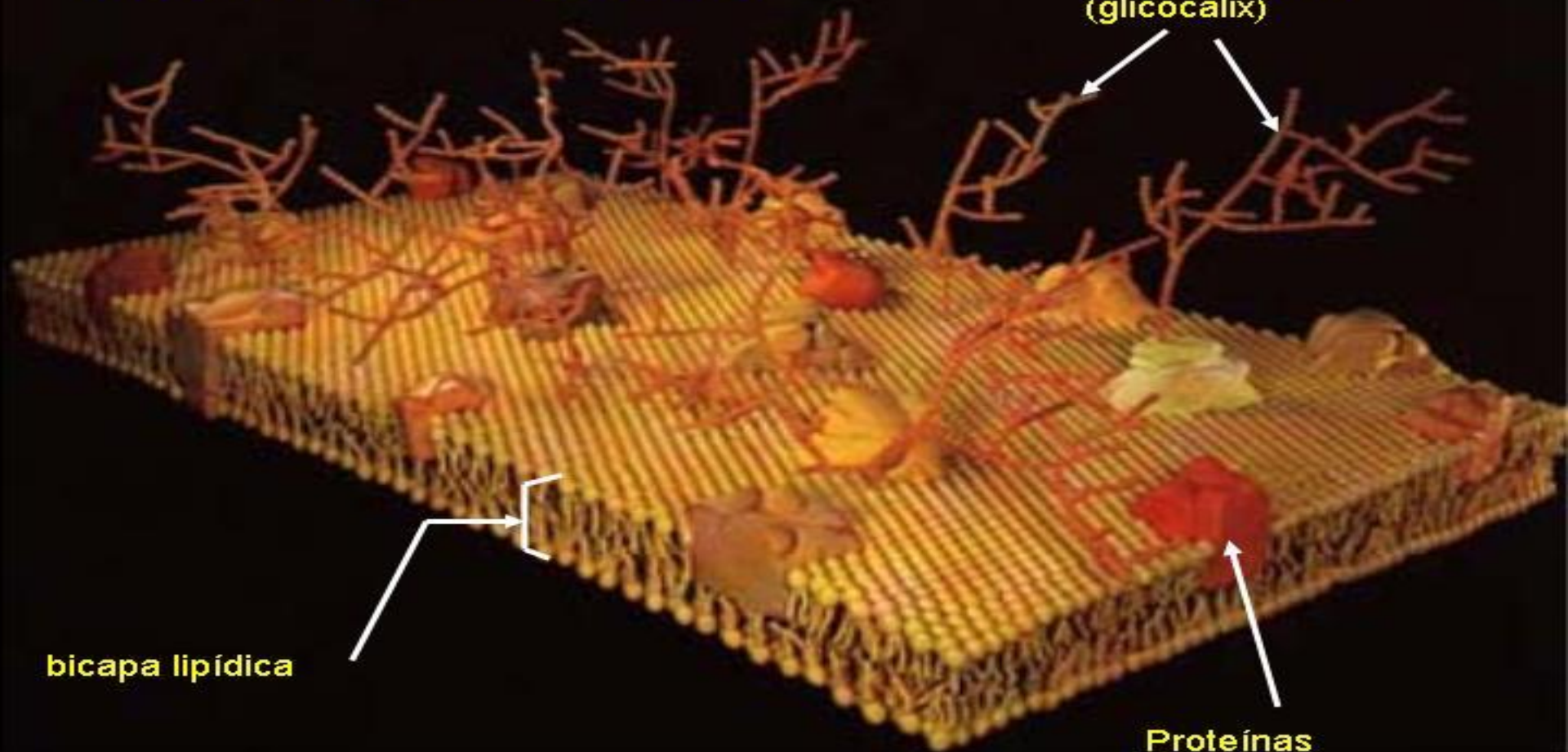
La membrana celular contiene también glúcidos. La mayoría de estas moléculas son oligosacáridos que se encuentran unidos covalentemente a las partes polares de las moléculas de lípidos o de proteínas de la cara exterior de la membrana formando, respectivamente, **glucolípidos** o **glucoproteínas**.

Unos y otras constituyen una especie de envoltura glucídica que rodea a la membrana de muchas células y que se denomina **glucocálix** o **glicocálix**.



Esquema de la membrana plasmática

**Oligosacáridos
(glicocálix)**

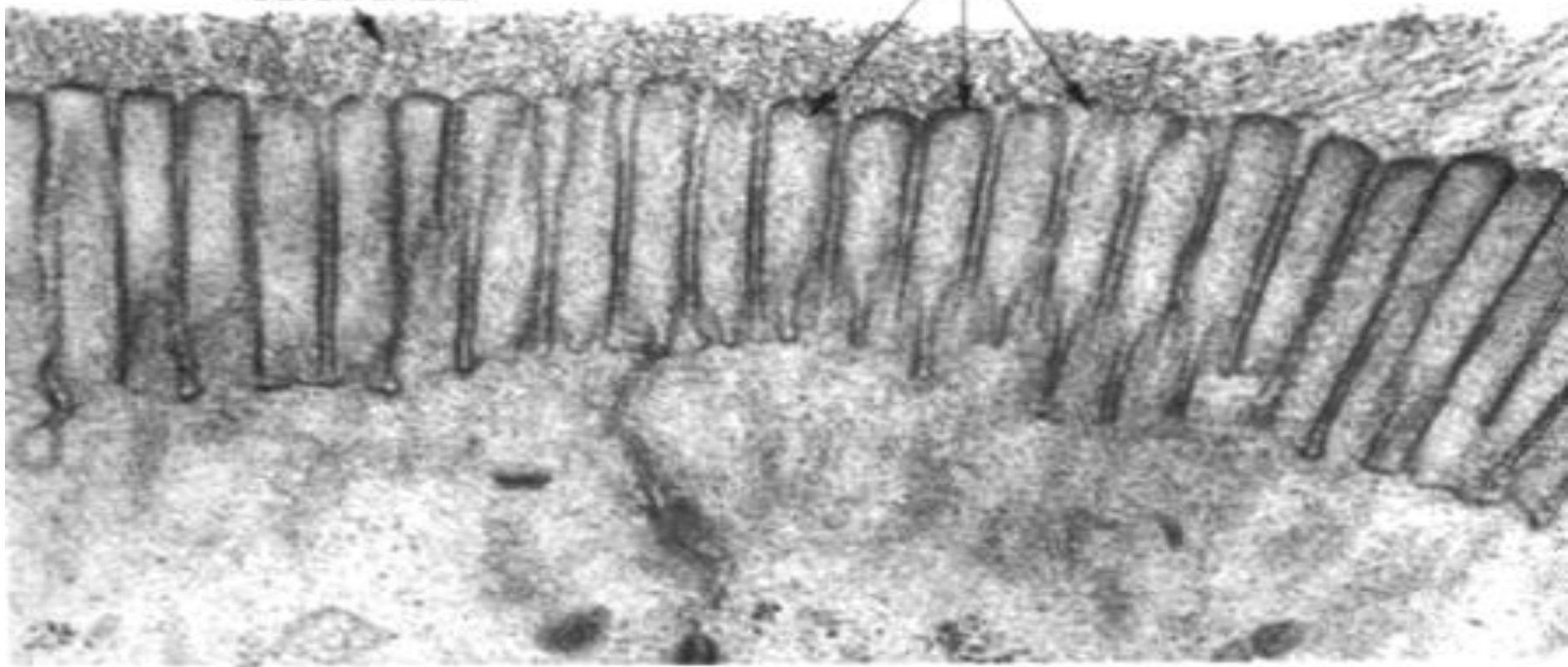


bicapa lipídica

Proteínas

GLICOCÁLIZ

MICROVELLOSIDADES



<http://www.youtube.com/watch?v=f9NabbTmmXA>

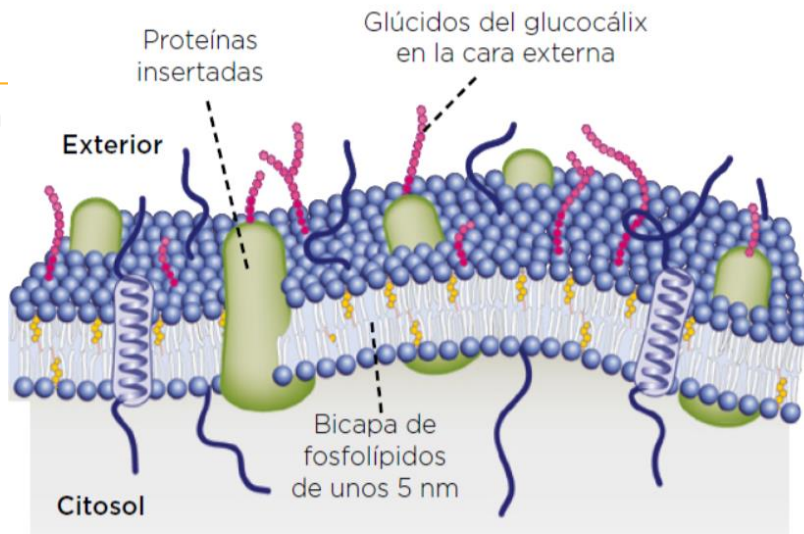
4.2

La estructura de la membrana plasmática

El modelo aceptado actualmente para la estructura de la membrana plasmática es el del **mosaico fluido**, que fue presentado por Seymour Singer y Garth Nicolson en 1972. Este modelo surgió de los datos de numerosos estudios bioquímicos, termodinámicos y de microscopía electrónica realizados por varios equipos de investigación a lo largo de varias décadas. Hace las siguientes propuestas:

La membrana es similar a un mosaico

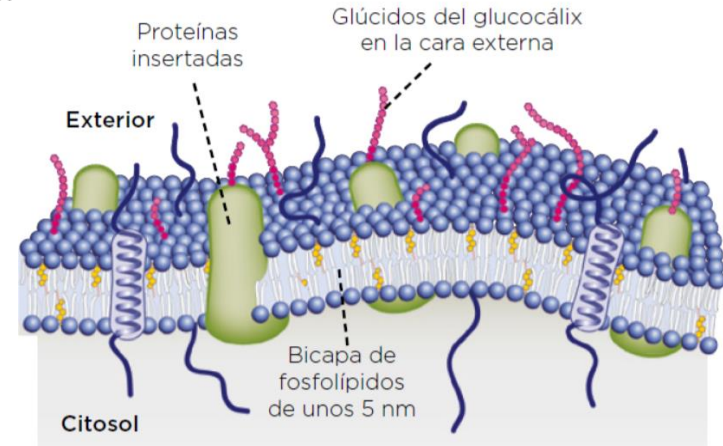
La membrana plasmática es una bicapa de fosfolípidos de unos 5 nm de grosor en la que se insertan las proteínas de membrana. El conjunto toma el aspecto de un mosaico.



La membrana es asimétrica

La membrana plasmática presenta diferencias en sus caras:

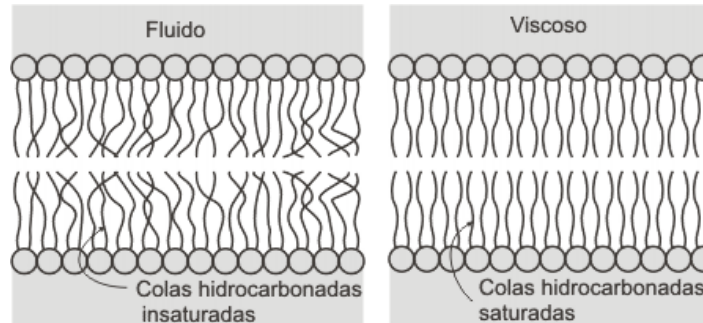
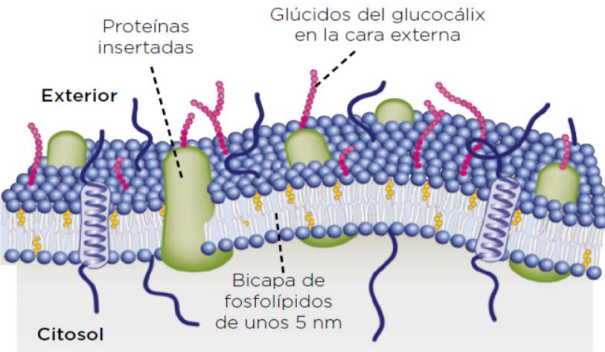
- **Los fosfolípidos son diferentes:** en la cara interna de la membrana son más frecuentes los fosfolípidos de cabezas polares con carga negativa; asimismo, en la cara externa de la membrana son más frecuentes los fosfolípidos de cadenas saturadas.
- **El glucocálix se encuentra solo en la cara externa.**
- **Las proteínas se sitúan en una u otra cara de la membrana de acuerdo con la función que realizan.** Por ejemplo, los anticuerpos se sitúan en la cara externa de la membrana, mientras que las proteínas de anclaje al citoesqueleto lo hacen en la cara interna.



La membrana es fluida

Esto significa que sus componentes se mueven; son dinámicos. Los movimientos entre moléculas son posibles porque la mayoría de las interacciones que mantienen la estructura de la membrana son uniones no covalentes. Pero la fluidez de la membrana puede variar, ya que depende de:

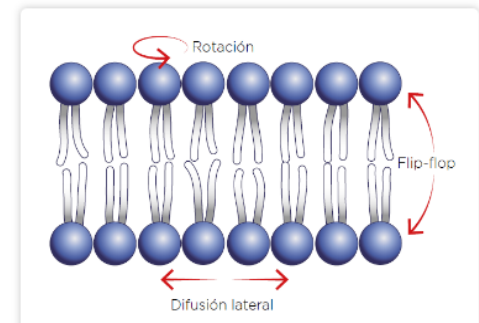
- **La composición química de los fosfolípidos.** La fluidez de la membrana aumenta cuanto más cortas e insaturadas son las cadenas hidrocarbonadas de los fosfolípidos. Las cadenas cortas tienden a interactuar menos entre ellas, lo que aumenta su movilidad. Del mismo modo, los dobles enlaces de las insaturaciones confieren a las cadenas una conformación más abierta, que dificulta su empaquetamiento y facilita el movimiento.
- **La proporción de colesterol.** El colesterol es una molécula plana y rígida, que se integra en la parte apolar de las membranas y reduce la movilidad de los fosfolípidos, disminuyendo la fluidez. En cambio, a bajas temperaturas, tiene el efecto contrario y aumenta la fluidez compensando la disminución de la fluidez que las bajas temperaturas producen en la bicapa.



Movimientos moleculares en la membrana

Tanto los fosfolípidos como las proteínas experimentan **movimientos de difusión lateral** y **movimientos de rotación**.

Además, los fosfolípidos llevan a cabo un **movimiento de flexión lateral de las cadenas** y, pueden trasladarse de una monocapa a la otra, en un movimiento menos frecuente que se denomina **flip-flop**.

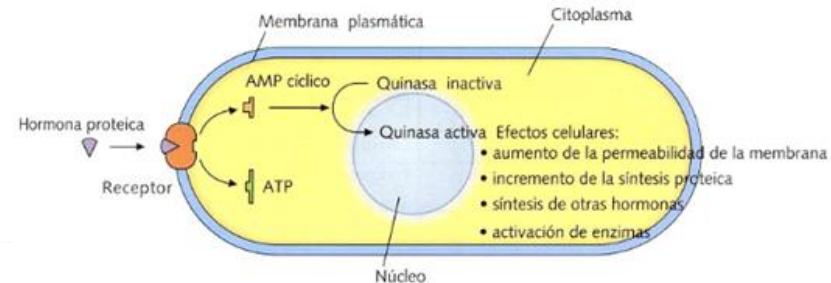


4.3

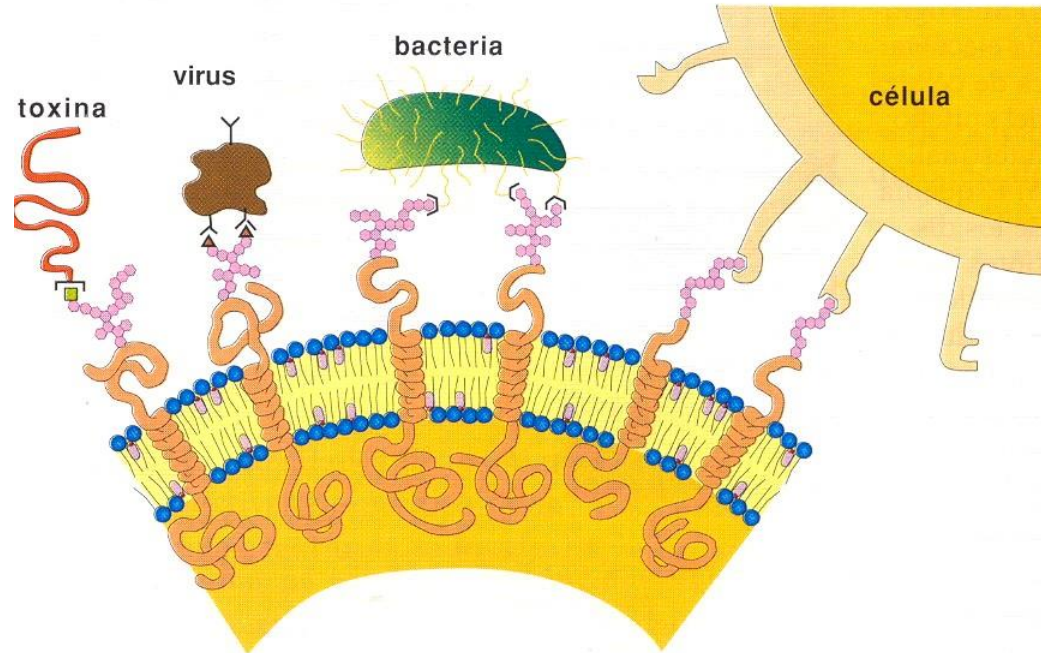
Las funciones de la membrana plasmática

La membrana plasmática no es una simple envoltura pasiva que separa la célula del exterior. Por el contrario, lleva a cabo importantes funciones celulares. Por ejemplo:

- **Regula el intercambio de sustancias.** La membrana tiene una **permeabilidad selectiva**; es decir, controla las sustancias que entran y salen de la célula. Esto contribuye a la estabilidad del medio intracelular y a mantener un gradiente electroquímico a ambos lados de la membrana, que es necesario para el control del volumen celular y para funciones específicas como la transmisión del impulso nervioso.
- **La comunicación con el medio extracelular.** En el exterior de la membrana plasmática hay receptores específicos de moléculas que actúan como mensajeros químicos (como las hormonas). La unión de estas moléculas a sus receptores específicos desencadena procesos dentro de la célula que son la respuesta al estímulo químico.



- **El reconocimiento celular.** En la membrana se localizan tanto proteínas que reconocen a las de otras células, como los anticuerpos, como antígenos que pueden ser reconocidos por otras células. Este reconocimiento celular está implicado en múltiples funciones biológicas, como la defensa frente a infecciones o el crecimiento celular.



4.4

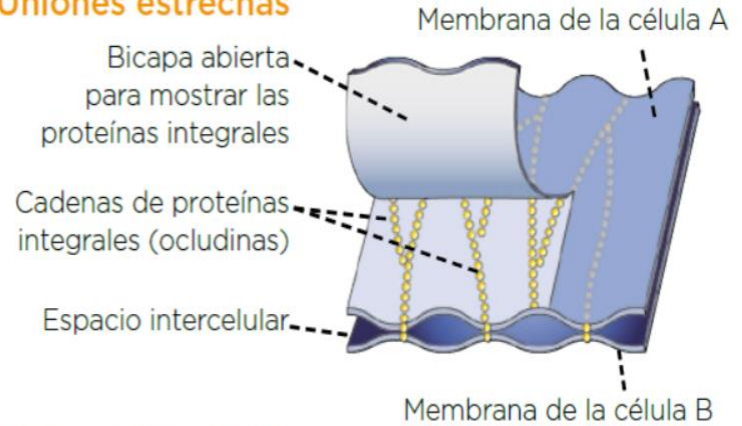
Las diferenciaciones de la membrana

La estructura de la membrana plasmática puede tener modificaciones para realizar ciertas funciones celulares. Un ejemplo son los repliegues que aumentan la superficie activa (como las microvellosidades de las células epiteliales del intestino).

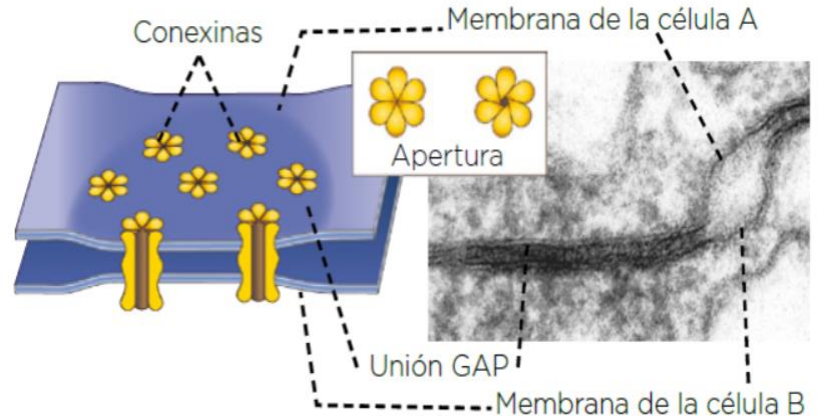
Otro ejemplo de diferenciación son las **uniones intercelulares**, que resultan fundamentales para el funcionamiento coordinado de las células en los organismos pluricelulares, y que pueden ser de diferentes tipos:

- **Las uniones estrechas o impermeables.** Se producen entre células epiteliales adyacentes. Estas uniones no dejan espacio entre las células, lo que crea una barrera impermeable que impide el paso de sustancias. Están formadas por unas proteínas transmembrana denominadas ocludinas.
- **Las uniones comunicantes o de tipo GAP.** Permiten una comunicación directa entre las células, facilitando su acción coordinada. Están formadas por proteínas transmembrana llamadas conexinas, que forman un canal.

Uniones estrechas

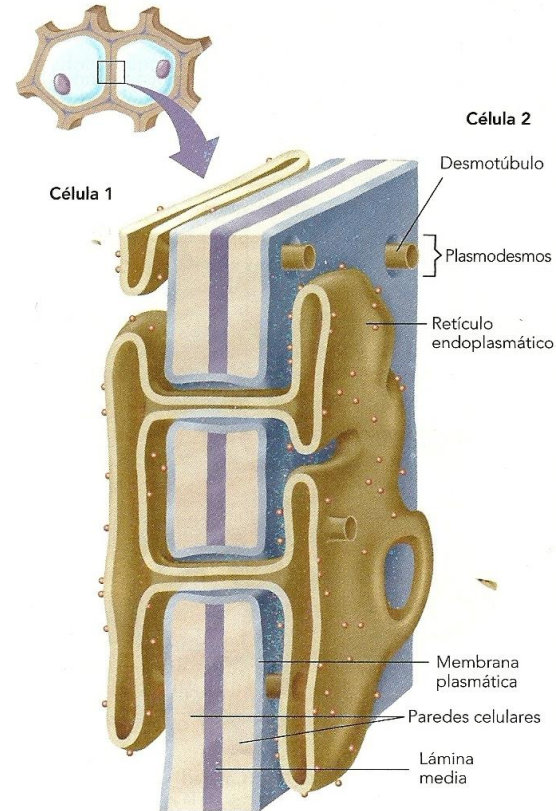
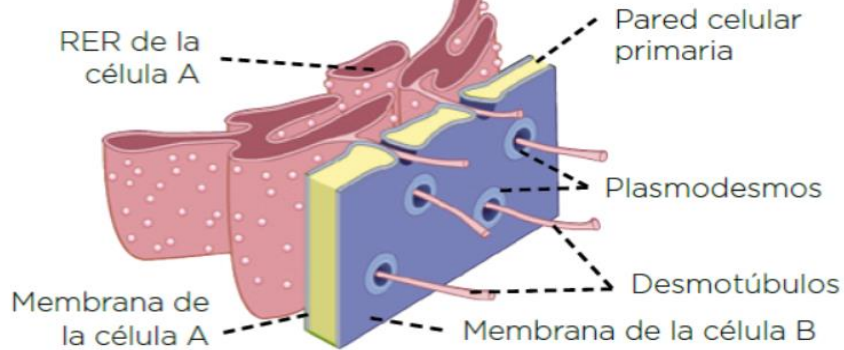


Uniones tipo GAP



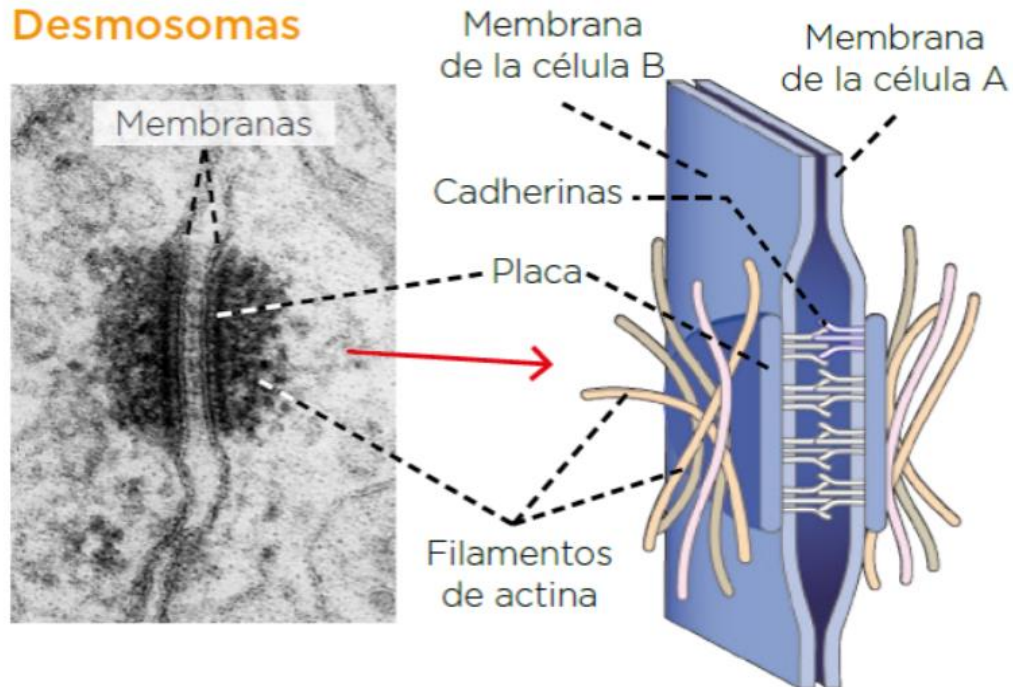
- **Los plasmodesmos.** Son uniones comunicantes, similares a las uniones tipo GAP, típicas de las células vegetales. En ellas se interrumpe la pared celular y las membranas de las dos células forman **desmotúbulos** que unen los citoplasmas.

Plasmodesmos



- **Las uniones adherentes o desmosomas.** Se dan en tejidos sometidos a esfuerzos mecánicos. Están formadas por placas de proteínas transmembrana llamadas cadherinas, a las que se une el citoesqueleto.

Desmosomas



Una de las funciones más importantes de la membrana plasmática es la de controlar el intercambio de sustancias con el medio extracelular. Esta función es llevada a cabo mediante mecanismos de transporte selectivo de moléculas.

En función de su tamaño, las moléculas atraviesan la membrana mediante diferentes mecanismos:

- Las moléculas pequeñas pueden atravesar la membrana por **difusión** a través de la bicapa de lípidos o pasando por **canales de proteínas transmembrana**.
- Las macromoléculas, las partículas o incluso otras células que no pueden atravesar físicamente la membrana plasmática pueden entrar y salir de la célula por medio de mecanismos como la **endocitosis** y la **exocitosis**, que implican la formación de vesículas de membrana que las contienen.

5.1

La difusión

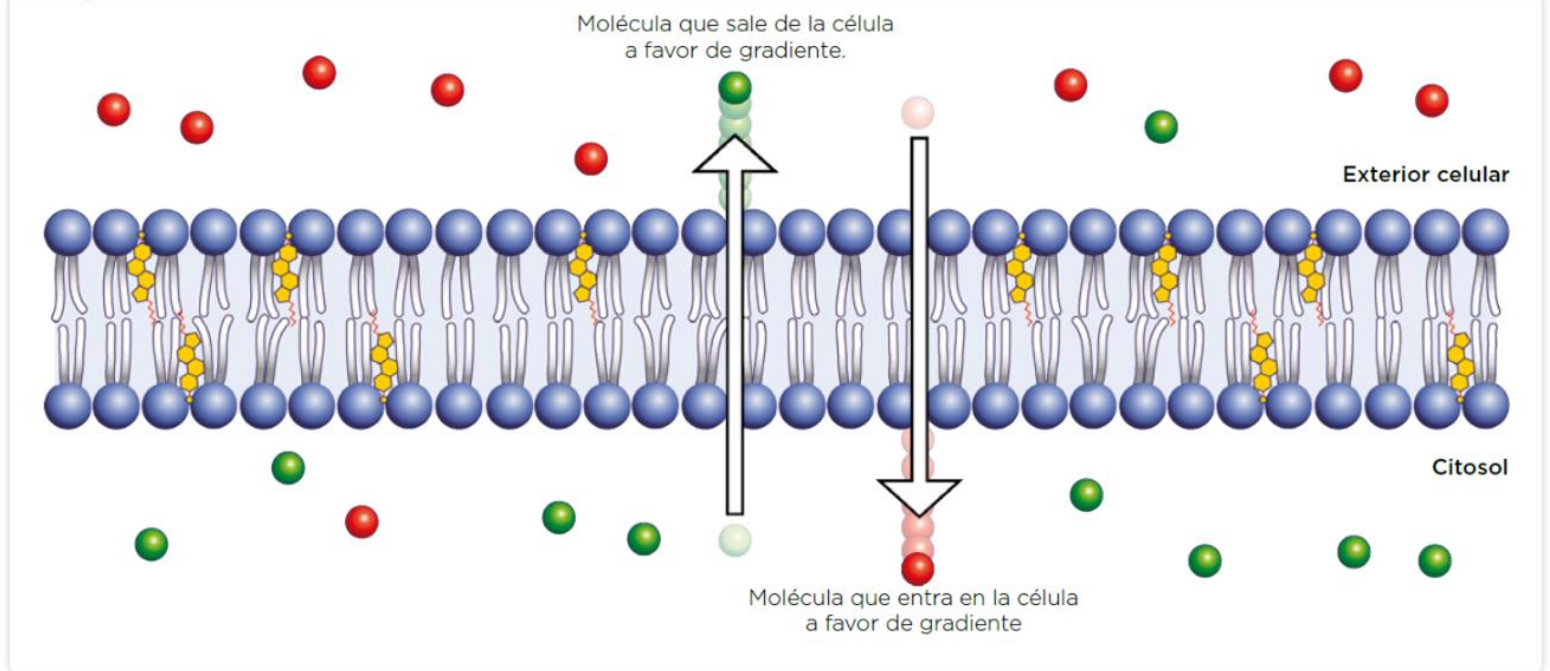
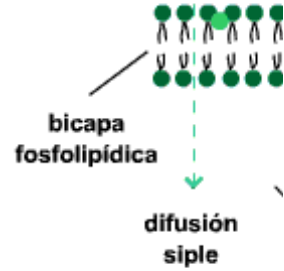
La **difusión** es el mecanismo mediante el cual se transportan pequeñas moléculas a través de la membrana plasmática **a favor de su gradiente de concentración y sin gasto energético.**

Mediante la difusión, las moléculas entran o salen de la célula desde el lado de la membrana donde su concentración es mayor hasta el lado donde su concentración es menor. Este tipo de transporte es espontáneo y tiene lugar hasta que las concentraciones se igualan a ambos lados de la membrana y no requiere un gasto energético para la célula.

Existen dos tipos de difusión a través de la membrana plasmática: la difusión simple y la difusión facilitada.

La difusión simple

Es el mecanismo de difusión más sencillo. Mediante la difusión simple se transportan moléculas de pequeño tamaño, sin carga eléctrica y con carácter hidrofóbico. Debido a sus características fisicoquímicas, estas sustancias pueden atravesar directamente la bicapa lipídica. Los gases, como el dióxido de carbono y el oxígeno, se transportan mediante este mecanismo.

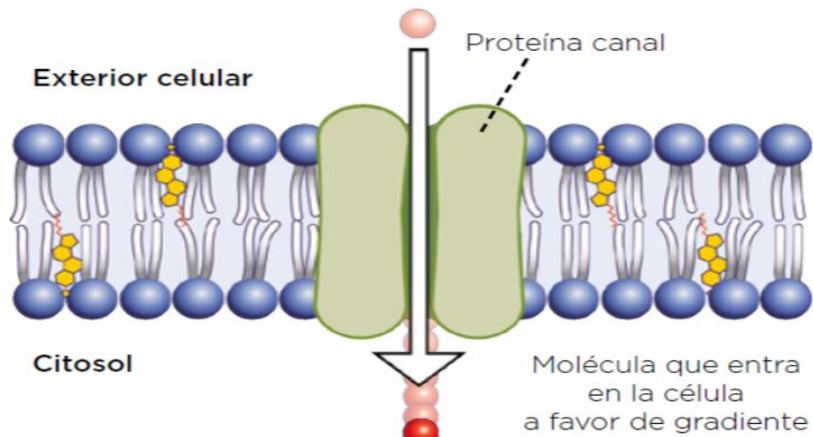


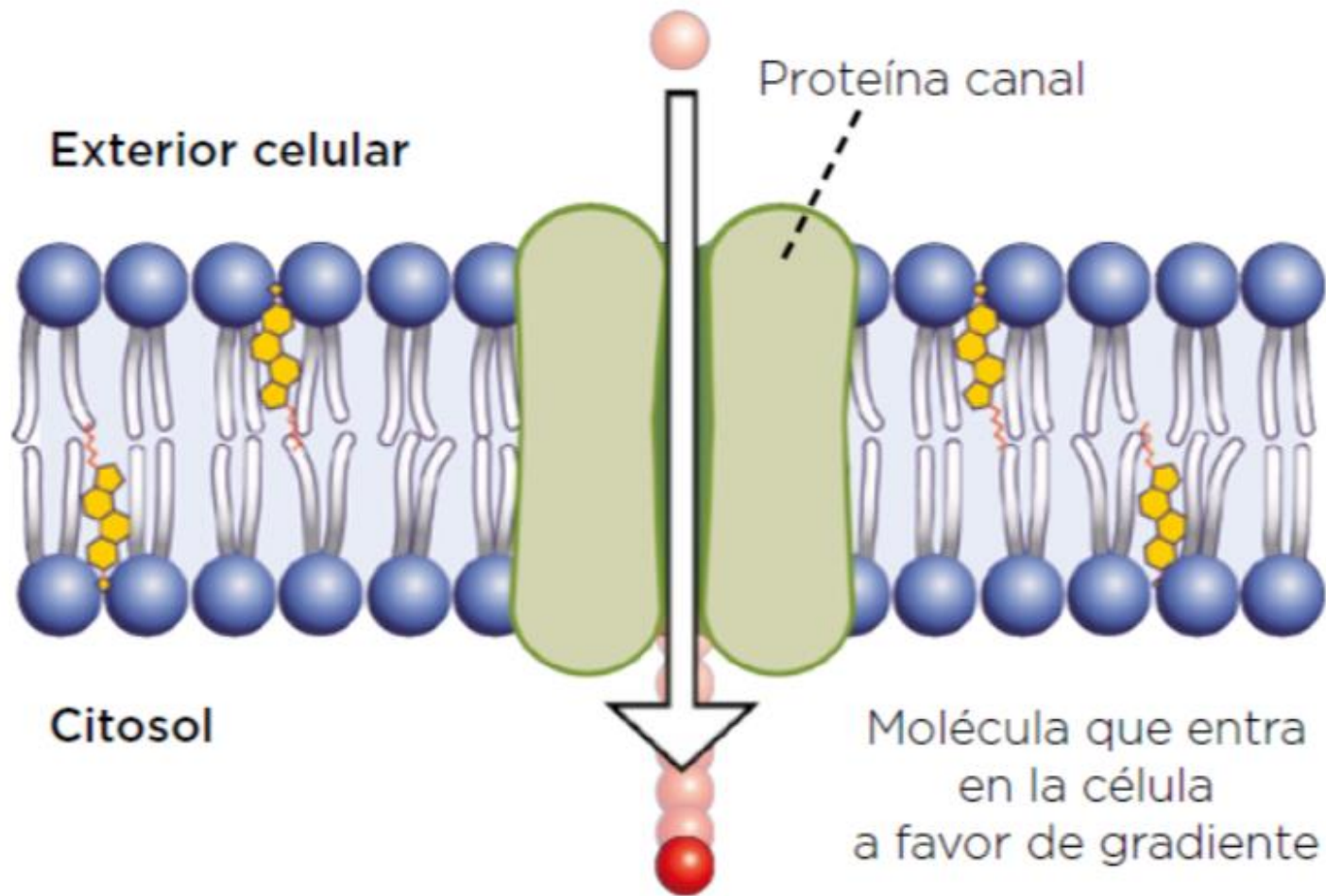
La difusión facilitada

Es un mecanismo de difusión más complejo y selectivo que la difusión simple, por el que se transportan moléculas que, por su tamaño, su polaridad o su carga eléctrica, no pueden atravesar la membrana por difusión simple.

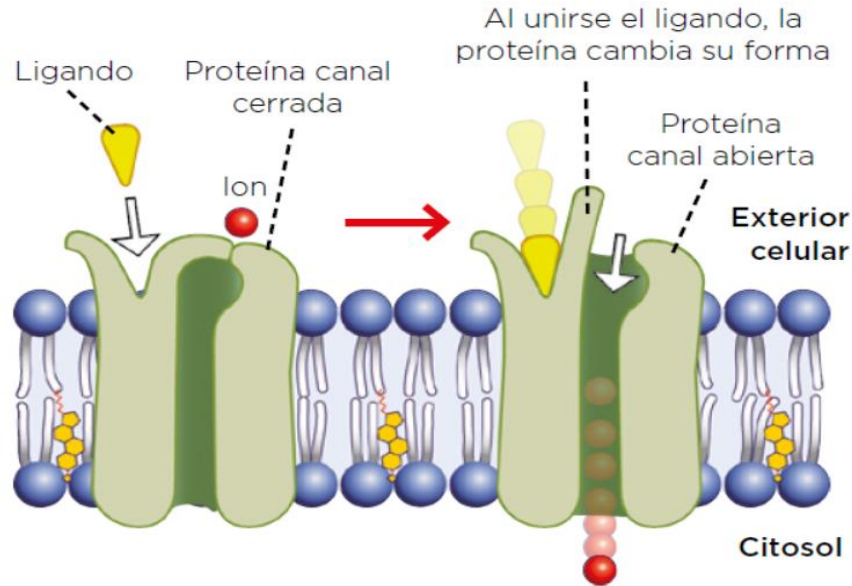
La difusión facilitada requiere proteínas integrales de la membrana (proteínas transmembrana) que pueden ser de dos tipos:

- **Las proteínas canal.** Son proteínas transmembrana que tienen sus radicales apolares dirigidos hacia la bicapa lipídica mientras que, en su interior, los radicales polares se orientan formando un pequeño canal de carácter hidrofílico. De este tipo son los **canales iónicos**, por los que pueden transportarse pequeñas moléculas polares o con carga eléctrica como los iones y el agua.





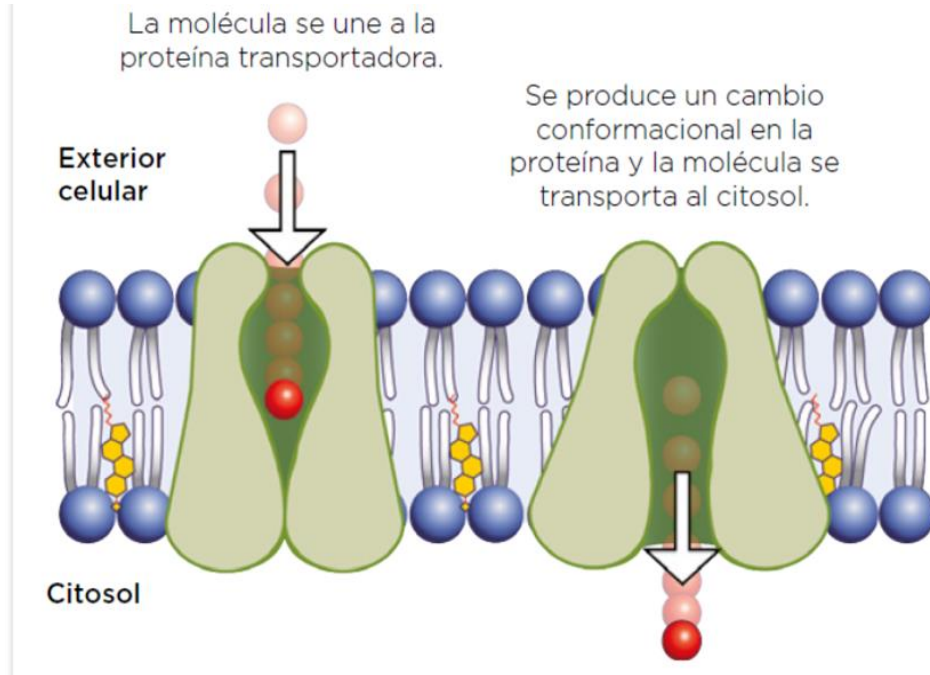
Por lo general, estos canales no se encuentran abiertos permanentemente, sino que se abren como consecuencia de un estímulo. En los **canales regulados por voltaje**, el estímulo es una diferencia de potencial entre las caras de la membrana, mientras que en los **canales regulados por ligando**, el estímulo es una molécula específica que se une a la proteína canal. Por ejemplo, durante la transmisión del impulso nervioso, los canales de sodio y potasio de la membrana de la neurona se abren o cierran en función de la polarización de las dos caras de la membrana.



El ion entra en la célula a favor de gradiente.

- **Las proteínas transportadoras.** Son proteínas transmembrana que transportan moléculas de forma muy selectiva. La molécula que se va a transportar se une a la proteína transportadora de forma específica, induciendo en ella un cambio conformacional. Como resultado de este cambio, la molécula es liberada al otro lado de la membrana plasmática.

Los monosacáridos y los aminoácidos se transportan mediante este mecanismo.



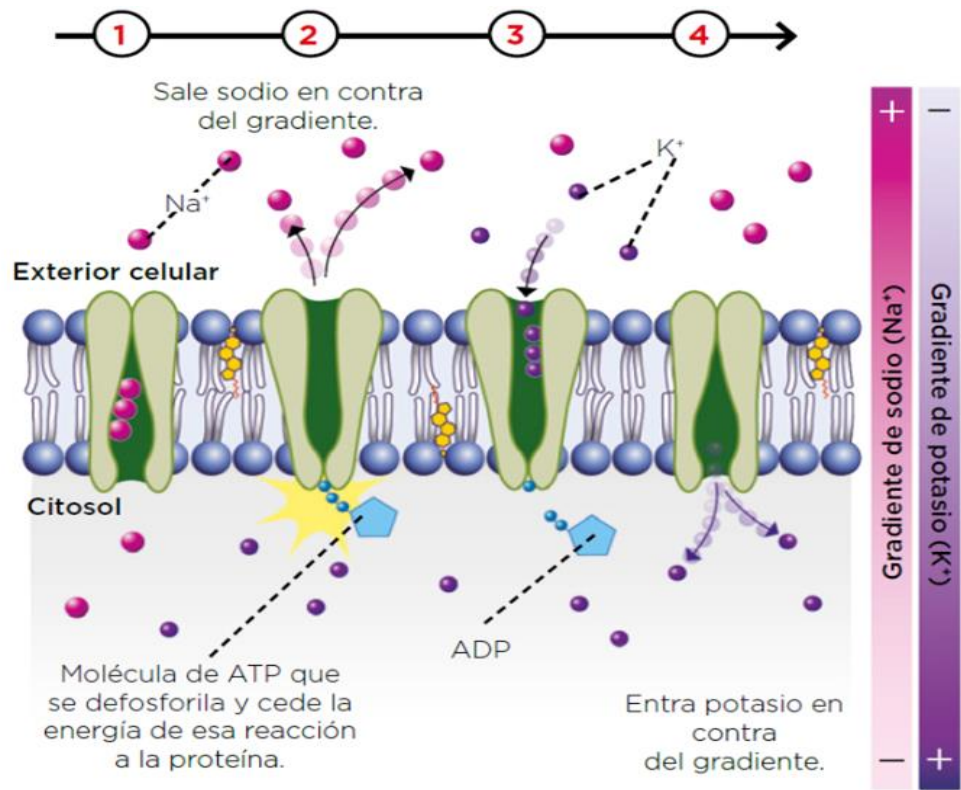
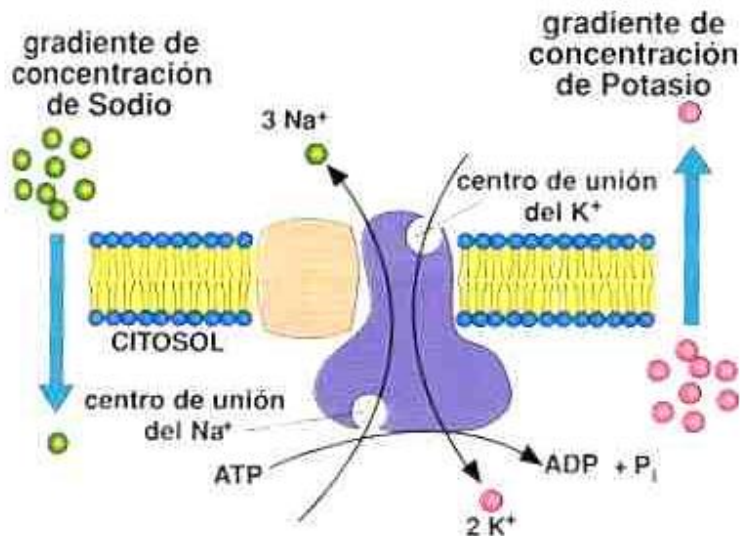
5.2

El transporte activo

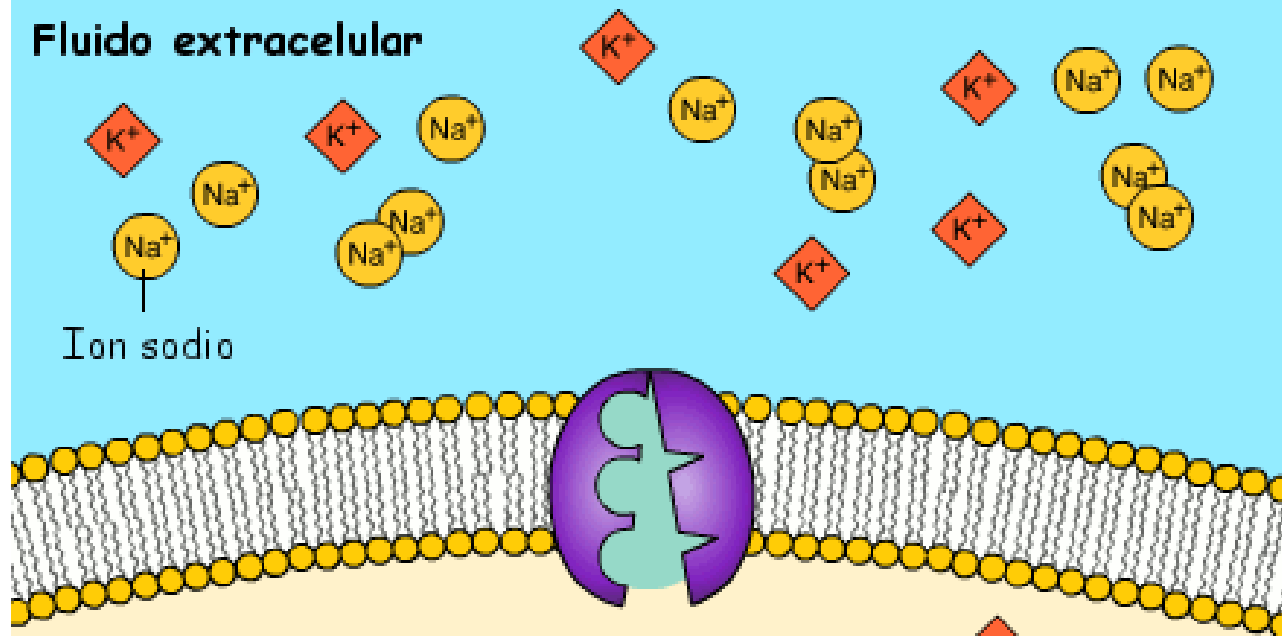
El **transporte activo** es el mecanismo mediante el cual se transportan pequeñas moléculas a través de la membrana plasmática **en contra de su gradiente de concentración**, lo que **requiere un aporte energético**.

Hay moléculas, como ciertos iones, la glucosa o los aminoácidos, que deben atravesar la membrana plasmática en contra de su gradiente de concentración; es decir, desde el lado de la membrana donde su concentración es menor hasta el medio donde su concentración es mayor. Estas moléculas atraviesan la membrana mediante el mecanismo de transporte activo, que implica un aporte de energía, y que es llevado a cabo por proteínas transmembrana denominadas **bombas**. Según la procedencia de la energía necesaria para el transporte, se diferencian dos tipos de transporte activo:

- El transporte activo primario.** El aporte de energía procede de la hidrólisis del ATP. Por ejemplo, la bomba de Na^+/K^+ , que juega un papel fundamental en el mantenimiento del equilibrio osmótico de la célula, introduce K^+ en la célula, al mismo tiempo que libera Na^+ al medio extracelular. En ambos casos en contra del gradiente de concentración.

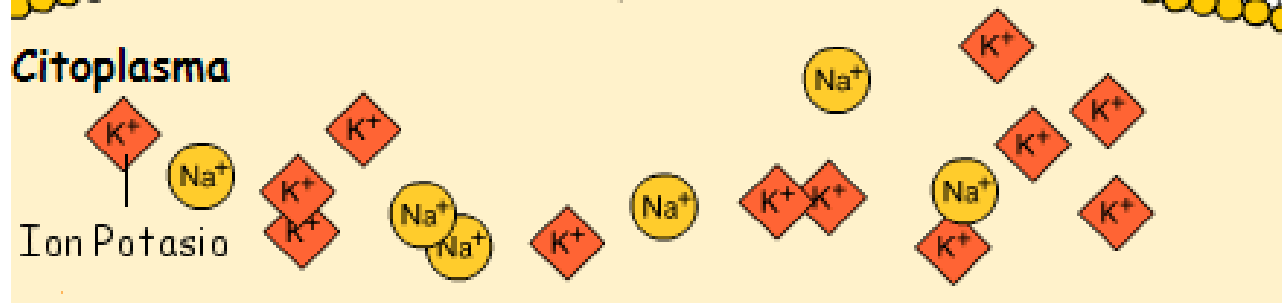


Fluido extracelular



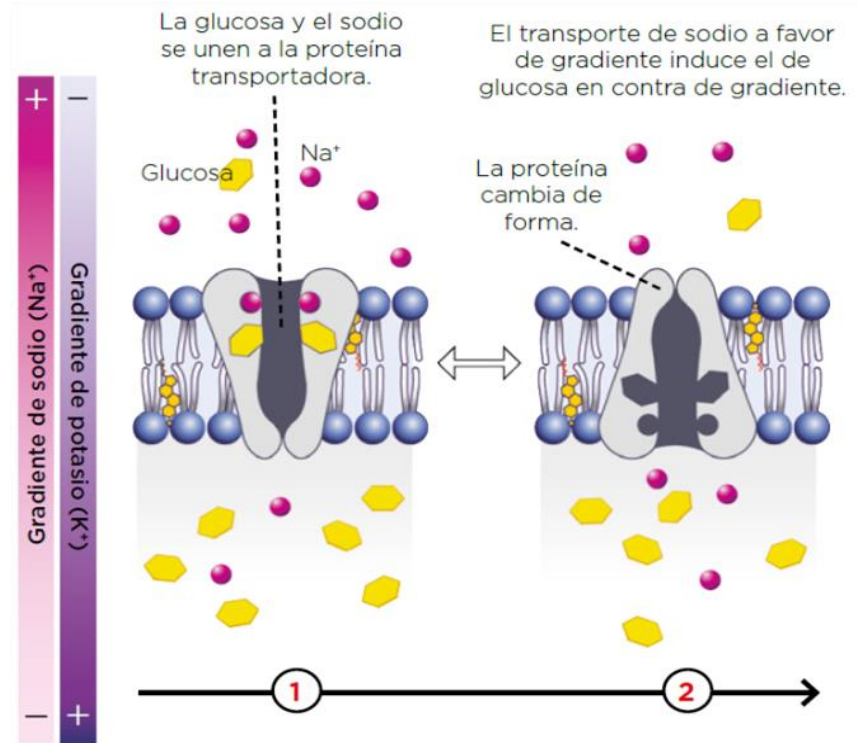
Ion sodio

Citoplasma



Ion Potasio

- **El transporte activo secundario o cotransporte.** Utiliza la energía liberada por una reacción acoplada, generalmente el transporte de otra molécula a favor de gradiente. Así, se aprovecha un transporte pasivo a favor de gradiente para transportar otra molécula en contra de gradiente. Se llama **simporte**, cuando las dos moléculas se transportan en el mismo sentido, y **antiporte**, si lo hacen en sentido contrario. Un ejemplo es la absorción de glucosa en las células intestinales, que es introducida en la célula en contra de gradiente, al mismo tiempo que el Na^+ entra en la célula a favor de gradiente.



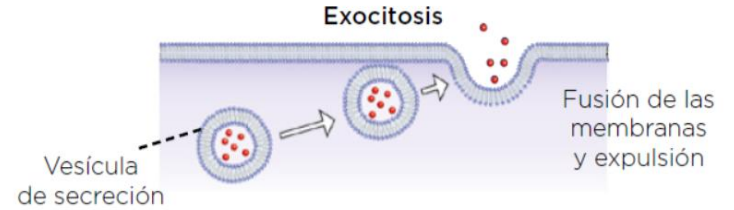
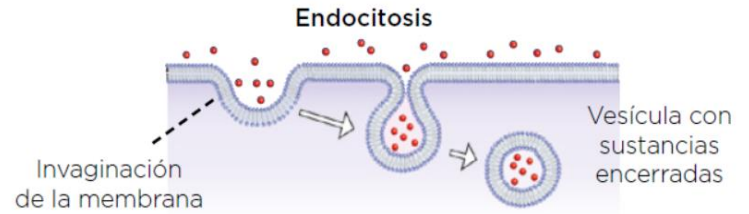
5.3

La endocitosis y la exocitosis

Mediante la **endocitosis** y la **exocitosis** pueden entrar y salir de las células sustancias de gran tamaño, como macromoléculas, partículas e incluso otras células. Estos mecanismos implican la formación de **vesículas**.

La endocitosis

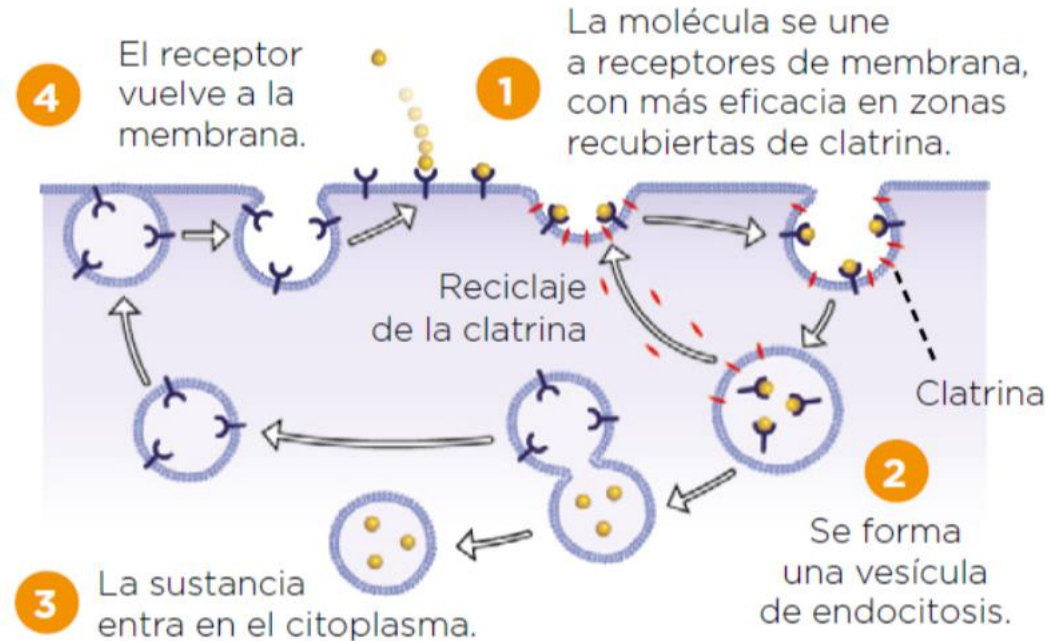
La endocitosis es un mecanismo de entrada a la célula mediante la formación de una vesícula cuando la membrana plasmática rodea y encierra el material que se introducirá en el citoplasma. Se llama **pinocitosis** si el material que la célula incorpora es un líquido, o **fagocitosis** si lo que la célula capta mediante grandes vesículas son partículas, residuos celulares e incluso células enteras. La



endocitosis puede ser:

- **Endocitosis constitutiva.** Se produce de forma inespecífica y continua.
- **Endocitosis mediada por receptor.** La célula reconoce una sustancia mediante receptores específicos situados en unas depresiones de la membrana, revestidas en su cara interna por proteínas como la **clatrina**. En estas zonas se concentran las sustancias unidas a sus receptores específicos, aumentando así la velocidad y eficacia del transporte.

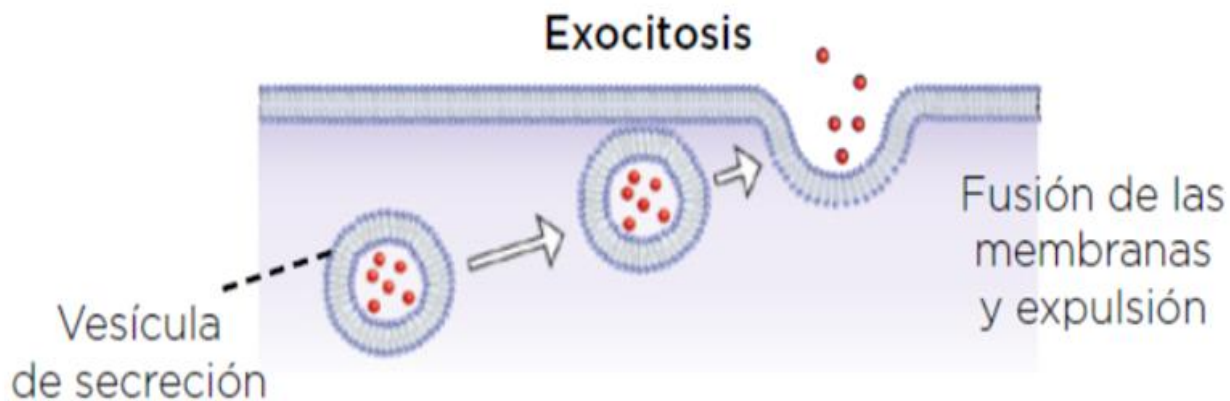
Así se absorbe el colesterol en las células animales.



La exocitosis

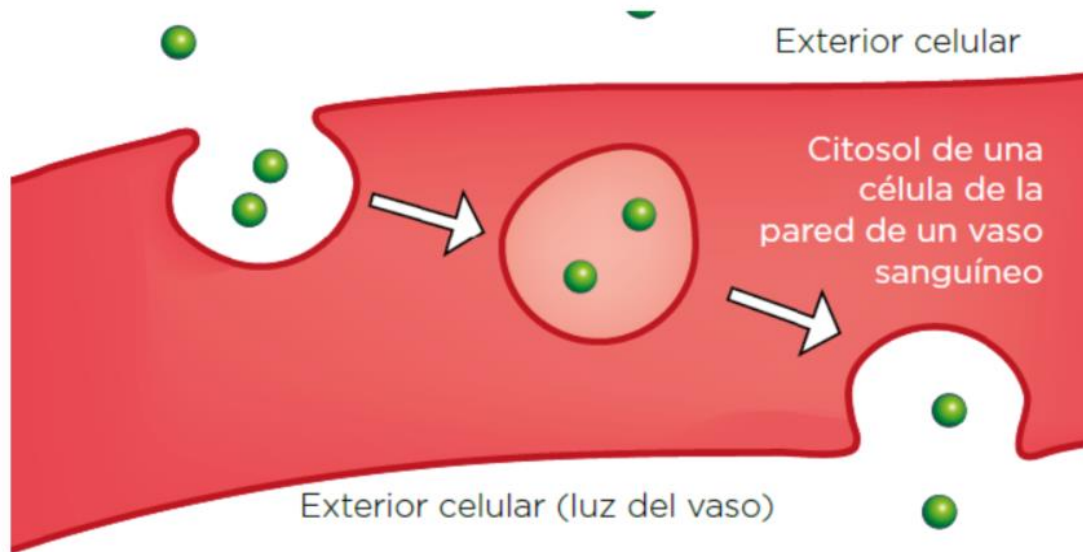
La exocitosis es el mecanismo por el que vesículas llenas de sustancias, llegan a la membrana desde el citoplasma, se fusionan con ella y vierten su contenido al exterior.

Así es como las células segregan al medio extracelular las macromoléculas que se sintetizan en el retículo endoplasmático y el aparato de Golgi y que son englobadas en vesículas generadas a partir de la membrana de estos orgánulos.



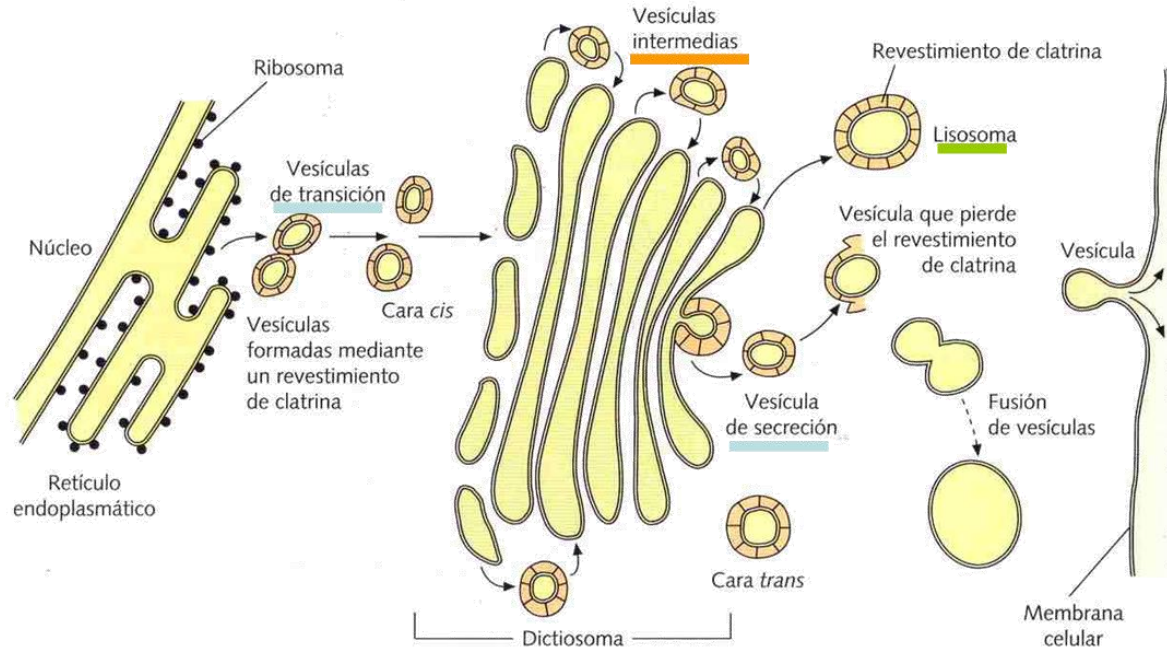
La transcitosis

La transcitosis es un mecanismo en el que ciertas macromoléculas captadas por endocitosis se liberan por exocitosis tras atravesar la célula.



El tráfico de vesículas en el interior de las células

En las células eucariotas se da un **transporte intracelular** entre orgánulos y compartimentos celulares. Se produce mediante vesículas que se generan en unos orgánulos, que migran por el citoplasma y que se unen de forma específica a través de proteínas integrales a las membranas de los orgánulos diana.



Las envolturas celulares son entramados moleculares complejos y diversos, **secretados por las células**, y que las recubren y las integran en los tejidos. En las células animales son la **matriz extracelular** y el **glucocálix**. En las células de las plantas, algas, hongos y bacterias, es la **pared celular**.

6.1

La matriz extracelular y el glucocálix

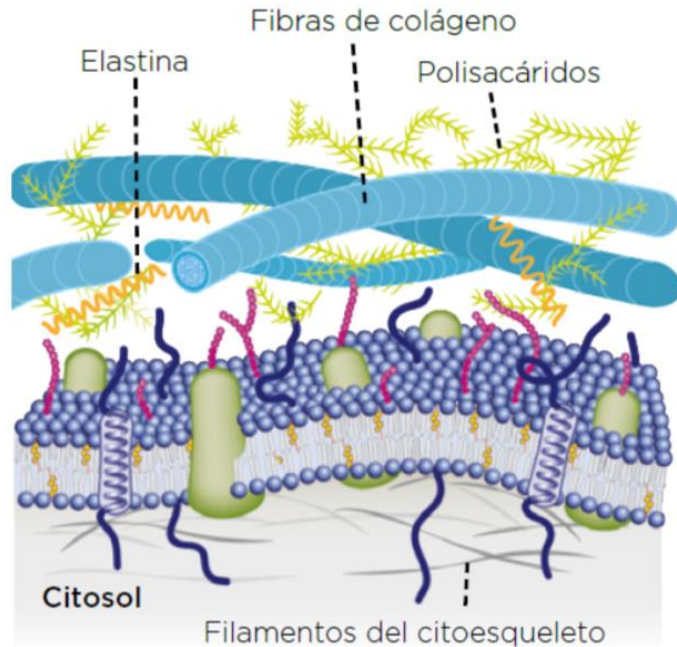
Estas envolturas de las células animales no son rígidas y a menudo están relacionadas a través de interacciones entre sus componentes.

La matriz extracelular

La **matriz extracelular** (MEC) es un conjunto de **proteínas fibrosas** y **polisacáridos** secretados al exterior por las células eucariotas animales y que las integra en los tejidos de los que forman parte.

Su composición difiere en cada tejido, pero, en general, tiene dos partes:

- **La matriz fibrilar.** Es una red de proteínas fibrosas. Entre ellas destacan el **colágeno**, la más abundante, que proporciona resistencia a la rotura, y la **elastina**, que forma un entramado de fibras capaz de estirarse y que proporciona elasticidad a tejidos que lo requieren, como ligamentos, pulmones o vasos sanguíneos.



- **La matriz amorfa.** Es un gel acuoso en cuya composición hay: polisacáridos como los **glucosaminoglucanos** (GAG), por ejemplo, el **ácido hialurónico**, cuya hidratación es responsable de la viscosidad de la matriz; **proteoglucanos**, que son GAG unidos a una proteína central; y **glucoproteínas**, como la **fibronectina**, que favorecen la adherencia de las células al colágeno y los proteoglucanos. Esta matriz es la que se endurece en los tejidos de sostén (huesos) debido a iones como el calcio.

La matriz extracelular interviene en importantes funciones, como la **conexión de las células** en los tejidos y órganos, la **compresión y estiramiento de los tejidos**, la **regeneración tisular** en caso de daño y el **transporte de sustancias entre células** mediante la circulación del líquido intersticial, en el que viajan disueltos los nutrientes, desechos, gases, hormonas, etc.

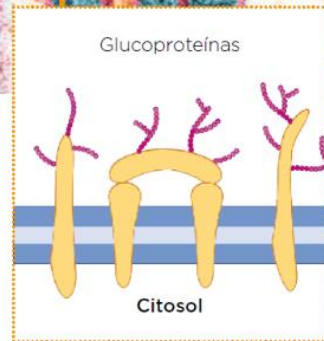
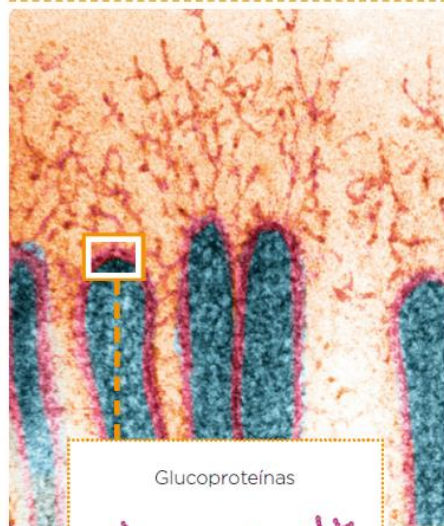
El glucocálix

El **glucocálix** es un **conjunto de glucolípidos y glucoproteínas** que en algunas células animales **forma parte de la cara de la membrana celular que está en contacto con el medio extracelular**.

Esta capa, que es específica o característica de cada tipo celular, participa en las siguientes funciones, ya que interviene en:

- El **reconocimiento celular**, como entre el óvulo y el espermatozoide.
- La **absorción celular**, como en las células epiteliales intestinales.
- La **protección mecánica y química de las células**, como en los epitelios de las mucosas.
- El **movimiento** y la **adherencia celular**, a través de su interacción con la matriz extracelular.
- El **guiado de las células embrionarias** a su destino en el cuerpo durante el desarrollo embrionario.

Glucocálix



6.2

La pared celular

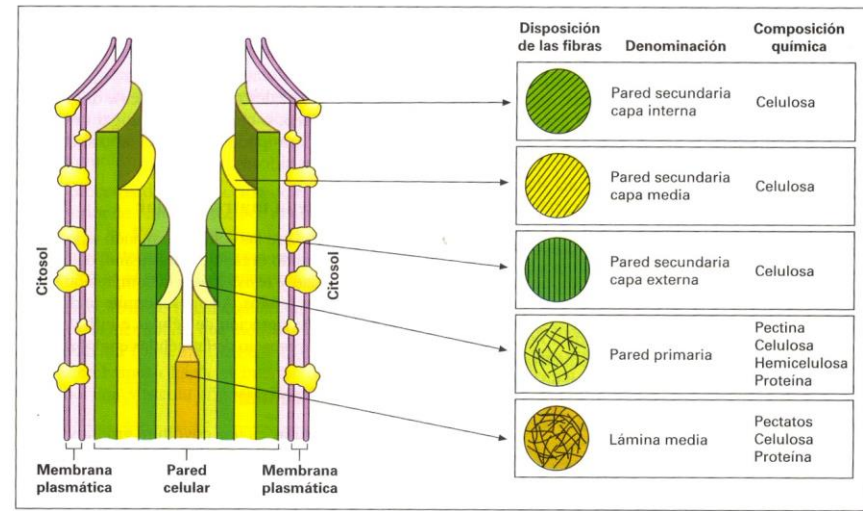
La **pared celular** es una **envoltura resistente**, situada en el exterior de la membrana de las células eucariotas de **plantas, algas y hongos** y de las células procariotas como las de las **bacterias**.

• La **pared celular de las plantas y las algas**. Tiene tres capas que se van formando a lo largo de la vida celular:

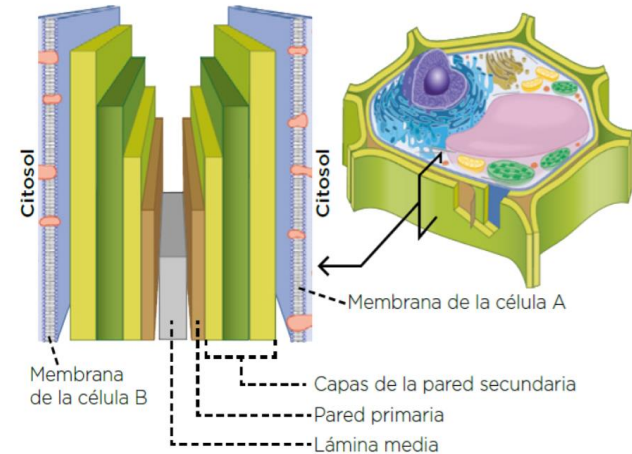
- **Lámina media**. Se compone sobre todo de **pectina** y es la primera capa que se forma, durante el crecimiento celular, cuando dos células vecinas la segregan a la vez, de forma que quedan comunicadas.

- **Pared primaria**. Se forma después de la lámina media, entre esta y la membrana. Es una fina capa de **fibras de celulosa**, cementadas con una mezcla de **agua, hemicelulosa, pectina, monosacáridos y proteínas**. Permite el crecimiento celular porque no es rígida.

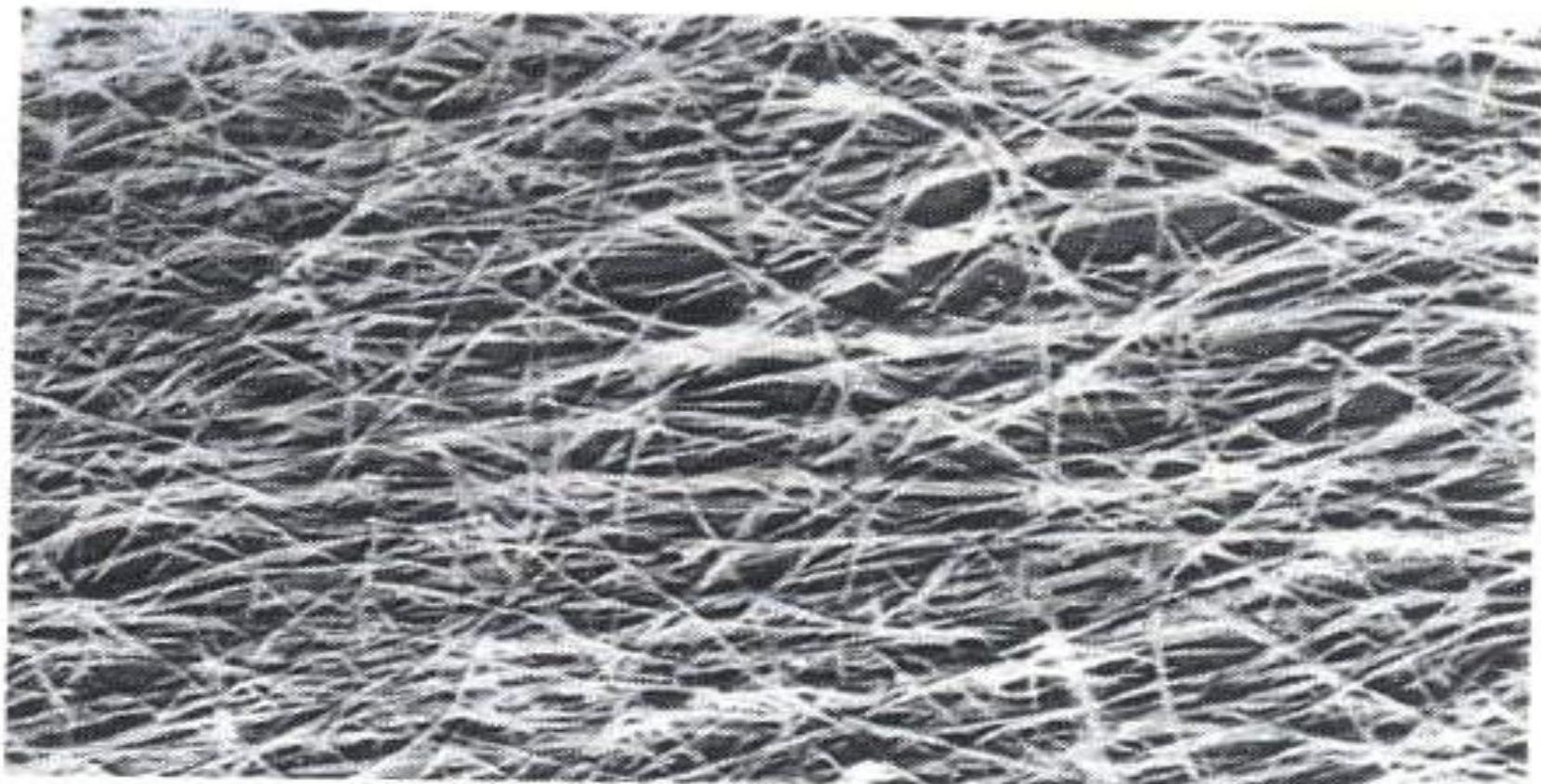
- **Pared secundaria**. Es una gruesa capa que la célula segrega entre la membrana plasmática y la pared primaria solo cuando concluye su crecimiento. Se compone de una **sucesión de capas de fibras de celulosa** orientadas en distintas direcciones e impregnadas de diversas sustancias como **lignina, suberina, cutina o sales minerales** que la hacen resistente y rígida, de modo que impide el crecimiento celular.



Pared de las células de las plantas y de las algas

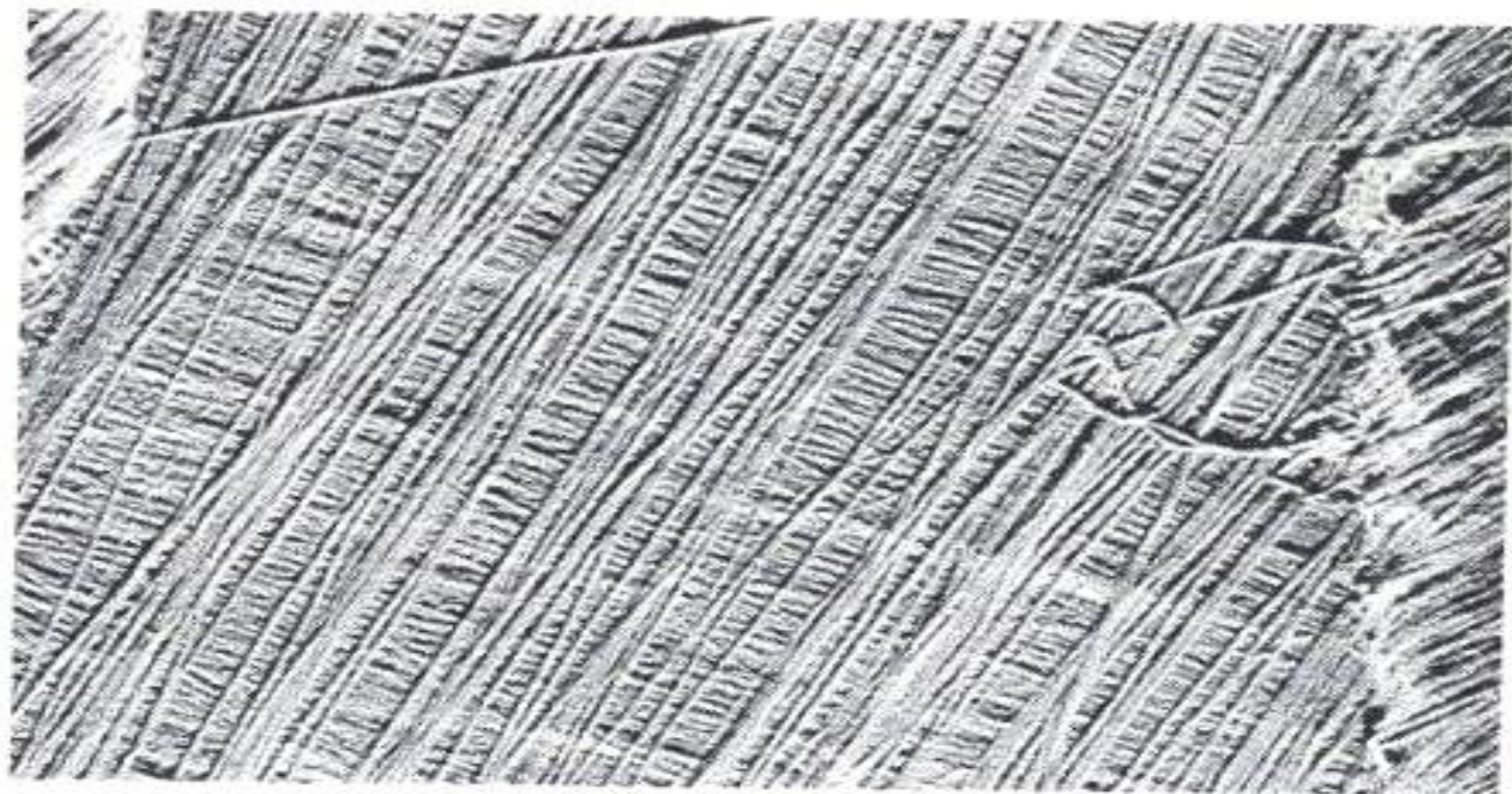


Pared primaria



1 μm

Pared secundaria



0,2 μm



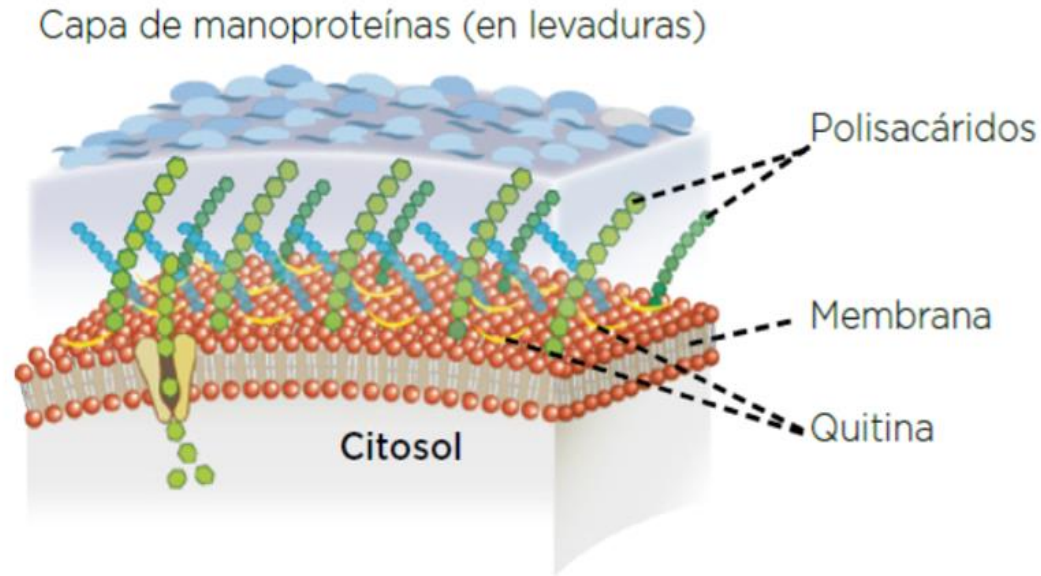
Curiosidad

La **lámina media** que forma parte de la pared celular de vegetales es una capa muy fina que puede descomponerse con facilidad. Cuando esto ocurre, las células que mediante ella estaban unidas se quedan sueltas y se separan en células individuales.

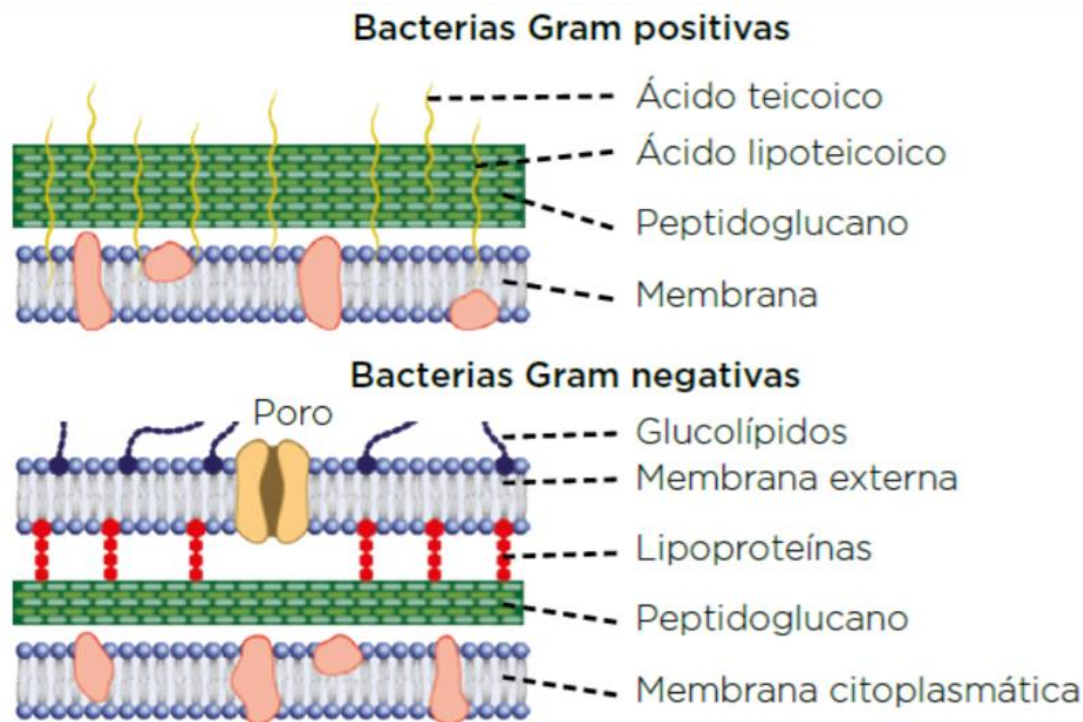
Cuando afirmamos que las manzanas se vuelven "**harinosas**" lo que ha ocurrido es que se produce una disolución de esta capa por acción de pectinasas, lo que lleva al ablandamiento de los tejidos.



- **La pared celular de los hongos.** Es bastante rígida debido a que se compone, sobre todo, de **quitina**, un polímero de N-acetilglucosamina que también compone los exoesqueletos de los artrópodos.



- **La pared celular de las bacterias.** Es una envoltura rígida principalmente de **peptidoglucano**, aunque existen variaciones entre los distintos grupos de moneras.



Funciones de la pared celular

Las paredes celulares son estructuras que, aunque son resistentes, permiten el intercambio de sustancias. Sus características hacen que desempeñen funciones como:

Función esquelética. La pared mantiene la forma de la célula y evita su rotura, en especial frente a los cambios en la turgencia derivados de la presión osmótica. Asimismo, en plantas, algas y hongos pluricelulares, la pared proporciona la suficiente rigidez y resistencia a sus estructuras como para proporcionar sostén.

Función protectora. La resistencia de la pared proporciona protección a la célula. Por ejemplo, la de las bacterias les permite sobrevivir en condiciones desfavorables del medio. Y en las plantas, la pared secundaria confiere, a partes de la planta como la corteza, impermeabilidad, aislamiento y defensa frente a parásitos.