

A CÉLULA I: ESTRUCTURA E FUNCIÓN

1. A teoría celular

A **teoría celular** refírese á idea de que as células son as unidades estruturais básicas de todos os seres vivos. O coñecemento desta organización celular dos seres vivos foi un argumento importante en contra das ideas creacionistas e da xeración espontánea da época e no seu desenvolvemento, durante os séculos XVII a XIX, foi fundamental a mellora nas técnicas de observación e a invención do microscopio.

- No século XVII comeza a xestarse a teoría celular coa observación por primeira vez das células.
 - En 1665, **Robert Hooke** utilizou por primeira vez a palabra célula para designar cada unha das pequenas celas que observou a través dunha lupa en tecido de cortiza e outras materias vexetais.
 - En 1673, o holandés **Antón van Leeuwenhoek** utilizou un microscopio simple que ampliaba os obxectos ata 300 veces, e observou por primeira vez os microorganismos e os glóbulos vermellos do sangue. Leeuwenhoek foi o primeiro en afirmar que as células son unidades vivas.
- Durante o século XVIII outros investigadores como os italianos **Alfonso Corti** ou **Felice Fontana**, descubren a presenza dun medio interno celular e de corpúsculos (orgánulos celulares) nese medio empregando microscopios compostos.
- No século XIX realízanse importantes observacións complementarias que permiten establecer os postulados da teoría celular.
 - En 1831, **Robert Brown** descubriu o núcleo da célula.
 - Nos anos 1838 e 1839, o botánico **Mathias Schleiden** e o zoólogo **Theodor Schwann** estableceron cada un pola súa conta, a teoría celular dos seres vivos, segundo a cal, todos os seres vivos están formados por células.
 - En 1839, **Jan Purkinje** introduciu o concepto de protoplasma para denominar o medio interno da célula, e
 - En 1855, **Rudolf Virchow** ampliou esta teoría ao postular que as novas células só poden orixinarse a partir doutras células.
 - En 1861, **Ernst Brucke** completou a teoría celular ao definir a célula como o ser vivo máis pequeno e sinxelo portador de todos os elementos necesarios para permanecer con vida.
- Finalmente, no século XX, os descubrimentos sobre a neurona do investigador **Santiago Ramón y Cajal**, permitiron xeneralizar os postulados da teoría celular a todos os tipos de células e tecidos.

Desta forma a teoría celular quedou definida, postulando que a célula é a unidade vital, morfolóxica, fisiolóxica e xenética de todos os seres vivos:

- **Unidade vital:** a célula é o ser vivo máis pequeno e sinxelo.
- **Unidade morfolóxica:** todos os seres vivos están constituídos por células.
- **Unidade fisiolóxica:** as células posúen todos os mecanismos bioquímicos necesarios para permanecer con vida.
- **Unidade xenética:** todas as células derivan doutras células preexistentes.

2. Os modelos de organización celular

A **célula** é unha estrutura constituída por tres **elementos básicos**: membrana plasmática, citoplasma e material xenético (ADN). Ademais, ten a capacidade de realizar as tres **funcións básicas** dos seres vivos: nutrición, relación e reprodución.

En función do grao de complexidade e, sobre todo, segundo a presenza ou ausencia de núcleo, distínguense dous modelos de organización celular principais: a procariota e a eucariota.

2.1 Modelo de organización celular procariota

As células procariotas son propias dos reinos arquea e bacteria, ambos de organización moi simple e unicelulares.

Teñen en común co resto das células doutros organismos vivos unha **membrana plasmática**, **citoplasma** e **material xenético**. Tamén presentan unha grossa **parede celular** ríxida por fóra da membrana plasmática que pode á súa vez estar envolvida por unha **cápsula**, especialmente nas bacterias patóxenas.

Algúns organismos procariotas poden presentar órganos de movemento que sobresaen da célula: **flaxelos**, que lles serven para moverse, as **fimbrias**, máis curtas e numerosas, relacionadas coa fixación da célula ou o **pili**, prolongacións máis longas e escasas que as fimbrias, que interveñen no intercambio de material xenético con outras bacterias.

No seu interior teñen **ribosomas** e unhas pequenas invaginacións da membrana, chamadas **mesosomas**, onde se realizan funcións que en eucariotas teñen lugar en orgánulos específicos. Non presentan núcleo e o seu material xenético é unha única molécula de ADN longa e circular que se atopa no seo do citoplasma nunha rexión que se aprecia máis densa, denominada **nucleoide**.

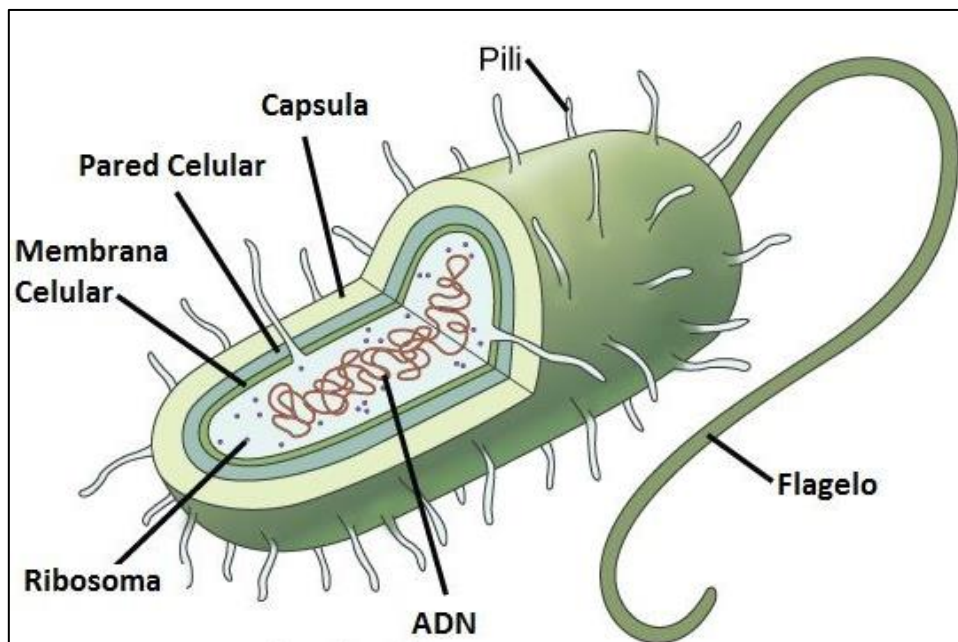


Ilustración 1. Célula procariota.

2.2 Modelo de organización celular eucariota

As células eucariotas son propias do resto dos reinos: protozoos, cromistas, fungos, plantas e animais. Son formas celulares de maior tamaño e máis complexas, correspondentes a organismos unicelulares ou pluricelulares.

Ademais de presentar **membrana plasmática**, **núcleo** e **citoplasma**, conteñen diversos **orgánulos membranosos** (aparello de Golgi, retículo endoplasmático, vacúolos, mitocondrias, cloroplastos...) e **estruturas non membranosas** (centríolos, ribosomas, microtúbulos e microfilamentos).

O **núcleo** destas células está separado do citoplasma por unha envoltura nuclear con numerosos poros. Este orgánulo contén a maior parte do ADN da célula, que pode estar en forma de cromatina ou de cromosomas, segundo o momento do ciclo vital no que se atope a célula.

Cunha mesma estrutura básica, a célula eucariota presenta unha **morfoloxía** moi variada:

- **Forma:** as células teñen forma variada en función de factores como a tensión superficial, a viscosidade do citoplasma, a presión exercida polas células contiguas, a rixidez da membrana e, sobre todo, da función que desempeñan. Existen células esféricas (sangue), en forma de fuso (musculares, protozoos), estreladas (neuronas), etc. Cada tecido ten os seus tipos celulares característicos.
- **Tamaño:** as células varían en tamaño. Poden ser enormes, como os ovos das aves, ou medir só uns micrometros, como sucede coa maioría delas. O tamaño medio das células oscila entre 10 - 100 μm e está condicionado polas relacións volume/superficie e volume do núcleo/citoplasma. No corpo humano existen células de tamaño moi variable (glóbulos vermellos, 7,5 μm , hepatocitos, 20 μm , células musculares, 40 - 200 μm ou neuronas, que co seu axón poden acadar un metro).
- **Volume:** tamén é moi variable, depende de cada tipo de célula e non do órgano do cal forma parte.

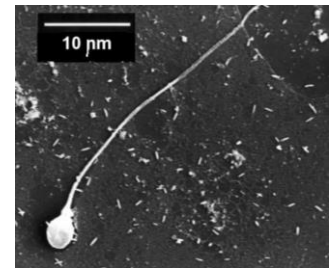


Ilustración 2. Espermatozoide humano (MEV).

Independente da forma, dimensión ou función das células, estas teñen un conxunto de estruturas comúns como son membrana plasmática, citoplasma e ADN ou material xenético, máis os orgánulos que as fan diferentes segundo sexan animais ou vexetais.

As células eucariotas poden diferenciarse en animais ou vexetais. Ambas comparten a maior parte dos orgánulos aínda que existen diferenzas.

- **Células eucariotas vexetais:** posúen unha **parede celular** de natureza celulósica, un enorme **vacúolo** que pode desprazar o núcleo cara a periferia, e **cloroplastos**, un orgánulo exclusivo, que lles permite realizar a fotosíntese).
- **Células eucariotas animais:** posúen **centríolos**, estruturas non membranosas implicadas na división celular.

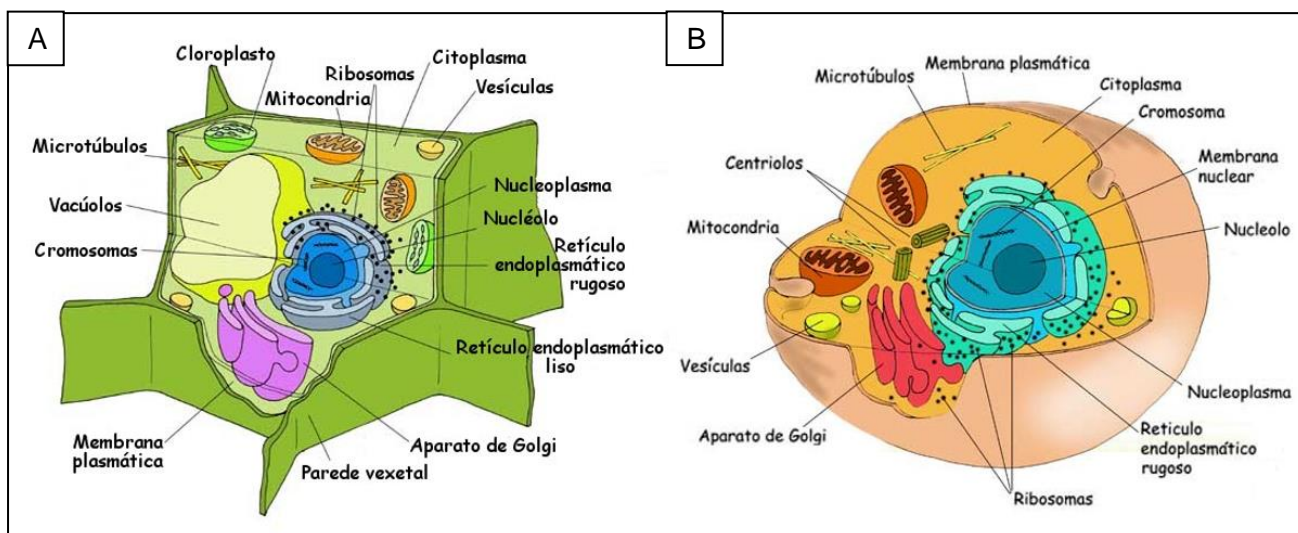


Ilustración 3. Células eucariotas. A: Célula eucariota vexetal. B: Célula eucariota animal.

Célula eucariota vexetal	Célula eucariota animal
<ul style="list-style-type: none"> • Con parede celular • Con plastos • Sen centríolos • Forma habitual: poligonal • Con grandes vacúolos • Posición do núcleo: lateral 	<ul style="list-style-type: none"> • Sen parede celular • Sen plastos • Con centríolos • Forma habitual: variada (esférica, alongada,...) • Sen vacúolos (pode ter vesículas) • Posición do núcleo: central

Táboa 1. Diferenzas entre as células eucariotas vexetais e animais.

3. As envolturas celulares

As envolturas celulares son capas que separan o medio interno do exterior. Inclúen a membrana plasmática, presente en todas as células, e as membranas de secreción (matriz extracelular e parede celular) que pode non estar presente nalgúns tipos de células.

3.1 Membrana plasmática

A **membrana plasmática** é unha lámina delgada duns 7,5-10 nm que envolve a célula e a separa do medio externo, limitando o citoplasma.

Composición química

Dende o punto de vista químico a membrana componse de lípidos, proteínas e azúcaros.

- **Lípidos:** principalmente heterolípidos. Constitúen arredor do 40% da masa da membrana e son responsables de diversas propiedades das membranas como asimetría e fluidez. Destacan os fosfolípidos e o colesterol, aínda que nas membranas das células nerviosas é común atopar glicolípidos (gangliósidos e cerebrósidos).
 - **Fosfolípidos:** son os compoñentes fundamentais das membranas debido ao seu carácter anfipático. Dispóñense formando unha bicapa na que as cabezas hidrofílicas quedan cara o exterior e as colas hidrofóbicas quedan cara o interior.

- **Colesterol:** só aparece nas membranas das células animais, intercalado entre os fosfolípidos. Dispónse expoñendo o seu único grupo hidrófilo (-OH) cara o exterior da membrana, mentres que a súa estrutura anular, ríxida e hidrofóbica, interactúa coas colas hidrocarbonadas dos fosfolípidos.
- **Proteínas:** son un dos compoñentes fundamentais das membranas, constituíndo o 50-52 % da súa masa, e ata o 75% nas membranas das mitocondrias. As proteínas oriéntanse de forma similar aos lípidos: os radicais hidrófobos permanecen en contacto coas colas hidrófobas dos lípidos. As proteínas poden ser de dous tipos:
 - **Proteínas integrais:** atravesan todo o espesor da membrana (proteínas transmembranas) e sobresaen por ambas as caras desta.
 - **Proteínas periféricas:** localizadas na superficie externa ou interna da membrana, podendo sobresaír a cada lado.

Algunhas das funcións das proteínas de membrana son:

- Transporte a través da membrana: canles iónicas, transportadores, bombas...
- Receptores de sinais químicos: de neurotransmisores, hormonas...
- Estructural: participan na adhesión das células á matriz extracelular.
- Enzimática: por exemplo para formar compoñentes da matriz extracelular

- **Glúcidos:** son oligosacáridos que se unen covalentemente aos lípidos e proteínas da membrana para formar glicolípidos e glicoproteínas. A maioría están ligados a proteínas, e están localizados exclusivamente na superficie da cara externa da membrana, formando o **glicocálix**. A súa función relaciónase con procesos de recoñecemento e unión celular, actuando como antíxenos, inducindo unha resposta inmunitaria ou actuando como grupos de recoñecemento e adhesión para algúns patóxenos (virus, bacterias, protozoos) que os toman como punto de referencia para comezar a infección da célula.

A modo de exemplo, as células do cancro teñen un glicocálix diferente das células normais, e a compatibilidade ou rexeitamento nos transplantes de órganos depende dos glúcidos que forman o glicocálix.

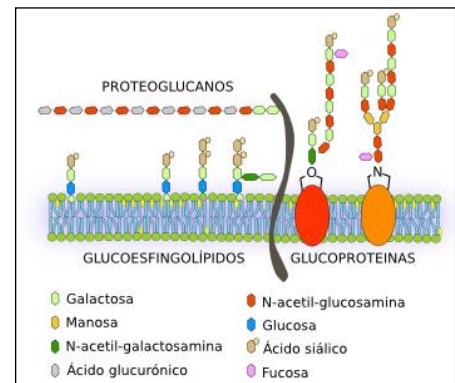


Ilustración 4. Disposición dos glúcidos nas membranas en asociación con lípidos e proteínas.

Estrutura: o modelo do mosaico fluído

Vista ao microscopio electrónico, a membrana parece estar composta por tres capas; dúas liñas delgadas escuras e paralelas separadas por un espazo claro, as cales reflexan a súa estrutura de dobre capa de lípidos na que se incrustan as proteínas e glúcidos.

A estrutura da membrana plasmática pode explicarse co **modelo de mosaico fluído** proposto en 1972 por **Singer e Nicholson**. Este modelo postula que a membrana está constituída por unha dobre capa de fosfolípidos (bicapa lipídica), proteínas integrais, que ocupan todo o espesor da membrana (proteínas transmembranas) e están fortemente ligadas a ela e proteínas periféricas que sobresaen nunha das dúas capas da membrana (por dentro ou por fóra) e en ambos casos están debilmente unidas á mesma.

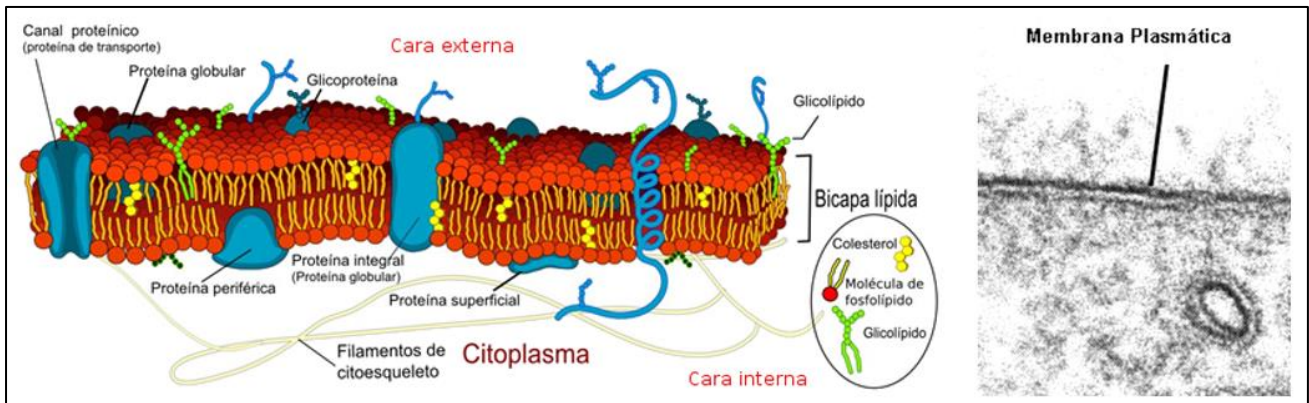


Ilustración 5. Membrana plasmática. A: Estrutura da membrana plasmática segundo o modelo do mosaico fluído. B: Vista ao MET.

A estrutura da membrana segundo o modelo do mosaico fluído considera que a membrana posúe:

- **Asimetría:** os compoñentes da membrana están distribuídos de forma diferente en cada cara.
 - **Cara externa:** cuberta polos azúceres do glicocálix e posúe lípidos con fosfatidilcolina.
 - **Cara interna:** carece de glicocálix pero posúe unha rede de proteínas fibrosas do citoesqueleto que se unen ás proteínas periféricas e transmembrana, formando o córtex celular. Ademais, os lípidos da cara interna conteñen fosfatidilserina.
- **Fluidez:** a bicapa lipídica compórtase como un fluído no que os lípidos e as proteínas poden moverse con certa liberdade.
 - Os **fosfolípidos** da membrana son capaces de efectuar movementos libres grazas que entre eles se establecen enlaces débiles que se poden romper con facilidade. Os lípidos poden realizar moverse en dirección lateral (difusión lateral) e rotar sobre o seu eixe maior (rotación). Con menor frecuencia poden realizar movemento de flip-flop, pasando dunha monocapa á outra.
 - As **proteínas** posúen certa capacidade de movemento (difusión lateral e rotación ó redor dun eixe perpendicular á membrana), pero cando son requiridas nunha rexión concreta da membrana, presentan diversos sistemas para ancorarse aos fosfolípidos ou a outras proteínas da membrana mediante enlaces non covalentes.

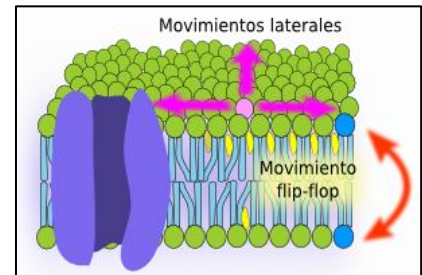


Ilustración 6. Movementos laterais e flip-flop dos lípidos.

Funcións da membrana

As **funcións da membrana** relaciónanse coas moléculas que a conforman e o seu correcto funcionamento require que estas se comporten como unha unidade. Ademais de manter estable o medio intracelular regulando o intercambio de substancias, intervén en procesos de recoñecemento celular e na adhesión a outras células. Ademais é capaz de transmitir ao medio intracelular a información que recoñece procedente do medio extracelular.

Compoñente	Función
Bicapa lipídica	<ul style="list-style-type: none"> Actuar como barreira selectiva
Proteínas de membrana	<ul style="list-style-type: none"> Transportar moléculas específicas e ións Unir macromoléculas a ambos lados da membrana Actuar como receptores de sinais químicos Catalizar reaccións asociadas á membrana
Glicocálix	<ul style="list-style-type: none"> Recoñecer e adherir outras células Recoñecer e fixan substancias e partículas Protexer e lubricar a superficie celular Punto de ancoraxe de enzimas

Táboa 2. Funcións da membrana plasmática.

3.2 Matriz extracelular

A **matriz extracelular** componse dun conxunto de macromoléculas (polisacáridos e proteínas) dispostas no espazo intercelular, sintetizadas e secretadas polas propias células. A cantidade, composición e disposición desta matriz depende do tecido: no conectivo constitúe a maioría do volume, no epitelial e nervioso apenas existe.

As **funcións** da matriz extracelular son:

- Manter a forma celular
- Permitir a adhesión das células para formar tecidos
- Aportar propiedades mecánicas aos tecidos
- Permitir a comunicación intercelular
- Modular a diferenciación celular e a súa fisioloxía

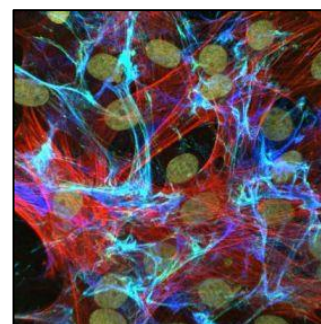


Ilustración 7. Matriz extracelular. Fibras da matriz extracelular de fibroblastos (azul).

3.3 Parede celular

A **parede celular** é unha estrutura propia das plantas, das algas, dos fungos e das bacterias, pero cada caso ten unha natureza química diferente. Fórmase a partir de macromoléculas segregadas pola propia célula ao exterior da membrana. Funcionalmente actúa como un esqueleto externo, xa que é unha envoltura dura e ríxida.

Parede celular vexetal

A **parede vexetal** é unha envoltura grosa e ríxida propia das células vexetais. Constitúe o seu sostén, determina a forma da célula, o tamaño e as características dos tecidos vexetais. A nivel estrutural posúe tres capas:

- **Lámina media:** situada entre dúas células contiguas. Actúa como un cemento que une as paredes primarias das células. É de aspecto xelatinoso, rica en pectinas e imprégna-se de lignina nos tecidos condutores.
- **Parede primaria:** é unha cuberta delgada e flexible que está pegada á lámina media,

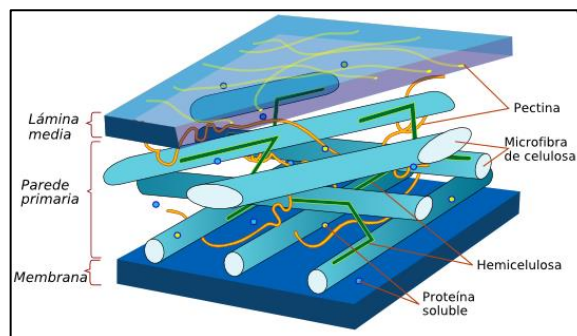


Ilustración 8. Parede celular vexetal.

formada por celulosa, proteínas, e monosacáridos libres. Nas paredes de células mortas depositábase lignina, conferíndolle resistencia. A lignina aglutina as fibras de celulosa que forman a madeira.

- **Paredes secundaria:** é unha cuberta máis ríxida que a parede primaria. Só se forma nalgúns tipos de células vexetais coa finalidade de dar maior resistencia mecánica. Esta parede é máis rica en celulosa que a parede primaria. A estrutura dispónse en capas, podendo chegar a ter arredor de 20. Ademais impide o crecemento da célula vexetal.

A pesar da presenza da parede celular, as células vexetais poden comunicarse entre elas a través de canles de comunicación chamadas **plasmodesmos**, que aparecen en rexións onde a parede está adelgazada, producindo **punteaduras**.

Paredes celulares de bacterias e fungos

A **parede das bacterias** é unha envoltura formada por combinación de glúcidos e aminoácidos. Segundo a súa composición e estrutura, pode diferenciarse dous tipos de parede bacteriana empregando a tinguidura de Gram: as paredes Gram positivas coloréanse e as Gram negativas non.

- **Bacterias Gram positivas:** presentan unha parede monoestratificada, de maior grosor que a parede das bacterias Gram negativas, composta por peptidoglicano asociado a proteínas, polisacáridos,....
- **Bacterias Gram negativas:** presentan unha parede delgada biestratificada, moi asimétrica.
 - **Capa externa:** é unha bicapa lipídica, con fosfolípidos e proteínas, e lipopolisacáridos na semica externa.
 - **Capa interna:** composta por unha capa delgada de aminoácidos e azucres como o peptidoglicano (mureína).

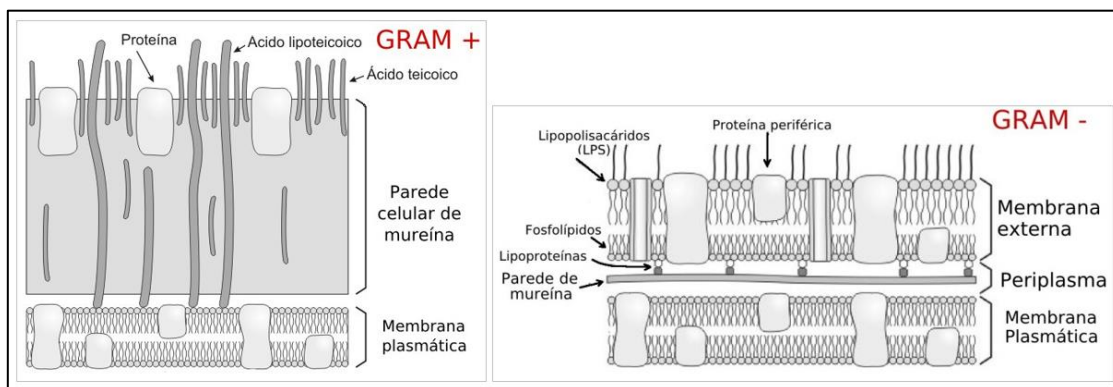


Ilustración 9. Parede bacteriana. A: Parede Gram +. B: Parede Gram -.

A **parede dos fungos** é de natureza moi variada. Está formada por glúcidos, lípidos e proteínas. A quitina está presente na maioría dos fungos.

3.4 Transporte a través das membranas

A membrana plasmática actúa como unha barreira que controla a entrada e saída de determinadas substancias. Para regular este intercambio de substancias a célula pode empregar distintos mecanismos nos que a membrana pode sufrir deformacións ou non.

Transporte sen deformación de membrana

As pequenas moléculas e os ións poden atravesar a membrana plasmática sen que se produza unha alteración na estrutura desta. Este tipo de transporte pode realizarse sen gasto de enerxía, en cuxo caso falamos de transporte pasivo ou ben pode requirir un custo enerxético, denominándose transporte activo.

Transporte pasivo: mediante este mecanismo transpórtanse moléculas e ións a favor do seu gradiente de concentración, que depende das concentracións relativas da molécula ou do ión dentro e fóra da célula. O transporte pasivo transcorre sen gasto de enerxía e pode realizarse de dúas formas:

- **Difusión simple:** é un movemento aleatorio a través da membrana que depende do gradiente de concentración, da temperatura, da superficie de intercambio e do tipo de molécula. É o mecanismo de transporte máis sinxelo e menos selectivo. Os gases, como CO₂ e O₂, e as pequenas moléculas hidrofóbicas (benceno...) difunden facilmente. Outras, como a auga, o etanol, o glicerol ou pequenas moléculas polares, difunden a menor velocidade.
- **Difusión facilitada:** trátase dun transporte pasivo facilitado por proteínas integrais de membrana. Permite o paso de moléculas polares (aminoácidos, glicosa, sacarosa, nucleótidos...) e ións (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Cl⁻) que non poden atravesar a membrana lipídica. Estas proteínas transmembranas poden organizarse como:
 - **Proteínas canle:** crean poros hidrofílicos que comunican os dous lados da membrana. As máis estudadas son as denominadas canles iónicas, como as de Na⁺, de K⁺, de Ca²⁺, de Cl⁻, e tamén as de auga (acuaporinas). As proteínas canle regulan os gradientes iónicos, participando na excitabilidade neuronal, na contracción muscular, secreción e absorción de substancias nos riles, etc.
 - **Proteínas transportadoras:** recoñecen a molécula a transportar e posteriormente experimentan un cambio conformacional que permite a transferencia da molécula cara o lado de menor concentración. Este mecanismo emprégase para transportar glúcidos, aminoácidos ou nucleósidos de xeito específico. Os transportadores son proteínas integrais que usan gradientes electroquímicos para mover moléculas entre as dúas caras da membrana, e o transporte pode ser de dous tipos:
 - **Uniporte:** transporta unha molécula a favor dun gradiente de concentración.
 - **Cotransporte:** transloca simultaneamente dúas moléculas. Se ambas son transportadas no mesmo sentido denomínase **simporte** (por exemplo, no intestino emprégase un gradiente de Na⁺ para incorporar glicosa); se viaxan en sentido contrario trátase dun **antiporte** (por exemplo, catión por catión ou carbohidrato por carbohidrato). O cotransporte permite translocar moléculas en contra do seu gradiente de concentración e sen gasto enerxético, aproveitando que a molécula cotransportada vai a favor de gradiente.

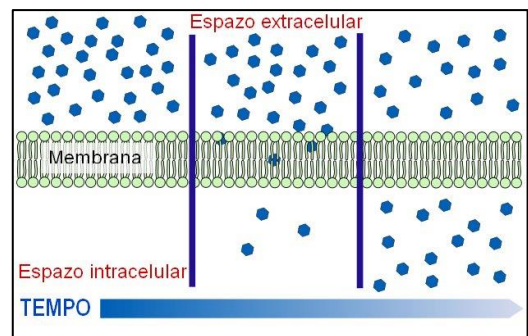


Ilustración 10. Difusión simple a favor de gradiente.

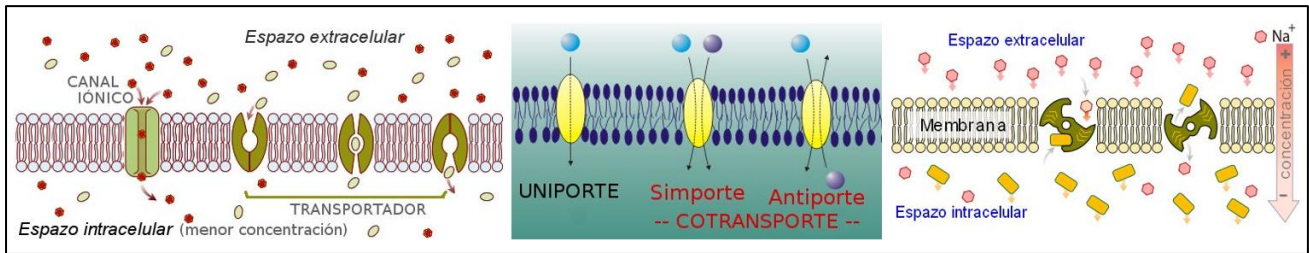


Ilustración 11. Difusión facilitada. A: Proteínas canle e transportadoras. B: Transporte uniporte e cotransporte. C: Cotransportadores.

Transporte activo: é o transporte de ións e moléculas en contra de gradiente de concentración e implica un gasto de enerxía que é proporcionada por unha reacción acoplada (por exemplo a hidrólise dunha molécula de ATP ou unha reacción redox).

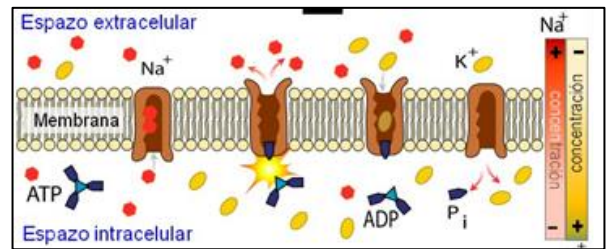


Ilustración 12. Bomba de sodio-potasio. A bomba bombea simultaneamente tres ións Na⁺ cara o exterior e dous ións K⁺ cara o interior, para o que é necesaria a hidrólise de ATP.

Este tipo de transporte é mediado por **bombas**, proteínas integrais que transportan ións ou moléculas dun lado a outro das membranas en contra dun gradiente de concentración e con gasto de enerxía. Unha das máis relevantes a nivel celular é a **bomba sodio-potasio** da membrana plasmática, outras son a **bomba de glicosa** (impulsada por 2 Na⁺), a **bomba de H⁺**, ou as **bombas ABC** (transportadores dependentes de ATP, que bombean unha gran variedade de substratos)

Transporte con deformación de membrana

Para o transporte de moléculas de elevada masa molecular a célula sérvese de vesículas que se crean por invaginación da membrana. En función do medio onde liberen as moléculas as vesículas poden ser de **endocitose**, se incorporan as moléculas do medio externo e as liberan no interior celular, ou de **exocitose**, no caso contrario.

Endocitose: é a incorporación masiva de moléculas extracelulares, englobadas en vesículas que se forman na membrana plasmática. Posteriormente estas vesículas fusiónanse con compartimentos membranosos internos. As moléculas extracelulares entran nas vesículas de forma **inespecífica**, en solución, ou **específica**, unidas a receptores de membrana. A endocitose presenta varias modalidades:

- **Fagocitose:** incorpora partículas de gran tamaño, como bacterias, refugallos celulares, virus. É realizada por células especializadas como os macrófagos e tamén algúns protozoos para alimentarse. A fagocitose require un recoñecemento previo da partícula por parte de receptores de membrana. No proceso participan filamentos de actina e proteínas motoras que permiten a emisión de protuberancias (pseudópodos).
- **Pinocitose:** é unha endocitose inespecífica de moléculas disoltas. As partículas capturadas son líquidas e conteñen macromoléculas ou partículas de pequeno tamaño.
- **Endocitose mediada por receptor:** permite a entrada selectiva de macromoléculas chamadas ligandos, os cales se unen a receptores específicos que converxen en depresións revestidas por unha proteína denominada clatrina. Para a incorporación ao interior celular fórmanse uns complexos receptor-ligando e as depresións revestidas forman vesículas de endocitose.

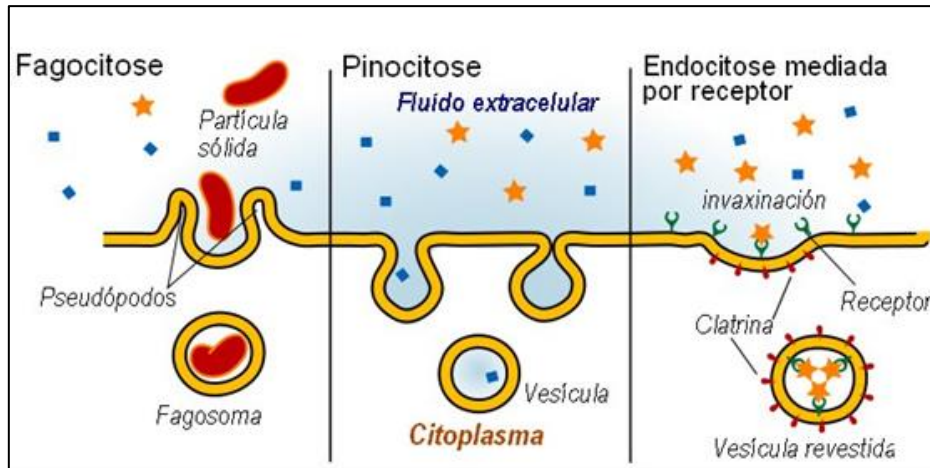


Ilustración 13. Tipos de endocitose.

Exocitose: este proceso permite á célula expulsar materiais de gran tamaño. Estes materiais son transportados en vesículas membranosas orixinadas no aparello de Golgi, percorren o citoplasma e acaban por fusionarse coa membrana plasmática.

- **Exocitose xeral** (constitutiva): ten lugar en todas as células. Serve para rexenerar a membrana celular e para liberar substancias na matriz extracelular.
- **Exocitose regulada:** propia das células secretoras, como as produtoras de hormonas, as células glandulares, do epitelio dixestivo, e tamén nas neuronas.

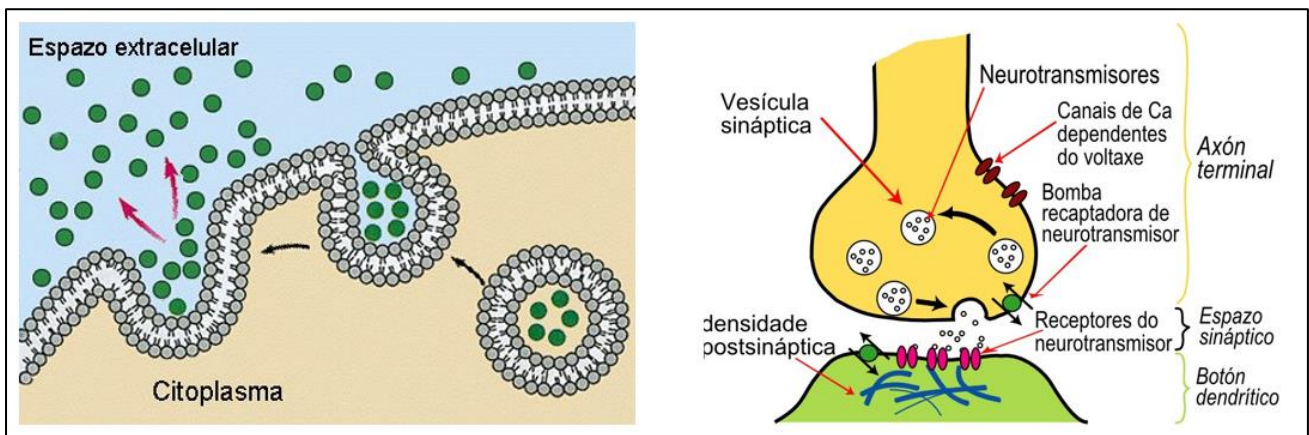


Ilustración 14. Exocitose. A: Exocitose xeral. B: Exocitose regulada nunha neurona.

4. O citoplasma e os orgánulos

O **citoplasma** é o medio intracelular situado entre a membrana plasmática e a envoltura nuclear. Consta dunha solución líquida que inclúe unha serie de estruturas e orgánulos.

A citoplasma da célula eucariota caracterízase por unha compartimentación do espazo mediante a existencia de membranas internas, a cal permite unha especialización funcional. Parte deste sistema de membranas interno constitúe a envoltura do núcleo, e outra parte delimita os orgánulos.

4.1 Citosol, o citoesqueleto e as estruturas non membranosas

Citosol

Considérase o **citosol** (ou hialoplasma) como a zona do citoplasma que non está incluída dentro de ningún orgánulo celular. É un medio rico en auga (85% do total), con gran cantidade de moléculas disoltas: glúcidos, lípidos, proteínas e enzimas, ácidos nucleicos (ARNm, ARNt, ARNr, ADN), sales minerais, ións, etc.

O citosol é unha solución coloidal que pode estar en estado de **sol**, se está case fluído ou en estado de **xel** cando está viscoso (denominándose citosol e citoxel respectivamente). O cambio de un estado a outro permite que se formen correntes no interior do citoplasma, coñecidas como **cicloxe**. Estas correntes arrastran moléculas e orgánulos dun a outro lado e homoxeneizan o citoplasma.

Ademais, a solución coloidal que forma o citosol presenta organización, contén os elementos fibrosos que forman o citoesqueleto e pode presentar inclusións citoplasmáticas para acumular determinadas substancias (glicóxeno, lípidos, pigmentos...).

En canto ás funcións que desempeña, o citosol actúa como regulador do pH intracelular e constitúe o medio onde numerosos enzimas catalizan as reaccións de procesos metabólicos fundamentais como:

- Glicólise, a ruta básica catabólica de degradación da glicosa, e fermentación láctica.
- Glicoxenoxénese e glicoxenólise (síntese e degradación do glicóxeno).
- Biosíntese de aminoácidos e modificacións das proteínas formadas.
- Biosíntese dos ácidos graxos.

Citoesqueleto

Trátase dunha estrutura tridimensional dinámica que se estende polo citoplasma, entre o núcleo e a cara interna da membrana plasmática. Equivale ao esqueleto e musculatura da célula, xa que ademais de darlle forma, desempeña funcións relacionadas co movemento (locomoción, división celular, disposición e movemento dos orgánulos).

O citoesqueleto está composto por unha rede de proteínas, formando unha estrutura tridimensional que ocupa o volume celular. Estas proteínas poden ser de tres tipos:

- **Microfilamentos** (filamentos de actina) están formados por **actina**, unha proteína globular, sitúanse na periferia celular e dispóñense como raios por todo o citoplasma mantendo a forma da célula. Fórmanse ou destrúense en función das necesidades da célula. Os filamentos de actina asócianse a outras proteínas realizando diferentes funcións: contráctil (nas células musculares cando a actina se asocia á miosina), de soporte (como sucede nas microvilosidades intestinais, por exemplo) ou a formación de pseudópodos.
- **Filamentos intermedios**: están formados por proteínas fibrosas moi resistentes e estables. Son os elementos máis resistentes do citoesqueleto e a súa función é estrutural. Son especialmente importantes en células sometidas a esforzos mecánicos e nos axóns das neuronas).
- **Microtúbulos**: son estruturas cilíndricas longas e ocas, de escaso diámetro (25 nm), poden estar dispersas no citosol ou formar estruturas como cilios, flaxelos, centríolos, o fuso

acromático,...etc. Están constituídos por proteínas globulares coñecidas co nome de **tubulinas** (tubulina alfa e beta). Fórmanse e destrúense continuamente en función das necesidades da célula e poden alongarse por un extremo e acurtarse polo outro. Os microtúbulos interveñen na formación do fuso mitótico e no movemento tanto da célula como dos cromosomas no interior da célula. Tamén son responsables de diferenciacións morfolóxicas, do mantemento da forma da célula, do transporte de substancias polo citosol e da localización do retículo endoplasmático e do aparello de Golgi.

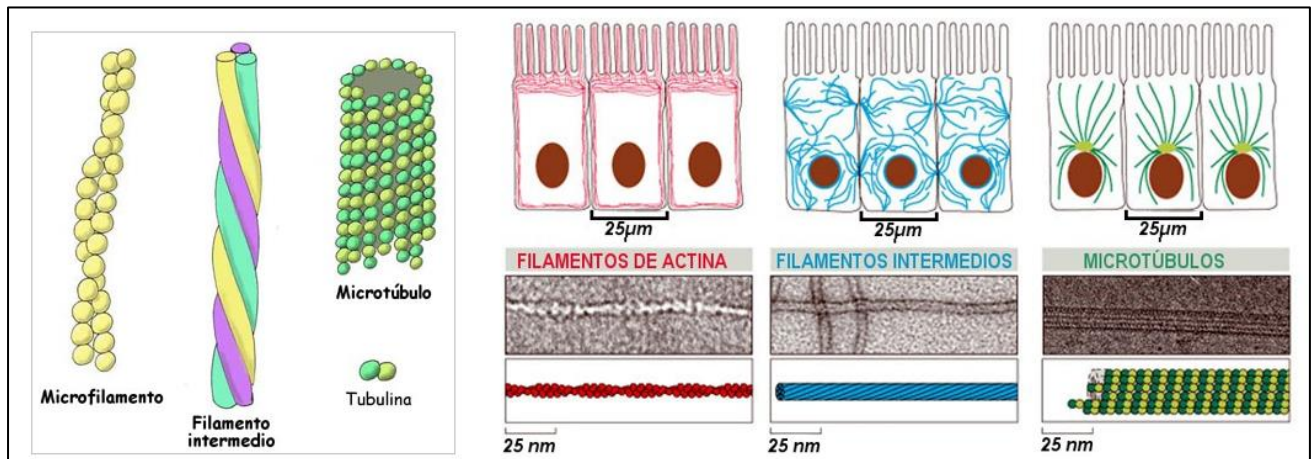


Ilustración 15. Compoñentes do citoesqueleto. Microfilamentos no polo apical da célula (actina en microvelosidades), filamentos intermedios unidos a desmosomas, microtúbulos dende o centrosoma.

Centrosoma

O **centrosoma** (ou **centro organizador de microtúbulos**) é unha estrutura complexa formada por microtúbulos estables, exclusivo das células animais. Está próximo ao núcleo en interfase e duplícase antes da mitose. Está constituído por **dous centríolos** e por unha zona amorfa que os rodea chamada **centrosfera**. Na periferia están os **microtúbulos do áster**, que se dispoñen a modo de raios.

Cada célula animal presenta dous centríolos en posición máis ou menos perpendicular, formando o **diplosoma**. A parede do centríolo está constituída por 9 tripletes de microtúbulos.

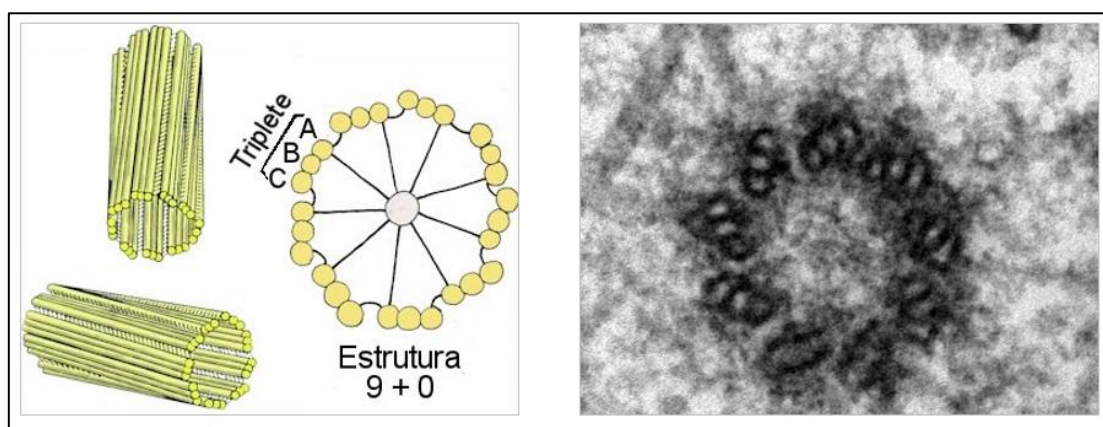


Ilustración 16. Centrosoma. A: Disposición dos centríolos e sección transversal mostran a estrutura de nove tripletes sen microtúbulos no eixe (9+0). B: Vista dun centríolo ao microscopio electrónico de transmisión.

En relación á **función**, as máis importantes son as seguintes:

- Centro organizador dos microtúbulos.
- Forma o fuso mitótico, estrutura encargada de separar e repartir os cromosomas, esencial na mitose e meiose.
- Os centríolos forman parte dos corpos basais dos cilios e flaxelos, que son prolongacións citoplasmáticas filiformes dotadas de movemento no seu extremo libre. Os cilios son curtos e numerosos, mentres os flaxelos posúen unha lonxitude maior e adoitan estar presentes en baixo número.

Ribosomas

Os ribosomas son complexos supramoleculares de forma redondeada, constituídos por proteínas asociadas a ácido ribonucleico ribosómico (ARNr).

Foron descubertos por **George Palade** en 1953, e están presentes nas células eucariotas, nas procaritas e mesmo no interior das mitocondrias e cloroplastos.

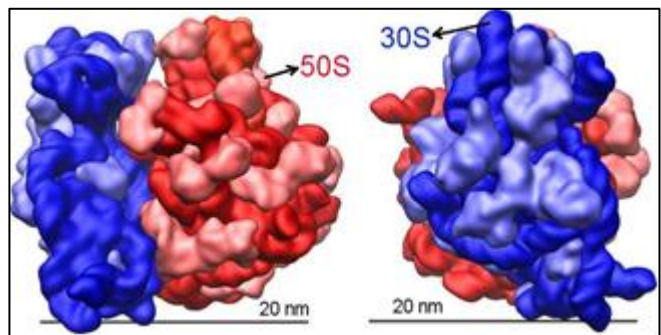


Ilustración 17. Ribosoma 70S.

Os ribosomas están constituídos por dúas subunidades de distinto tamaño, designadas polo seu coeficiente de sedimentación S (Svedberg) cando se centrifugan. Estas subunidades poden atoparse separadas no citosol ou ben ensambladas cando o ribosoma participa na lectura e tradución dos ARN mensaxeiro procedentes do núcleo.

O tamaño é duns 20 nm, e son maiores nas células eucariotas que nas procaritas. Os **ribosomas procaritas** son **70S** e compóñense dunha subunidade grande de 50S e outra pequena de 30 S, mentres os **ribosomas de eucariotas** son **80S**, cunha subunidade grande de 60S, e outra pequena de 40 S.

Ambas subunidades dos ribosomas fórmanse no nucléolo, e unha vez ensamblados os ribosomas poden aparecer libres no citosol ou agrupados en forma de **polisomas** ou **polirribosomas**. Tamén poden estar unidos por medio de proteínas á membrana do núcleo e ao do retículo endoplasmático, dándolle a este un aspecto rugoso (de aí o nome do orgánulo, retículo endoplasmático rugoso).

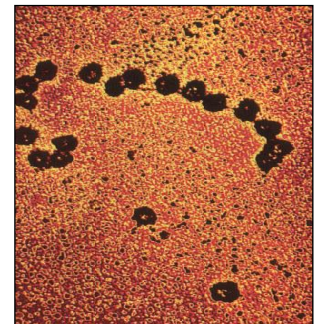


Ilustración 18. Polisoma visto ao MET.

A **función dos ribosomas** é a biosíntese de proteínas, e pode transcorrer en dous espazos celulares:

- **No citosol:** os ribosomas sintetizan as proteínas destinadas á célula, como proteínas do citosol, proteínas periféricas da membrana plasmática, proteínas do citoesqueleto, as destinadas a mitocondrias, as histonas dos cromosomas, etc.
- **Na membrana do retículo endoplasmático:** sintetizan proteínas que poden sufrir modificacións trala tradución, destinadas a través de vesículas a outras localizacións como o interior doutros orgánulos, a membrana plasmática ou ben o exterior celular.

4.2 Orgánulos celulares de membrana simple

As células eucariotas presentan diversos tipos de orgánulos membranosos que delimitan compartimentos especializados nalgunha función metabólica. Moitos dos orgánulos celulares están interrelacionados e complementan a súa función. Os orgánulos de membrana simple poden manifestarse individualizados ou ben formando un complexo sistema de membranas internas que chega a ocupar a metade da célula.

Retículo endoplasmático

O **retículo endoplasmático** é un sistema de condutos membranosos interconectados entre si e coas membranas nuclear e plasmática, descuberto en 1950. Está formado por **túbulos** e **sáculos** que atravesan o citoplasma, dentro dos cales existe un espazo chamado **lumen** que almacena substancias.

Existen dúas clases de retículo endoplasmático, o retículo endoplasmático rugoso, de estrutura laminar e con ribosomas adheridos e o retículo endoplasmático liso, de estrutura tubular e libre de ribosomas.

Retículo endoplasmático rugoso (RER): os elementos característicos do RER son unhas finas láminas compostas de dúas membranas unidas polos seus bordes, que limitan unhas cavidades en forma de saco aplanado ou cisterna.

O retículo endoplasmático asociado a ribosomas obsérvase ao microscopio electrónico cun aspecto rugoso debido a presenza de ribosomas adheridos, e pode atoparse en todas as células eucariotas, excepto nos glóbulos vermellos dos mamíferos.

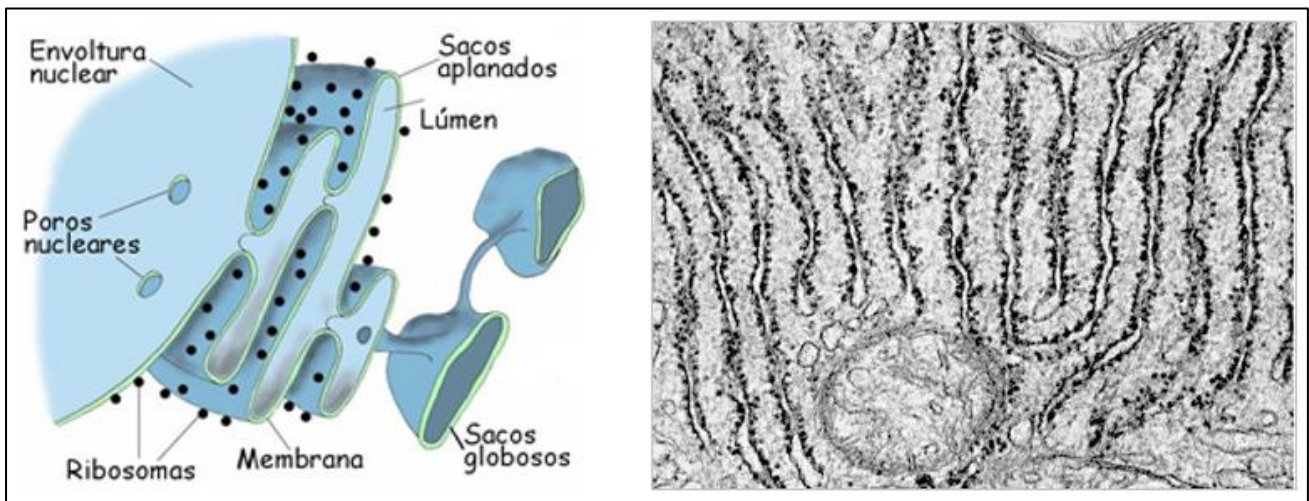


Ilustración 19. Retículo endoplasmático rugoso. A: Esquema do RER. B: RER visto ao MET.

As principais **funcións do RER** son:

- **Síntese e distribución de proteínas de secreción:** as proteínas son sintetizadas polos ribosomas adheridos á súa membrana e depositadas no lumen. Estas proteínas poden ter varios destinos; poden ser retidas no RER ou ser transportadas a o aparello de Golgi para ser posteriormente destinadas aos lisosomas, á membrana plasmática ou ao exterior celular mediante vesículas de secreción.

- **Glicosilación das proteínas:** as proteínas que se sintetizan no citosol non adoitan estar glicosiladas, pero as do RER si, xa que a glicosilación é necesaria para que as proteínas poidan ser posteriormente recoñecidas e transportadas ata o seu destino. A adición de oligosacáridos ás proteínas ten lugar no lumen dos sacos do retículo grazas a enzimas que realizan o proceso de modo simultáneo coa tradución.

Retículo endoplasmático liso (REL): o REL é un sistema de túbulos membranosos conectados entre si, sen ribosomas adheridos, que recorre todo o citoplasma e posúe funcións relacionadas co metabolismo dos lípidos (síntese, degradación, transporte).

O REL é abundante nas células que forman as glándulas sebáceas e en todos os lugares onde se sintetizan lípidos. Tamén nas células musculares, pois o acumula Ca^{2+} necesario para a contracción celular.

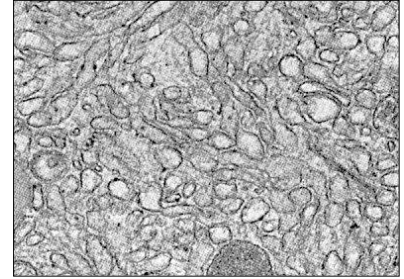


Ilustración 20. Retículo endoplasmático liso visto ao MET.

As principais **funcións do REL** son as seguintes:

- **Síntese de lípidos celulares** (fosfolípidos, colesterol, hormonas esteroideas, lipoproteínas...): o proceso ten lugar na cara citoplasmática da súa membrana, a partir de ácidos graxos procedentes do citosol.
- **Detoxificación:** metaboliza substancias tóxicas como drogas, etanol ou medicamentos, reducindo a súa toxicidade para a súa posterior eliminación polo aparello excretor. Por exemplo, as células hepáticas son ricas en REL que realiza procesos de detoxificación consistentes en engadir moléculas hidrosolubles a un metabolito tóxico insoluble en auga. Así a substancia tóxica pode saír da célula e ser eliminada a través do aparello excretor.
- **Liberación de glicosa a partir do glicóxeno** presente en gránulos adheridos ás membranas do REL nas células hepáticas.
- **Contracción muscular**, mediante a liberación de calcio acumulado no REL.

Aparello de Golgi

O **aparello de Golgi** posúe unha estrutura membranososa similar á do retículo endoplasmático, presente nas células animais e vexetais. Recibe o seu nome do histólogo italiano **Camilo Golgi**, quen o descubriu a finais do século XIX.

Sitúase próximo ao núcleo e está formado por unha serie de sáculos aplanados chamados **cisternas**, colocadas unhas enriba doutras, probablemente conectadas entre si. A súa forma varía dunha célula a outra e dentro da mesma célula dependendo do seu estado funcional. Ademais, pode presentar continuidade con outras endomembranas, como as do RER e durante o avellentamento da célula as cisternas diminúen progresivamente de tamaño ata desaparecer.

Unha das características das cisternas é que as súas membranas lisas están perforadas por poros e son capaces de formar estrangulacións que producen **vesículas**.

A asociación das cisternas, xeralmente grupo de catro a oito, constitúen a unidade funcional do aparello de Golgi, un sistema laminar denominado **dictiosoma**. Este presenta unha **cara cis** próxima ao RER, convexa e de membranas finas, e unha **cara trans** próxima á membrana citoplasmática, cóncava e de cisternas grandes e grosas.

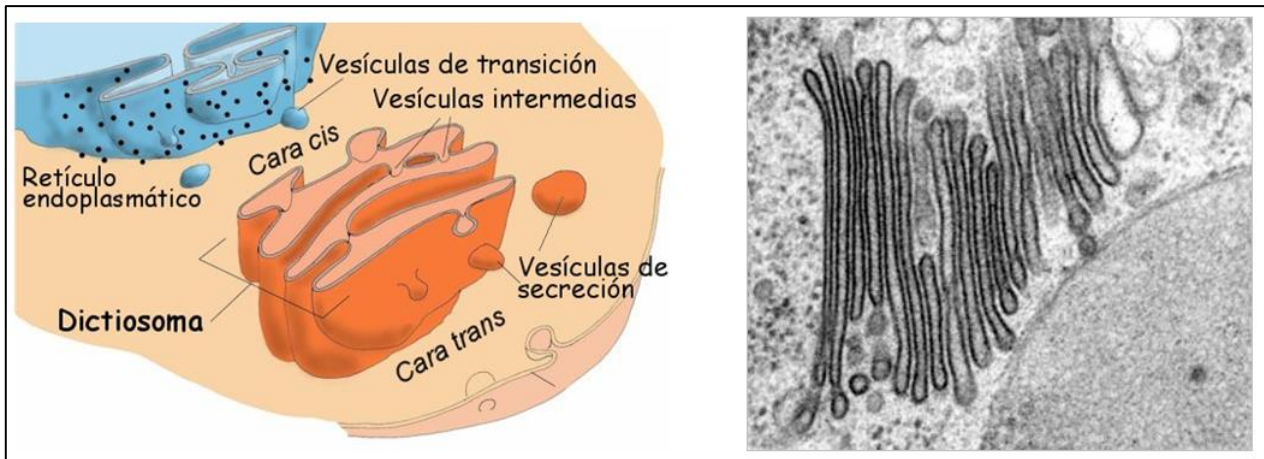


Ilustración 21. Aparello de Golgi: A: Relacións entre RER, dictiosomas e secreción de vesículas. B: Dictiosoma próximo ao núcleo (MET).

As funcións do aparello de Golgi pódense concretar nas seguintes:

- **Modificación, empaquetado, transporte, distribución e secreción de substancias** sintetizadas no RER.
- **Transporte e concentración de proteínas:** as proteínas exportadas polo RER, englobanse en vesículas na cara cis. A concentración de proteínas incrementase ata que ten lugar a súa saída pola cara trans.
- **Glicosilación de lípidos e proteínas:** este proceso comeza no RER, pero no Golgi sintetízanse e ensámblanse oligosacáridos para formar glicolípidos e glicoproteínas.
- **Formación do tabique telofásico nas células vexetais,** orixinado pola asociación no plano ecuatorial de vesículas procedentes do Golgi.
- **Renovación da membrana:** as vesículas procedentes do aparello de Golgi fúsiónanse coa membrana plasmática, incorporando así a esta diversos compoñentes.
- **Síntese dos lisosomas primarios** por xemación a partir das súas cisternas.

Lisosomas

Os **lisosomas** foron descubertos por **Christian de Duve** a mediados do século XX. Son vesículas de membrana sinxela, formados pola estrangulación da membrana dos dictiosomas. Teñen forma moi variable e un maior tamaño que os ribosomas, podendo atoparse lisosomas de 0,25 a 0,8 μm de diámetro.

A característica principal dos lisosomas que conteñen no seu interior unha serie de **enzimas dixestivos** como proteases, ADNase, ARNase, etc, que participan na dixestión de moléculas. Estes enzimas son hidrolases ácidas (o seu pH óptimo é de 4,6) e permanecen sempre no interior do orgánulo, pois do contrario dixerirían os compoñentes celulares (proteínas, ácidos nucleicos, lípidos,..). Para iso os propios lisosomas presentan unha grosa capa de glicoproteínas na cara interior da membrana que os protexe da autodestrución e presentan bombas de H^+ que manteñen o interior do lisosoma cun pH ácido.

En certos tipos celulares son moi abundantes, por exemplo nos glóbulos brancos (fagocitos), debido á súa gran capacidade para fagocitar partículas estrañas.

Distínguense dous tipos de lisosomas:

- **Lisosomas primarios:** son vesículas de transporte redondeadas ou ovaladas, acabadas de formar. Poden orixinar lisosomas secundarios ou ben verter o seu contido ao exterior, provocando a lise do material extracelular.
- **Lisosomas secundarios:** son aqueles que se forman ao fusionarse un lisosoma primario cun vacúolo que contén materiais para dixerir. No seu interior apréciase enzimas hidrolíticas e substancias en vías de dixestión. Os lisosomas secundarios denomínanse **fagolisosomas** se o material que conteñen procede do exterior da célula ou **autofagolisosomas** se o material contido é de procedencia endóxena.

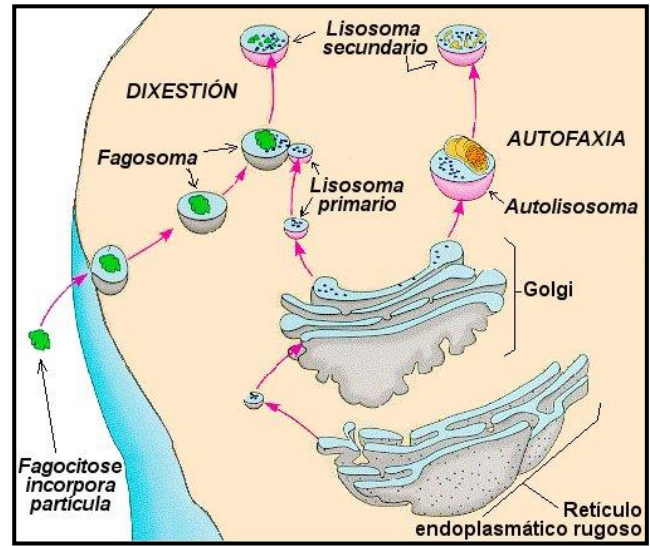


Ilustración 22. Lisosomas.

A **función dos lisosomas** é realizar a dixestión intracelular do material procedente tanto do interior como do exterior celular. Esta dixestión é producida polos os enzimas dixestivos producidos no RER, os cales son enviados ao aparello de Golgi onde son almacenados en vesículas que forman os lisosomas primarios.

- **Heterofaxia:** cando a célula captura alimentos, microrganismos, virus, bacterias.... por fagocitose estes quedan incorporados en vacúolos dixestivos ou fagosomas. Logo os lisosomas primarios fusiónanse con estes vacúolos dixestivos, formando os lisosomas secundarios, que dixiren o contido vacuolar, e este pode ser liberado ao citoplasma.
- **Autofaxia:** ocorre cando os lisosomas destrúen estruturas inservibles para a célula (mitocondrias, partes do retículo...).

Peroxisomas

Os **peroxisomas** son orgánulos presentes en todas as células eucariotas. Son vesículas esféricas, similares en aspecto e tamaño (0,5 μm) aos lisosomas e, igual que estes, moi ricos en enzimas, pero en vez de hidrolasas, conteñen **enzimas oxidases**. As máis abundantes son as catalases e peroxidases.

As **funcións dos peroxisomas** son variadas:

- Intervenien na destrución de radicais libres de osíxeno extremadamente oxidantes.
- Degradación de aminoácidos: as oxidases interveñen na desaminación oxidativa dos aminoácidos. O proceso produce peróxido de hidróxeno (H_2O_2), un composto prexudicial para a célula, que se elimina grazas a outro enzima denominado catalase.
- Participan no catabolismo de ácidos graxos de cadea longa. Comezan a oxidación destes ácidos graxos, sendo despois completada nas mitocondrias.

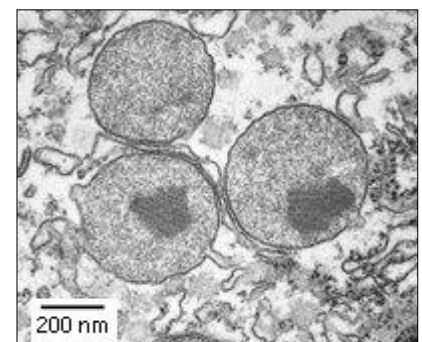


Ilustración 23. Peroxisomas. É frecuente que posúan incluícións cristalinas (MET).

- Síntese de colesterol e outros esteroides.
- Detoxificación de alcohol e outros tóxicos en células hepáticas.
- Interveñen na fotorrespiración.

Glioxisomas

Os **glioxisomas** son unha clase de peroxisomas que só existen en células vexetais. Posúen enzimas do ciclo do ácido glioxílico que é unha variante do ciclo de Krebs das mitocondrias que permite sintetizar azucres a partir de graxas en sementes en xerminación.

Vacúolos

Os **vacúolos** son orgánulos que aparecen en vexetais e fungos ocupando máis do 30% do volume celular e chegando a veces a preto do 90%. Estas vesículas delimitadas por unha membrana conteñen auga e materiais disoltos.

En células novas son pequenos e numerosos, e logo fúndense nun único vacúolo que chega a desprazar ao núcleo da posición central da célula.

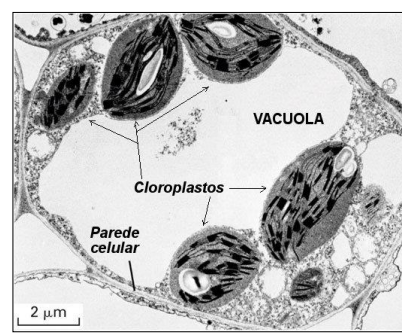


Ilustración 24. Vacúolo.

Ademais dos vacúolos vexetais pódense distinguir nalgúns organismos distintos tipos de vacúolos:

- **Vacúolos dixestivos dos protozoos:** funcionan como estómagos accidentais da célula.
- **Vacúolos ou vesículas pulsátiles:** propios de dinoflaxelados mariños e protistas de auga doce (amebas). Estes vacúolos pulsan ritmicamente como un corazón, incorporando e expulsando auga.

Entre as **funcións** que desempeñan os vacúolos destacan:

- **Almacenar substancias de reserva ou substancias de excreción:** os vacúolos vexetais almacenan líquidos, sales, azucres (amidón como nas células das sementes), proteínas, pigmentos (células dos pétalos das flores), etc. Estes produtos poden estar cristalizados e poden ser substancias de reserva, de protección ou ben refugallos que non pode ser expulsados fóra da célula. Algunhas substancias contidas nos vacúolos poden actuar como velenos para determinados herbívoros.
- **Controlar o tamaño e turgencia da célula:** os vacúolos tamén poden influír no tamaño da célula aumentándoo, e mesmo poden controlar a presión de turgencia da mesma.
- Nalgúns casos poden realizar **procesos de dixestión**.

4.3 Orgánulos celulares de dobre membrana

Mitocondrias

As **mitocondrias** son orgánulos descubertos a finais do século XIX e presentes tanto nas células vexetais como nas animais. A súa forma é moi diversa, xeralmente esféricas ou ovaladas e mesmo poden presentar forma algo alongada ou filamentosa en función do momento. As mitocondrias están en continuo movemento, pódense dobrar, dividir ou asociar. Cando están activas sofren contraccións e dilatacións importantes.

A **dimensión e o número** de mitocondrias nas células tamén é variable, xeralmente elevado en células con gran actividade celular, como sucede nas células do miocardio, onde poden existir varios miles de mitocondrias. O conxunto de mitocondrias que hai nunha célula chámase **condrioma**.

Na **composición química** das mitocondrias a auga representa unha porcentaxe importante (o 66 % do contido), ademais conteñen proteínas, lípidos e ácidos nucleicos. As mitocondrias teñen o seu propio ADN e ARN (ADN circular, ARNm, ARNr, ARNt) e, ademais, presentan numerosos complexos enzimáticos, coenzimas (ATP, ADP, NAD, FAD,..) e ións diversos (K^+ , Ca^{2+} , Cl^-).

En relación á **estrutura**, ao microscopio electrónico obsérvase que a mitocondria consta de dúas membranas semellantes á membrana plasmática, ambas ricas en proteínas e separadas por un espazo intermembrana, e un espazo interno denominado matriz.

- **Membrana externa:** é lisa e permeable a ións e pequenas moléculas. Presenta proteínas con misión enzimática e unha grande cantidade de proteínas que forman amplas canles acuosas.
- **Espazo intermembrana:** presenta unha composición similar á do citosol debido á permeabilidade da membrana externa, aínda que contén numerosos enzimas.
- **Membrana interna:** é impermeable a ións. Está moi repregada en numerosas **cristas** que se proxectan cara o interior. Estas cristas incrementan notablemente a superficie da membrana e conteñen os enzimas que participan na degradación de moléculas orgánicas para producir a enerxía que necesita a célula: ATP sintetase, proteínas da cadea respiratoria, enzimas da β -oxidación de ácidos graxos, etc..
- **Matriz mitocondrial:** ten aspecto granuloso e contén ADN mitocondrial (circular e bicatenario), ARN mitocondrial, ribosomas 70S e ARNt. Neste compartimento atópanse os enzimas necesarios para a replicación, transcripción e tradución do ADN mitocondrial, os enzimas do ciclo de Krebs e da β -oxidación dos ácidos graxos, así como ións de calcio e fosfato.

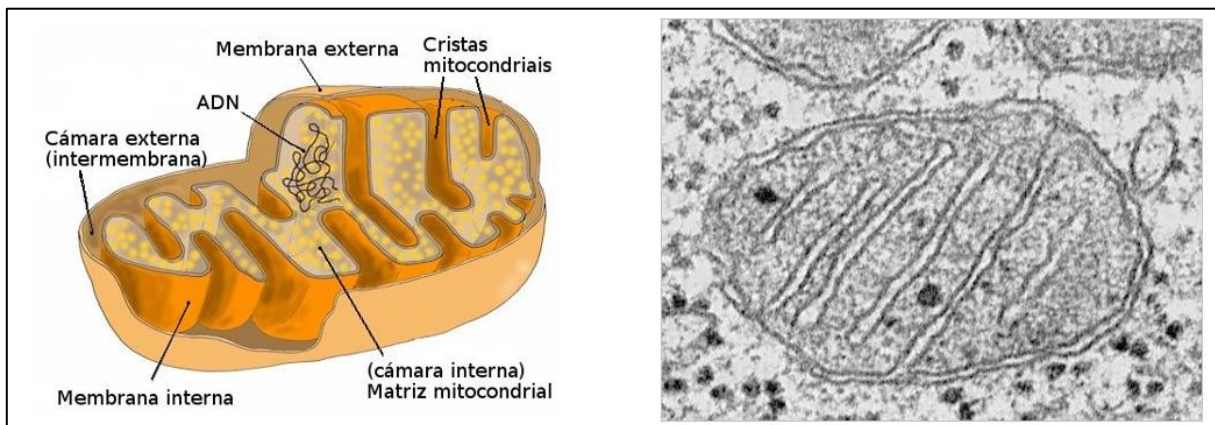


Ilustración 25. Mitocondria: A: Esquema dunha mitocondria. B: Mitocondria vista a o MET.

A principal **función** que realizan as mitocondrias no contexto celular é **produción de enerxía**. As células aerobias obteñen a maior parte da súa enerxía mediante o proceso de **respiración celular**. Na matriz mitocondrial os glúcidos, os ácidos graxos e o esqueleto carbonado dos aminoácidos oxidáanse no ciclo central do catabolismo aerobio, o ciclo de Krebs, recuperando a enerxía almacenada nos enlaces químicos en forma de ATP.

Cloroplasto

Os **cloroplastos** son orgánulos propios das células vexetais. Teñen forma moi variada, sendo a máis frecuente ovoidea, cunha dimensión de 6 μm de diámetro maior, e o número varia de célula a célula.

Igual que sucedía nas mitocondrias, a **estrutura** dos cloroplastos están delimitados por unha dobre membrana que presenta un espazo intermembrana, e delimitan un espazo interno denominado estroma

- **Membrana externa:** é permeable aos ións e moléculas pequenas debido ao contido en proteína porina.
- **Espazo intermembrana**
- **Membrana interna:** é máis impermeable, pero contén proteínas que permiten o transporte selectivo de substancias.
- **Estroma:** é o espazo interno do cloroplasto. Contén o seu propio ADN circular (acompañado de ARN e as enzimas necesarias para realizar os procesos de replicación, transcrición e tradución), ribosomas 70S e os enzimas da fase escura da fotosíntese. Ademais, no estroma atópanse os **tilacoides**, un sistema de membranas que forma vesículas aplanadas e alongadas. Estas poden estar superpostas, formando conxuntos denominados **grana**, ou conectar distintos grana, denominándose **lamelas**. Estas membranas tilacoidais son as responsables da fase luminosa da fotosíntese.

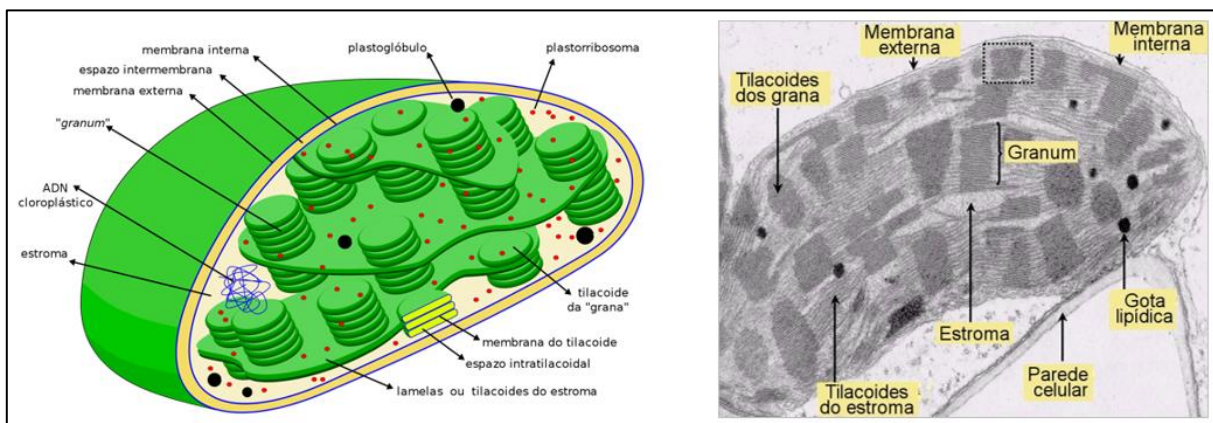


Ilustración 26. Cloroplasto. A: Esquema dun cloroplasto. B: Cloroplasto visto ao MET.

As principal **función** dos cloroplastos é a **creación de materia orgánica** mediante o proceso de **fotosíntese**. Captan a enerxía luminosa e utilízana na síntese de materia orgánica, empregando materia inorgánica como CO_2 e auga. As membranas tilacoidais dos grana conteñen o pigmento clorofila, o que fai posible a fase luminosa da fotosíntese. O ciclo de Calvin, máis coñecido como fase escura da fotosíntese realízase no estroma do cloroplasto.

Núcleo

O **núcleo** é un orgánulo de dobre membrana exclusivo das células eucariotas no cal se atopa o material xenético protexido. Explicarase en detalle no seguinte tema.

Licenzas das ilustracións

Ilustración	Recurso
Ilustración 1: Célula procariota.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 2: Espermatozoide humano.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 3: Células eucariotas.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 4: Disposición dos glícidos nas membranas en asociación con lípidos e proteínas.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 5: Membrana plasmática.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 6: Movementos laterais e flip-flop dos lípidos.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 7: Matriz extracelular.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 8: Parede celular vexetal.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 9: Parede bacteriana.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 10: Difusión simple a favor de gradiente.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 11: Difusión facilitada.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 12: Bomba de sodio-potasio.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 13: Tipos de endocitose.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 14: Exocitose.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 15: Compoñentes do citoesqueleto.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 16: Centrosoma.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 17: Ribosoma 70S.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 18: polisoma visto ao MET.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 19: Retículo endoplasmático rugoso.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 20: Retículo endoplasmático liso visto ao MET.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 21: Aparello de Golgi.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 22. Lisosomas.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 23. Peroxisomas.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 24: Vacúolo.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 25: Mitocondria.	Procedencia: Guías para o bacharelato (LOMCE), Consellería de Cultura, Educación, Formación Profesional e Universidades.
Ilustración 26: Cloroplasto.	Autoría: Miguelsierra. Licencia: CC. BY-SA 3.0 Procedencia: https://gl.wikipedia.org/wiki/Cloroplasto#/media/Ficheiro:Scheme_Chloroplast-gl.svg