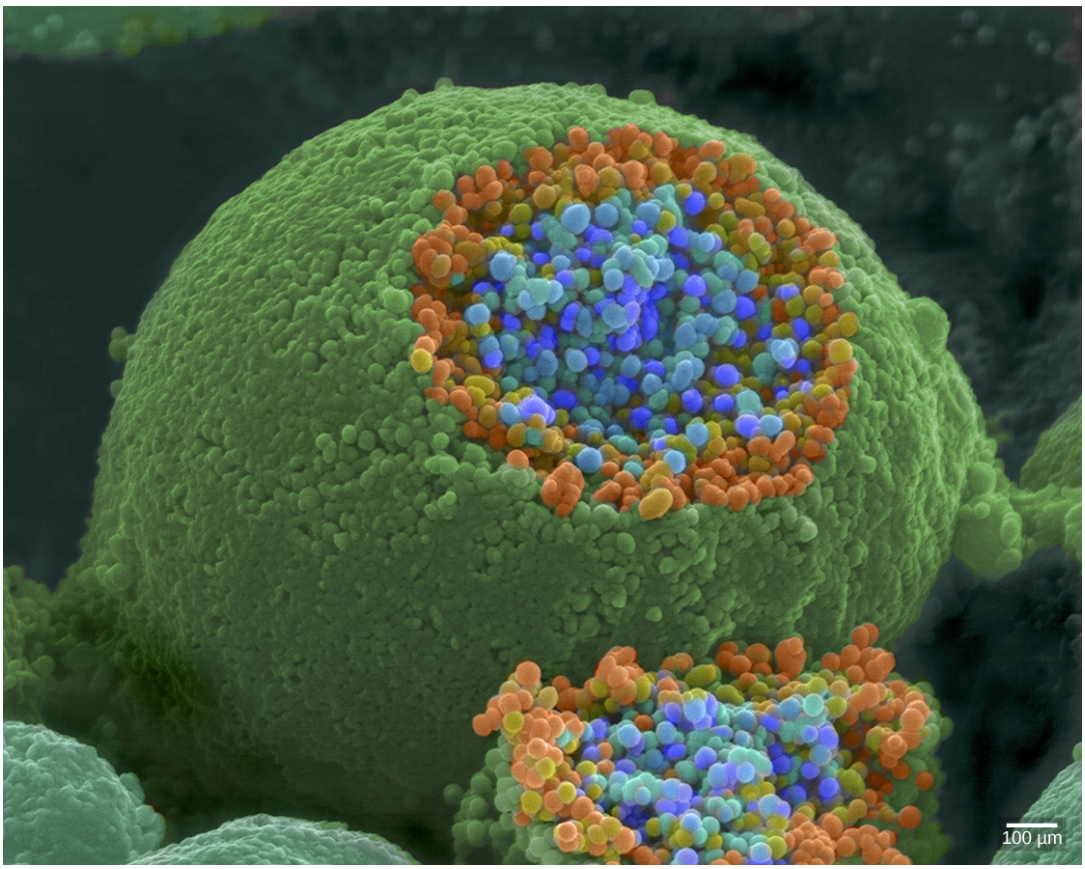
TEMA 2.2: LA CÉLULA EUCARIOTA

1- INTRODUCCIÓN
2- LA MEMBRANA PLASMÁTICA
3- LA PARED CELULAR
4- EL CITOPLASMA
5- SISTEMAS DE MEMBRANAS
    5.1 EL RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO
    5.2 EL APARATO DE GOLGI
6- ORGÁNULOS CELULARES
    6.1 LOS LISOSOMAS
    6.2 LOS PEROXISOMAS
    6.3 LAS MITOCONDRIAS
    6.4 LOS CLOROPLASTOS
    6.5 VACUOLAS E INCLUSIONES
    6.6 LOS RIBOSOMAS
    6.7 EL CENTROSOMA
7- MOVILIDAD CELULAR: CILIOS Y FLAGELOS
8- EL NÚCLEO CELULAR
    8.1 EN INTERFASE
    8.2 EN DIVISIÓN

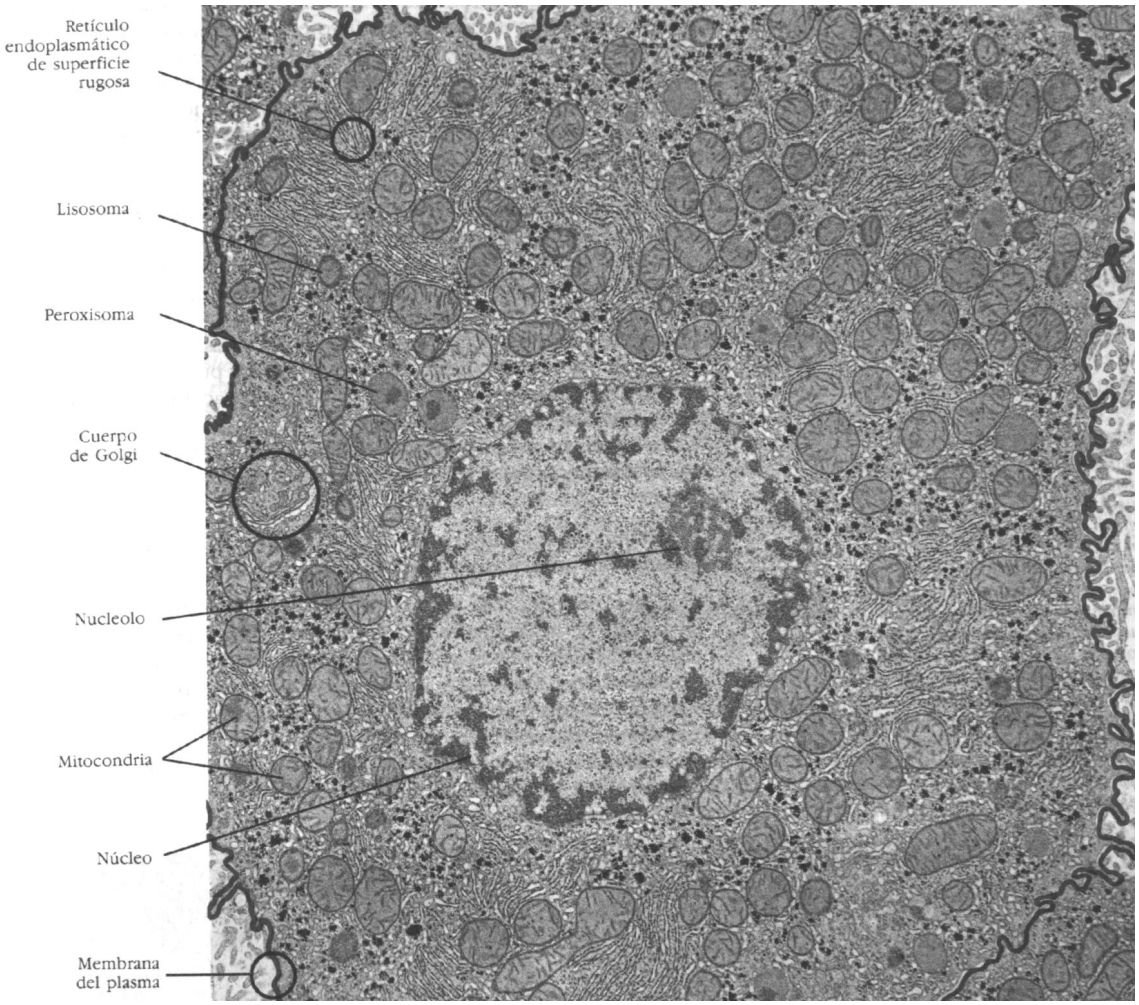


Botón sináptico del axón de una neurona, en que las vesículas (en azul y naranja) liberan el neurotransmisor

1- INTRODUCCIÓN

La célula eucariota (de *eu*: verdadero y *karion*: núcleo) se caracteriza por tener el material genético encerrado en una estructura específica que es el núcleo y presenta un mayor tamaño y una mayor complejidad estructural (con la presencia de orgánulos y estructuras membranosas) que la célula procariota. Las partes de la célula eucariota son las siguientes:

- La **membrana celular** o plasmática, que en algunos organismos como plantas y hongos está rodeada de una **pared celular** rígida.
- El **citoplasma** que consta de una solución acuosa (**citosol**) en la que se encuentran las fibras del **citoesqueleto** y estructuras como los **sistemas de membranas** y los **orgánulos**, cada una con una función metabólica específica y cuya presencia, desarrollo, número y distribución varía según el tipo celular.
- El **núcleo**, en donde se encuentra el ADN.



Vista general de una célula eucariota (Hepatocito de rata)

2- LA MEMBRANA PLASMÁTICA

2.1 LA ESTRUCTURA EN MOSAICO FLUIDO

La membrana plasmática es la estructura que rodea la célula, definiendo su forma y extensión. Como su grosor oscila entre 7 y 9 nm, sólo es visible al microscopio electrónico. Actualmente, para comprender su estructura y composición se aplica el modelo de **mosaico**

fluido de Singer y Nicholson propuesto en 1972. Según este modelo, los principales constituyentes de la membrana plasmática son lípidos y proteínas.

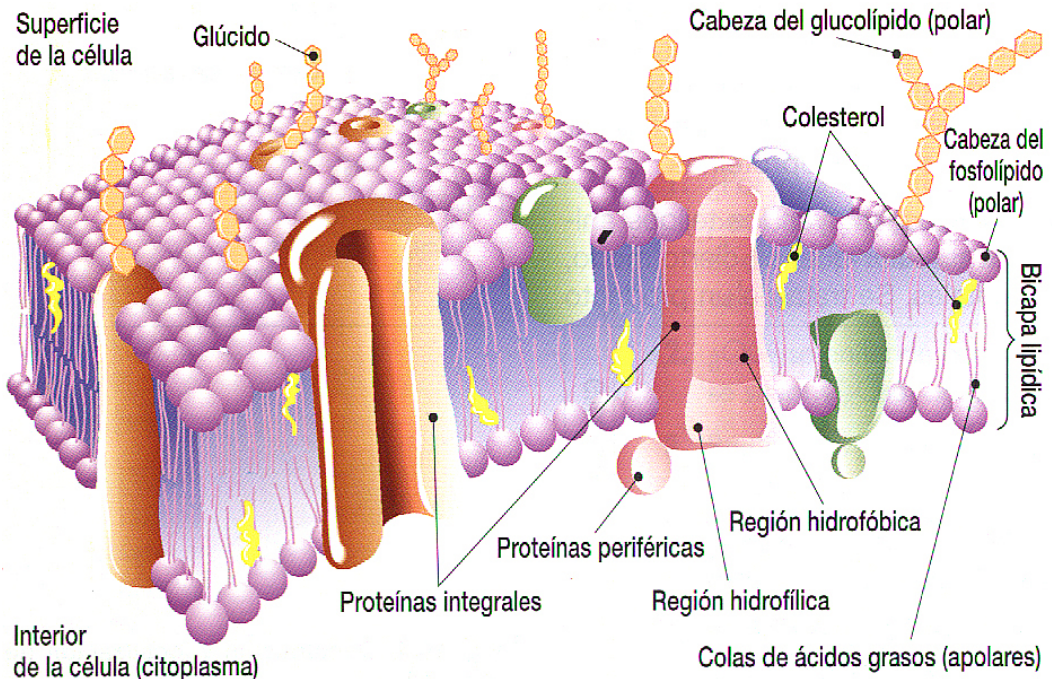
Los lípidos son fundamentalmente **fosfolípidos** que se disponen espontáneamente en forma de bicapa, de manera que las cabezas hidrófilas se sitúan hacia el medio externo e interno de la célula, mientras que las cadenas hidrófobas de los ácidos grasos se disponen hacia el interior de la bicapa. Otro lípido muy importante componente de la bicapa (especialmente en células animales) es el **colesterol**, que se intercala entre los fosfolípidos con su grupo hidroxilo del carbono 3 como cabeza polar para aumentar la fluidez de la membrana.

Las proteínas tienen funciones enzimáticas, de transporte de sustancias a través de la membrana o de recepción de mensajes químicos (los receptores). Son de dos tipos según su posición en la membrana:

a) **Proteínas integrales** o **intrínsecas**, si presentan una parte inmersa en la bicapa. Al igual que los fosfolípidos, estas proteínas son anfipáticas por lo que la parte hidrofóbica se sitúa en el interior de la bicapa interaccionando con los ácidos grasos. Si la proteína atraviesa totalmente la membrana, exponiendo sus extremos a ambos lados, reciben el nombre de **proteínas transmembrana**.

b) **Proteínas periféricas** o **extrínsecas** si se sitúan en el exterior (en cualquiera de las caras) de la bicapa, unidas a los extremos de las proteínas transmembrana o a cadenas de ácidos grasos. Suelen tener carácter polar.

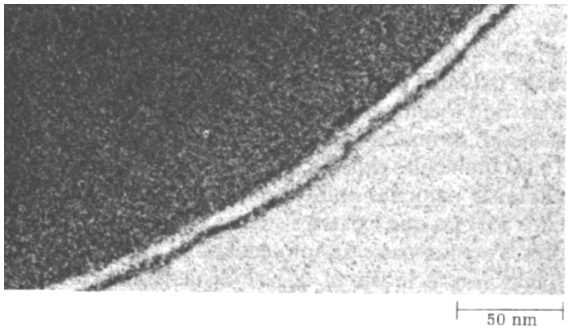
Las proteínas y los lípidos pueden estar unidos a cadenas glucídicas (generalmente oligosacáridos) para formar glucoproteínas y glucolípidos de membrana, pero solamente en la cara externa de la bicapa (o sea, exterior de la célula) para formar el **glucocálix**.



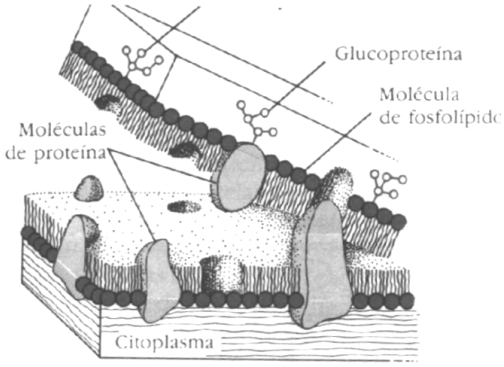
El nombre de **mosaico fluido** se debe, por un lado, a la disposición en mosaico o puzle de lípidos y proteínas y, por el otro, a que estos componentes no están fijos, sino que gozan de cierta movilidad lateral (flexión y rotación) o entre capas, algo que depende de varios factores: el grado de insaturación de los ácidos grasos, la presencia de colesterol y la temperatura. La movilidad (fluidez) desempeña un papel muy importante en las funciones de la membrana, sobre todo en lo referente a la permeabilidad.

2.2 PROPIEDADES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

1. **Asimetría**: las dos caras de la bicapa no son iguales debido a la presencia del glucocálix y a ligeras variaciones en la distribución de los fosfolípidos.
2. **Estructura unitaria**: todas las membranas celulares (presentes en el núcleo, los orgánulos y los sistemas de membrana) tienen la misma estructura que la membrana plasmática.
3. Presenta **diferenciaciones** debidas al desempeño de alguna función concreta y consistentes en la alteración morfológica del contorno de la célula. Éstas pueden ser:
   - Las **microvellosidades** de algunas células epiteliales. Son evaginaciones que aumentan la superficie de absorción intestinal.
   - Las invaginaciones de las células renales que aumentan la superficie de reabsorción de agua en las nefronas.
   - Las **uniones intercelulares** que posibilitan las interacciones entre células vecinas o con la matriz extracelular. Son de tres tipos: estrechas o impermeables (no dejan espacio intercelular, formando barreras que impiden el paso de sustancias como es el caso de los epitelios) comunicantes o gap (en hendidura, que dejan un estrecho espacio intercelular y permiten la comunicación directa entre citoplasmas de células adyacentes), y adherentes o desmosomas (de anclaje entre células, para aumentar la resistencia mecánica del tejido).



Membrana plasmática de un eritrocito.



Glucocálix de un eritrocito.

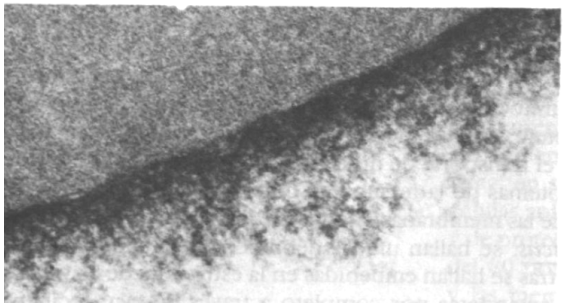
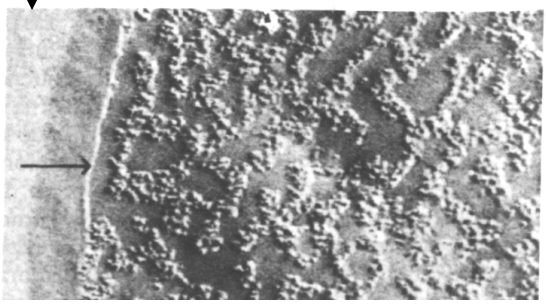


Imagen de la membrana plasmática, obtenida mediante la técnica de criofractura.



2.3 FUNCIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA

1. Constituye el límite de la célula, manteniendo separados el medio acuoso exterior del medio interno.
2. Permeabilidad selectiva de sustancias que entran y salen.
3. Control y conservación del gradiente electroquímico entre el interior y el exterior de la célula (potencial de membrana).

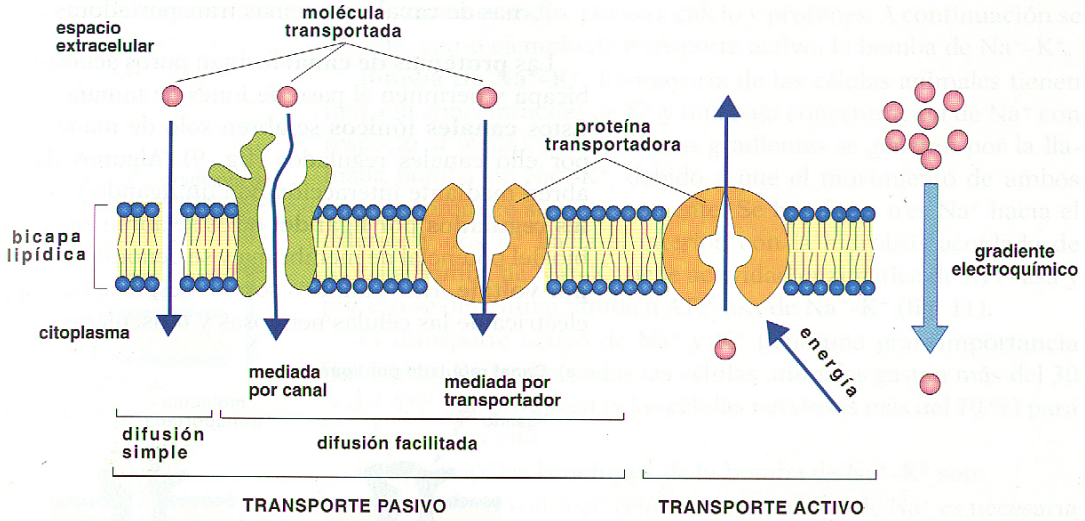
4. Recepción y transmisión de mensajes mediante la unión de mensajeros químicos a las glucoproteínas de membrana, algo que induce cambios en la célula.
5. Contención de moléculas funcionalmente activas (antígenos de los grupos sanguíneos, por ejemplo).

La membrana tiene una permeabilidad selectiva para el paso de sustancias entre el exterior y el interior celular. En el transporte de sustancias a través de la membrana hay que diferenciar entre el transporte de moléculas pequeñas (pasivo y activo) y el transporte de macromoléculas mediante vesículas (la endocitosis y la exocitosis).

El **transporte pasivo** no implica un consumo de energía por parte de la célula, dado que se aprovecha el gradiente químico, teniendo en cuenta que la membrana es permeable a las moléculas muy pequeñas (agua, O_2, CO_2, etanol, urea) y a las sustancias apolares. Se lleva a cabo por tres mecanismos:

- **Ósmosis**: el paso de agua a través de la membrana se realiza mediante este fenómeno físico. Aunque sean polares, las moléculas de agua pueden atravesar la bicapa gracias a su pequeño tamaño y al hecho de que no tengan carga neta.
- **Difusión simple**: paso de pequeñas moléculas a través de la bicapa a favor de un gradiente de concentración. De este modo pasan las sustancias hidrófobas (lipófilas, como algunas hormonas), gases (O_2, CO_2) y pequeñas moléculas polares (etanol, glicerol, urea), que se disuelven en la matriz lipídica de la membrana.
- **Difusión facilitada**: es el transporte de moléculas polares (monosacáridos, aminoácidos, metabolitos) a favor del gradiente de concentración. Como no pueden atravesar la bicapa lipídica, necesitan la intervención de unas proteínas transportadoras llamadas **permeasas,** específicas para las moléculas que transportan, puesto que se unen a ella. Tras la unión, estas proteínas sufren un cambio en la conformación que permiten la translocación de la molécula a través de la membrana, soltándola una vez que se encuentra al otro lado y recuperando después la estructura y posición original. Las sustancias polares con carga (iones) pasan a través de los poros temporales creados por **canales iónicos** formados por proteínas integrales.

En cambio, el **transporte activo** sí que implica un gasto de energía, necesario para vencer el gradiente contra el que se realiza el mismo. Este transporte necesita por una parte el concurso de proteínas integrales llamadas **transportadoras** (que actúan como bombas de impulsión de sustancias), y por otra, la hidrólisis de ATP a ADP para la obtención de la energía mencionada.



Se consideran tres tipos de moléculas transportadoras, distinguiéndose aquellas que transportan una sola molécula cada vez y otras que transportan dos moléculas diferentes; en este caso se habla de sistemas acoplados o cotransportadores:

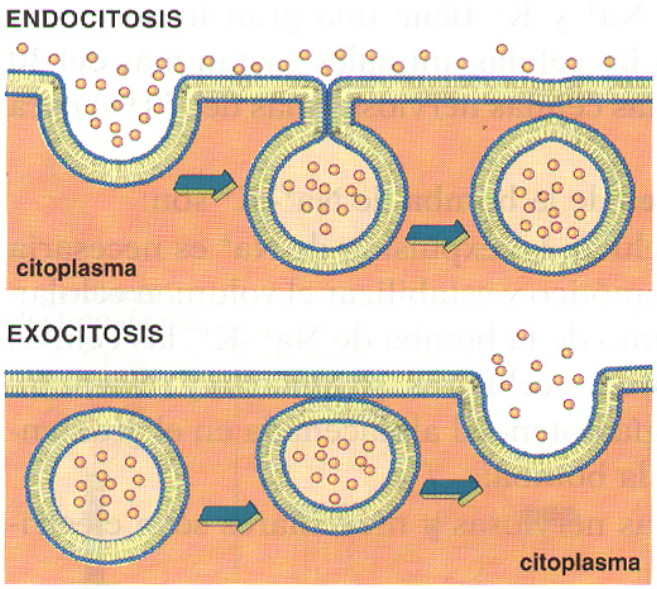
- **Uniporte**: Moléculas que conducen una sola molécula y en un solo sentido.
- **Simporte**: Sistema acoplado en el que la proteína transportadora mueve dos moléculas simultáneamente y en el mismo sentido.
- **Antiporte**: Sistema acoplado en el que se produce el transporte de dos moléculas, de forma simultánea o sucesiva, pero en sentido contrario. Este es el caso de la bomba de Na-K.

La **bomba de Na-K** es una proteína transmembrana que realiza un cotransporte activo (con gasto energético y en contra del gradiente electroquímico) de 2 cationes K^+ hacia el interior y 3 cationes Na^+ hacia el exterior de la célula, lo que hace que se mantenga una diferencia de potencial químico entre ambos lados de la membrana (potencial de membrana), con un interior celular eléctricamente negativo con respecto al exterior. La acción continua de esta bomba, al sacar de la célula más cationes de las que introduce, contribuye a relajar la presión osmótica que las macromoléculas del citoplasma ejercen sobre la membrana y así poder regular el volumen de la célula. Por otra parte, esta bomba, junto con la acción de un canal que saca al exterior los cationes K+, contribuye a la formación en las células de un potencial de reposo, cuyos valores oscilan entre -20 y -200 mV.

El **transporte de macromoléculas** se realiza mediante la participación de vesículas (pequeños sacos membranosos) y se puede realizar de dos maneras:

1- La **endocitosis** consiste en la incorporación de macromoléculas del medio externo mediante la formación de vesículas endocíticas. La membrana celular sufre una invaginación de forma que va rodeando progresivamente a las sustancias hasta que las engloba en una vesícula que se separará por estrangulamiento. Esto requiere un cierto gasto de energía por parte de la célula. Según el tamaño de de las partículas existen dos tipos de endocitosis:

   - **Fagocitosis**: se ingieren moléculas de gran tamaño. Es el caso, por ejemplo, de la ingestión de bacterias por macrófagos.



   - **Pinocitosis**: es la ingestión de sustancias líquidas.

2- La **exocitosis** es la expulsión de sustancias al medio externo mediante la formación de vesículas exocíticas. Es un proceso contrario a la endocitosis, en el que las vesículas que engloban las sustancias que serán expulsadas, migran hacia la membrana y se adhieren a ella por aposición; posteriormente, las membranas se funden y se expulsan las sustancias.

3- LA PARED CELULAR

Numerosos organismos presentan en sus células una pared celular que rodea a la membrana plasmática y, en todos los casos, además de dar forma a la célula, le confiere soporte mecánico, protección y mantiene el balance osmótico. La composición de la pared varía de un organismo a otro:

- En las algas está formada por *celulosa* y *pectina*.
- En los hongos predomina la *quitina*, con presencia menor de proteínas, lípidos, sales y pigmentos.
- En los vegetales el principal componente es la *celulosa*, aunque también suelen presentar *pectina*, *hemicelulosa*, *monosacáridos*, etc.

Pared celular vegetal:

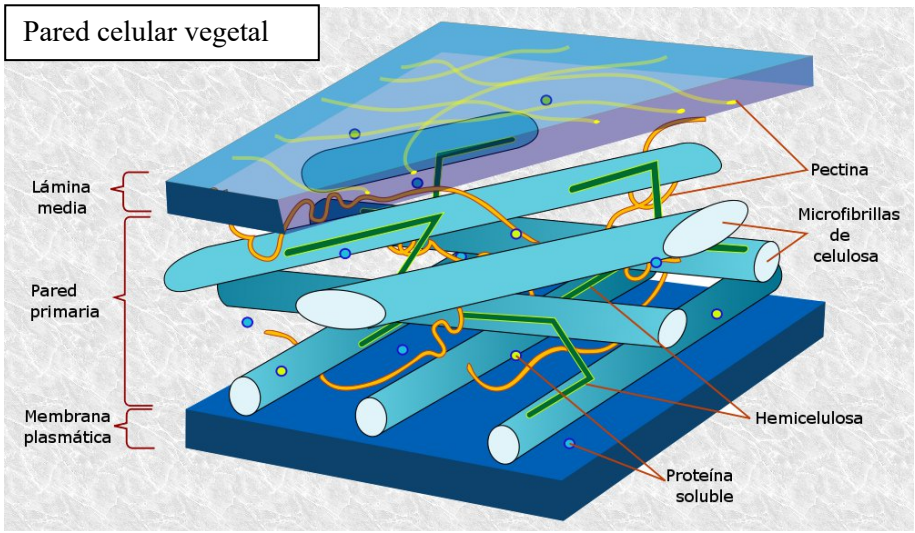
La estructura de la pared consiste en un **retículo microfibrilar** de celulosa inmerso en una **matriz amorfa** formada por el resto de componentes que se unen débilmente a las fibras.

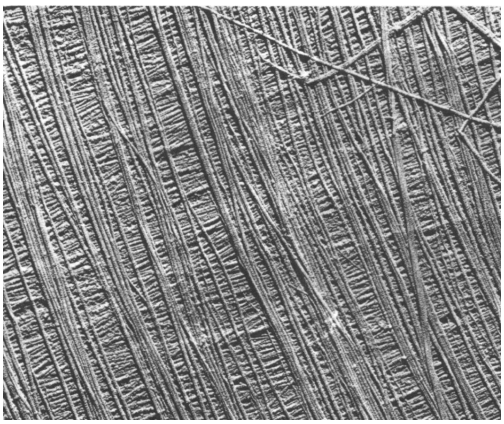
Cuando una célula vegetal se divide, entre las dos células hijas queda una capa de proteínas y pectina llamada **lámina media**. Entre ésta y las membranas respectivas, cada célula forma la **pared primaria**, formada por microfibrillas de celulosa y un alto contenido en agua (80-90%).

Cuando la célula termina su crecimiento, comienza a engrosar la pared celular. Por un lado añade dos hojas más de microfibrillas a su pared primaria y por otro, sintetiza la **pared secundaria**. Esta nueva pared, situada entre la primaria y la membrana, está formada por entre 3 y 20 hojas y contiene agua en una proporción muy inferior (25-35%). Según los tipos celulares vegetales la pared secundaria puede incorporar sustancias diversas como *lignina*, *sales minerales*, *suberina*, etc., que confieren mayor rigidez y que suele suponer la muerte de la célula al impermeabilizarla.

En la pared pueden aparecer también diferenciaciones que permiten el paso de sustancias entre células vecinas. Las **punteaduras** son discontinuidades de la pared celular, por le que pasan los **plasmodesmos**, que son canales que ponen en contacto los citoplasmas de dos células contiguas.

Pared celular vegetal





Capas entrecruzadas de fibras de celulosa

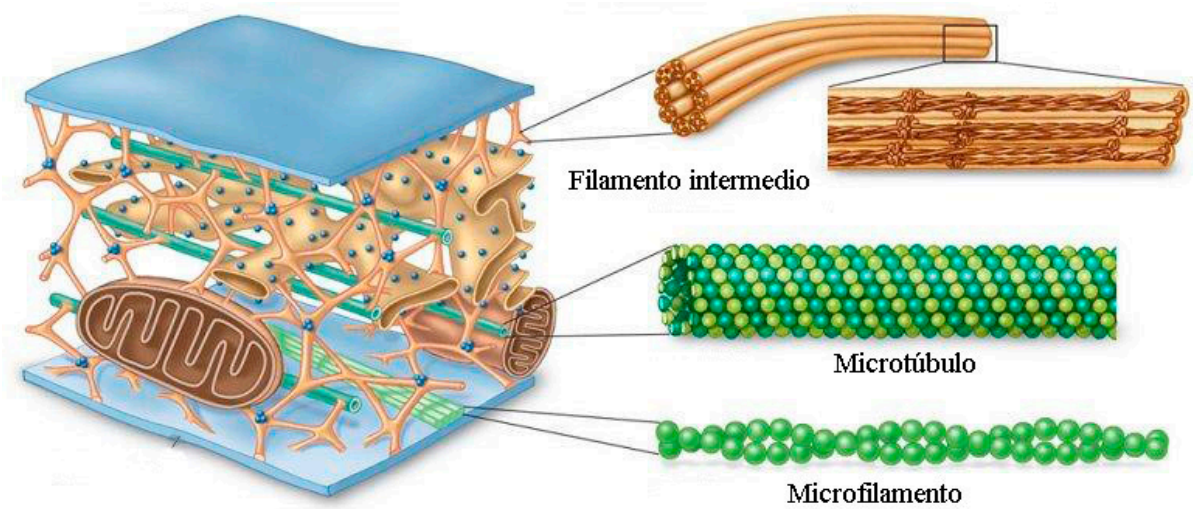
4- EL CITOPLASMA

El **citoplasma** consta de dos componentes: el citosol y el citoesqueleto. El **citosol** es el medio interno celular, de carácter acuoso y viscoso, y es donde se realizan muchas reacciones metabólicas (como la glucolisis, la glucogenogénesis, la activación de los aminoácidos y la síntesis de ácidos grasos), gracias a las enzimas que presenta. Por otra parte, también constituye una reserva de sustancias energéticas o precursoras.

En cuanto a la composición química, el agua (80%) y las proteínas (15%) son los principales componentes del citosol. También hay cantidades importantes de ácidos nucleicos, precursores de macromoléculas, intermediarios metabólicos, sales e inclusiones de glucógeno o grasas.

El **citoesqueleto** es un andamiaje proteico que organiza el citoplasma y las estructuras complejas que contiene. Consiste en tres tipos de filamentos unidos por enlaces cruzados:

- **Microfilamentos** (de 7 nm de diámetro) compuestos por **actina**. Refuerzan la membrana plasmática y son la base del esqueleto mecánico. Por otra parte, generan movimientos intracelulares de vesículas e intervienen en la contracción muscular (junto con la miosina), en el movimiento ameboide y en la fagocitosis.
- **Filamentos intermedios** (de 8 a 12 nm de diámetro), formados por **queratina**. Proporcionan estabilidad mecánica.
- **Microtúbulos** (huecos y de 25 nm de diámetro), formados por una proteína globular llamada **tubulina**. Colaboran en el movimiento interno de orgánulos y vesículas, *y* forman el huso mitótico, los cilios y los flagelos.

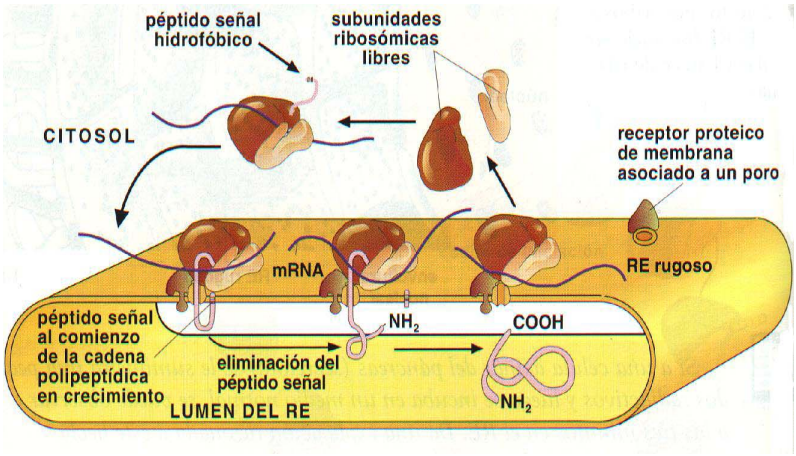


5- SISTEMAS DE MEMBRANAS

5.1 EL RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO

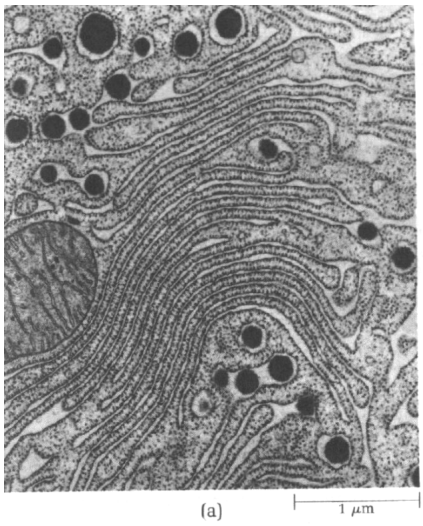
El retículo endoplasmático (R.E.) es una red de compartimentos de membrana (o **cisternas**) intercomunicados por canales que se extiende por buena parte del citoplasma. En su interior (el **lumen**) contiene un líquido similar al del hialoplasma, aunque posee proteínas características. La membrana del retículo es semejante a la plasmática y si presenta ribosomas en la parte externa se habla del **retículo endoplasmático rugoso** (R.E.R.) y si no los presenta, del **retículo endoplasmático liso** (R.E.L.).

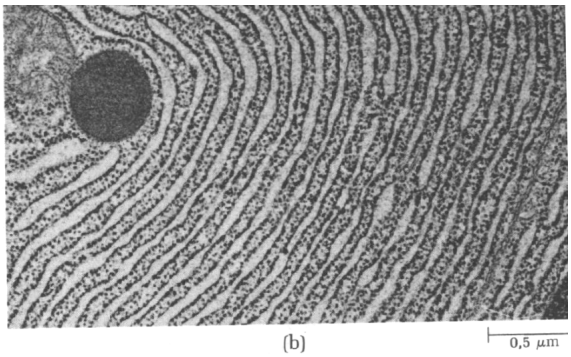
Debido a la presencia de ribosomas, el R.E.R. está implicado en la síntesis de proteínas, su almacenamiento y la transformación de algunos en glucoproteínas. Estas proteínas pueden permanecer en la membrana o pueden ser expulsadas al exterior mediante la secreción. El R.E.R. aparece en todas las células excepto en los glóbulos rojos y estará más desarrollado cuanto mayor sea la actividad secretora de la célula (como en las glándulas o las neuronas).

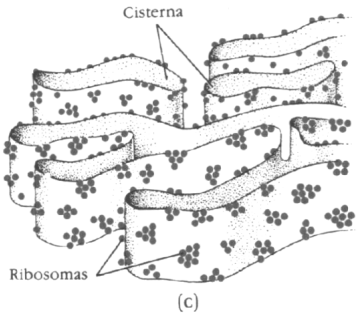


El R.E.L. es más escaso en las células, a excepción de algunas en que está muy desarrollado. Está involucrado en tres funciones diferentes:

- Síntesis, almacenamiento y transporte de lípidos. Éstos son principalmente fosfolípidos, y esteroides como el colesterol y las hormonas esteroideas. Por ello, el R.E.L. es muy abundante en células elevado metabolismo de lípidos, por ejemplo los hepatocitos del hígado o las gónadas (productoras de hormonas sexuales).
- Eliminación de sustancias tóxicas (drogas, herbicidas, insecticidas y conservantes) mediante reacciones metabólicas que los degradan. Por ello es muy abundantes en células de la piel, pulmones, riñón, hígado e intestino.
- Almacenamiento de calcio en el músculo estriado, formando una especialización que es el **retículo sarcoplásmico**.





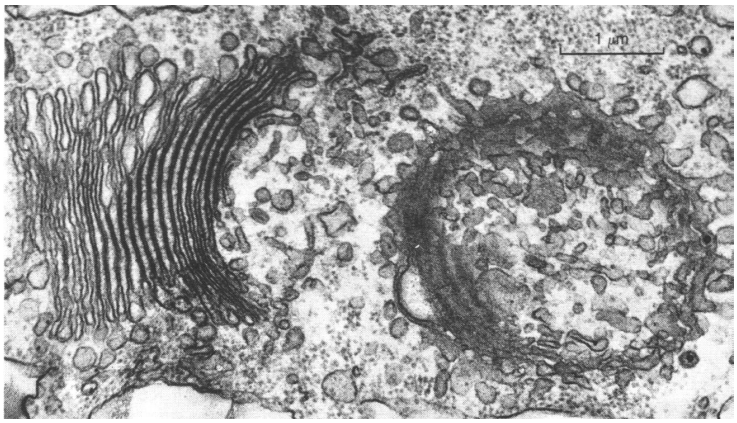


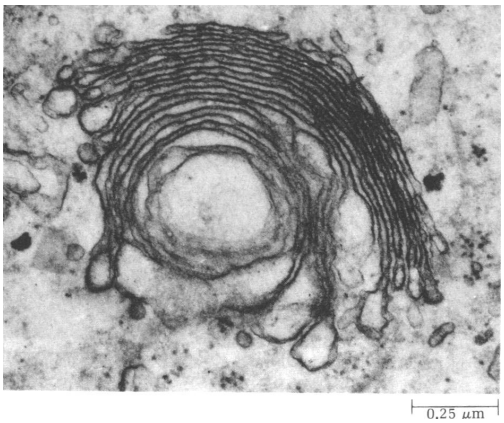
Retículo endoplasmático de una célula pancreática.

5.2 EL APARATO DE GOLGI

Es un conjunto de estructuras de membrana no comunicadas entre sí y está más desarrollado cuanto más elevada es la actividad secretora de la célula. Presenta tres niveles de organización:

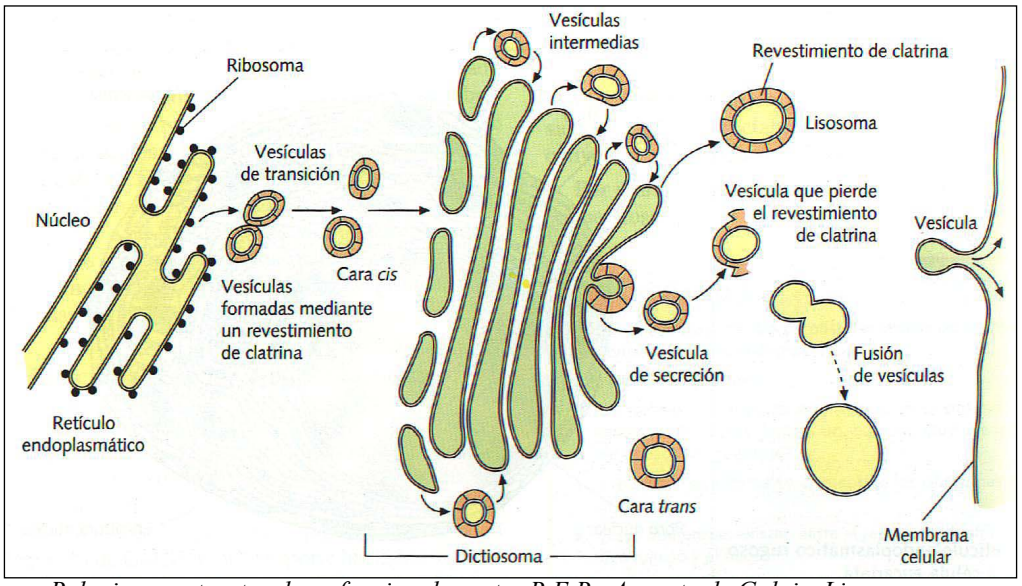
- La unidad básica es una vesícula o cisterna aplanada denominada **sáculo**.
- El **dictiosoma** es un sistema de 4 a 8 sáculos apilados. Éstos se encuentran comunicados por vesículas intercisternas.
- El **aparato de Golgi** sería el conjunto formado por el dictiosoma y las vesículas más o menos esféricas que presentan en sus extremos. Es una estructura polarizada, puesto que la zona próxima al R.E.R. recibe el nombre de *cara cis,* de donde llegan las **vesículas de transición,** y la más alejada, *cara trans*, de donde salen las **vesículas de secreción**.





Funciones del aparato de Golgi:

1. Maduración de las proteínas y lípidos procedentes del retículo endoplasmático, incluyendo su glucosidación.
2. Dirige la distribución y exportación por secreción (exocitosis) de glucoproteínas, mediante la vía R.E.R., vesícula de transición, aparato de Golgi y vesícula de secreción (ver figura de abajo).
3. En células vegetales, síntesis de los glúcidos de la pared celular en el fragmoplasto.



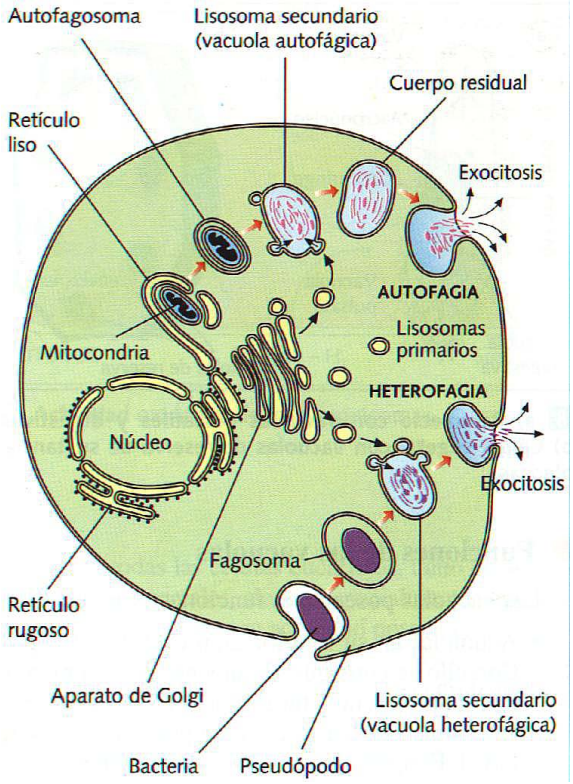
Relaciones estructurales y funcionales entre R.E.R., Aparato de Golgi y Lisosomas

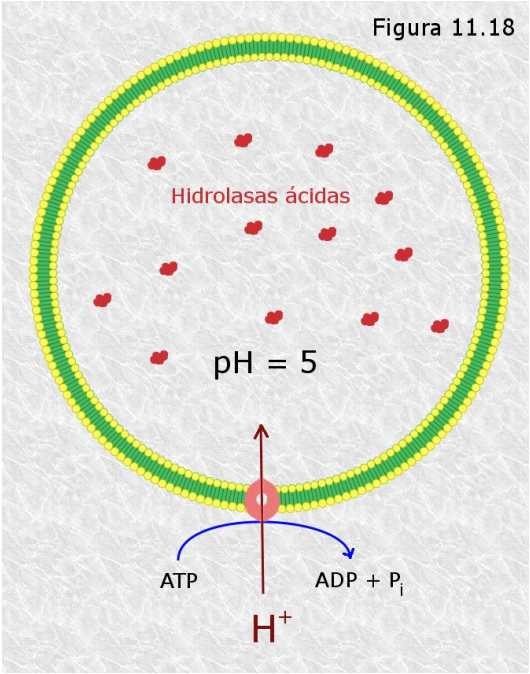
6- LOS ORGÁNULOS CELULARES

6.1 LOS LISOSOMAS

Son orgánulos globulares rodeados de una membrana y rellenos de enzimas hidrolíticas que degradan las macromoléculas en sus monómeros. Su número varía en función de la actividad celular, siendo muy abundantes, por ejemplo en células defensivas como las macrófagos. Existen dos tipos:

1. **Lisosomas primarios**: originados a partir del aparato de Golgi, con hidrolasas ácidas (tienen un pH óptimo de 5). El ambiente ácido del interior del lisosoma se genera y mantiene por el bombeo de H^+ desde el citosol por una proteína transportadora que consume ATP. Si vierten las enzimas al exterior por exocitosis, se encargan de la digestión extracelular.
2. **Lisosomas secundarios**: originados por fusión de lisosomas primarios y vesículas endocíticas. Su función es la digestión intracelular de sustratos captados por endocitosis (vacuolas heterofágicas) o constituyentes celulares inservibles (vacuolas autofágicas).





Bombeo de protones para generar un pH ácido

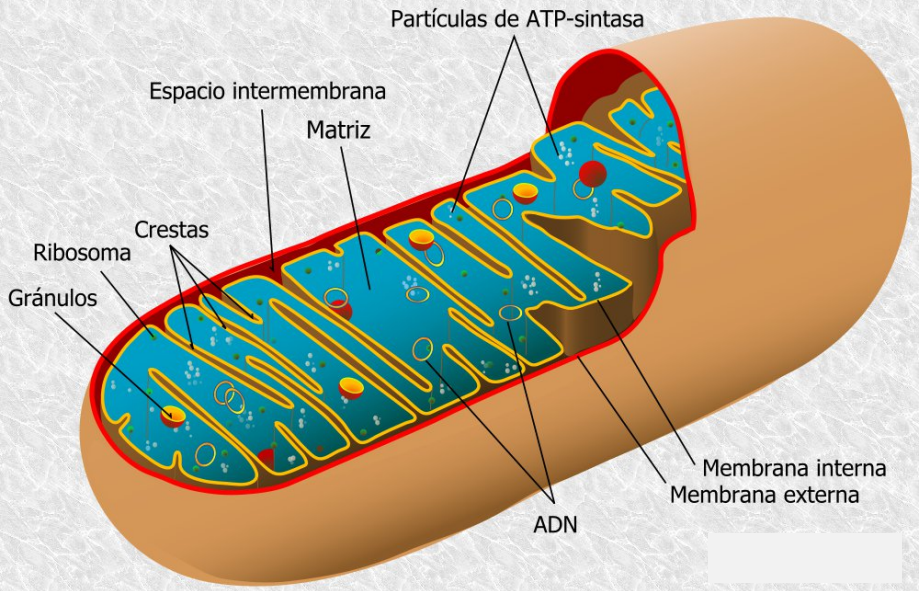
6.2 LOS PEROXISOMAS

Los **peroxisomas** son pequeñas vesículas membranosas que colaboran en la detoxificación de la célula gracias a que oxidan estos tóxicos (sobre todo etanol) con el O_2 mediante la acción de oxidasas. Este proceso genera H_2O_2, que es muy tóxico, por lo que, en un segundo paso, la enzima catalasa lo degrada para formar agua y O_2.

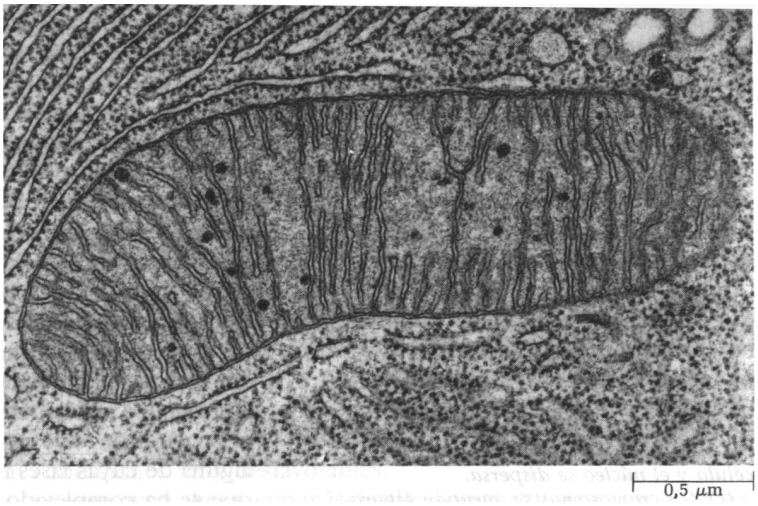
6.3 LAS MITOCONDRIAS

Son orgánulos ovalados de doble membrana que se encuentran dispersos en el citoplasma y existen en todas las células eucariotas aerobias y en las anaerobias facultativas. En cuanto a su estructura, constan de las siguientes partes:

1. **Membrana externa**: muy permeable, con bastantes proteínas formadoras de canales.
2. **Espacio intermembranal**. relleno de un líquido acuoso de composición parecida al citosol.
3. **Membrana interna**: forma repliegues llamados **crestas mitocondriales**, dispuestas perpendicularmente al eje longitudinal de la mitocondria. Es impermeable a la mayoría de los iones pequeños y con alto contenido en proteínas (80 %). Éstas pueden ser transportadoras, constituyentes de la cadena respiratoria o subunidades del complejo proteico que sintetiza ATP (la ATP sintasa).
4. **Matriz mitocondrial**: es el medio interno de la mitocondria, delimitado por la membrana interna. Contiene iones, metabolitos, coenzimas, proteínas enzimáticas, un **ADN mitocondrial** (circular y de doble hélice, semejante al de procariotas), y **ribosomas** adosados a la membrana interna. Por ello, estos orgánulos tienen cierta autonomía, pues son capaces de fabricar proteínas propias gracias a sus ribosomas, su ADN, enzimas, ARN y diferentes monómeros.

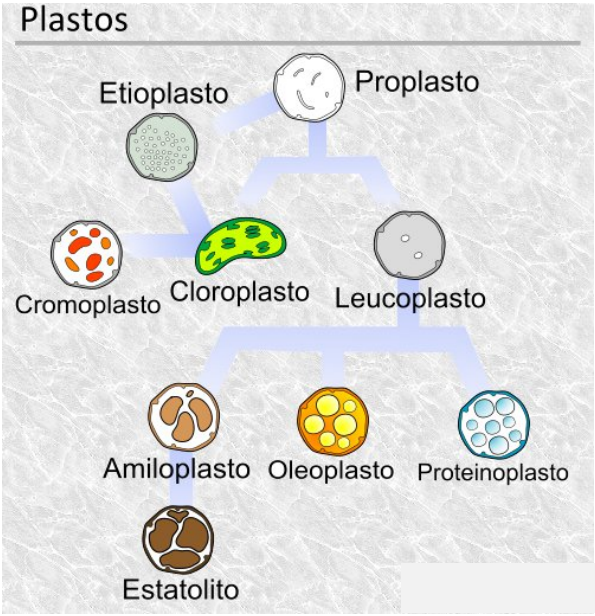


La función de las mitocondrias es la **obtención de energía** mediante una serie de reacciones oxidativas que constituyen tres procesos: el ciclo de Krebs, el transporte de electrones a través de la cadena respiratoria y la fosforilación oxidativa. Estos procesos, junto con la glucolisis (realizada en el citoplasma) constituyen la **respiración celular**.



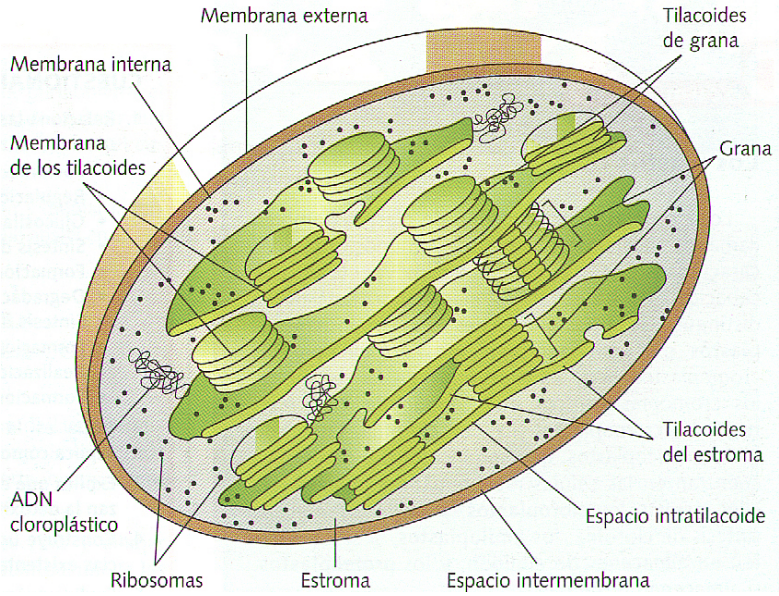
Mitocondria de una célula pancreática.

6.4 LOS CLOROPLASTOS



Los **plastos** o plastidios son una familia de orgánulos de doble membrana exclusivos de células eucariotas fotosintéticas. Proceden de los **protoplastidios** existentes en las células meristemáticas. Cuando la célula se diferencia, los protoplastidios se convierten en los distintos tipos de plastos:

- Los **cloroplastos** contienen la clorofila, un pigmento de color verde que interviene en el proceso inicial de captación de la luz.
- Los **cromoplastos** contienen carotenoides, que les dan un color anaranjado o rojizo.
- Los **leucoplastos** son incoloros y acumulan sustancias de reserva como almidón (**amiloplastos**), proteínas (**proteinoplastos**) o lípidos (**oleoplastos**). Los primeros están presentes en estructuras no fotosintéticas incoloras o blancas de la planta no expuestas a la luz, los segundos en los elementos cribosos del floema y los últimos en los cotiledones de semillas grasas como los del girasol o el cacahuete, o en la pulpa de frutos grasos como la aceituna y el aguacate.



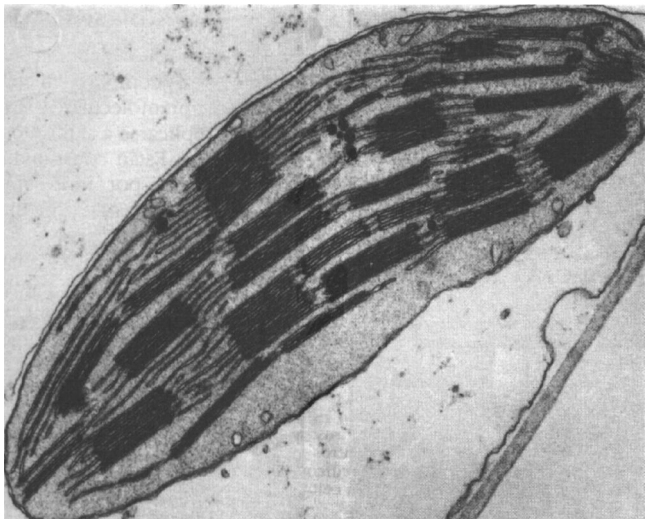
Los **cloroplastos** poseen tres **membranas**: la externa, la interna y la tilacoidal. Ésta última genera unas estructuras con forma de sacos llamadas **tilacoides**. Las tres membranas delimitan tres espacios que son, de más externo a más interno:

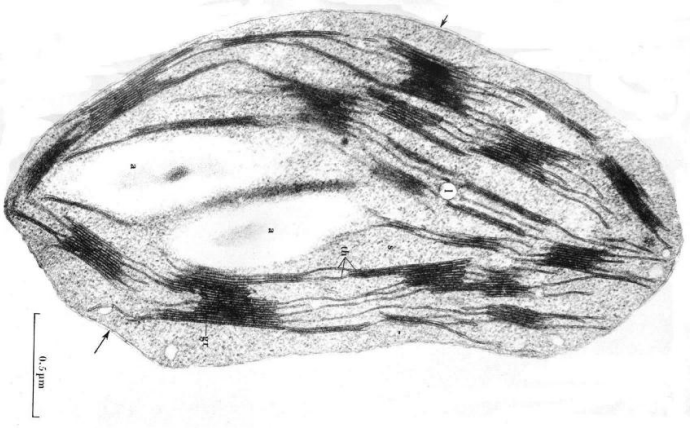
- El **espacio intermembranal**.
- El **estroma**, con ADN plastídico, ribosomas e inclusiones de almidón.
- El **espacio intratilacoidal**.

En la membrana tilacoidal se localiza la cadena de transporte de electrones, los pigmentos que absorben la energía luminosa y una ATP sintasa. Los **tilacoides del estroma** se orientan según el eje mayor del cloroplasto y sobre éstos se disponen los **tilacoides de la grana,** unos discos planos que se apilan en grupos de varias decenas y que reciben el nombre de **grana.**

Al igual que las mitocondrias, los cloroplastos poseen en su estroma un ADN circular, ARN, enzimas necesarias para su duplicación y ribosomas aunque distintos y más numerosos que los de las mitocondrias.

La función de los cloroplastos es la realización de la **fotosíntesis**, un proceso que implica una serie de reacciones dependientes de la luz que tiene lugar en las membranas de los tilacoides (la fase luminosa) y otra serie de reacciones no dependientes de la luz que ocurren en el estroma (la fase oscura).





Cloroplastos de células fotosintéticas de lechuga

6.5 VACUOLAS E INCLUSIONES

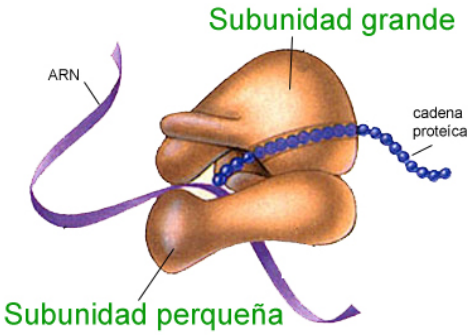
Son vesículas con sustancias (de reserva, desecho o pigmentos) en disolución, rodeadas por una membrana (el tonoplasto). Se originan por fusión de vesículas generadas en el R.E. y el Aparato de Golgi.

Las vacuolas son muy importantes en células vegetales porque, además de almacenar sustancias nutritivas o de desecho, también regulan la cantidad de agua en la célula. El exceso de agua se acumula en esta estructura para mantener así la turgencia celular y generar, junto con la pared celular, un "esqueleto" hidrostático vegetal. Conforme aumenta la edad de la célula, las vacuolas se fusionan por lo que se hacen menos numerosas pero más grandes. Las células más antiguas presentan una única vacuola (vacuola central) que ocupa casi todo el volumen celular, por lo que desplaza al núcleo y al citoplasma a los límites de la célula.

En las células animales las vacuolas son más pequeñas y numerosas, y pueden tener función digestiva (vacuolas digestivas, que son lisosomas secundarios) o almacenan agua (vacuolas pulsátiles de protozoos).

6.6 LOS RIBOSOMAS

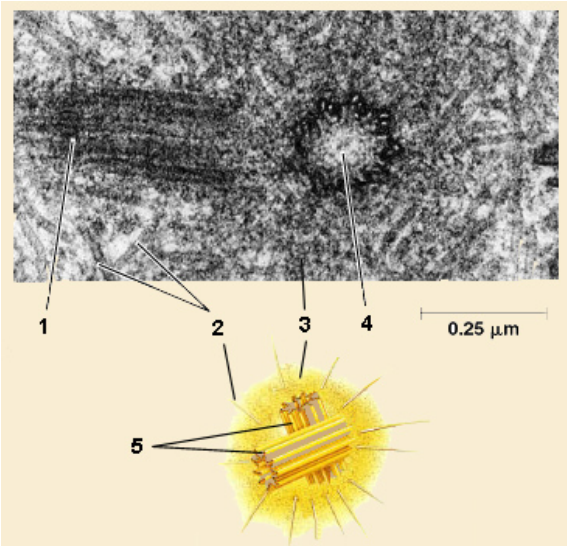
Los **ribosomas** son los orgánulos encargados de la biosíntesis de proteínas (traducción). Se pueden encontrar asociados a una membrana (del retículo endoplásmático rugoso o la membrana unclear externa), libres en el citoplasma (aislados o formando **polisomas**: unión de ribosomas entre sí por el ARNm a modo de cadena) o en el interior de orgánulos como mitocondrias y cloroplastos.



Estos orgánulos están compuestos por ARN ribosómico (ARNr), y proteínas. Están constituidos por dos subunidades de desigual tamaño: subunidad grande y subunidad pequeña, que se forman en el nucléolo de la célula y se unen en el momento de la traducción del ARNm para formar las proteínas.

6.7 EL CENTROSOMA

El **centrosoma** es un orgánulo no membranal, situado cerca del núcleo y presente sólo en células animales. Está constituido por tres partes:



a) **Diplosoma** (5): parte central formada por dos **centriolos** (1 y 4) de forma cilíndrica y dispuestos en ángulo recto. Cada centriolo está formado por nueve tripletes de microtúbulos (formados por tubulina) interconectados por los puentes longitudinales, que juntos constituyen las paredes del cilindro.

b) **Áster** (2): conjunto de fibras radiales (microtúbulos) que rodean al diplosoma.

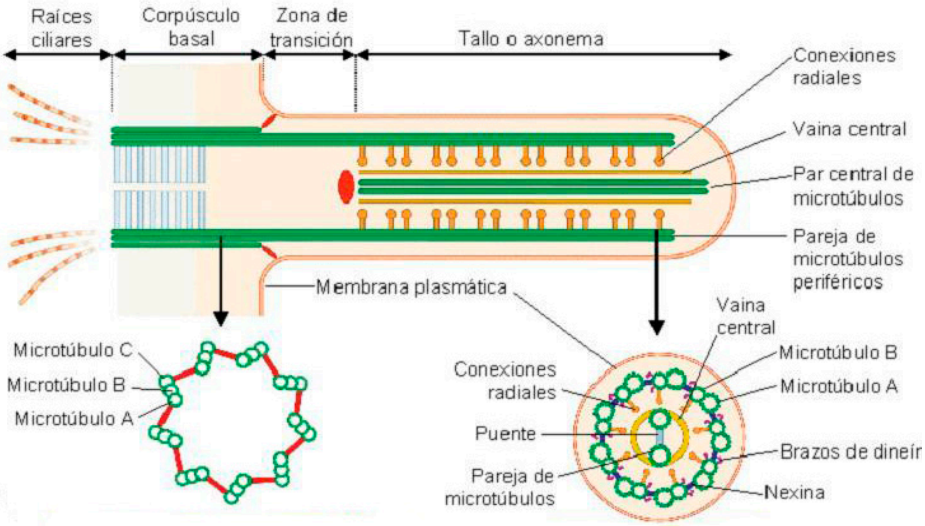
c) **Matriz del centrosoma** (3): región del citoplasma compuesta por una red de pequeñas fibras en donde se originan los microtúbulos.

El centrosoma está involucrado en la formación de los microtúbulos del citoesqueleto y en la formación del huso mitótico en células animales. Los centriolos también participan en la formación de cilios y flagelos, ya que en el origen de éstos se encuentra una estructura denominada corpúsculo basal o cinetosoma**,** que es interconvertible con el centriolo.

7- MOVILIDAD CELULAR: CILIOS Y FLAGELOS

Los **undulipodios** son los apéndices móviles de la superficie celular y pueden ser cilios o flagelos. Mientras que los **cilios** son cortos y numerosos, los **flagelos** son largos y escasos. El tipo de movimiento de unos y otros es también diferente: en los cilios es pendular (flexión de la base) y en los flagelos es ondulante (transmisión de la onda hasta el ápice). La función de los undulipodios es producir el desplazamiento de las células libres en un medio líquido o la movilización de fluidos sobre una superficie de células fijas.

La estructura, común para cilios y flagelos, se conoce como **aparato ciliar** y consta de las siguientes partes:

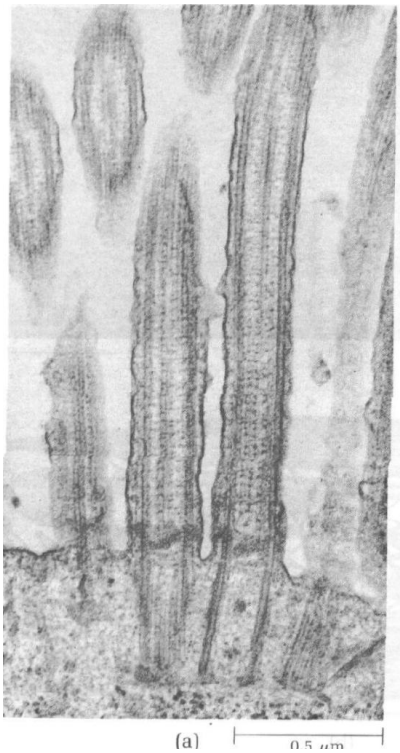


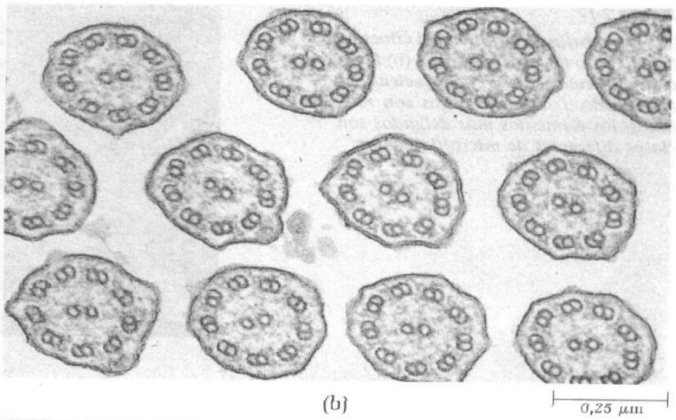
1. **Corpúsculo basal o cinetosoma**: con una estructura similar a los centriolos (tripletes de microtúbulos). Se encuentra en la base de ambos apéndices y se distinguen dos zonas: una zona superior distal, que se corresponde exactamente con la estructura del centriolo, y una zona inferior proximal, con la típica estructura de "rueda de carro", ya que desde el eje tubular parten láminas radiales hacia los tripletes.

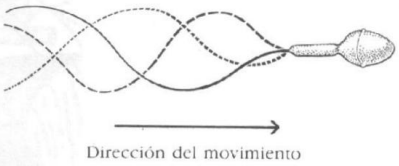
2. **Zona de transición**: corresponde a la base del cilio y en ella se encuentra la denominada placa basal como preludio de la siguiente estructura.
3. **Tallo o axonema**: tiene la característica estructura 9 + 2, es decir, 9 pares de microtúbulos con una porción semilunar situados en la periferia y 2 microtúbulos constituyendo el eje o vaina central. Los pares de microtúbulos se unen entre sí por la nexina, mientras que la proteína motora dineína provoca (con gasto de ATP) el deslizamiento de estos pares y la consecuente flexión del axonema.

Sección longitudinal de varios cilios.

Sección transversal de los cilios, mostrando los microtúbulos en disposición 9 +2.







Acción propulsora del flagelo de una célula espermática.

8- EL NÚCLEO CELULAR

Observado por primera vez por R. Brown en 1831, es un corpúsculo relativamente grande presente en todas las células eucariotas excepto en glóbulos rojos. Generalmente hay un núcleo por célula, aunque existen células binucleadas y multinucleadas. Su forma es normalmente esférica y suele adoptar una posición central, aunque en células vegetales está lateralizado debido al gran tamaño de la vacuola. En su interior se encuentra la información genética, por lo que controla la actividad celular.

El núcleo puede presentarse en dos estados, en función del momento del ciclo celular: el **núcleo interfásico** (célula en reposo) o **núcleo mitótico** (célula en división).

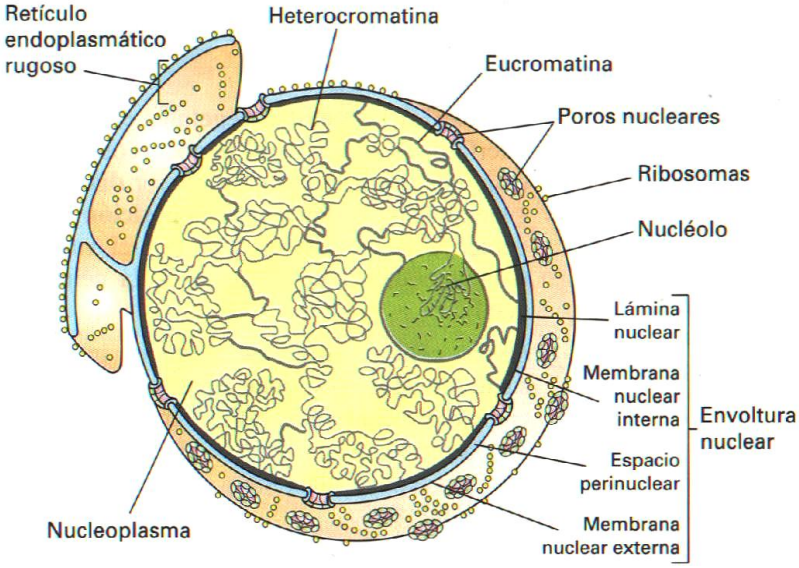
8.1 EL NÚCLEO INTERFÁSICO

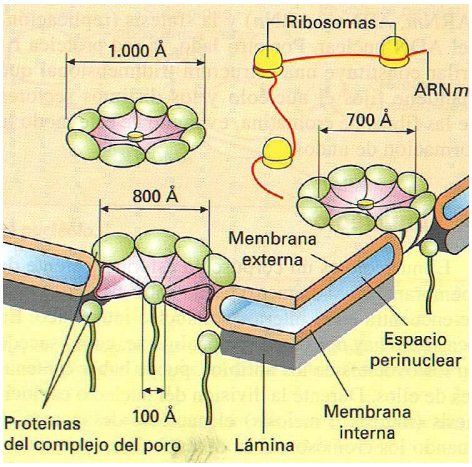
En el núcleo interfásico se diferencian las siguientes estructuras: envoltura nuclear, nucleoplasma, cromatina y nucleolos.

- La **envoltura nuclear** es una doble membrana con un espacio perinuclear intermedio (de 200 a 300 Aº). Posee numerosos **poros nucleares,** correspondientes a zonas de fusión de las dos membranas, con presencia de anillos proteicos y cuya función es permitir el paso bidireccional de sustancias (iones, precursores, proteínas y ARN).

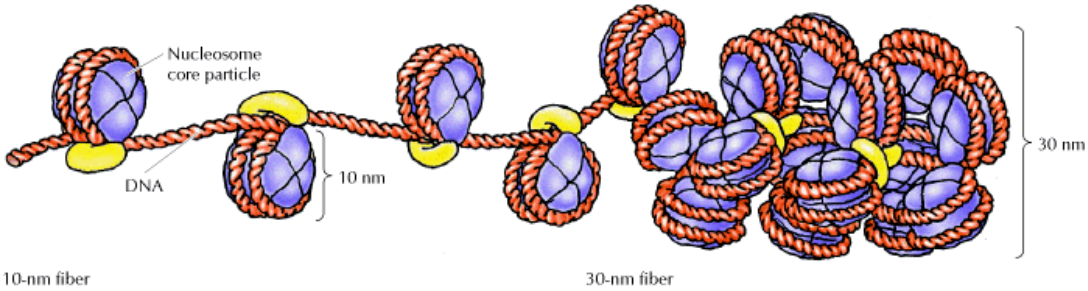
La membrana externa, al tener continuidad con el R.E.R., puede tener ribosomas adosados.

- El **jugo nuclear, nucleoplasma o carioplasma** tiene una composición similar al citosol e incluye nucleótidos y gran cantidad de proteínas involucradas en la replicación del ADN y en la transcripción del ARNm. Es también el soporte físico de la cromatina y del nucleolo, merced a una red de fibras proteicas.





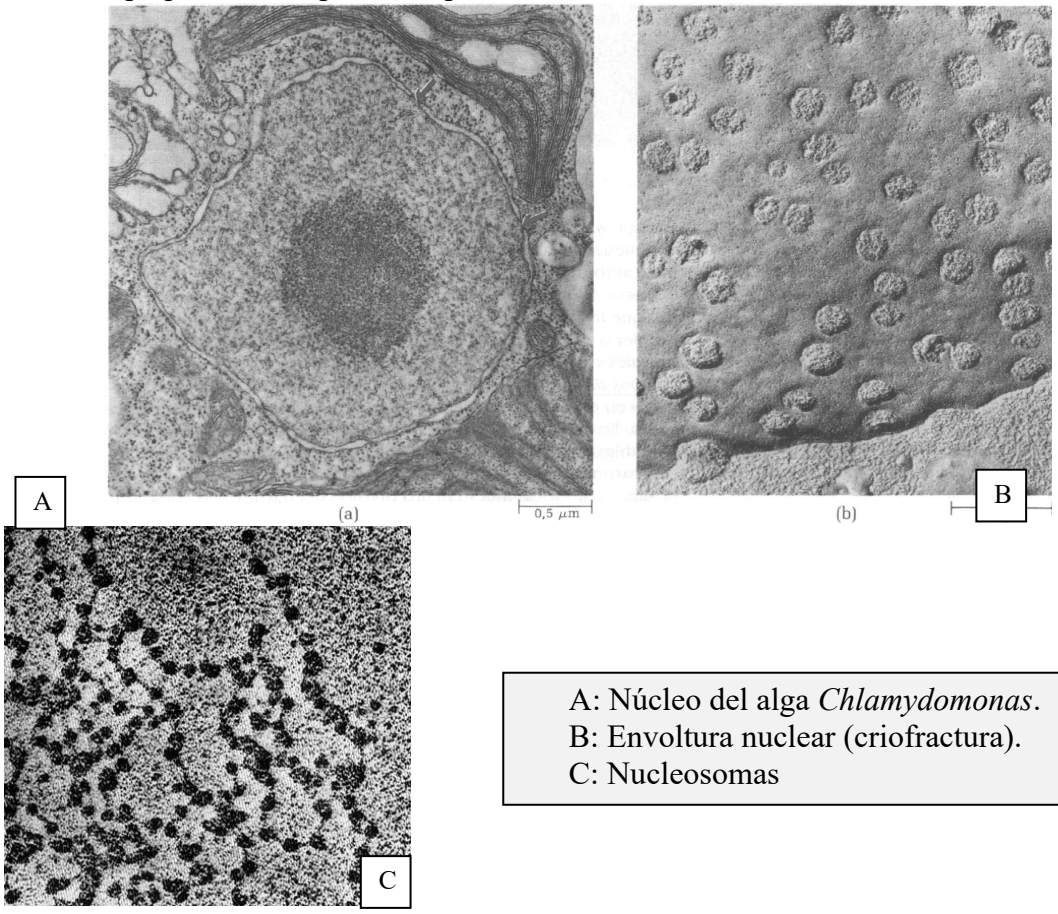
- La **cromatina** es la estructura fibrilar formada por el ADN y proteínas. Estas proteínas contribuyen al empaquetamiento del ADN y son las histonas y otras propias del citoesqueleto como la actina, la miosina y la tubulina. Las histonas son de pequeño tamaño y contienen proporciones elevadas de aminoácidos básicos cargados positivamente (como la lisina y la arginina), lo que les permite unirse fuertemente al ADN. Existen dos grupos de histonas: las que forman los **nucleosomas**, un octámero (formado por dos unidades de cada una de las histonas H2A, H2B, H3 Y H4), que es unidad de empaquetamiento del ADN, y las histonas H1, que se unen al ADN espaciador entre nucleosomas. Éstas últimas permiten el apilamiento o condensación de los nucleosomas (de 10 nm) en fibras de mayor grosor (la fibra de 30 nm).



Por el grado de condensación de la cromatina, ésta puede ser de dos tipos: **eucromatina**, difusa y activa (ADN que se expresa y no está empaquetada), y la **heterocromatina**, más condensada e inactiva (ADN que no se expresa). Esta última puede ser constitutiva (inactiva en todas las células del organismo) o facultativa (inactiva en algunas células y activa en otras).

- **Nucleolo**: corpúsculo esférico carente de membrana, en número de uno o varios, y compuesto por ARN y proteínas. Posee una región fibrilar interna (con ARN nucleolar) y una región granular periférica (con ARN ribosómico y subunidades

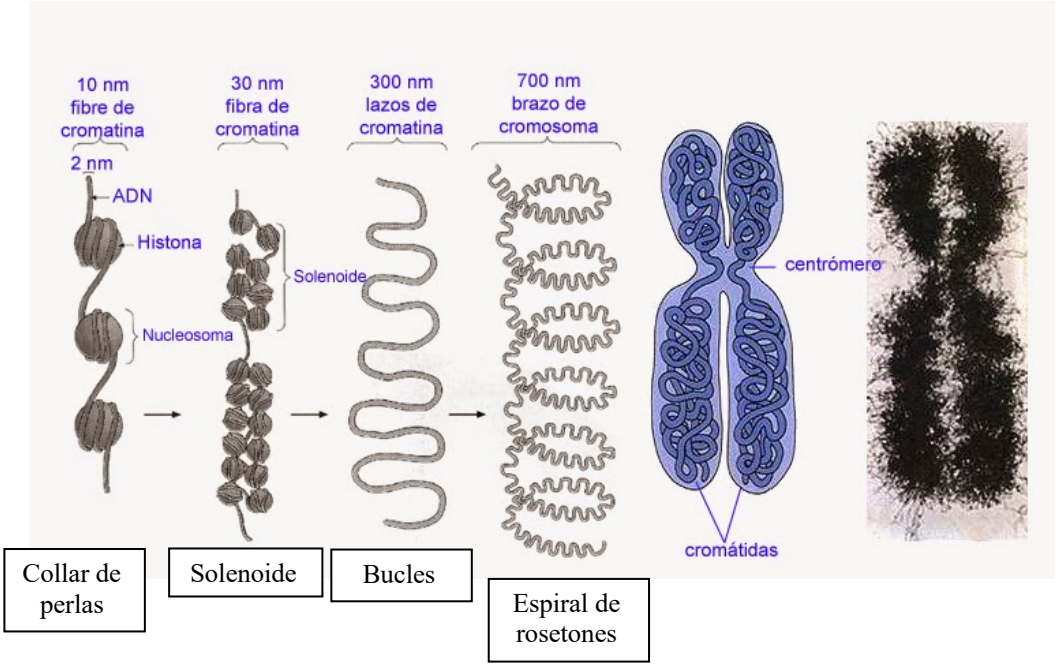
ribosomales), rodeada de cromatina asociada que es el **organizador nucleolar** (codifica el ARN del nucléolo). La función del nucléolo es la síntesis de los ARN y su empaquetado con proteínas para formar las subunidades de los ribosomas.

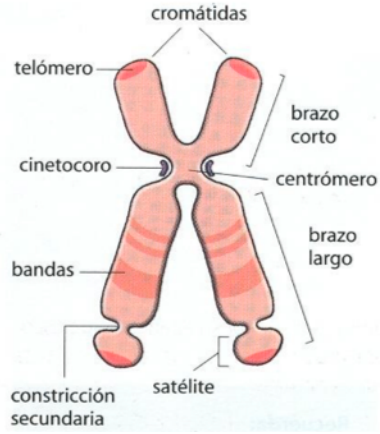


A: Núcleo del alga *Chlamydomonas*.
B: Envoltura nuclear (criofractura).
C: Nucleosomas

8.2 EL NÚCLEO EN DIVISIÓN

Cuando la célula entra en división, todas las estructuras nucleares se desorganizan a excepción de la cromatina, que se condensa para formar los **cromosomas**. Por tanto, éstas son las únicas estructuras detectables en un núcleo en división. Se trata de corpúsculos con forma de bastoncillo y que se colorean con tintes básicos. Suponen la máxima compactación del ADN, tal como se puede observar en la siguiente figura:





En la metafase, cada cromosoma está formado por dos **cromátidas** (copias de ADN) unidas entre sí por el **centrómero** o constricción primaria. En este lugar se encuentra el **cinetocoro**, que es por donde se une el cromosoma al huso mitótico durante la mitosis. Las partes del cromosoma a cada lado del centrómero se llaman **brazos**. En éstos pueden existir otros estrechamientos llamados **constricciones secundarias**, que delimitan los **satélites**. Los segmentos finales de los cromosomas se denominan **telómeros**. Mediante una tinción específica, se pueden observar en los brazos una serie de bandas de distinta tonalidad que son característicos de cada cromosoma.

Los cromosomas anafásicos sólo tienen una cromátida, dado que se ha producido la escisión a nivel del centrómero.

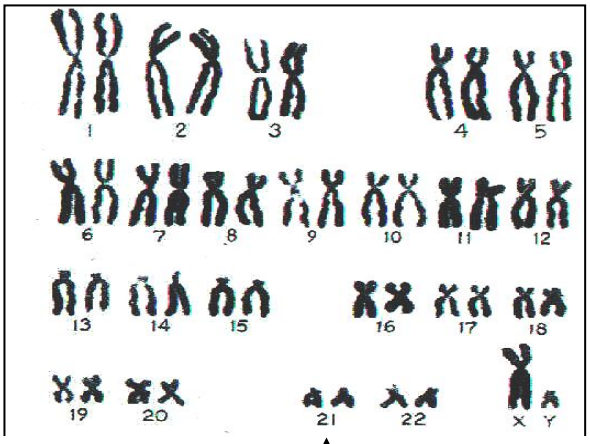
Según la posición del centrómero los cromosomas se clasifican en: telocéntricos, subtelocéntricos, submetacéntricos y metacéntricos.

Características de los cromosomas:

- **Individualidad**: cada cromosoma tiene sus características en tamaño, forma y número.
- **Constancia numérica**: todas las células de una especie tienen un número característico de cromosomas.

La especie humana	46	Rana	26
El chimpancé	48	Mosca	12
El perro	78	Maíz	20
Toro/vaca	60	Trigo	46
Gallo/gallina	78	Algodón	52

- **Homología**: los cromosomas homólogos son aquellos que poseen la misma secuencia de genes, pero pueden tener distinta información genética. En función de la dotación cromosómica (haploide, diploide, triploide) habrá respectivamente 1, 2 o 3 juegos de cromosomas homólogos. Las células somáticas de animales y plantas son diploides (2n), mientras que sus células germinales (las que generan los gametos o las meiosporas) son haploides.



El conjunto de cromosomas metafásicos de una célula se denomina **cariotipo**. En él se distinguen dos tipos de cromosomas:

- **Autosomas**, que no determinan el sexo.
- **Heterocromosomas** o cromosomas sexuales, que determinan el sexo (X e Y en mamíferos).

Cariograma del **cariotipo** humano, en que los cromosomas se encuentran ordenados por su homología.