

CITOSOL

Aparentemente homogéneo al MO, contiene en disolución cientos de proteínas enzimáticas que catalizan un número elevado de reacciones metabólicas

Es el medio acuoso del citoplasma en el que se encuentran inmersos los orgánulos celulares. Representa aproximadamente la mitad del volumen celular y **ocupa en las células eucariotas el espacio comprendido entre la membrana plasmática y la envoltura nuclear.**

Existe también un gran número de proteínas fibrilares que forman el citoesqueleto.

En muchas células en el citosol se almacenan también sustancias de reserva en forma de gránulos, denominadas inclusiones, que no están rodeadas de membrana. Así en las células musculares y en los hepatocitos se almacenan gránulos de glucógeno. Los adipocitos contienen grandes gotas de grasa que ocupan casi todo el citosol.

Composición:

- ✚ Agua en un 85%
- ✚ Enzimas
- ✚ Moléculas de señalización
- ✚ Maquinaria de la síntesis proteica (ribosomas, ARNm, ARNt, etc.)
- ✚ Compuestos del metabolismo intermediario
- ✚ Proteosomas (se encargan de la degradación de las proteínas endógenas dañadas)
- ✚ Chaperonas (asisten a las proteínas para su oportuno y adecuado plegamiento)
- ✚ Iones diversos
- ✚ Inclusiones, etc.

CITOESQUELETO

En las células eucariotas (procariotas no) existe una compleja red de filamentos unidos por enlaces cruzados que se dispersa por todo el citoplasma

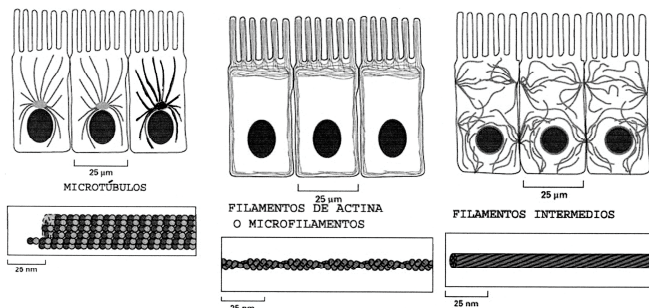
El organizador fundamental del citoesqueleto es el sistema de microtúbulos

Denominamos citoesqueleto a esta **red de filamentos proteicos** que determinan:

- **La forma de la célula**
- **La distribución de los distintos componentes del citoplasma**
- **El movimiento**
- **División celular**
- **Movimiento de los orgánulos internos**

Consideramos tres componentes:

- > **Microtúbulos**
- > **Microfilamentos o filamentos de actina**
- > **Filamentos intermedios**

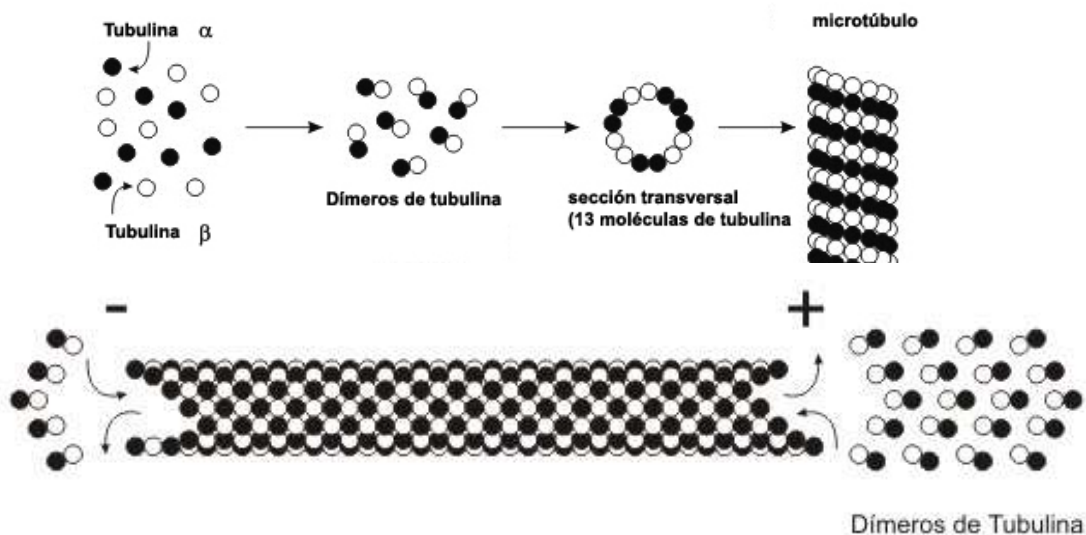


Estos sistemas primarios de filamentos (microfilamentos, filamentos intermedios y microtúbulos), están asociados a un conjunto de proteínas llamadas **proteínas accesorias**. Las proteínas accesorias cumplen distintas funciones y de acuerdo a estos roles se las clasifican en:

- **Proteínas reguladoras:** regulan los procesos de alargamiento (polimerización) y acortamiento (despolimerización) de los filamentos principales.
- **Proteínas ligadoras:** conectan los filamentos entre sí y con distintas estructuras celulares
- **Proteínas motoras:** sirven para la motilidad, contracción y cambios de forma celulares. También trasladan macromoléculas y orgánulos de un punto a otro del citoplasma.

Microtúbulos.-

- Son los principales componentes de citoesqueleto de las células eucariotas.
- Son formaciones cilíndricas uniformes y rectilíneas que poseen un diámetro externo de 240 Å y una longitud que puede alcanzar varios micrómetros.
- En secciones transversales aparecen formados por subunidades que dejan una cavidad central de 140Å de diámetro. Cada subunidad constituye un protofilamento.
- Se forman y se deshacen con gran facilidad, según las necesidades de la célula
- Están formados por moléculas de la proteína tubulina. La tubulina es una proteína globular formado por dos monómeros llamados α y β . Si se unen dos monómeros iguales se forma un homodímero. Lo más frecuente es que la tubulina sea un heterodímero, es decir esté formada por la unión de dos monómeros distintos



Por su localización, podemos clasificarlos en:

1. **Citoplasmáticos** (célula en interfase)
2. **Mitóticos** (fibra del huso)
3. **Ciliares** (en el eje de los cilios)
4. **Centriolares** (en cuerpos basales y centriolos)
 1. Los microtúbulos citoplasmáticos son necesarios como vías de transporte de macromoléculas y orgánulos (vesículas, mitocondrias, etc.), intervienen dos proteínas motoras **quinesina** y **dineína**. También establecen la forma celular
 2. Los microtúbulos mitóticos movilizan los cromosomas durante la mitosis y la meiosis.
 3. Los microtúbulos de cilios y flagelos crecen a partir de un **cuerpo basal** o **cinetosoma** de estructura idéntica a la de un **centrosoma** que actúa como centro de nucleación de dímeros de alfa-beta tubulina. (El cuerpo basal se encuentra por debajo de la membrana plasmática)
 4. El centro organizador principal de microtúbulos en las células animales es el **centrosoma**, próximo al núcleo. El centrosoma está formado por estructuras en forma de anillo que contiene otro tipo de tubulina, la gammatubulina. Estos anillos actúan como centros de nucleación (crecimiento) de microtúbulos. Los dímeros de tubulina se añaden al anillo de gamma tubulina con una orientación específica, siempre el "extremo -" de cada microtúbulo queda dentro del centrosoma y el crecimiento se produce por el "extremo +".

En resumen: Funciones

- **Función mecánica, soporte estructural que da forma a la célula**
- **Interviene en el transporte intracelular de orgánulos y macromoléculas, al actuar como un sistema microcirculatorio**
- **Actúan sobre la distribución de todos los demás componentes del citoesqueleto**
- **Importante papel en la morfogénesis, las células adquieren progresivamente su forma definitiva gracias a los microtúbulos**
- **Intervienen en la polaridad y motilidad celular siendo su papel a la vez estructural y funcional**
- **Intervienen en el movimiento de los cromosomas durante la división celular**

Se organizan a partir de los llamados centros de iniciación o **centros organizadores de microtúbulos** que serían:

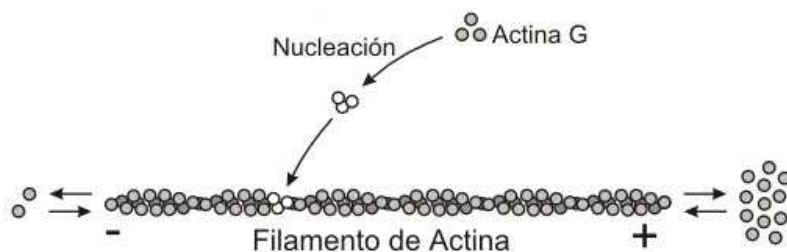
- ✚ Centríolos
- ✚ Material pericentriolar
- ✚ Cinetócoro de los cromosomas
- ✚ Corpúsculos basales o cinetosoma de los cilios y flagelos.

Microfilamentos o filamentos de actina.-

Son las fibras más delgadas de 3-6 nm (nanómetros=milmillonésimas de metro= 10^{-9}), están formados por la proteína **actina**. La actina es una proteína con funciones contráctiles, es también la proteína celular más abundante. La asociación de estos microfilamentos de actina con la proteína miosina son los responsables de la contracción muscular. Los microfilamentos también pueden llevar a cabo los movimientos celulares, incluyendo desplazamiento, contracción y citocinesis.

Están formados por dos hebras de proteínas globulares de 42 de diámetro enrolladas en hélice. A este tipo de filamento se le denomina: **actina F o actina polimerizada**. Si la actina F se despolimeriza o disgrega se obtienen las subunidades globulares que constituyen la actina **G**

El paso de actina G a actina F se consigue aumentando la concentración salina del medio y consumiendo energía en forma de ATP



La actina, presenta polaridad, tiende a polimerizarse (alargarse) y despolimerizarse (acortarse) a gran velocidad por un extremo más (el extremo positivo), y a realizar los mismos procesos por el otro extremo, menos (extremo negativo), a menor velocidad.

- En las células musculares esqueléticas, los microfilamentos se asocian con filamentos de miosina para formar las miofibrillas responsables de la contracción muscular.
- En las microvellosidades, rigidez
- En los estereocilios que presentan las células ciliadas del oído interno
- En las células en división: la formación a nivel de la placa ecuatorial del anillo contráctil, que determina el estrangulamiento y como consecuencia la citocinesis, con la formación de las dos células hijas
- En los desmosomas en banda
- En el movimiento ameboideo y en la fagocitosis: Formación de pseudópodos. Los pseudópodos son prolongaciones dinámicas de la superficie celular que contienen actina
- En la producción de las corrientes citoplasmáticas o ciclosis
- Contribuyen en muchas células animales a reforzar la membrana plasmática. Muchas células animales poseen una densa red de filamentos de actina justo por debajo de la membrana formando a modo de una corteza celular que da fuerza mecánica a la superficie de la célula

Filamentos intermedios.-

Los filamentos intermedios tienen 10 nm de diámetro y proveen fuerza de tensión (resistencia mecánica) a la célula. Según el tipo celular varían sus proteínas constitutivas. Podemos decir que existen seis tipos de filamentos intermedios:

1. **Neurofilamentos** (en la mayoría de las neuronas).
2. **Filamentos de desmina**, en el músculo.
3. **Filamentos gliales**, en las células del mismo nombre, que sirven de soporte en el cerebro, médula espinal y sistema nervioso periférico.
4. **Filamentos de vimentina** en células del tejido conjuntivo y en los vasos sanguíneos.
5. **Queratinas epiteliales**, (o filamentos de queratina o también llamados tonofilamentos), en células epiteliales.
6. **Laminofilamentos**, forman la **lámina nuclear**, una delgada malla de filamentos intermedios sobre la superficie interna de la envoltura nuclear. Son los únicos que no se encuentran en el citoplasma.

A diferencia de los microfilamentos y microtúbulos, los filamentos intermedios al agruparse pierden polaridad, por lo tanto no presentan extremo + y extremo -

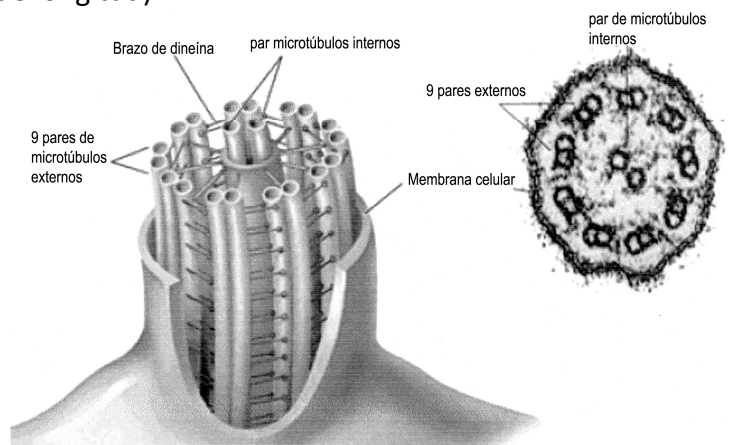
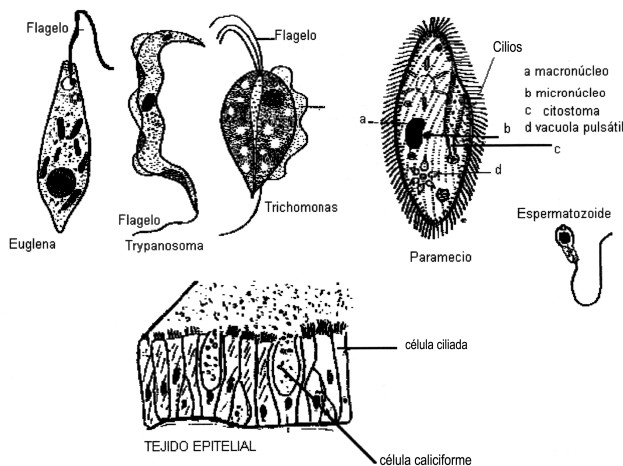
Movimiento celular:

Por pseudópodos.- **AMEBOIDEO**

Por cilios y flagelos.- **VIBRÁTIL**

Movimiento vibrátil: cilios y flagelos

- Son expansiones citoplasmáticas dotadas de movimiento.
- Mientras que a las células libres les permite el movimiento, a las células de los organismos pluricelulares les permiten hacer circular líquidos (recuerden el epitelio del tracto respiratorio).
- Los cilios son cortos y numerosos (0'2 micrómetros de longitud)
- Los flagelos son largos y escasos (200 mm de longitud)



Estructura.-

1. **Tallo o axonema**
2. **Zona de transición**
3. **Corpúsculo basal o cinetosoma**
4. **Raíces ciliares (no siempre presentes)**

1.- Tallo o axonema.-

Está limitado por la membrana plasmática que encierra: **Una matriz constituida por citosol sin orgánulos**

- El axonema, es una estructura microtubular y es el elemento móvil. Está constituido por **11 microtúbulos paralelos entre sí y divididos en dos grupos:**



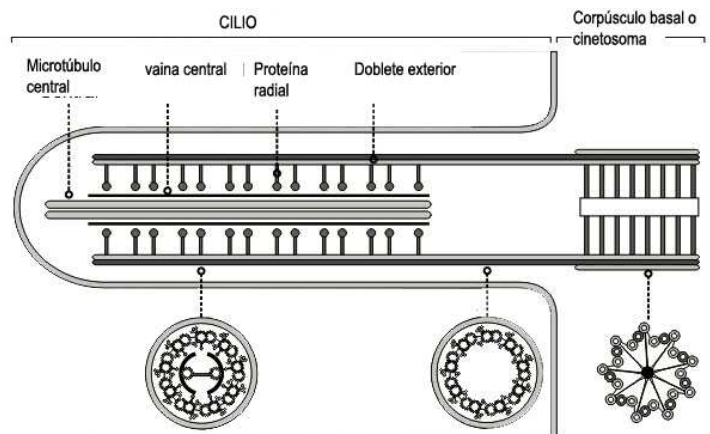
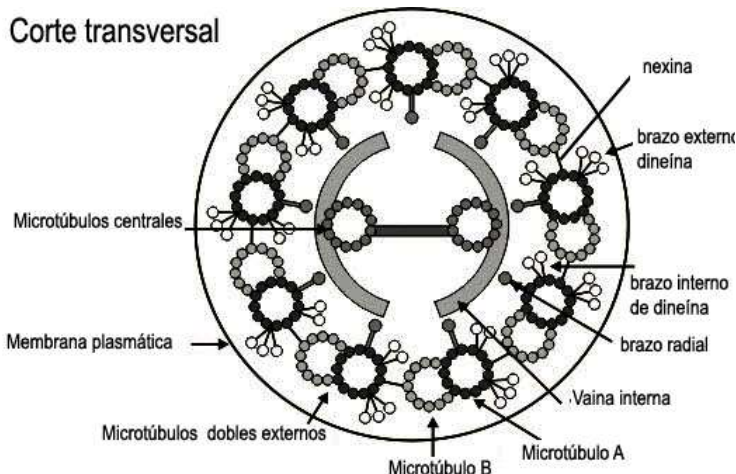
_ **Un par de microtúbulos centrales rodeados por una vaina**

_ **Nueve microtúbulos periféricos dobles dispuestos alrededor del par central**

Cada doblete está formado por dos microtúbulos que se indican con las letras a y b. El a es el más próximo al centro. El b lleva dos brazos de una proteína llamada **dineína**. Cada par de microtúbulos se encuentra unido al adyacente mediante fibras de otra proteína llamada **nexina** (puentes de nexina)

- **Fibras de disposición radiada que se insertan entre la vaina central y los túbulos**

Corte transversal

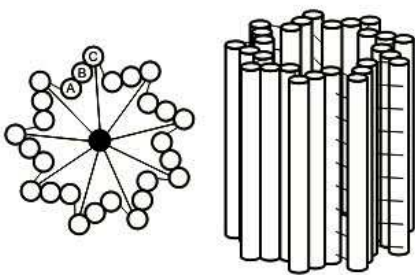


2. Zona de transición

La zona intermedia situada entre el tallo y el corpúsculo basal, se caracteriza porque se interrumpen los dos microtúbulos centrales de tubulina

Justo por debajo de la región en que se interrumpen los microtúbulos se sitúa una placa con forma de diafragma

3. Corpúsculo basal o cinetosoma



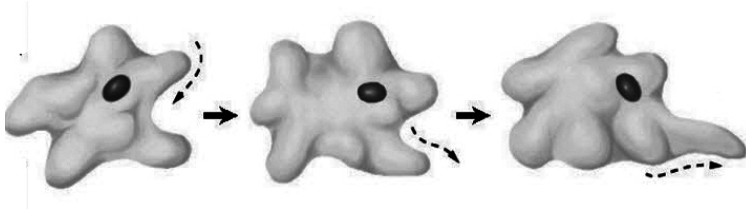
- Tiene forma de cilindro de 0,2 a 0,5 micrómetros de longitud.
- Se sitúa en la base del cilio
- Está formado por **nueve grupos de tres microtúbulos triples (9+0)**, de los tres dos son continuación de los del axonema del tallo. Los microtúbulos triples delimitan una circunferencia
- La estructura del corpúsculo basal o cinetosoma **es igual a la del centríolo**, de donde se cree que procede

El movimiento del axonema se produce por el deslizamiento de unos dobletes periféricos respecto a los otros. La responsable del deslizamiento es la proteína dineína que tiene actividad ATP-asa.

En presencia de ATP se produce un deslizamiento por sucesivas conexiones y desconexiones de los brazos del microtúbulo A de un doblete con el B del siguiente doblete, lo que determina que se muevan unos microtúbulos con respecto a los otros. Los puentes de proteína nexina son muy elásticos y mantienen unidos los dobletes, limitando su desplazamiento.

Como resultado del deslizamiento de los dobletes periféricos, se produce la flexión del cilio o flagelo

El movimiento ameboide: se produce mediante la emisión de pseudópodos. Se emite un pseudópodo tras el que se desplaza el citoplasma que su vez se retrae por la cola. Cuando el citoplasma ocupa al pseudópodo, se forma un nudo y así continúa avanzando la célula. Este movimiento implica la transición de gel (una red de filamentos de actina) a sol (cortos filamentos o monómeros de actina).



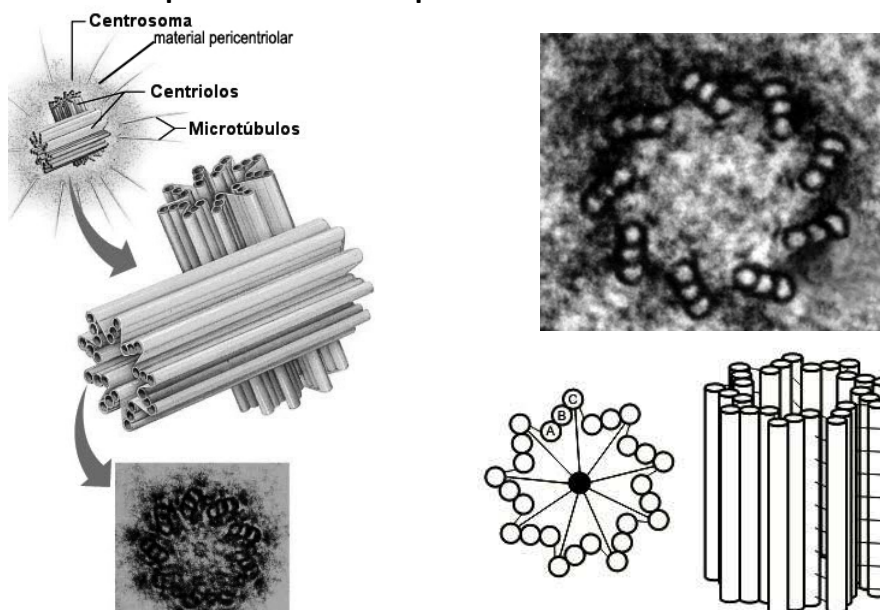
Centrosoma. Citocentro

El centrosoma o centro celular o citocentro está presente en la célula eucariota animal pero **no lo posee la célula eucariota vegetal**.

Se localiza cercano al núcleo, a veces está rodeado de vesículas del aparato de Golgi.

Está formado por:

- ❖ **Un par de centriolos situados perpendicularmente uno a otro (diplosoma)**
- ❖ **El material pericentriolar que rodea al diplosoma**
- ❖ **Las fibras del áster formadas por microtúbulos que crecen y se organizan en forma de radios a partir del material pericentriolar**



Los centriolos forman también parte de los cilios y flagelos en donde los hemos llamado **gránulo basal o cinetosoma**. Se sitúan ocupando el centro del centrosoma

Cuando una célula se va a dividir cada uno de ellos da lugar por duplicación a su pareja. *Las células vegetales carecen de centriolos

Durante la división celular organizan el huso acromático

El material pericentriolar que rodea al diplosoma se encarga de polimerizar la tubulina para dar lugar a los microtúbulos, que tienen dos extremos opuestos, el (-) que está fijado al centrosoma y el (+) que queda libre en el citoplasma

Los centriolos y los corpúsculos basales son centros organizadores de microtúbulos, es decir, actúan como núcleos de formación a partir de los que crecen los microtúbulos

Dado que los centríolos organizan los microtúbulos y estos participan a su vez en la distribución de los demás filamentos del citoesqueleto, hay que pensar que intervienen de forma importante en la organización del citoesqueleto.

Sin embargo no necesariamente todos los centros organizadores de microtúbulos contienen centríolos, pues en las células vegetales los microtúbulos del huso acromático surgen de una zona mal definida que carece de centríolos.

Otro organizador de microtúbulos es el **cinetócoro** de los cromosomas

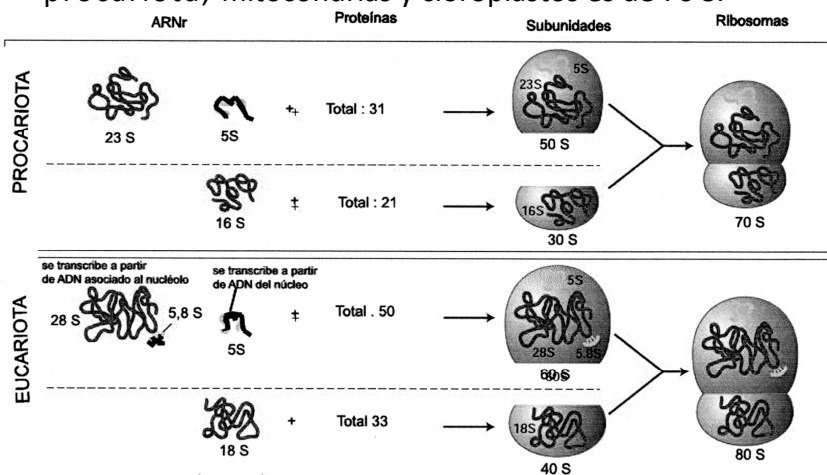
Ribosomas

Es un complejo formado por varias moléculas de ARNr asociadas a proteínas.

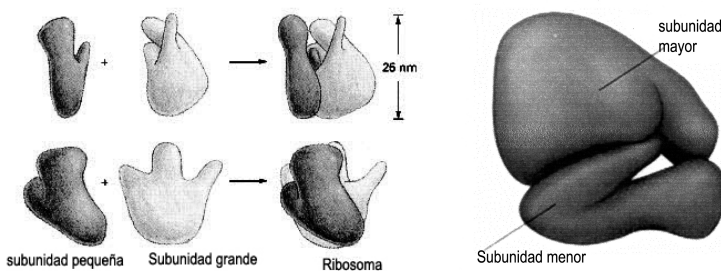
El ARNr constituye más del 60% del ribosoma

Adoptan una forma esférica o globular constituida por dos subunidades, una mayor que la otra.

Tienen distinto tamaño según se trate de una célula eucariota o una procariota. Los de las células eucariotas poseen un coeficiente de sedimentación de 80 S mientras que en la célula procariota, mitocondrias y cloroplastos es de 70 S.



Las moléculas de ARN-r forman a modo de una trama donde encajan o ensamblan espontáneamente docenas de tipos de proteínas que presentan una sola copia por ribosoma. La estructura permite el **reconocimiento y acople al ARN-t y al ARN-m**



Los ribosomas (en todas las células) son los orgánulos en donde tiene lugar el proceso de síntesis de proteínas (la traducción del mensaje genético). La subunidad menor o pequeña se une al ARNm y al ARNt en el proceso de traducción en la síntesis de proteínas, mientras que la subunidad mayor o grande cataliza la formación de los enlaces peptídicos elaboran en el nucléolo

Las subunidades ribosómicas se

El ARNr se forma a partir del ADN asociado al nucléolo (se le conoce como organizador nucleolar) gracias a la acción de una ARN polimerasa I en las células eucariotas, que da lugar a un transcrito primario conocido como ARN 45 S, a partir del que por maduración se forman los definitivos ARNr 18S, 28S, 5,8S. El ARNr 5S se elabora a partir de ADN del núcleo

En el propio nucléolo se unen los ARNr a proteínas que se han elaborado en el citosol, para formar las dos subunidades ribosómicas, que salen del núcleo a través de los poros de la envoltura nuclear

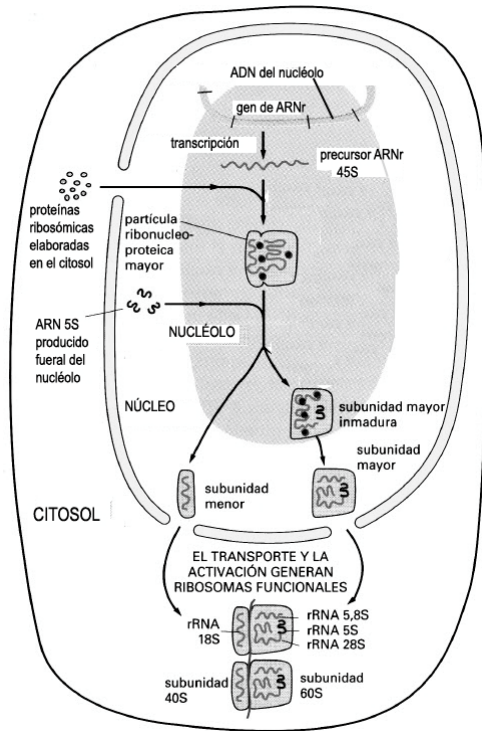
LOCALIZACIÓN

- ✚ Adheridos a la cara externa del retículo endoplásmico granular (REG)
- ✚ Adheridos a la envoltura nuclear externa
- ✚ Libres en el citosol
- ✚ En el citosol, agregados (unidos a una hebra de ARNm formando un polisoma o polirribosoma)

El hecho de que los ribosomas se encuentren fijos a una membrana o libres en el citosol, determina que las proteínas elaboradas en ellos tengan destinos distintos

Las proteínas elaboradas en los ribosomas libres quedan en el citosol

Las proteínas que se elaboran en ribosomas adheridos a membranas nunca quedan en el citosol, su destino es ser destinadas a otros orgánulos o al exterior



Sistema de endomembranas

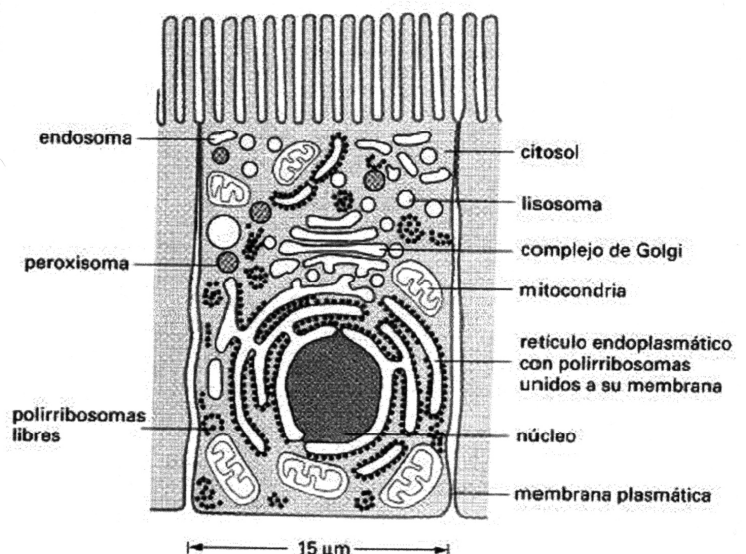
Una de las características distintivas de las células eucariotas respecto de las procariotas es su alto grado de compartimentalización. La presencia de un núcleo bien diferenciado, con una envoltura nuclear que confina el material genético al interior del núcleo, es sólo un aspecto de la separación espacial de funciones dentro de la organización celular. El citoplasma, a su vez, se encuentra recorrido en todas direcciones por un sistema de sacos y túbulos, cuyas paredes de membrana ofician de límite entre la matriz citoplasmática y la luz o cavidad del sistema. Este conjunto de estructuras membranosas, incluida la envoltura nuclear, se conoce como sistema de endomembranas (SE) o sistema vacuolar citoplasmático (SVC).

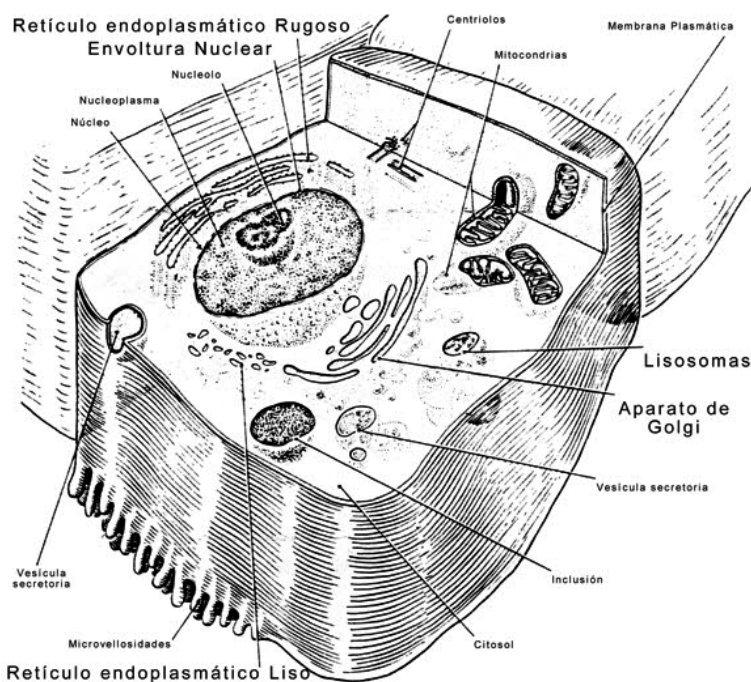
Como orgánulos de membrana simple:

- ➔ Retículo endoplasmático
- ➔ Aparato de Golgi
- ➔ Lisosomas
- ➔ Peroxisomas
- ➔ Vacuolas
- ➔ Vesículas

Como orgánulos de membrana doble:

- ➔ Envoltura nuclear
- ➔ Mitocondrias
- ➔ Cloroplastos





La compartimentalización permite a la célula realizar a la vez reacciones químicas incompatibles entre sí, que al realizarse en compartimentos distintos no pueden interferir. Por ejemplo: Los ácidos grasos son elaborados por enzimas que se localizan en el citosol, mientras que son degradados en la mitocondria

Retículo endoplasmático o endoplásmico

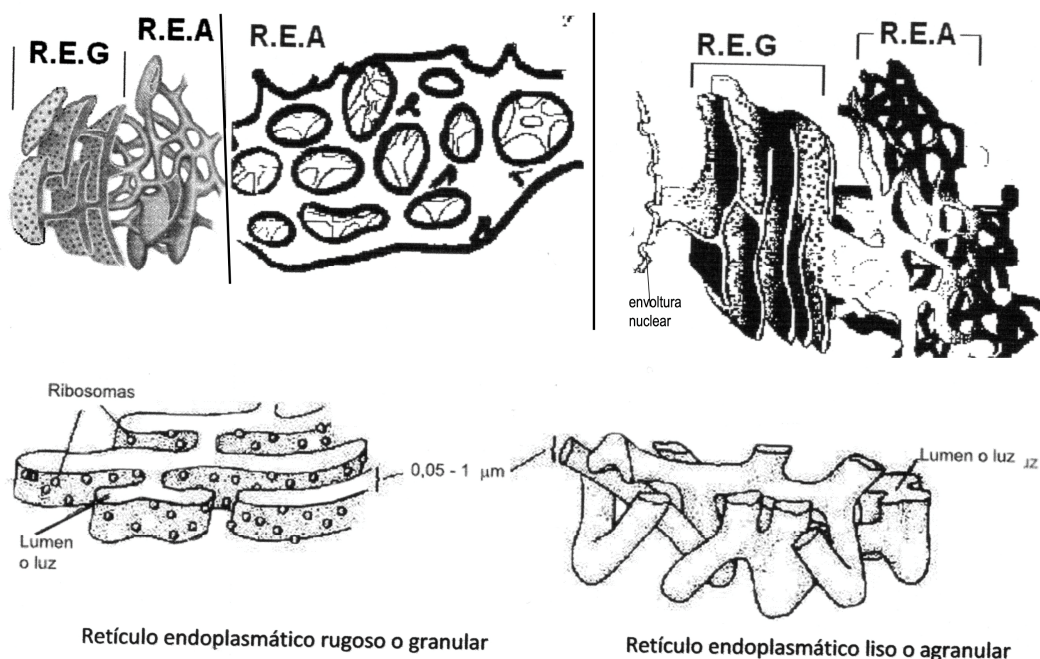
Es un sistema de sáculos o canalículos, limitados por membranas de naturaleza lipoproteica que se extiende desde la envoltura nuclear hasta la membrana citoplasmática.

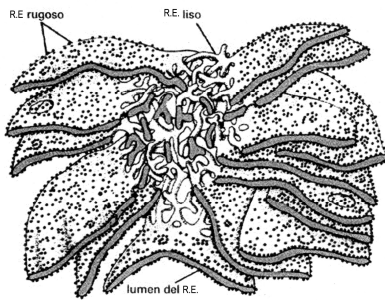
Por medio de la centrifugación diferencial en gradiente de densidad, el R.E. aparece en una fracción llamada microsomal. Se fragmenta en pequeñas vesículas llamadas microsomas que son rugosos si proceden del R.E.G o lisos si proceden del R.E.A. Los microsomas rugosos permiten aislar y estudiar los ribosomas

Su desarrollo varía según el tipo celular, está muy desarrollado en células secretoras

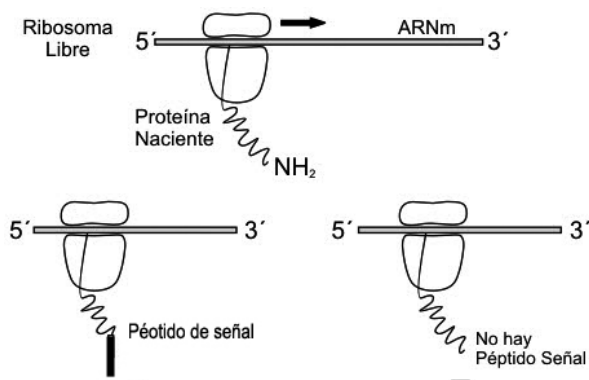
Comprende dos tipos que están interconectados pero que difieren en sus funciones:

- ✚ Retículo endoplasmático granular o rugoso. R.E.G o R.E.R
- ✚ Retículo endoplasmático o endoplásmico agranular o liso R.E.A o R.E.L

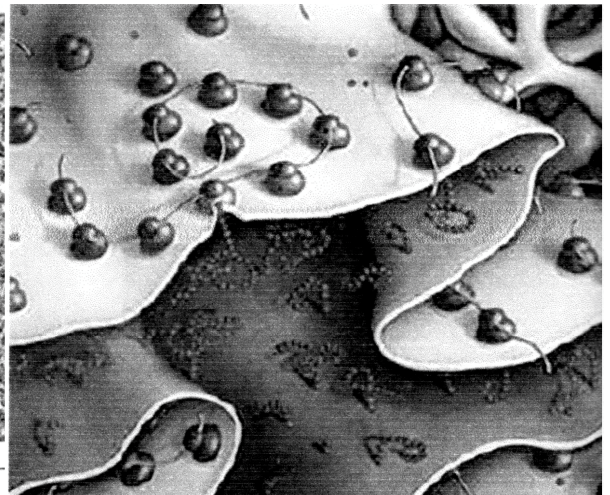
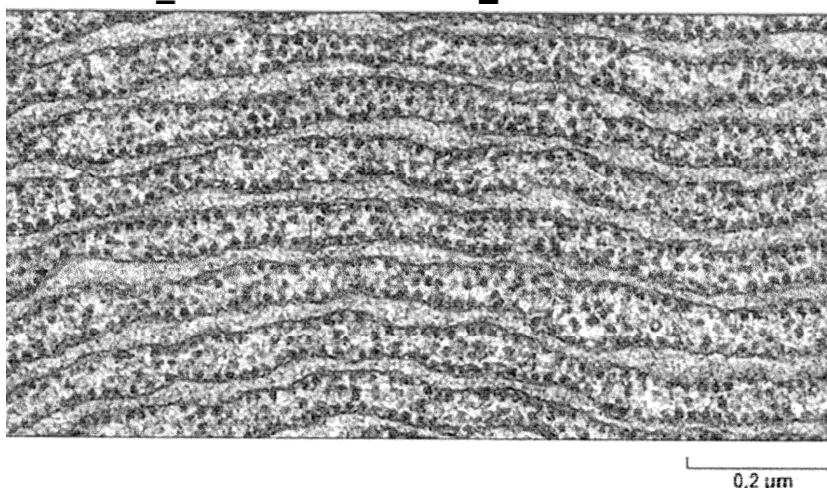




Funciones del R.E.R



Todas las proteínas sintetizadas en la célula (excepto las codificadas por ADN de mitocondria y cloroplasto) son iniciadas por ribosomas libres del citosol. Muchas de ellas, las proteínas nucleares, las citosólicas y las que están destinadas a cloroplastos, mitocondrias o peroxisomas, concluyen su síntesis en dichos ribosomas para luego dirigirse, por el citosol, hacia sus compartimentos diana. Otras, en cambio, como las proteínas integrales de membrana, las de secreción y las enzimas lisosomales, terminan su síntesis en el REG.



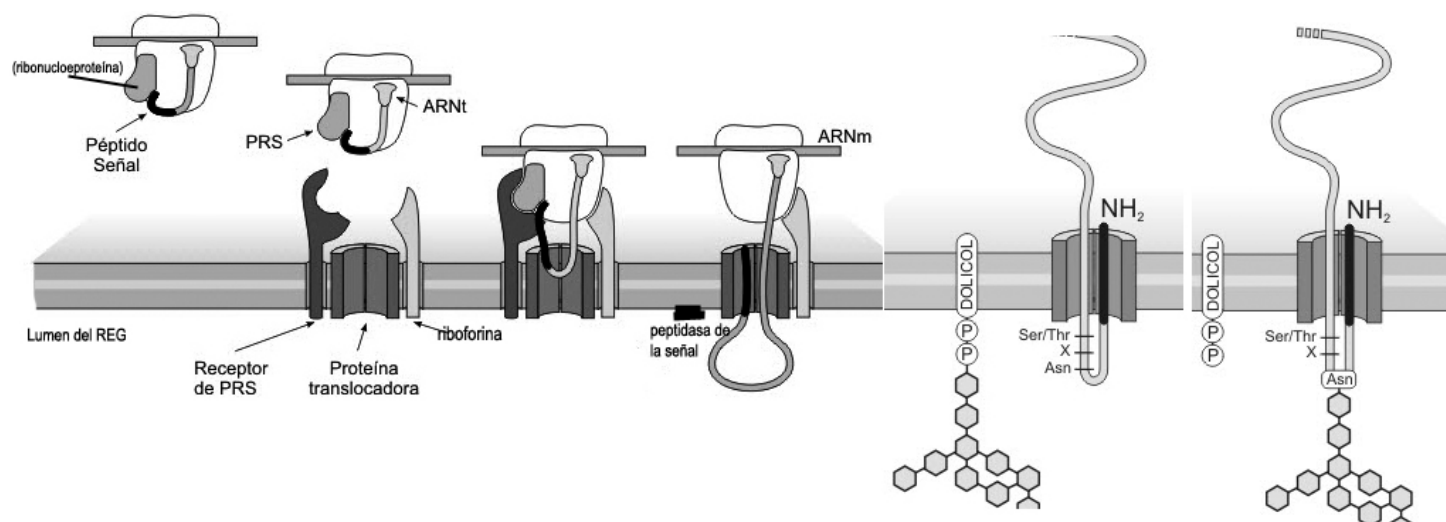
¿Qué es lo que determina que una proteína sea elaborada en el R.E.G o en los ribosomas del citosol? Blobel y Sabatini, en el año 1971, propusieron para explicar el destino de las proteínas la hipótesis de la señal, ampliamente corroborada después.

Las proteínas que se sintetizan en el REG tienen en su extremo aminoterminal un conjunto de aproximadamente treinta aminoácidos cuyos radicales son predominantemente hidrófobos. Este primer fragmento de las proteínas recibe el nombre de **péptido señal o péptido guía**.

No aparece péptido guía en las proteínas del citosol, núcleo, mitocondria, cloroplasto ni peroxisomas.

1. Cuando el péptido guía está presente, es reconocido por una ribonucleoproteína llamada PRS (partícula de reconocimiento de la señal) situada en el citosol. La PRS interactúa con el péptido señal y detiene la síntesis temporalmente.
2. El ribosoma se une a la membrana externa del R.E.G donde existen unas proteínas llamadas riboforinas (receptores de ribosomas). También hay receptores para la PRS.
3. Una vez que el ribosoma se adhiere a las membranas reticulares, la interacción ribosoma-SRP con las riboforinas da lugar a la formación de un canal transmembrana,

4. Es eliminado el péptido de señalización por un enzima presente en el lado de la membrana que da al lumen llamado peptidasa de la señal. La PRS se separa y la traducción se reanuda. A medida que la proteína crece, se vuelca hacia el lumen del REG: la síntesis proteica y la translocación a través de la membrana son simultáneas (cotraslación).
5. La proteína se glucosila (se incorpora a la cadena polipeptídica recién formada una cadena de oligosacáridos (siempre la misma).. El enzima que cataliza este proceso se localiza en la parte interna de la membrana
6. La proteína sale empaquetada en vesículas que surgen del R.E.R por estrangulación. Las vesículas se llaman vesículas de transferencia que se encaminan hacia el aparato de Golgi



Las proteínas que carecen de péptido señal no son reconocidas por la PRS; por este motivo no se dirigen hacia el sistema de endomembranas y su síntesis se completa en el citosol. Muchas de ellas atraviesan otras membranas con posterioridad (postraslación) para alcanzar su localización definitiva. Se han encontrado otras secuencias aminoacídicas, distintas del péptido señal, que actúan como marcas para dirigir las a sus respectivos destinos.

Funciones del retículo endoplásmico liso

- a) **Síntesis de lípidos.** En las membranas del REL se sitúan las enzimas responsables de la síntesis de la mayor parte de los lípidos celulares: triglicéridos, fosfoglicéridos, colesterol, cerámidas y esteroides. Los precursores para la síntesis provienen del citosol, hacia el cual se orientan los sitios activos de las respectivas enzimas.
- b) **El REL en las células musculares.** El REL actúa como reservorio de calcio, el cual –frente a la llegada de un estímulo - es liberado al citosol, donde dispara una respuesta específica. Esta función es particularmente importante en las células musculares. Allí el REL, que toma el nombre de **retículo sarcoplásmico**, adopta una conformación muy especializada. El calcio es liberado frente al impulso nervioso desencadenado por el neurotransmisor, y una vez en el citosol participa en la contracción muscular. Cuando retorna al REL, por la acción de una bomba de calcio, se produce la miorrelajación.
- c) **El REL en las células hepáticas.** Está involucrado en dos funciones: detoxificación y glucogenólisis.
 - La detoxificación consiste en la transformación de metabolitos y drogas en compuestos hidrosolubles que puedan ser excretados por orina. Los efectos no siempre son positivos; el compuesto benzopireno relativamente poco nocivo (formado al tostar carne sobre una parrilla) se convierte en un potente carcinógeno por acción de las enzimas "destoxicantes" del REL
 - La glucogenólisis (degradación del glucógeno) tiene lugar en el citosol, donde los gránulos de glucógeno se encuentran en íntima relación con el REL. El producto de la glucogenólisis,

la glucosa 6-fosfato (glucosa 6-P), es atacada entonces por la glucosa 6-fosfatasa, enzima de la membranas del retículo. que cataliza la hidrólisis del grupo fosfato, permitiendo así que la glucosa atraviese la membrana celular hacia el torrente circulatorio. La glucosa 6-fosfatasa no se expresa en las células musculares, razón por la cual el glucógeno muscular no contribuye a la mantención de la glucemia.

Funciones comunes a ambos retículos

- Actúan como **soporte mecánico** del citoplasma debido a que forman una red de canalículos que atraviesan todo el citoplasma
- Intervienen en la formación de lipoproteínas: Las proteínas elaboradas por los ribosomas del R.E.G. pasan a los túbulos del R.E.A., en donde se unen a los lípidos formados por él. Una vez formadas las lipoproteínas pueden ser transportadas mediante vesículas de transferencia al aparato de Golgi, a partir del cual se encaminará a su destino final.
- Transporte y almacenamiento de sustancias, ya sean extracelulares capturadas por endocitosis o elaboradas por la propia célula.**

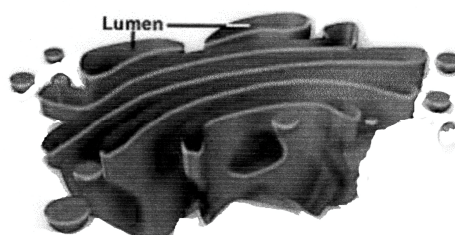
Aparato de Golgi

Fue descubierto en 1898 por el histólogo italiano Camilo Golgi.

Forma parte del sistema de endomembranas de la célula

Su desarrollo es muy variable de unas células a otras incluso puede variar dentro de una misma célula dependiendo de su ciclo funcional.

Su localización es relativamente fija para cada tipo celular. En las células con secreción exócrina se localiza entre el núcleo y el polo secretor. En las neuronas se encuentra rodeando totalmente el núcleo.



Se pueden considerar tres niveles de organización:

- La cisterna como unidad básica**
- El dictiosoma formado por el apilamiento de cisternas**
- El aparato de Golgi como conjunto de dictiosomas**

Las cisternas tienen forma de disco y constan de una membrana lipoproteica continua y de superficie lisa. Un dictiosoma está formado por el apilamiento de varias cisternas, su nº varía considerablemente. Rodeando los dictiosomas existen numerosas vesículas que pueden diferenciarse en dos tipos:

- Pequeñas (100 Å) situadas sobre la cara convexa llamadas vesículas de transferencia o de transición que proceden del R.E.

2. El otro tipo de vesículas son de mayor tamaño (400-1000 Å) se encuentran situadas sobre las superficies laterales y sobre la cara cóncava del dictiosoma. Se denominan vesículas secretoras

El aparato de Golgi presenta una polaridad que se evidencia por su forma y por la propia composición de las cisternas.

✚ **La cara proximal o de formación**, convexa, relacionada con la envoltura nuclear externa, y con el R.E (composición similar al R.E.)

✚ **La cara distal o de maduración**, cóncava, relacionada con la formación de las vesículas secretoras (composición similar a la membrana citoplasmática)

El estudio enzimático de las distintas cisternas permite distinguir tres compartimentos

- Cisternas cis
- Cisternas medianas
- Cisternas trans

Cada compartimento tiene sus enzimas específicas, de modo que las vesículas procedentes del R.E. que alcanzan la cara cis del dictiosoma recibirán distintos tratamientos dependiendo de su destino final.

Las destinadas a formar los lisosomas primarios añaden un grupo fosfato a la manosa final de la cadena oligosacárida y no sufren más transformación. Las destinadas a formar parte de la membrana plasmática o expulsar su contenido al exterior les son extraídas las unidades de manosa y añadidas unidades de N-acetilglucosamina y galactosa.

Para explicar el paso de proteínas de la cara cis a la trans se ha propuesto que las glucoproteínas pasan de un compartimento a otro mediante vesículas que brotan de las membranas de una cisterna y se fusionan con las membranas de la adyacente

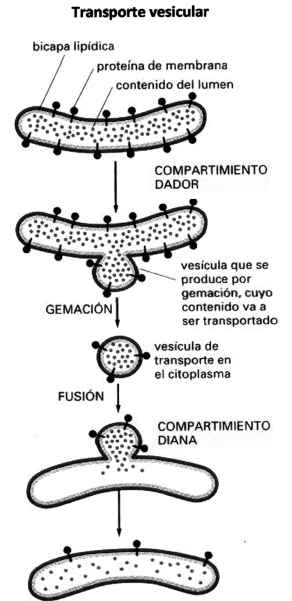
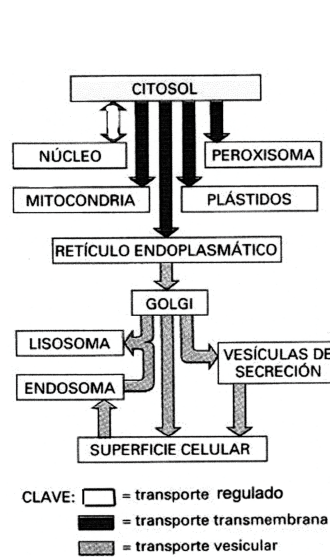
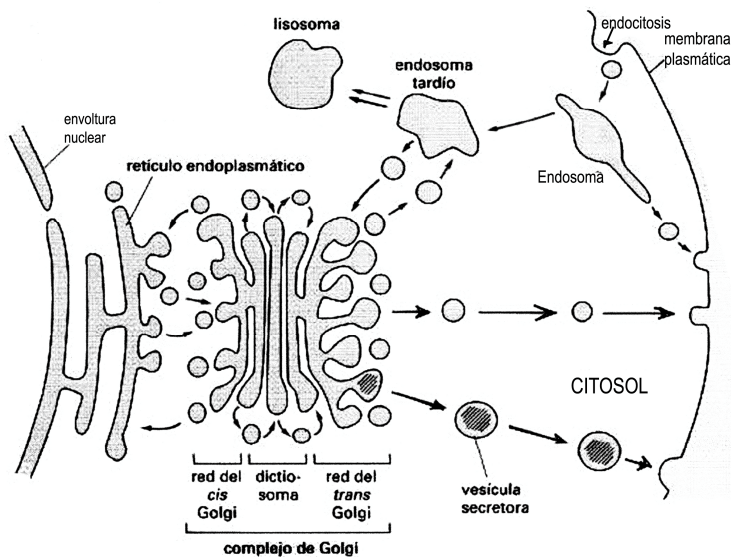
Como conclusión:

- En el interior de sus cavidades se produce la glicosilación de las proteínas que proceden del R.E, la transformación de la cadena oligosacárida va a determinar el destino final de la proteína
- Interviene en la transformación, almacenamiento y transferencia de glucoproteínas
- En el proceso de secreción celular. Elabora vesículas secretoras que se fusionan con la **membrana citoplasmática y descargan el contenido al exterior (exocitosis)**
- **Reciclaje de la membrana citoplasmática, pues la membrana de las vesículas secretoras** durante la exocitosis entra a formar parte de la membrana citoplasmática (reponer las pérdidas por endocitosis).
- Formación de los **lisosomas primarios**
- Interviene también en los vegetales:
 - Elaboración de polisacáridos de la pared celular vegetal como las hemicelulosas y pectinas.
 - Formación del tabique telofásico y de la pared celular.
- **En los espermatozoides la formación del acrosoma**

Nota:

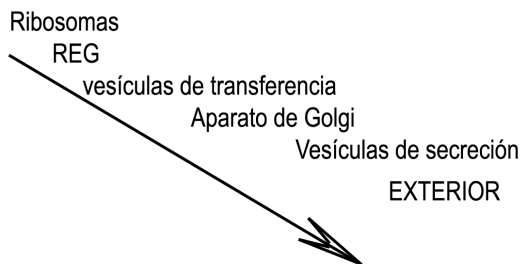
Las proteínas encerradas en vesículas formadas en el aparato de Golgi pueden ser secretadas de dos formas:

- Algunas son secretadas continuamente, ya que las vesículas secretoras una vez formadas se fusionan rápidamente con la membrana citoplasmática (ruta constitutiva).
- Otras proteínas son almacenadas en vesículas secretoras especiales y la secreción sólo tiene lugar cuando la célula es estimulada por una señal extracelular (ruta regulada)

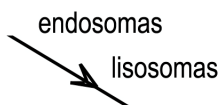


Secreción celular

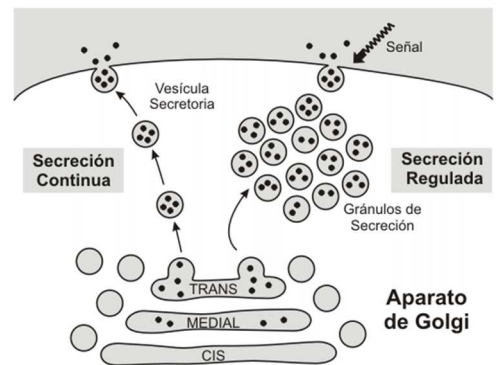
Todas las proteínas elaboradas por la célula para la exportación siguen la vía llamada **Vía biosintética-secretora**



Las moléculas ingeridas siguen la **vía endocítica**:



Puede haber moléculas que retornan a la superficie para ser reutilizadas



LISOSOMAS

- ❖ El término lisosoma se debe a De Duve y engloba numerosas estructuras redondeadas que tienen como característica común estar limitadas por membranas y contener enzimas digestivos o hidrolasas siendo las **fosfatasa ácidas** las más características (hidrolizan los enlaces éster y liberan grupos fosfato).
- ❖ Cada lisosoma primario es una vesícula que brota del aparato de Golgi, con un contenido de enzimas hidrolíticas (hidrolasas). Las hidrolasas son sintetizadas en el REG y viajan hasta el aparato de Golgi por transporte vesicular. Actualmente se conocen unos 40 enzimas lisosómicos (proteasas, nucleasas, glucosidasas, lipasas, etc.)
- ❖ Su aislamiento se ha logrado mediante las técnicas de ultracentrifugación diferencial
- ❖ La membrana lisosomas protege a la célula contra la lisis que podría producirle los lisosomas que contiene, pero permite una cierta permeabilidad al dejar pasar los productos resultantes de la digestión intralisosomal y que van a ser utilizados por la célula.
- ❖ **La membrana posee algunas proteínas de transporte que utilizando energía en forma de ATP bombea cationes hidrógeno hacia el interior del lisosoma para mantener en su interior un PH ácido**
- ❖ La membrana posee algunas proteínas que de alguna manera marcan al lisosoma como diana para la fusión con vesicular celulares específicas.

Diferenciamos dos clases:

1. Lisosomas primarios.-

Son los lisosomas recién formados por gemación a partir del aparato de Golgi, que por lo tanto no han intervenido en ningún proceso de digestión.

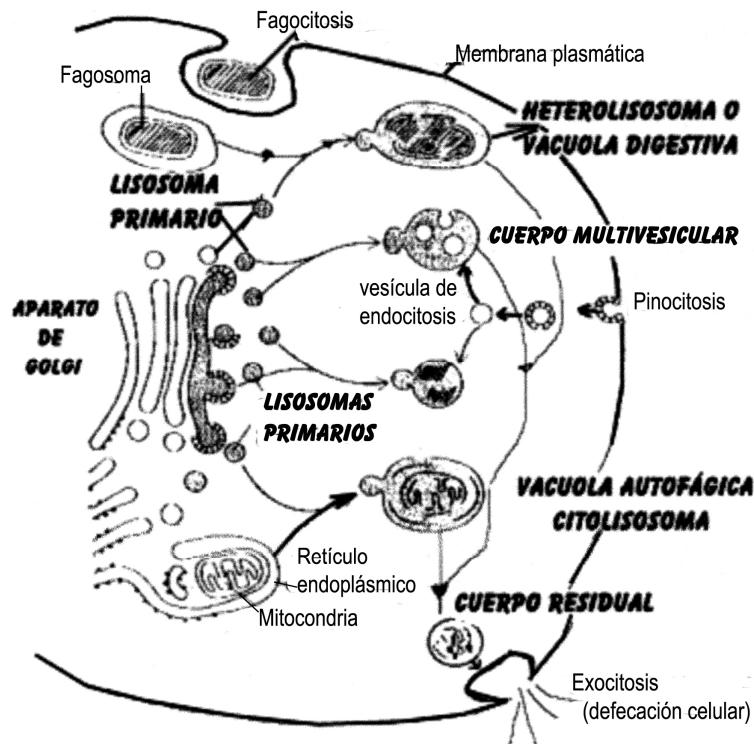
Su función es diversa:

- a) Pueden originar los lisosomas secundarios si se fusionan con material endógeno o exógeno.**
- b) Pueden verter directamente su contenido al exterior para provocar la digestión o lisis del material extracelular circundante.**

2 Lisosomas secundarios.-

Son orgánulos de morfología muy variada y están ya implicados en la digestión intracelular. Dependiendo del material implicado en la digestión se llaman:





- **Heterolisosomas, vacuolas heterofágicas o vacuolas digestivas.-**

Proceden de la fusión de un lisosoma con partículas capturadas del exterior por endocitosis llamadas **fagosomas**.

Una vez realizada la acción de los enzimas lisosómicos, el material digerido atraviesa la membrana lisosomal y es aprovechado por la propia célula.

Cuando la digestión no ha sido completa se pueden formar cuerpos residuales

Funciones de las vacuolas heterofágicas.-

- Realizan el proceso de nutrición por digestión intracelular (los productos que se obtienen por su acción enzimática son aprovechados por la célula)
- Defienden al organismo frente a agentes patógenos. Así, los macrófagos son capaces de englobar a los microorganismos, introducirlos en el interior de un fagosoma y los enzimas lisosómicos destruirlos
- En algunos casos como las células renales realizan la resorción de las proteínas

- **Cuerpos multivesiculares.-**

Cuando la fusión se produce entre un lisosoma primario con pequeñas vesículas pinocíticas

- **Vacuolas autofágicas**

La autofagia la realizan los lisosomas sobre partes de la célula que previamente han sido rodeadas de membrana (**autofagosoma**)

El origen de la membrana del autofagosoma puede ser diverso.

Es frecuente que sea un sáculo del aparato de Golgi el que rodee una porción de material intracelular a digerir

Otras veces son los túbulos del R.E.A quienes rodean un sustrato endógeno, fusionando los extremos de los sáculos de modo que la vacuola formada (autofagosoma) presenta doble membrana,

Cuando el autofagosoma se une al lisosoma primario, se transforma en una vacuola autofágica y el material evoluciona de la misma forma que en las vacuolas heterofágicas. Si la digestión es incompleta se pueden formar cuerpos residuales

Importancia del fenómeno de la autofagia.-

- Destruye los componentes celulares que por alguna circunstancia relativamente frecuente han dejado de funcionar (Cisterna de Golgi, mitocondrias, R.E., etc.)
- Destruye las zonas lesionadas de la célula bien sea por agentes tóxicos o causales. Las zonas lesionadas se rodean de una membrana y posteriormente se unen a un lisosoma. Constituye entonces un mecanismo de defensa que tiende a limitar la extensión de procesos degenerativos.
- Asegura la nutrición celular en condiciones desfavorables, viviendo las células de sus propios materiales.
- Los lisosomas autodestruyen las células muertas mediante sus enzimas.
- Regulan el control de la secreción celular (crinofagia). Cuando las necesidades del organismo está cubierta los gránulos secretorios que se forman no son vertidos al exterior de la célula, siendo los lisosomas los encargados de su digestión intracelular

● **Cuerpos residuales.-**

Son vacuolas que provienen de lisosomas secundarios en los que persisten los residuos no digeridos por los enzimas lisosomales.

Son de naturaleza muy variada:

- Figuras de mielina que aparecen en los autolisosomas, proceden de la degradación de las fosfolipoproteínas. La fracción proteica es degradada mientras que la lipídica es empaquetada y se dispone en capas concéntricas
- Lipofuchina, son pigmentos pardos que proceden de la oxidación no enzimática de los lípidos El cuerpo residual puede ser eliminado por exocitosis (defecación) o bien puede quedar acumulado intracelularmente, su acumulación puede causar la muerte celular.

Patología.-

Los lisosomas son los responsables directos del origen de algunas enfermedades que provienen del mal funcionamiento de la membrana de los lisosomas, que permiten que salgan hidrolasas ácidas hacia el citosol.

Puede ocurrir que los lisosomas tengan un equipamiento enzimático defectuoso no siendo capaces de digerir ciertos sustratos La carencia de algunas de estas enzimas puede ocasionar enfermedades metabólicas como la enfermedad **de Tay-Sachs**

Otra alteración en nuestra especie es la **silicosis o enfermedad de los mineros** que se produce debido a la fagocitosis de ciertas partículas como el carbón o la sílice o el estaño, por parte de los macrófagos, estas partículas pueden romper la membrana de los lisosomas secundarios produciéndose numerosas lesiones en el pulmón.

Otra alteración es la **gota** que se produce por un defecto en el metabolismo de las purinas que provoca la formación de cristales de urato de sosa. Estos cristales una vez fagocitados rompen las membranas de los lisosomas y los enzimas lisosómicos provocan reacciones inflamatorias.

Otro ejemplo es la acumulación en los lisosomas de mucopolisacáridos (mucopolisacaridosis)

Peroxisomas

Los peroxisomas, orgánulos presentes en todas las células eucariontes, son vesículas ovoideas de aproximadamente **0,5 μm** , que al igual que los lisosomas están rodeadas por una membrana simple y contienen enzimas en su interior. Esta quizá sea la única similitud, pues se originan al igual que las mitocondrias por un proceso de fisión binaria, en este caso de peroxisomas preexistentes. Las enzimas que contienen en su matriz se incorporan desde el citosol, siendo sintetizadas en ribosomas libres. Según el tipo de enzimas que posean, existen muchos tipos de peroxisomas.

- + La principal enzima de los peroxisomas es la **catalasa**, que descompone el peróxido de hidrógeno producido en el peroxisoma o el originado en otras localizaciones, como el citosol, RE y las mitocondrias. La actividad de la catalasa es la única común a todos los tipos de peroxisomas.
- + En el peroxisoma, se reduce el oxígeno molecular en dos pasos. En el primero una oxidasa elimina los electrones de varios sustratos, como aminoácidos o ácido úrico. En el segundo, la catalasa, convierte el peróxido de hidrógeno, formado en el primer paso en agua.
- + La catalasa también participa en la neutralización de los aniones superóxido, O_2^- (radicales libres). Estos radicales son primero eliminados con formación de H_2O_2 por la superóxido dismutasa, y luego la catalasa de los peroxisomas convierte al H_2O_2 en H_2O y O_2 .
- + La catalasa también neutraliza con consumo de H_2O_2 , sustancias tóxicas, como fenoles, formaldehído y el etanol de las bebidas alcohólicas, por eso son más numerosos en el tejido hepático y renal.
- + Contiene además diferentes oxidasas, como la D-aminooxidasa, urato oxidasa y las responsables de la β -oxidación de los ácidos grasos (este proceso tiene lugar principalmente en la mitocondria). Todas estas enzimas oxidan sus sustratos produciendo energía térmica en lugar de ATP.

En las células vegetales, encontramos **glioxisomas**, que son peroxisomas especializados en el metabolismo de los triacilglicéridos.

- ❖ Las enzimas de los glioxisomas, transforman los ácidos grasos de las semillas en hidratos de carbono por la vía del glioxilato.
 - ❖ Los glioxisomas, también juegan un papel central en la **fotorrespiración** (se denomina así dicho proceso por requerir luz y O_2 y liberar CO_2), que tiene lugar en las hojas de las plantas verdes en los días de calor intenso y baja humedad ambiente.
 - ❖ En los glioxisomas, se cataliza la oxidación del glicocolato a H_2O_2 y glioxilato con consumo de oxígeno. Luego el H_2O_2 formado es descompuesto y el glioxilato es transformado en glicina, la cual ingresa al ciclo de Krebs.
-