

TEMA 9: EL CITOPLASMA: CITOSOL Y ORGÁNULOS

El citoplasma es el medio interno celular comprendido entre la membrana plasmática y la membrana nuclear. Está formado por el citosol y los orgánulos.

1. Citosol

También llamado hialoplasma. Es el citoplasma sin orgánulos o la fracción soluble del citoplasma. Es un medio acuoso o solución coloidal, que puede estar en estado sol (fluido) o gel (viscoso), y constituido por un 85% de agua en la cual están disueltas moléculas como glúcidos, lípidos, aminoácidos, proteínas (sobre todo enzimas), ácidos nucleicos, sales minerales, iones,...

Funciones del citosol

- Contiene numerosos orgánulos celulares.
- Constituye el citoesqueleto, que da forma a la célula.
- Regula el pH intracelular.
- En el citosol se desarrollan numerosas e importantes reacciones metabólicas, como la síntesis de proteínas, la glucólisis (1ª etapa de la respiración celular),...

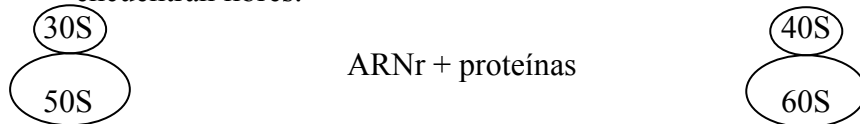
Componentes del citosol

Los componentes del citosol son los ribosomas, inclusiones citoplasmáticas y el citoesqueleto.

1.1. Ribosomas

Son complejos macromoleculares visibles al microscopio electrónico, formados por dos subunidades y compuestos por ARNr y proteínas. Existen dos tipos de ribosomas según su velocidad de sedimentación:

- En células procariotas, en mitocondrias y cloroplastos, los ribosomas son 70S y se encuentran libres.



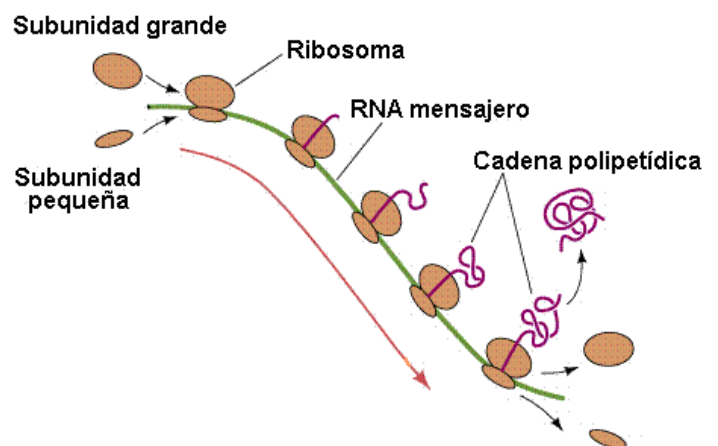
- En células eucariotas, los ribosomas son 80S y pueden encontrarse libres en el citosol o asociados a la membrana externa del retículo endoplasmático formando el retículo endoplasmático rugoso.

Función de los ribosomas

Los ribosomas intervienen en la síntesis de proteínas. Para ello el ribosoma se asocia a una molécula de ARNm por su subunidad menor.

Generalmente, varios ribosomas traducen simultáneamente una misma molécula de ARNm dando lugar a un **polisoma a polirribosoma** (5-40 ribosomas unidos por un fragmento de ARNm traduciendo los nucleótidos a una secuencia de aminoácidos).

Al final de la síntesis proteica, las dos subunidades del ribosoma se disocian.



1.2. Inclusiones citoplasmáticas

Son acumulaciones de sustancias de carácter hidrófobo, que no se disuelven en el hialoplasma y que no están rodeadas de membrana. Suelen ser sustancias con función de reserva energética, pigmentos con función protectora o sin ninguna función ya que son los productos finales de la degradación de otros pigmentos, o proteínas precipitadas debido a su excesiva concentración.

- a) **Inclusiones de reserva:** En células animales las principales son de glucógeno, melanina y lípidos. En células vegetales destacan las gotas de grasa en semillas, aceites esenciales, como el geraniol, mentol, ... el látex.
- b) **Pigmentos:** Sustancias coloradas presentes en tejidos animales
- c) **Proteínas precipitadas:** Generalmente son productos de desecho.

1.3. Citoesqueleto

El citoesqueleto es una red fibrosa que equivale al esqueleto interno de la célula. Es responsable de la organización interna de la célula, de su forma y del movimiento. Está formado por proteínas fibrilares del citosol que se organizan en microtúbulos, filamentos intermedios y microfilamentos.

a) Microfilamentos

Están formados por moléculas de una proteína globular, la **actina**. Un filamento de actina, como también se llama, está constituido por dos hebras de actina enrolladas en hélice. Tienen un grosor de 40-70 Å. Son muy abundantes en las células musculares.

Función de los microfilamentos

- Intervienen en la contracción muscular asociándose con la miosina.
- Intervienen en el movimiento ameboide y la fagocitosis mediante la formación de pseudópodos.
- Producen corrientes citoplasmáticas o de ciclosis, ya que forma geles y soles según las variaciones del medio.
- Colabora con la miosina en la formación del anillo contráctil que separa las dos células hijas después de la división celular.
- Da rigidez a las microvellosidades celulares.

b) Filamentos intermedios

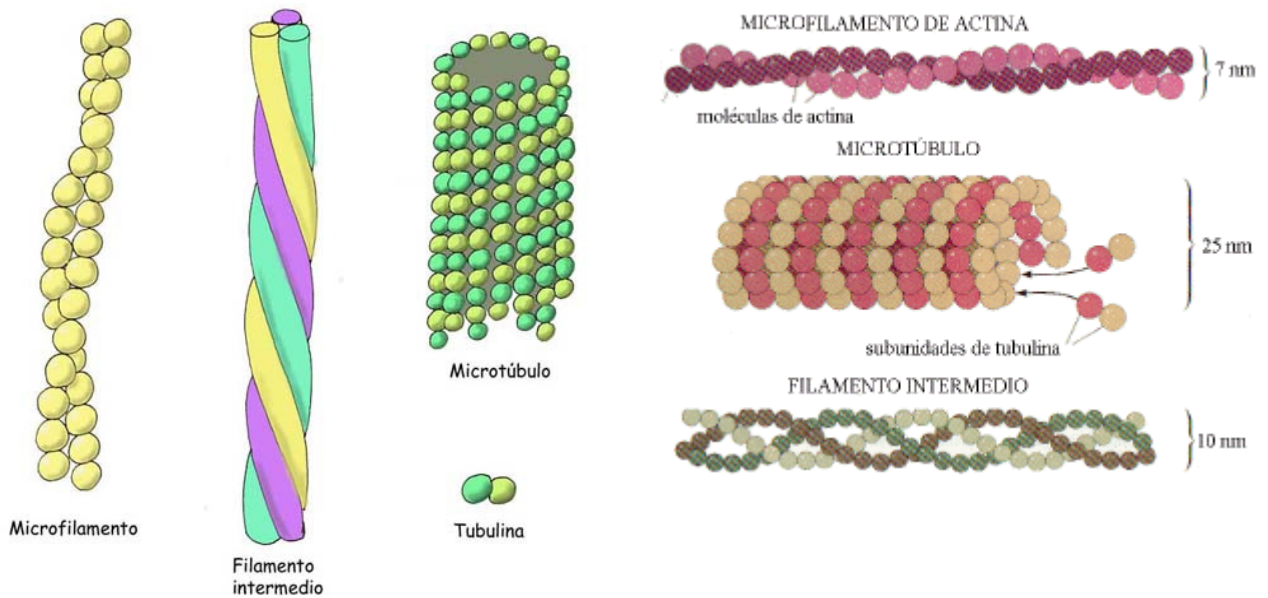
Tienen mayor grosor que los anteriores (100 Å). Su estructura y composición varía según la célula en la que se encuentren. Abundan en células sometidas a importantes tensiones. Su función es básicamente estructural. Ejemplo: Neurofilamentos de las neuronas, filamentos de queratina de células epiteliales.

c) Microtúbulos

Pueden encontrarse dispersos por toda la célula o estar formando parte de cilios, flagelos o centriolos. Son polímeros de una proteína, la **tubulina**. Se disponen en 13 hileras formando una estructura cilíndrica de 250 Å. Cada molécula de tubulina es un dímero que consta de dos proteínas globulares llamadas α -tubulina y β -tubulina. Los dímeros de tubulina se unen formando un protofilamento y 13 protofilamentos paralelos constituyen un cilindro hueco: el microtúbulo.

Función de los microtúbulos

- Son responsables de la forma de la célula ya que son el componente principal del citoesqueleto.
- Sirven de canales para el transporte intracelular.
- Intervienen en la organización de todos los componentes del citoesqueleto.
- Constituyen el huso mitótico o acromático que organiza el movimiento de los cromosomas, separándolos en dos lotes y distribuyéndolos en las células hijas. Desaparece al final de la mitosis.
- Forma estructuras complejas estables como cilios, flagelos y centriolos.



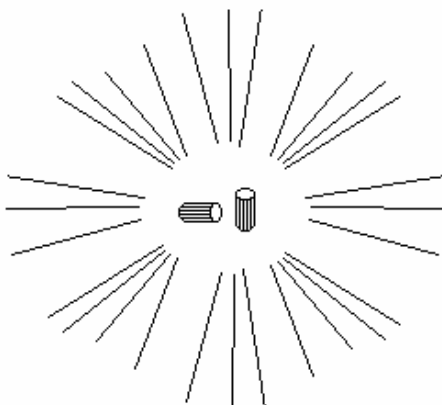
1.3.1. Centrosoma

También llamado centro celular o citocentro. Se localiza próximo al núcleo y en ocasiones está rodeado por el aparato de Golgi. Está constituido por:

- Un par de centriolos o diplosoma
- Material pericentriolar o centrosfera (esfera atractiva)
- Fibras del Áster

a) **Diplosoma:**

Los dos centriolos se disponen perpendicularmente entre sí. Cada centriolo está formado por 9 tripletes de microtúbulos (9 grupos de 3 microtúbulos) cada uno ligeramente inclinado y dispuestos como un cilindro. En cada triplete, el microtúbulo A es el más próximo al eje del cilindro y es completo (sección circular), mientras que los microtúbulos B y C son incompletos. El microtúbulo A de cada triplete se une al C del triplete siguiente mediante un puente proteico, que mantiene la estructura del centriolo. En la división celular, cada uno de ellos da origen, por duplicación, a su pareja. Las células de los vegetales superiores carecen de centriolos.



b) **Centrosfera:**

Formada por un material de aspecto amorfo que rodea al diplosoma.

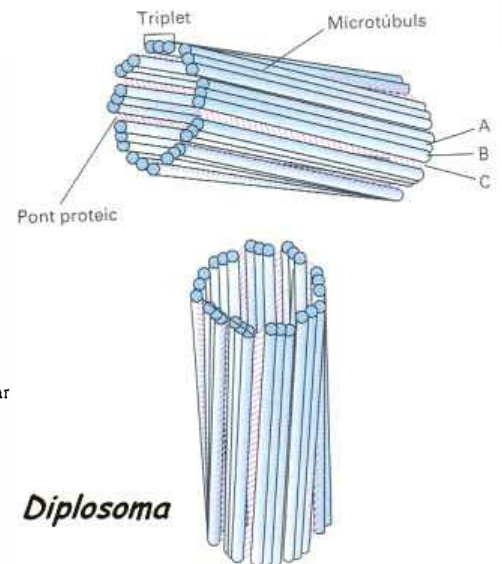
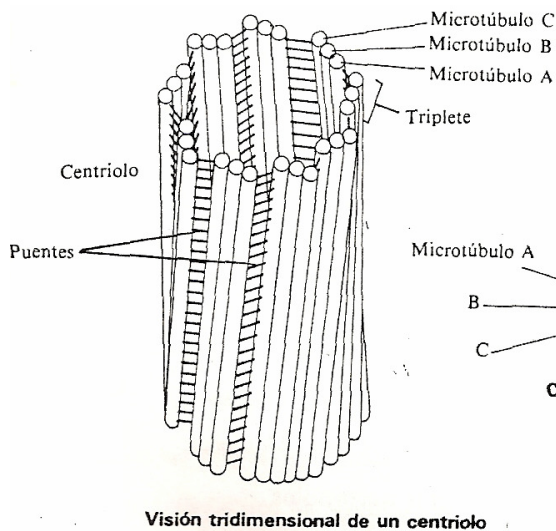
c) **Fibras del Áster:**

Conjunto de microtúbulos que parten de la centrosfera y se disponen a modo de rayos. Durante la división celular dan origen a los microtúbulos del huso acromático.

En vegetales existe centrosfera y áster.

Función del centrosoma

- Se encarga de la organización de los microtúbulos, aunque basta con el material pericentriolar para realizar esta función, como se demuestra en la formación del huso acromático en células vegetales que carecen de centriolos.
- A partir del centrosoma se forman cilios y flagelos.



1.3.2. Cilios y flagelos

Son prolongaciones móviles localizadas en la superficie celular de algunas células, que mueven el medio o bien, si son de vida libre, mueven la célula. Están constituidos por:

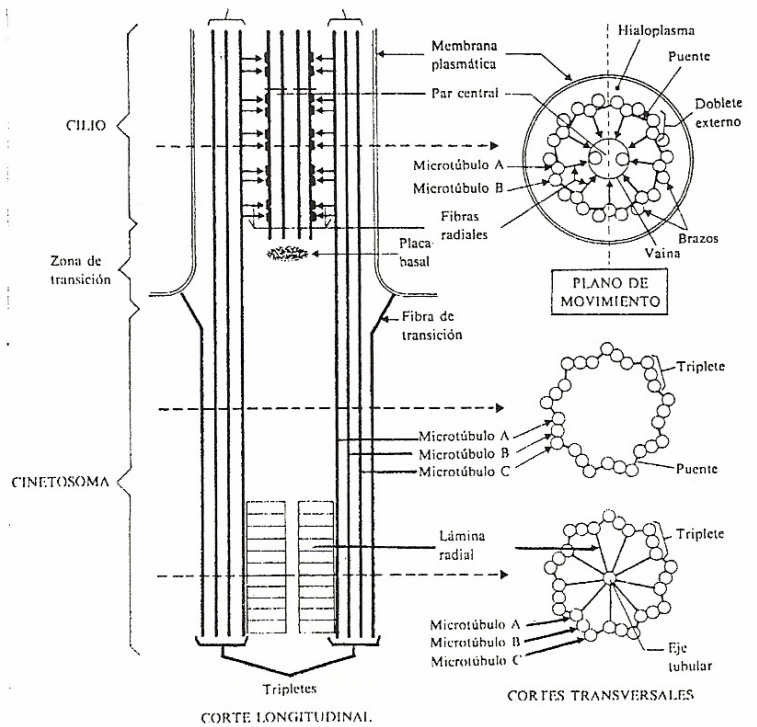
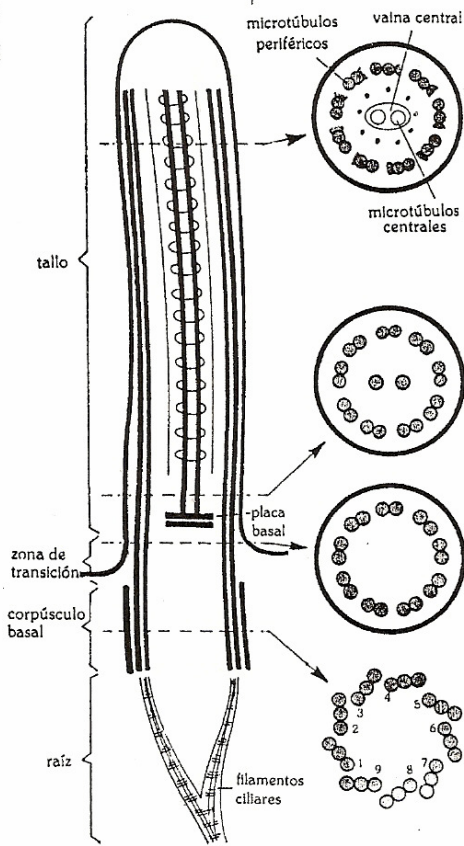
- Tallo o axonema
- Zona de transición
- Corpúsculo basal o cinetosoma

- a) **Tallo o axonema:** Está formado por microtúbulos rodeados de membrana plasmática. En la periferia presenta 9 grupos de dos microtúbulos cada uno (A y B) (9 dobletes), y en la zona central tiene dos microtúbulos rodeados por una vaina. El microtúbulo A de cada doblete tiene dos brazos de dineína dirigidos hacia el B del doblete siguiente, y de cada A parten dos tipos de fibras: Fibra radial, que se dirige hacia la vaina; Puente, que se dirige hacia el B del doblete siguiente (nexina).
- b) **Zona de transición:** Corresponde a la base del cilio o flagelo. El par de microtúbulos centrales se interrumpe y en su lugar aparece la placa basal (estructura amorfa).
- c) **Corpúsculo basal o cinetosoma:** constituido por 9 tripletes de microtúbulos que presentan en su zona basal un eje central (eje tubular) del que parten láminas radiales hacia los microtúbulos A.

Su estructura es muy similar a la del centriolo, pudiendo intercambiar posiciones con él.

Función de cilios y flagelos

El movimiento del axonema se produce por el deslizamiento de unos dobletes periféricos con respecto a otros. La dineína tiene actividad ATP-asa y es la responsable del deslizamiento. En presencia de ATP, los brazos de dineína de un doblete contactan con el siguiente y hacen que se muevan uno respecto al otro. Los puentes de nexina limitan el deslizamiento y provocan la flexión del axonema.



Estructura del cilio
Esquema que muestra en corte longitudinal y cortes transversales el ordenamiento de los microtúbulos en un cilio.

2. Orgánulos de membrana simple

2.1. Retículo endoplasmático

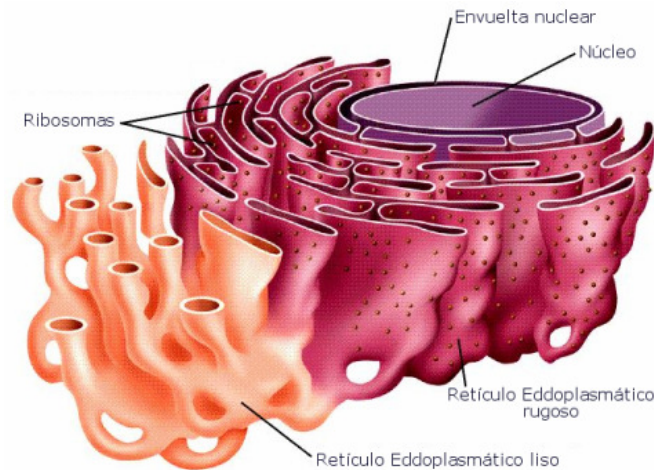
Es una compleja red de membranas interconectadas que se extiende por todo el citoplasma y conectan con la membrana nuclear y plasmática. Forma cisternas, sacos y tubos aplanados comunicados entre sí que definen un único espacio interno denominado lumen.

Existen dos tipos de retículo endoplasmático:

- Retículo endoplasmático rugoso (RER): Tiene ribosomas adosados a su membrana externa.
- Retículo endoplasmático liso (REL): No tiene ribosomas adosados a su membrana externa.

Las membranas son de tipo unitario aunque más finas, entre 50-60 Å. La porción de retículo que delimita al núcleo se llama membrana nuclear.

- a) **Retículo endoplasmático rugoso (RER):** Forma sáculos y cisternas aplanados y se continúa con la envoltura externa de la membrana nuclear.



Funciones del RER

- 1) **Síntesis, almacenamiento y transporte de proteínas**: La síntesis se realiza en los ribosomas adosados a su membrana, para lo cual es necesario que se forme un polisoma, ya que se inicia en un ribosoma libre del citosol. Si las proteínas sintetizadas forman parte de los productos de secreción, pasan al lumen y luego serán transportadas a vesículas. Si son proteínas de membrana, quedan adosadas a la propia membrana del retículo.
 - 2) **Glucosilación**: Tiene lugar en el lumen. Consiste en la unión de las proteínas a oligosacáridos para formar glucoproteínas. Este proceso continúa en el aparato de Golgi. Como tiene lugar en el interior de las cavidades, las proteínas sintetizadas en los ribosomas libres no serán glucoproteínas.
- b) **Retículo endoplasmático liso (REL)**: Su membrana está conectada a las cisternas del RER y forma una fina red de túbulos.

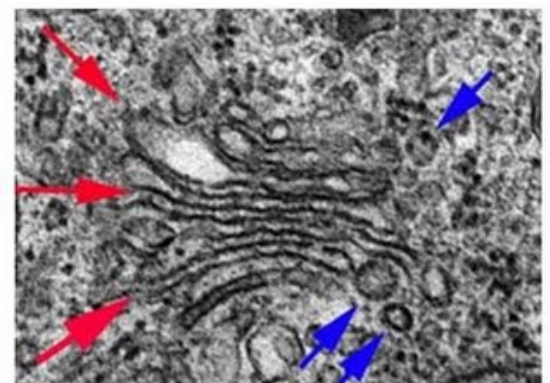
Funciones del REL

- 1) **Síntesis, transporte y almacenamiento de lípidos**: Fosfolípidos, colesterol, necesarios para formar nuevas membranas, y hormonas esteroideas. Son transportados en vesículas. Los ácidos grasos se forman en el hialoplasma.
- 2) **Detoxificación**: Eliminación de sustancias tóxicas para la célula (colorantes, conservantes,...). Las membranas del REL poseen enzimas que transforman estas sustancias en otras solubles, que puedan abandonar la célula y ser excretadas por la orina, sudor,... son importantes en las células de los riñones, hígado, intestino y piel.

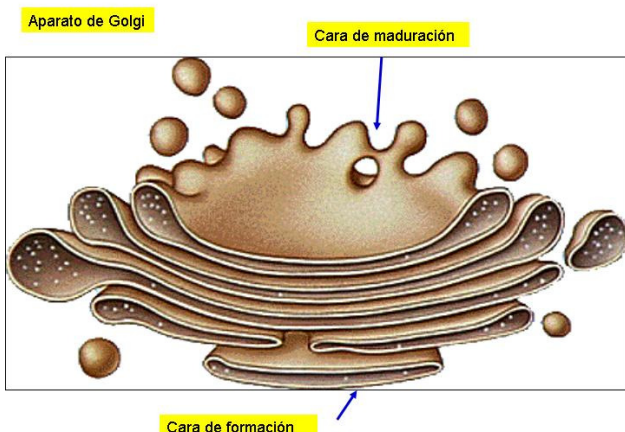
2.2. Aparato de Golgi

Se localiza cerca del núcleo y, en las células animales, próximo al centrosoma. Es una agrupación formada por un apilamiento de sacos de forma discoidal (cisternas) no comunicados entre sí, y rodeados por un conjunto de pequeñas vesículas. Cada pila de 5-8 sacos recibe el nombre de **dictiosoma**. Una célula suele tener unos 20 dictiosomas.

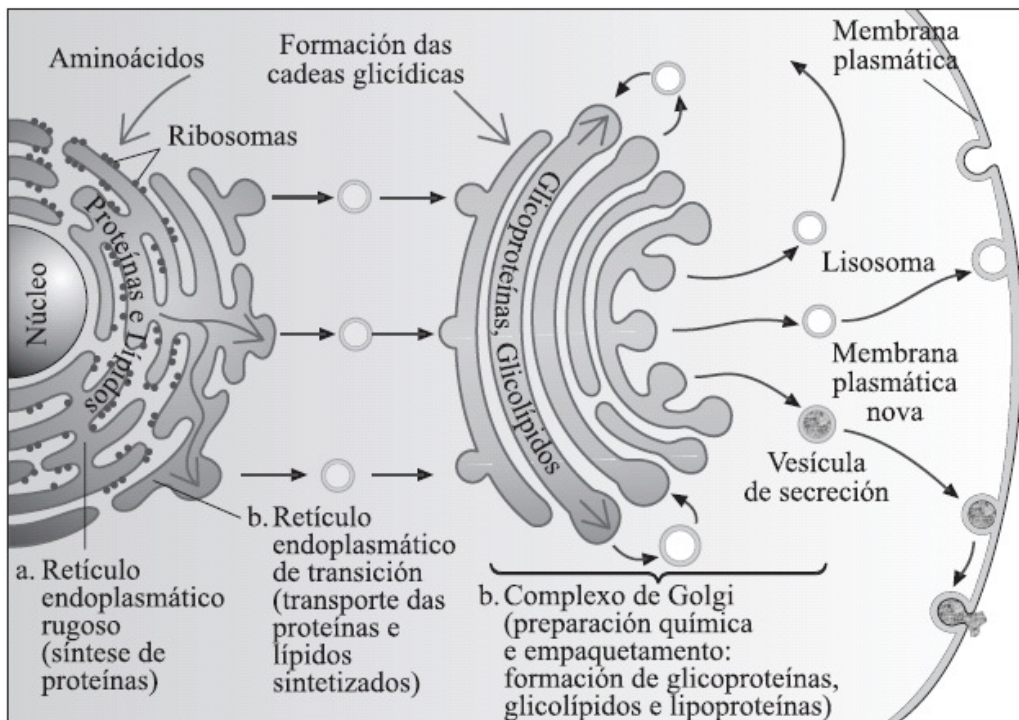
Se origina a partir de la envoltura nuclear o del retículo endoplasmático. Es una estructura que va creciendo continuamente, ya que los sáculos más antiguos se deshacen formando vesículas de secreción. El aparato de Golgi posee dos caras:



Cisternas Vesículas



- **Cara cis o de formación**: Se localiza cerca del RE. Su membrana es similar a la del RE aunque más fina. A su alrededor se sitúan las **vesículas de golgi o de transición** que proceden del retículo y que formarán los nuevos sacos.
- **Cara trans o de maduración**: Se localiza más cerca de la membrana plasmática. Los sáculos viejos se deshacen formando **vesículas de secreción** más grandes que las anteriores. Las membranas de estos sacos son más gruesas.



Funciones del aparato de golgi

- 1) **Transporte, maduración, almacenamiento y procesos de secreción y distribución de proteínas dentro y fuera de la célula, formación de membranas y pared celular:** Algunas proteínas y lípidos sintetizados en el retículo se incorporan a la membrana del propio retículo y por evaginación pasan a las vesículas de transición. Estas se fusionan con las cisternas del aparato de Golgi por la cara cis. Se produce la glucosilación y luego son transportadas a través del aparato de Golgi y empaquetadas en las vesículas de secreción por la cara trans, que se dirigen hacia la membrana plasmática donde se abren liberando los productos y dando lugar a la formación de nueva membrana. Otras veces se dirigen a orgánulos o forman lisosomas. A la vez que se realiza la secreción se recicla la membrana y se transportan macromoléculas.
- 2) **Glucosilación de lípidos y proteínas:** Se realiza en el retículo, pero allí el oligosacárido es siempre el mismo. En el aparato de Golgi se le añaden o quitan monosacáridos a ese azúcar dando lugar a diferentes glicoproteínas y glicolípidos.
- 3) **Síntesis de glúcidos:** Sintetiza los glúcidos que forman el glucocálix y los componentes de la matriz extracelular en animales, y también los de la pared celular de vegetales (celulosa, pectina,...)
- 4) **Forma los lisosomas**
- 5) **Forma el acrosoma de los espermatozoides** en algunas especies.

2.3. Lisosomas

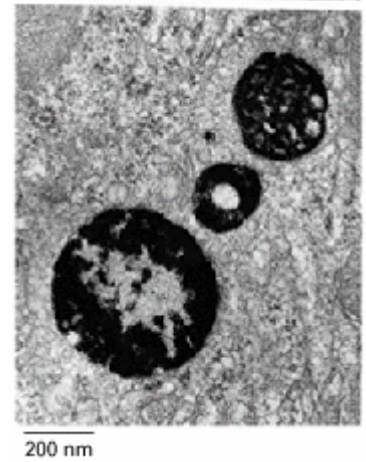
Son vesículas globulares rodeadas de membrana que contienen enzimas hidrolíticas encargadas de la digestión intracelular. Son muy heterogéneos en cuanto a su forma y tamaño. Contienen en su

interior al menos 40 enzimas diferentes del tipo hidrolasas ácidas, con un pH óptimo próximo a 5. Se caracterizan porque poseen en la cara interna de la membrana una capa glucoproteica que impide que las hidrolasas ataquen a la propia membrana del lisosoma. Los lisosomas se originan por gemación de las cisternas del aparato de Golgi que llevan, en su interior, las enzimas que se sintetizaron en el RER y que maduraron en las cisternas del aparato de Golgi.

Tipos de lisosomas

Según su contenido se distinguen dos tipos:

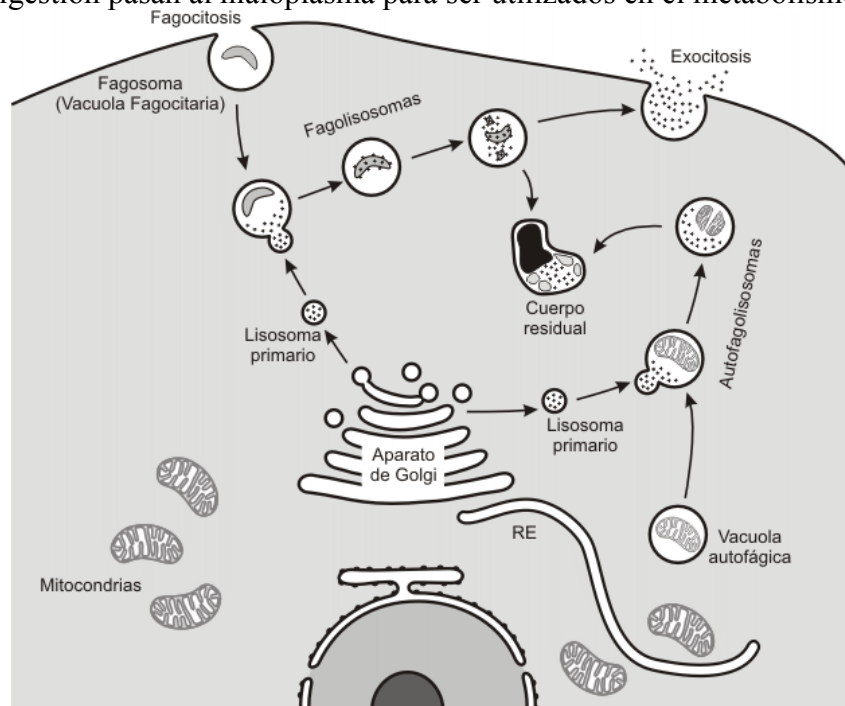
- **Lisosomas primarios:** Solo contienen hidrolasas. Se trata de vesículas de secreción recién formadas, pequeñas, que todavía no participan en los procesos digestivos.
- **Lisosomas secundarios:** Contienen hidrolasas y sustratos en vías de digestión. Son más grandes ya que son lisosomas primarios fusionados con vacuolas, que pueden ser de procedencia autofágica o heterofágica.



Función de los lisosomas

Intervienen en la digestión intracelular de macromoléculas. Dependiendo de la procedencia del material, se pueden distinguir dos procesos:

- **Autofagia:** Las moléculas degradadas son productos celulares (porciones de RE, mitocondrias,...). Así la célula elimina porciones defectuosas o inservibles. En este caso el lisosoma secundario se llama **vacuola autofágica** o **autofagosoma**.
- **Heterofagia:** Los productos proceden del exterior y son incorporados por endocitosis englobándose en una **vacuola alimenticia o fagosoma** que, al fusionarse con un lisosoma primario, forma uno secundario llamado **vacuola digestiva** o **fagolisosoma**. Los productos de esta digestión pasan al hialoplasma para ser utilizados en el metabolismo.



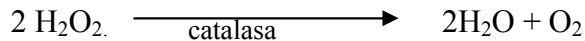
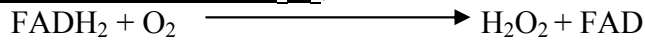
Lo que queda del lisosoma secundario después de la absorción es un cuerpo residual. Los cuerpos residuales contienen desechos no digeribles que en algunos casos se exocitan y en otros no, acumulándose en el citosol a medida que la célula envejece.

2.4. Peroxisomas

Son orgánulos de unos 0.5 μm , muy parecidos a los lisosomas, pero no contienen hidrolasas ácidas sino enzimas oxidativas, como el FAD y la catalasa, que se encargan de la formación y descomposición del agua oxigenada H_2O_2 (peróxido de hidrógeno).

Funciones de los peroxisomas

- **Las oxidasas intervienen en la desaminación oxidativa de los aminoácidos y degradan ácidos grasos generando H_2O_2 .**



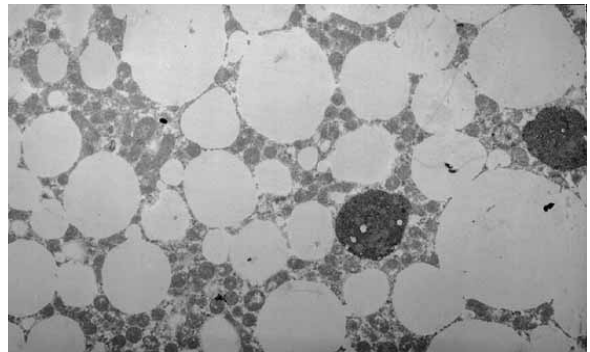
- **Intervienen en reacciones de desintoxicación.**

Un tipo especial de peroxisomas son los **glioxisomas**, que poseen las semillas de las plantas y que, durante la germinación, transforman los ácidos grasos en azúcares necesarios para el desarrollo del embrión mientras la planta no pueda realizar la fotosíntesis.

2.5. Vacuolas

Son grandes vesículas o sacos rodeados de membrana, que se llama tonoplasto, y que acumulan en su interior diversas sustancias. Se forman por fusión de vesículas procedentes del aparato de Golgi, RE,...

En células vegetales son mucho más grandes, y pueden llegar a constituir el 90% de la célula (volumen celular). El conjunto de vacuolas de una célula vegetal recibe el nombre de **vacuoma**.



Función de las vacuolas

- **Almacenamiento**: Almacenan sustancias de reserva alimenticia, productos de desecho o sustancias específicas como colorantes, alcaloides venenosos,...
- **Crecimiento**: Las células vegetales ahorran energía ya que, entre otras causas, crecen por acumulación de agua en sus vacuolas, lo que aumenta el tamaño de la célula.
- **Regulan la presión osmótica**: Los protozoos tienen vacuolas pulsátiles que bombean el exceso de agua al exterior.

3. Orgánulos de doble membrana

Son las mitocondrias y los cloroplastos

3.1. Mitocondrias

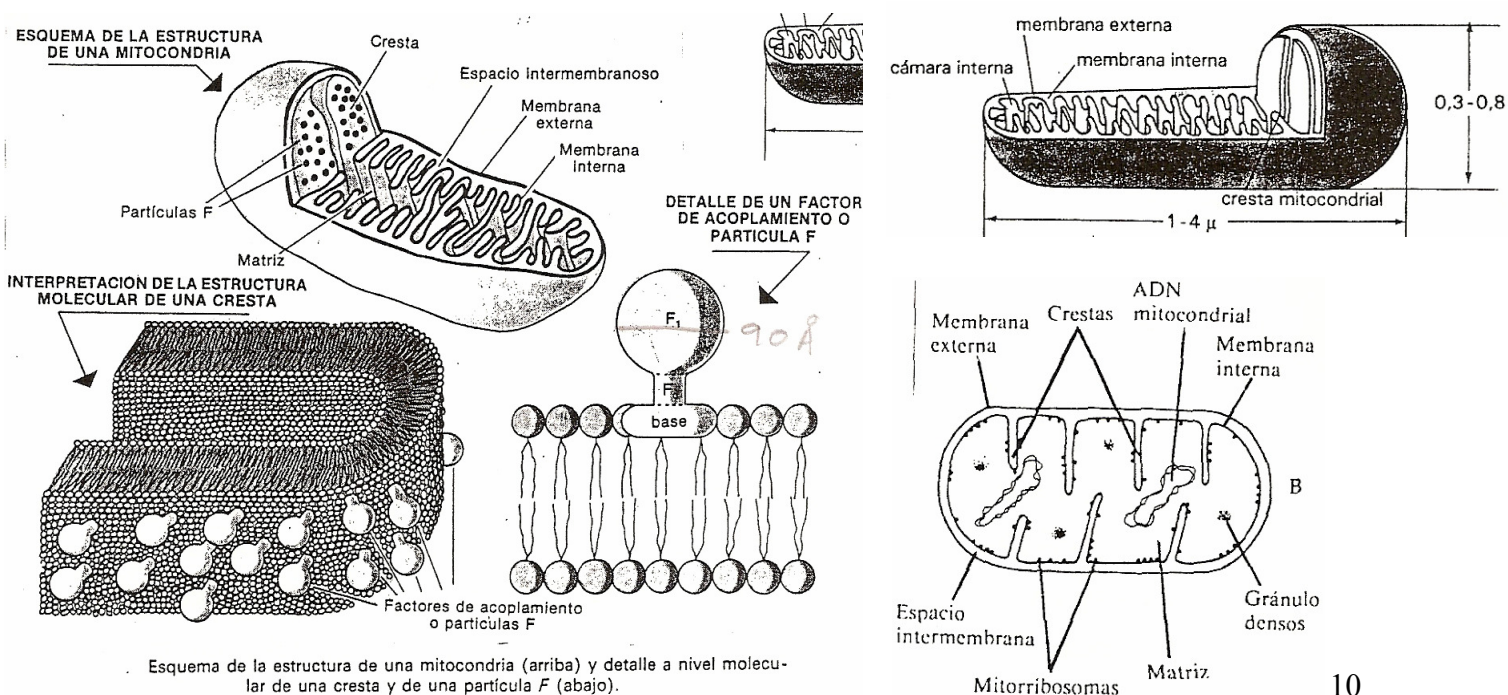
Son orgánulos muy variados, predominando la forma cilíndrica y la esférica. Son muy abundantes, y al conjunto de mitocondrias de una célula se le llama **condrioma**.



Estructura y composición de las mitocondrias

Las mitocondrias están constituidas por una doble membrana, sin colesterol, que delimita dos cavidades.

- **Membrana externa:** Separa la mitocondria del hialoplasma. Es lisa y semejante a las del retículo. Posee proteínas con grandes canales, lo que la hace muy permeable, al contrario que la interna. La proteína es la porina. Posee también enzimas que activan los ácidos grasos para que sean oxidados en la matriz.
- **Espacio intermembrana:** De composición similar al hialoplasma. Posee algunas enzimas.
- **Membrana interna:** Presenta gran superficie gracias a la existencia de unos repliegues hacia el interior denominados **crestas mitocondriales**. Es más rica en proteínas (80%) que las otras membranas celulares y entre sus lípidos (20%) no se encuentra el colesterol. Se distinguen tres tipos de proteínas:
 - **Proteínas de la cadena respiratoria**, que transportan los electrones hasta el oxígeno.
 - **Proteínas transportadoras**, que permiten el paso de iones y moléculas a través de la membrana interna, que es bastante impermeable al paso de iones.
 - **ATP-sintetasa**, que es un complejo enzimático que cataliza la síntesis de ATP y está constituido por tres partes:
 - Una esfera de unos 90 Å de diámetro llamada factor F_1 , que es la parte catalítica.
 - Un pedúnculo llamado factor F_0 , que une la esfera a la membrana interna.
 - Una base hidrófoba integrada en la membrana.
- **Matriz mitocondrial:** Es la cavidad delimitada por la membrana interna. Es una solución coloidal con menos del 50% de agua. Contiene:
 - **ADN mitocondrial**, circular y de doble hélice, no asociado a proteínas, que contiene la información necesaria para formar proteínas mitocondriales.
 - **Mitorribosomas**, que son 70S, semejantes a los bacterianos. Se encuentran libres o asociados a las crestas.
 - **Enzimas**
 - **Iones minerales** (Ca, Pi,...) **ATP**, **nucleótidos**, **ARNm** y **ARNt** y **ARNr** y gran cantidad de **enzimas** necesarias para la síntesis de proteínas y para los procesos oxidativos y gránulos densos.



Función de las mitocondrias

- 1) La función más importante es la **respiración celular**, que consiste en la combinación de materia orgánica con el oxígeno para obtener energía en forma de ATP por medio de la oxidación. Se distinguen dos etapas:
 - **Ciclo de Krebs**, que tienen lugar en la matriz mitocondrial.
 - **Cadena respiratoria**: Transporte de electrones y fosforilación oxidativa. Se produce en la membrana interna y es la etapa final.

En la matriz se llevan a cabo otras vías metabólicas importantes:

- 2) **Duplicación del ADN mitocondrial**.
- 3) **Síntesis de ácidos grasos y síntesis de proteínas (en los ribosomas)**.
- 4) **B-oxidación de los ácidos grasos**.
- 5) **Almacén de sustancias** como lípidos, proteínas, iones,...

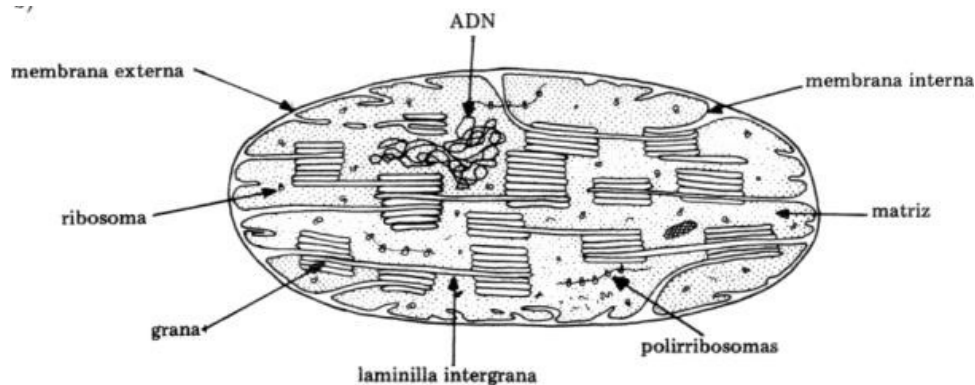
3.2. Cloroplastos

Son orgánulos exclusivos de las células vegetales, y al igual que las mitocondrias, son orgánulos energéticos. Son de mayor tamaño que las mitocondrias (3-19 μm) y son verdes debido a la clorofila. En los vegetales superiores tienen forma lenticular.

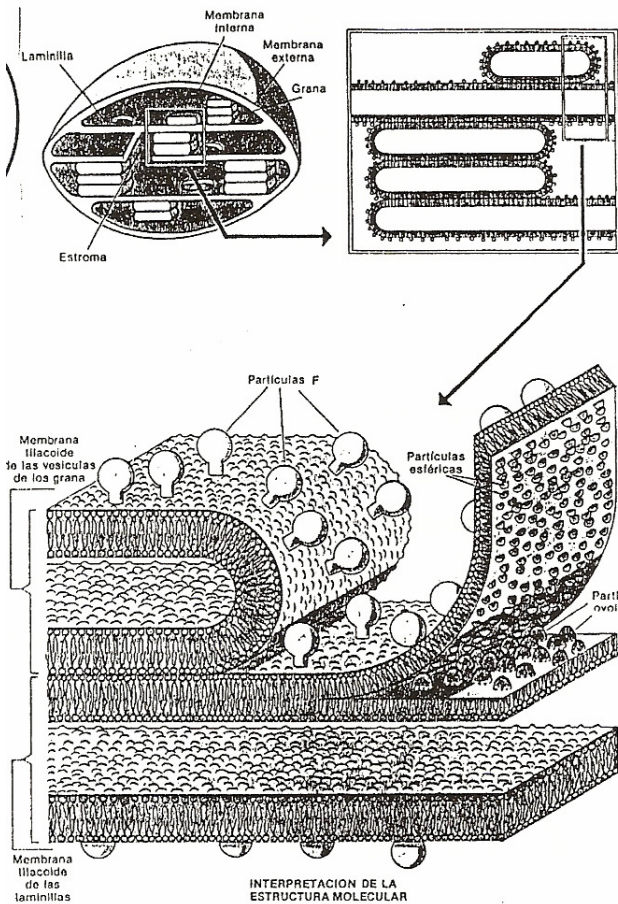


Estructura y composición de los cloroplastos

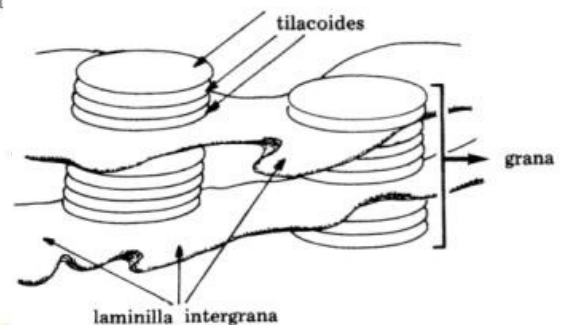
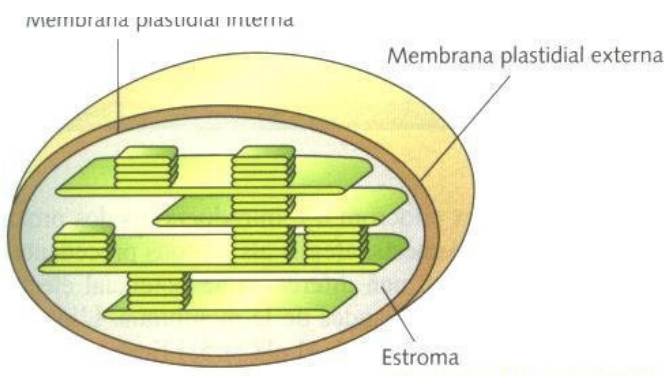
Están constituidos por una doble membrana que delimita dos cavidades, y en la interna aparece una tercera membrana.



- **Membrana externa**: Separa al cloroplasto del hialoplasma. Es lisa y de tipo unitario. Carece de colesterol. Es muy permeable a la mayoría de las sustancias.
- **Espacio intermembrana**: De composición similar al hialoplasma.
- **Membrana interna**: Delimita una cavidad llamada **estroma**. Es de tipo unitario, sin colesterol. Es prácticamente impermeable a la mayoría de las sustancias. Contiene proteínas transportadoras.
- **Estroma**: Es el espacio interior, que queda delimitado por la membrana plastidial interna. Contiene:
 - **ADN plastidial**, que es circular y de doble hélice y no asociado a proteínas. Contiene información para sintetizar las proteínas plastidiales.
 - **Plastorribosomas**, que son 70S, semejantes a los bacterianos. Se encuentran libres y en ellos se sintetizan las proteínas.
 - **Enzimas**, necesarios para la síntesis de proteínas y de materia orgánica.
 - **Inclusiones de granos de almidón e inclusiones lipídicas, glúcidos, proteínas, ácidos nucleicos, iones,...**



Ariba: esquema de la constitución de un cloroplasto y detalle de un grana.
Abajo: interpretación de la estructura molecular de las membranas tilacoidales.



- **Membranas de los tilacoides:** Contienen pigmentos fotosintéticos y delimitan una serie de sacos aplanados llamados **tilacoides** o **lamelas**, con una cavidad interior denominada *lumen* o *espacio tilacoideal*. Los tilacoides pueden ser de dos tipos.
 - **Tilacoides de estroma:** Son alargados y abarcan total o parcialmente el estroma, orientados según el eje mayor del cloroplasto. Forman y sostienen a los tilacoides de grana.
 - **Tilacoides de grana:** Son pequeños, con forma de disco y se presentan apilados como si fueran monedas. Cada pila recibe el nombre de grana.

La membrana tilacoideal es muy impermeable a la mayoría de moléculas e iones. Contiene los pigmentos fotosintéticos, que absorben la energía luminosa, fundamentalmente clorofila a, clorofila b y carotenoides (pigmentos rojos y amarillos): Carotenos y xantofilas. Entre sus proteínas destacan la **ATP- sintetasa**, con estructura y función semejante a las mitocondrias. Proteínas asociadas a los pigmentos, que forman parte de los fotosistemas I y II, y de la cadena fotosintética.

Función de los cloroplastos

- 1) **Fotosíntesis:** Proceso por el cual la energía lumínica es transformada en química para la transformación de materia orgánica a partir de materia inorgánica. Consta de dos fases:
 - a. **Fase lumínica:** Se realiza en las membranas de los tilacoides y consiste en transformar la energía lumínica en ATP al mismo tiempo que se reduce el NADP y se libera oxígeno procedente de la fotólisis del agua.
 - b. **Fase oscura:** Se realiza en el estroma y consiste en la formación de materia orgánica a partir de inorgánica utilizando el ATP y el NADPH de la fase lumínica.
- 2) **Síntesis de proteínas** del cloroplasto en los ribosomas.
- 3) **Almacén de diversas sustancias** como almidón, aceites,...

Orgánulos relacionados con los cloroplastos

- **Protoplastos:** Son pequeños plastos indiferenciados, que carecen de tilacoides y clorofila. Son precursores de los demás plastos.
- **Cromoplastos:** Plastos pigmentados. Carecen de clorofila, pero contienen otros pigmentos responsables de los colores de muchas flores, hojas viejas, frutos,...
- **Leucoplastos:** Plastos sin pigmentos. Algunos sintetizan almidón (amiloplastos) y otros sintetiza diversas sustancias como aceites y proteínas. si se exponen a la luz pueden transformarse en cloroplastos.

4. Teoría endosimbiótica

Fue defendida por Margulis y Sagan en la década de los 70 y propone un origen procariota de los cloroplastos y las mitocondrias.

Según esta teoría, el origen de la célula eucariota podría deberse a la simbiosis permanente entre diferentes tipos de procariotas, que fueron capturados por fagocitosis por un precursor ancestral anaerobio y lograron sobrevivir y establecer una relación simbiótica con su cazador. Así, los antepasados de las mitocondrias fueron bacterias aerobias, los de los cloroplastos primitivos fueron cianofíceas, y los de cilios y flagelos antiguas espiroquetas.

5. Biogénesis de mitocondrias y cloroplastos

Se forman por tabicación y partición de otro orgánulo (mitocondria o cloroplasto) ya existente, por lo que se consideran orgánulos semiautónomos. El resto de los orgánulos se forman totalmente nuevos.

Esto se debe a que el ADN mitocondrial y el ADN plastidial, poseen la información necesaria para formar sus propios componentes, aunque la mayoría los codifica el ADN nuclear.

Durante la división celular, las células hijas, además de llevar la información genética de los cromosomas, llevan la que posee su ADN circular. Esto se llama herencia citoplasmática o no mendeliana.

6. El núcleo

Fue descubierto por Brown en 1830 y es el centro de control en las células eucariotas.

- a) **Forma:** Es muy variada. En células vegetales suele ser discoidal y excéntrico y en animales esférico y céntrico.
- b) **Tamaño:** Es muy variado. Suele ser más grande en las células que tienen mucha actividad (secretoras, reproductoras). Existe una relación nucleoplasmática (RNP) constante entre el volumen nuclear y el celular. Si esa relación aumenta, la célula entra en división.

$$RNP = \frac{\text{volúmen nuclear}}{\text{volúmen celular} - \text{volúmen nuclear}}$$

- c) **Número:** Generalmente es único, pero pueden existir células multinucleadas, como las fibras musculares estriadas, o carecer de él, como los glóbulos rojos de mamíferos.
- d) **Composición:** Está constituido por la envoltura nuclear, el nucleoplasma y el nucléolo.

6.1. Envoltura nuclear

- a) **Estructura de la membrana nuclear**

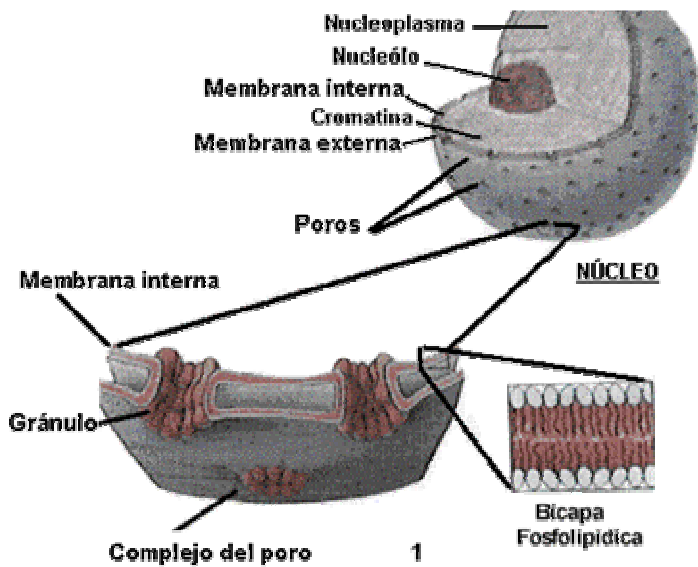
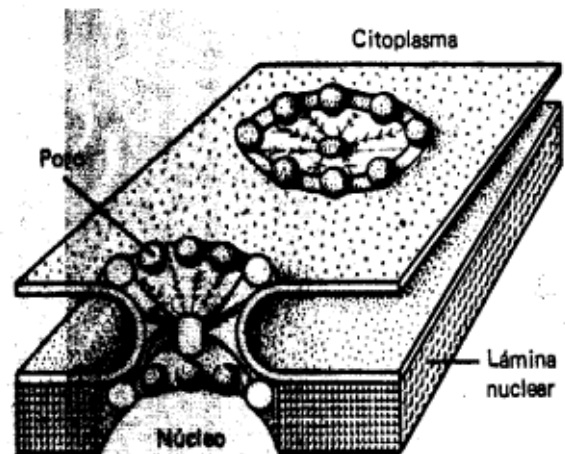
Está formada por una doble membrana de tipo unitario que procede del RER. Entre ambas membranas existe un espacio perinuclear de unos 200 Å por lo que su espesor total es de 350 Å.

- Membrana externa: Tiene ribosomas adosados en su cara externa.

- Membrana interna: Presenta en su cara interna un entramado proteico de aspecto fibroso cuyas proteínas se unen a las de la propia membrana constituyendo la **lámina nuclear o fibrosa**.

En algunos lugares, las dos membranas se fusionan, dejando una región desprovista de membrana, que se llama **poro nuclear**, con un diámetro de unos 500-800 Å, que presenta la siguiente estructura.

- Anillo constituido por 8 masas de ribonucleoproteínas, que recibe el nombre de **complejo del poro nuclear**.
- Gránulo central que ocupa el centro del poro y que regula y controla el paso de sustancias.



6.2. Nucleoplasma

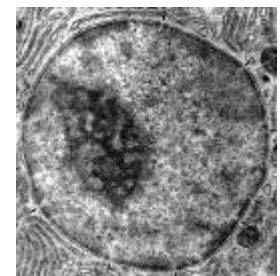
Es el medio interno nuclear. También se llama carioplasma, jugo nuclear, cariolinfa o matriz nuclear. Es una solución coloidal en estado de gel formada por aminoácidos, lípidos, proteínas, glúcidos, nucleótidos, ARN, iones, ADN,...

Existe una red de proteínas fibrilares similares al citoesqueleto. Su función es básicamente sintetizar ácidos nucleicos.

6.3. Nucléolo

Es un corpúsculo que se observa en las células durante la interfase. Carece de membrana y en ocasiones hay más de uno.

Está constituido básicamente por ARN y proteínas y además tiene bucles de ADN que contienen información necesaria para formar ARN nucleolar, llamados organizadores nucleolares.



Función del nucleólo

A partir del ARN nucleolar se forma el ARN ribosómico, por tanto la función del nucleólo es sintetizar ARNr y ribosomas. Para ello, las proteínas sintetizadas en el citoplasma han de atravesar la membrana nuclear y unirse a los ARNr para formar la subunidad mayor y la menor del ribosoma, que salen del núcleo y luego se unirán formando los ribosomas.

b) **Función de la membrana nuclear**

- 1) Actúa de **barrera** entre el núcleo y el citoplasma.
- 2) **Regula el intercambio de sustancias** a través de los poros nucleares.
- 3) La lámina nuclear interviene en la **disposición de la cromatina** y en la **formación de cromosomas** a partir de esta. Interviene en la **desaparición de la membrana nuclear** al inicio de la mitosis y en su **reconstrucción** al finalizar esta.

6.4. El núcleo interfásico: La cromatina

(Repasar la estructura del nucleosoma)

La cromatina está formada por filamentos de ADN en diferentes grados de condensación, y proteínas.

La cromatina se forma a partir de los cromosomas que se descondensan cuando finaliza la división del núcleo. Utilizando colorantes básicos se pueden distinguir:

- Heterocromatina: No se descondensa completamente durante la interfase.
- Eucromatina: Se descondensa completamente durante la interfase.

La cromatina está constituida, básicamente, por una sucesión de nucleosomas, que forman la cromatina de 100 Å (collar de perlas y estructura cristalina). (Primer nivel de empaquetamiento).

Esta fibra puede presentarse enrollada sobre sí misma formando la fibra de cromatina de 300 Å (solenoide) (segundo nivel de empaquetamiento).

Función de la cromatina

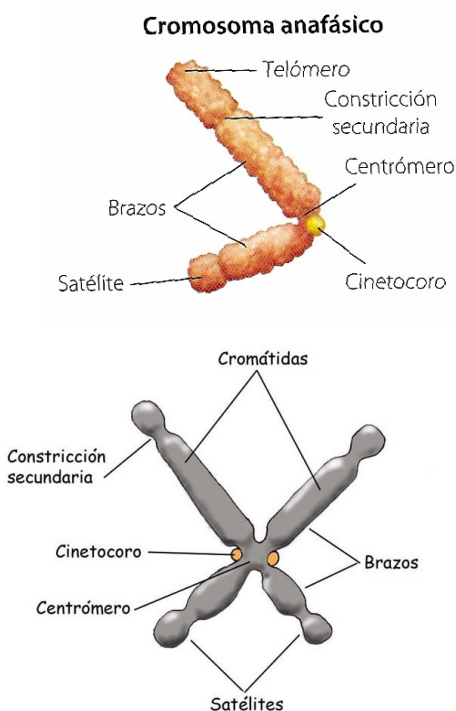
- 1) **Contiene la información genética** sobre la estructura y funcionamiento del organismo. Cuando el ADN se duplica, origina dos moléculas iguales, que quedan unidas por un punto y que se enrollan sobre sí mismas formando las dos cromátidas de cada cromosoma.
- 2) **Proporciona la información biológica** para sintetizar los distintos tipos de ARN (transcripción)

6.5. El núcleo en división: Los cromosomas

Un cromosoma está constituido por una fibra de cromatina de 300 Å condensada sobre sí misma. Representa la máxima compactación de la cromatina. Cada molécula de ADN es hasta 50000 veces más corta que en su forma extendida. Presenta forma de bastoncillo y se tiñe con colorantes básicos. Durante la interfase el ADN aparece en forma de cromatina, pero durante la división celular, la cromatina se condensa originando los cromosomas.

Al inicio de la división celular, el ADN aparece duplicado, con dos fibras idénticas, denominadas cromátidas, que permanecen unidas por un punto llamado centrómero.

Estructura de los cromosomas

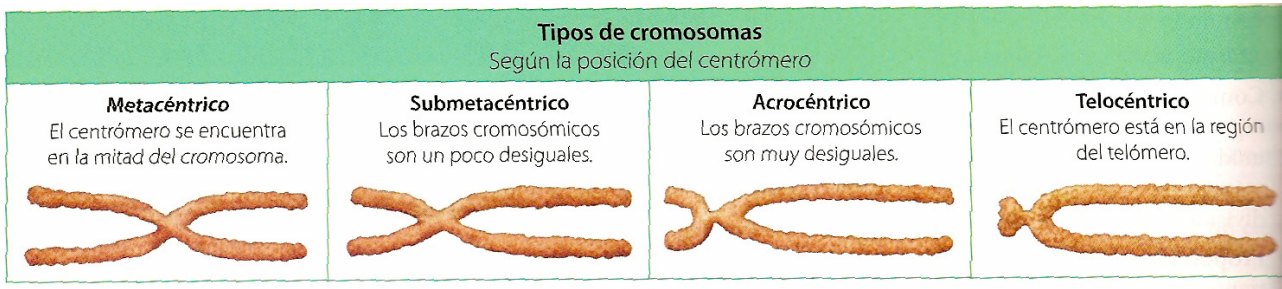


Cada cromosoma consta de los siguientes elementos:

- **Centrómero o constricción primaria**: Estrechamiento de la cromátida que separa dos brazos.
- **Brazos cromosómicos**: Cada una de las dos partes que quedan unidas por el centrómero. La porción distal de ellos recibe el nombre de telómero.
- **Constricción secundaria**: Estrechamiento que se sitúa cerca del telómero y no aparece siempre. Puede dar lugar a otro segmento que se llama satélite.
- **Cinetocoro**: Estructura proteica de forma discoidal situada en el centrómero donde se implantan los microtúbulos del huso acromático.
- **Organizador nucleolar**: Es una constricción secundaria en la que se encuentran los genes que codifican el ARN nucleolar.

El número de cromosomas es constante en todas las células somáticas de todos los individuos de una misma especie, pero puede variar entre las distintas especies.

Forma de los cromosomas



Función de los cromosomas

Transfieren la información genética contenida en el ADN de la célula madre a las células hijas.

6.6. Diploidía y cromosomas sexuales

Las **células somáticas** son células **diploides** o $2n$, siendo n el número de tipos diferentes de cromosomas. Estas células presentan dos juegos de cada tipo de cromosoma, uno heredado de un progenitor y otro heredado del otro.

Los **cromosomas** que forman parejas de **homólogos** son aquellos que tienen información genética (igual o diferente) para los mismos caracteres.

Las **células reproductoras sexuales**, como los **gametos** y las **meiosporas** (de hongos, musgos y helechos), son células **haploides** o células n , es decir, células con un solo juego de cada tipo de cromosomas.

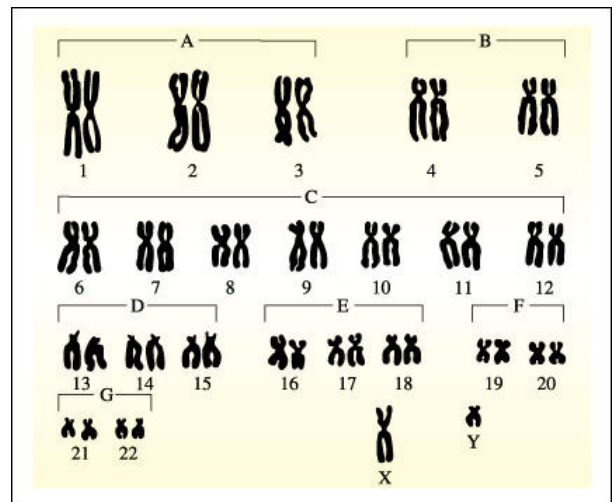
El conjunto de todos los cromosomas metafásicos de una célula se denomina **cariotipo**. El conjunto de cromosomas de una célula, ordenados en función de su forma, tamaño y tipo recibe el nombre de **idiograma**.

Dentro de los cromosomas se distinguen dos tipos:

- **Autosomas**: Corresponden a los que no determinan el sexo.
- **Heterocromosomas o cromosomas sexuales**: Determinan el sexo y se representan con las letras X e Y.

De los 46 cromosomas que tiene una célula somática humana, 44 son autosomas y 2 heterocromosomas. Las mujeres son XX y los hombres XY. En general, el cromosoma Y es muy pequeño y existen muchas especies que no lo tienen, por lo cual uno de los sexos posee dos cromosomas X y el otro solo uno.

En las mujeres, uno de los cromosomas X forma una estructura compacta en la periferia del núcleo durante la interfase denominada **corpúsculo de Barr**. Este hecho permite conocer el sexo del individuo con la simple observación al microscopio de una de sus células.



7. Actividades

- Pon nombre a 10 de las 11 estructura señaladas.
- Describe brevemente la función de las señaladas con números: 4, 5, 6, 9 y 10.
- ¿En qué fase del ciclo celular dirías que se encuentra la célula que contiene estas estructuras?
- ¿Cuál es la estructura equivalente en células procariontas?

