



Capítulo 1

Célula Vegetal

CÉLULA VEGETAL

1. Célula Vegetal

La célula es la unidad morfológica, fisiológica, reproductiva y metabólica básica de la vida.

La palabra *célula* deriva del griego *kytos* y del latín *cellula*, que significan celda. En 1665, Robert Hooke, fue el primero en observar la *célula* vegetal al realizar cortes sobre tejido de corcho utilizando lentes de aumento 50X elaborados por él mismo. En sus observaciones no describió los componentes intercelulares, ya que estas fueron realizadas sobre tejido muerto de corcho, gracias a lo cual pudo observar múltiples celdas que hoy se reconocen como pared celular.

El posterior avance en microscopía permitió reconocer las células como organismos vivos y dividir las según su componente intracelular en procariotas (gr. *pro*: antes de, y, *karyon*: núcleo) y eucariotas (gr. *eu*: verdadero y *karyon*: núcleo). Los procariotas son organismos unicelulares cuyo material genético se encuentra disperso en el citoplasma, pues no presenta un núcleo definido por la envoltura o membrana nuclear y carece de organelas.

Los procariotas son, generalmente, bacterias que han logrado establecerse en todos los hábitats de la tierra, hacen parte del de los reinos *archae* y bacteria, y son la forma de vida más primitiva y mejor adaptada, con existencia cercana a los ca. 3.800 millones de años, de los 4.500 ma. que tiene el planeta. Por otro lado, los eucariotas aparecen hace aproximadamente 1.800 millones de años. La teoría de la endosimbiosis seriada propuesta por Lynn Margulis, postula la formación de la célula eucariota como la suma de procariotas que entablaron una relación simbiótica



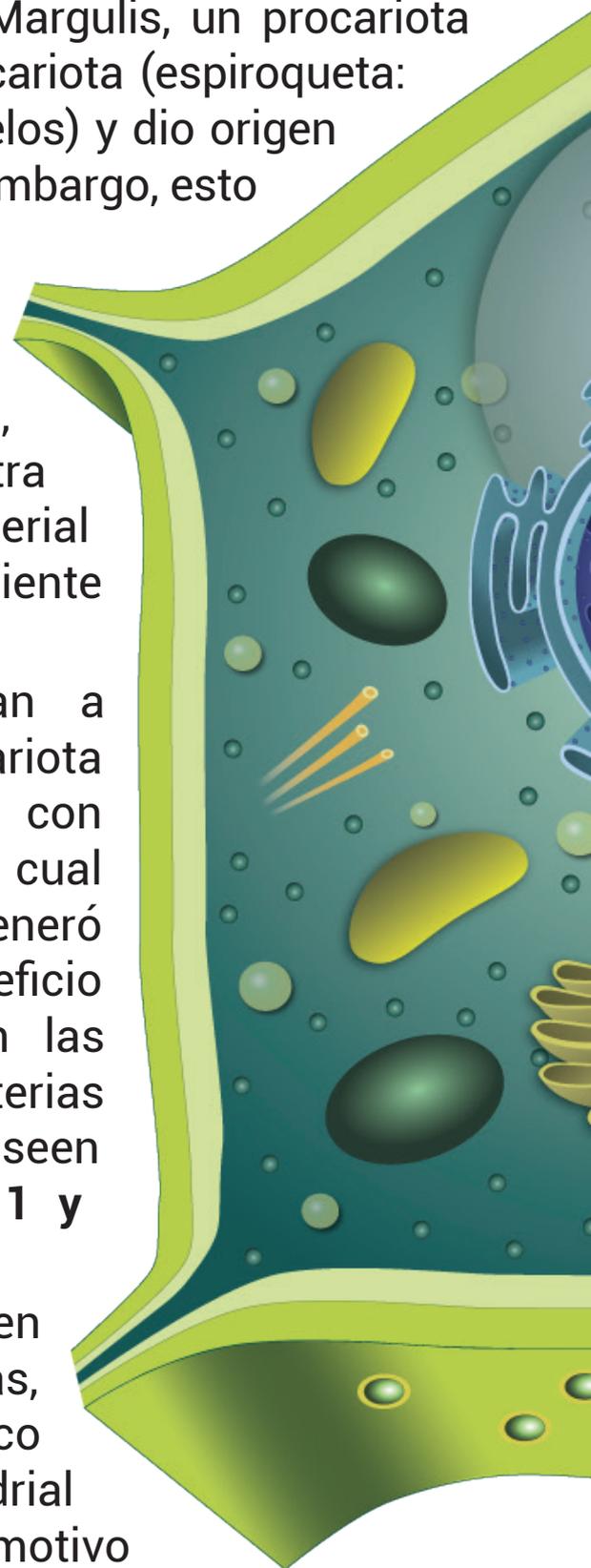


Los organismos que se conocen dentro del reino protista, fungi, vegetal y animal, que componen la mayor diversidad del planeta, son eucariotas. Desde esta perspectiva, y de acuerdo con los hallazgos encontrados en la teoría de Margulis, un procariota (*Thermoplasma* sp.) fagocitó a otro procariota (espiroqueta: que formaron el citoesqueleto y los flagelos) y dio origen a los primeros protistas (eucariota); sin embargo, esto no ha sido comprobado.

La teoría confirmada afirma que el *Thermoplasma* sp. fagocitó una eubacteria que dio origen a la mitocondria, denominada organelo (aunque es otra célula, pues contiene su propio material genético y su ciclo celular es independiente a través de la fisión binaria).

Las células vegetales se originan a partir de otro encuentro de este eucariota (*Thermoplasma* sp. + eubacteria) con otro procariota, la cianobacteria, la cual fue fagocitada sin causar daños y generó condiciones intracelulares de beneficio mutuo. De esta manera, se originan las células vegetales, pues las cianobacterias son organismos fotosintéticos que poseen plastidios de tipo cloroplasto (**figura 1 y figura 2**).

Las células vegetales se reconocen como la suma de tres procariotas, cada una posee su material genético independiente: nuclear (ADN), mitocondrial (ADNmt) y cloroplástico (ADNcp), por tal motivo se conoce como ADN tripartita.



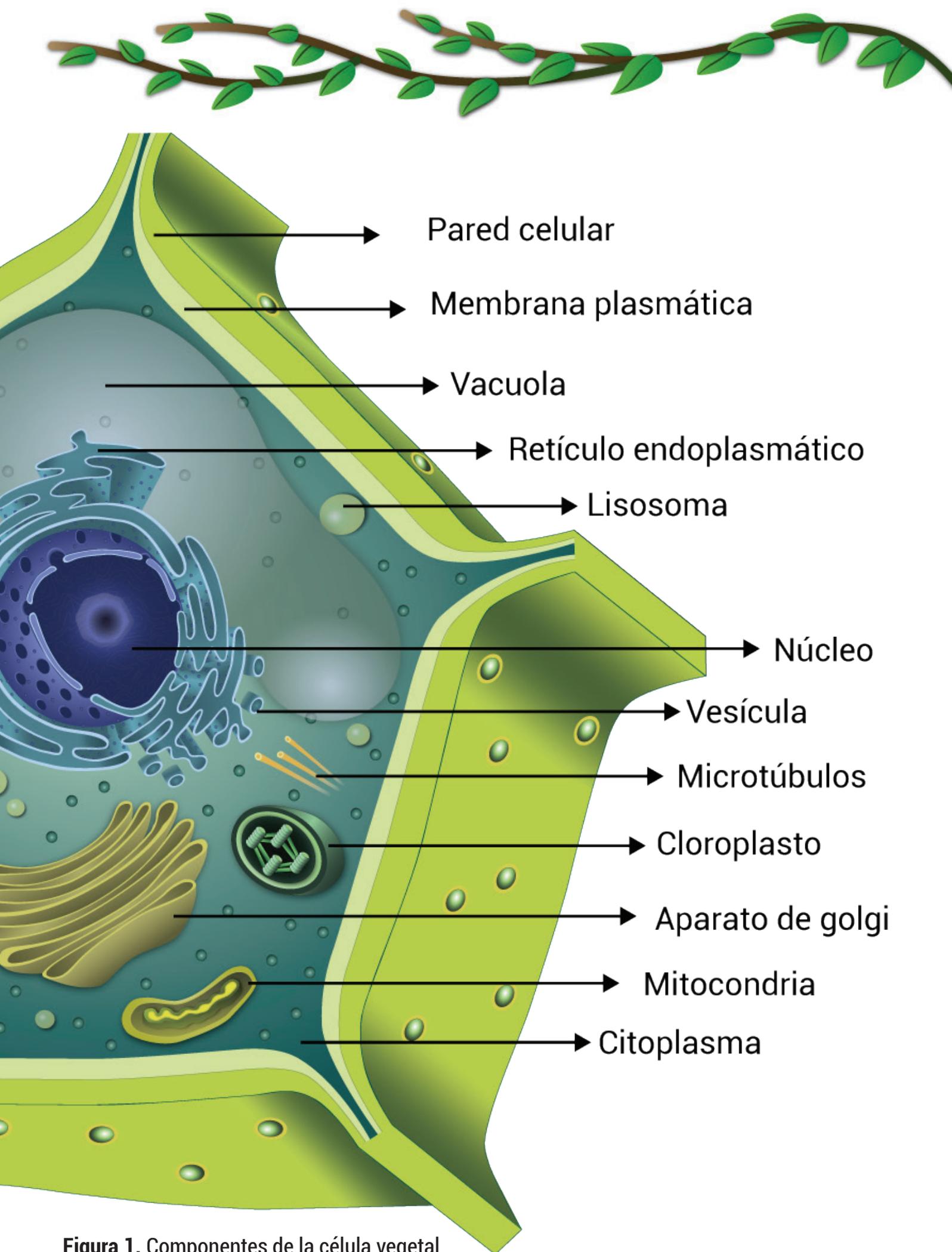


Figura 1. Componentes de la célula vegetal

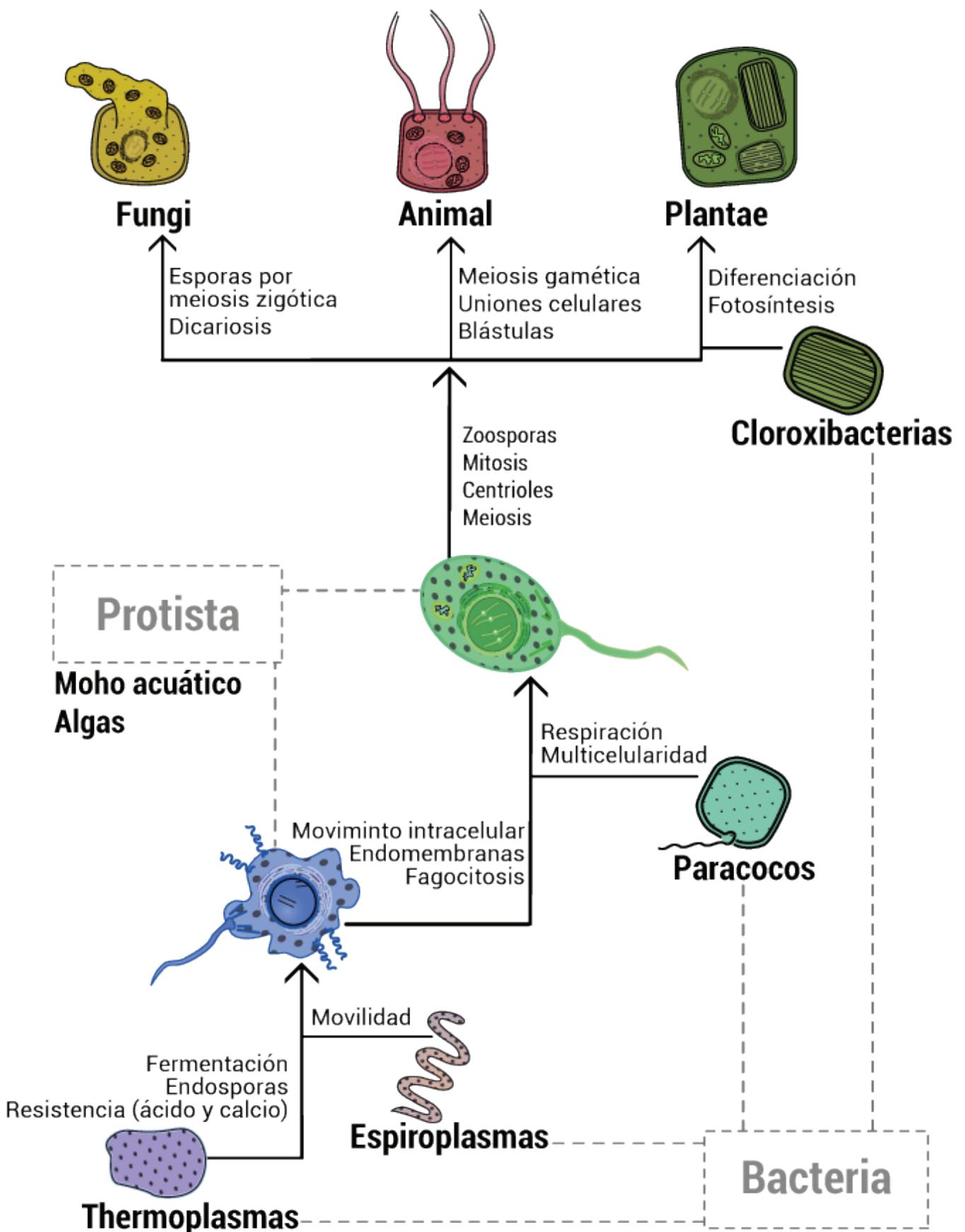


Figura 2. Teoría endosimbiótica propuesta por Lynn Margulis



1.1. Pared celular

La pared celular le confiere a las células y organismos vegetales resistencia mecánica ante diferentes componentes abióticos. Además, define el tamaño y la forma de la célula, pues regula su crecimiento al delimitar la extensión de la membrana celular. En cuanto a la defensa de agentes patógenos, actúa como barrera física que impide su entrada; sumado a esto, posee moléculas que desencadenan repuestas que involucran al sistema inmune vegetal.

La pared celular está compuesta por celulosa (25-30%), hemicelulosa (15-25%), pectina (35%) y proteínas (5-10%), que se distribuyen en la pared primaria, secundaria (S1, S2 y S3) y lámina media (**figura 3**).

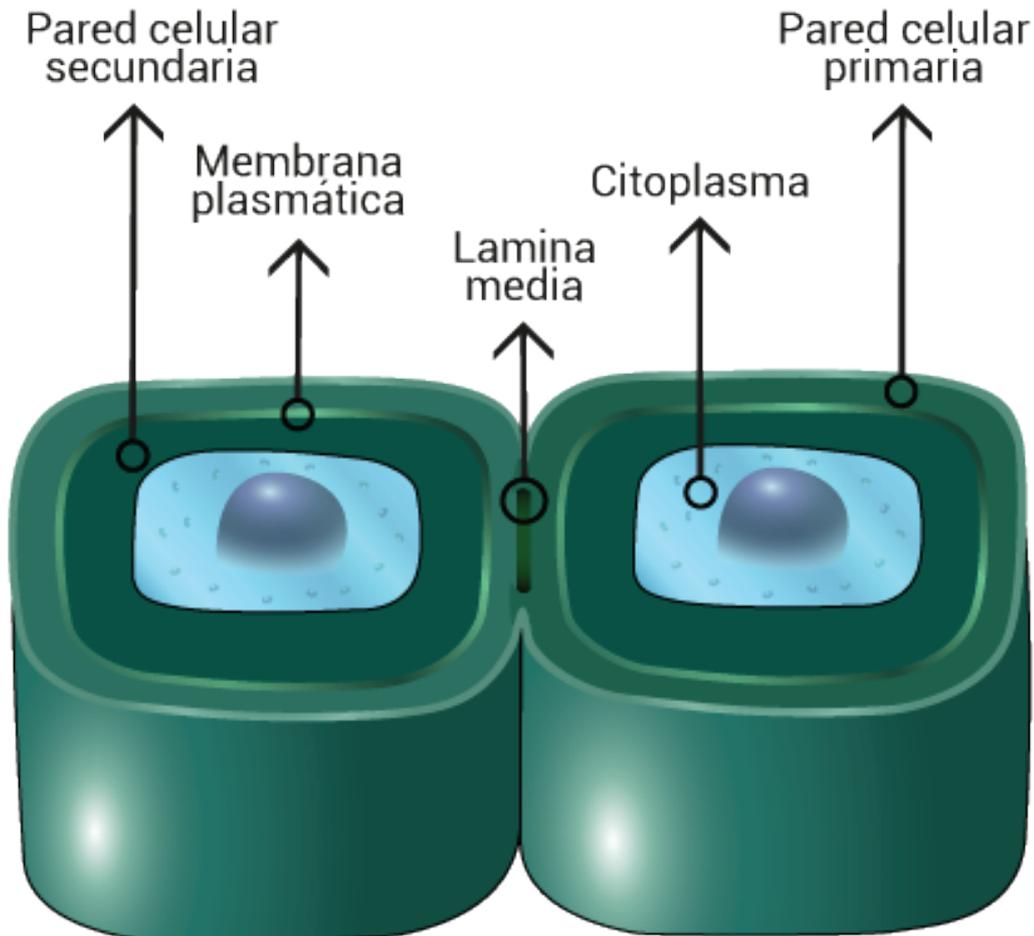
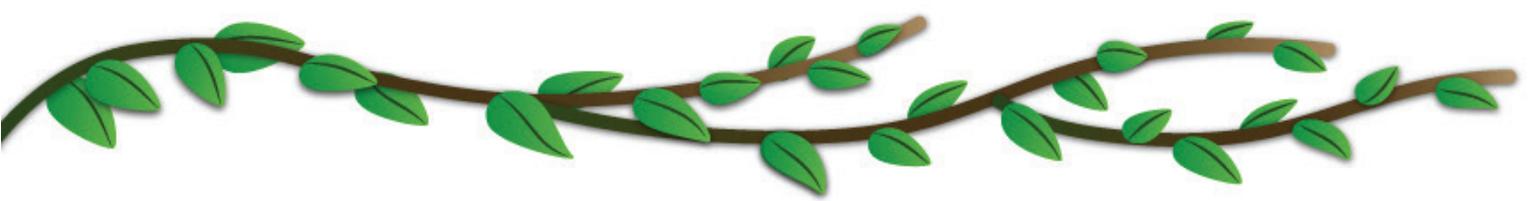


Figura 3. Componentes de la pared celular





1.1.1. Propiedades físico-químicas de la pared celular

Las propiedades físico-químicas de la pared celular son:

- I. Porosidad
- II. Carga eléctrica
- III. Cohesión celular
- IV. Grado de hidratación
- V. Resistencia química
- VI. Resistencia mecánica

1.1.1.1. Porosidad

La porosidad está determinada por las redes poliméricas que constituyen la pared celular. Esta funciona a manera de "colador": regula y limita la entrada de moléculas según su tamaño.

Los poros generalmente oscilan entre 3.5 y 6.0 nm (masas moleculares: 13-65 KDa), por lo que restringen la entrada de macromoléculas como proteínas o polisacáridos; no obstante, permite el paso de micromoléculas, como aminoácidos, sacarosa o reguladores de crecimiento.

1.1.1.2. Carga eléctrica

La carga eléctrica de la pared celular es negativa debido a los grupos carboxilo de los restos de galacturonosil de las pectinas y glicorosil de los xilanos con un pH fisiológico entre 4.5 y 6.0.

El balance de cargas se da por la presencia de cationes, fundamental de calcio (Ca^{++}).

1.1.1.3. Cohesión celular

La cohesión celular se presenta a través de la unión de la pared celular. Este suceso ocurre en la lámina media, principalmente





a través del pectato de calcio, responsable de la formación de puentes.

1.1.1.4. Grado de hidratación

El grado de hidratación depende del tipo de pared celular: la pared primaria puede acumular aproximadamente un 65% de humedad; sin embargo, la pared secundaria, por contener lignina, es hidrófoba por lo que impermeabiliza la pared y no retiene humedad. Igualmente, sucede con los depósitos de suberina y cutina en las células de la endodermis y células epidérmicas, respectivamente.

1.1.1.5. Resistencia química

La resistencia química se ve intervenida por los polímeros de celulosa y lignina que son resistentes a la degradación química por agentes patógenos. Además, se encuentran proteínas ricas en hidroxiprolina que forman una barrera pasiva frente a la penetración de microorganismos. También se pueden generar respuestas que activan el sistema inmune innato que liberan componentes como las fitoalexinas.

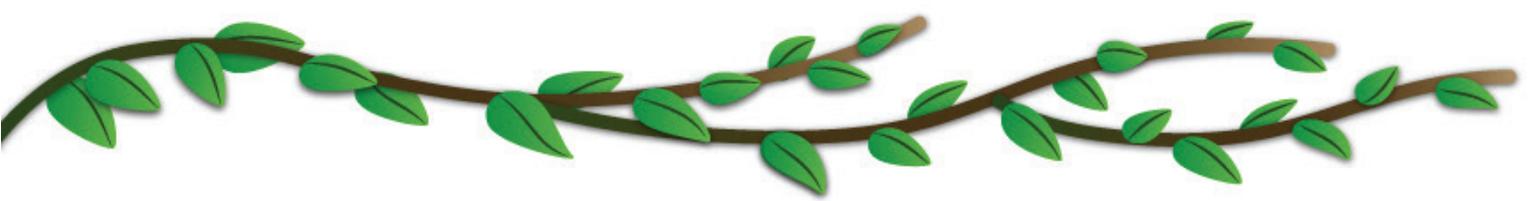
1.1.1.6. Resistencia mecánica

La resistencia mecánica está dada por la celulosa y la lignina, las cuales, de manera estructural, impiden el acceso de agentes bióticos o abióticos que puedan afectar las células vegetales.

1.1.2. Protoplasto y componentes de la pared celular

La pared celular es una estructura que delimita el protoplasto al rodear la membrana plasmática o plasmalema. La pared celular permite acumular solutos en concentraciones mayores a las





existentes en el medio extracelular o apoplasto. El agua ingresa al protoplasto por ósmosis, lo que causa la hinchazón de la vacuola y, consecuentemente, la del plasmalema, y facilita así la elasticidad celular, limitada por la pared celular. La estructura y constitución de la pared celular varía a nivel inter e intra específico, aún a nivel intercelular en un individuo vegetal.

La lámina media está formada principalmente por polisacáridos pécticos, que mantienen la unión de las células adyacentes. Su origen se da desde la división celular, como primera capa que constituye la pared celular.

La pared celular primaria mide entre 0.1 y 1.0 μm , se deposita en las células hijas después de que la placa celular de la lámina media está completa. La pared celular primaria controla el crecimiento, pues permite la expansión celular.

La pared celular secundaria se forma en algunas células diferenciadas que dejan de crecer y se constituyen como depósitos de nuevas capas de material en la cara interna de la pared. La pared celular secundaria es más gruesa que la primaria al tener mayor contenido de celulosa.

1.2. Membrana plasmática

La membrana plasmática genera la compartimentación de la célula y sus organelos o componentes intracelulares, tales como núcleo, retículo endoplasmático rugoso y liso, complejo de Golgi, vacuola, lisosomas, vesículas, mitocondria y plastidios. Este conjunto de elementos se conocen como el sistema de endomembranas. La membrana plasmática aísla selectivamente el contenido interno del externo, regula el intercambio de sustancias indispensable para el desarrollo y permite la comunicación con otras células.

Las membranas son estructuras celulares que cumplen el





“modelo del mosaico fluido” al estar constituidas por una bicapa fosfolipídica y una variedad de proteínas que se mantienen en movimiento (**figura 4**). Los fosfolípidos tienen una cabeza hidrofílica y un par de colas hidrofóbicas, generalmente una de ellas posee ácidos grasos insaturados que permiten el doblaje de la cola y, por ende, mejoran el movimiento y la fluidez de la membrana a bajas temperaturas.

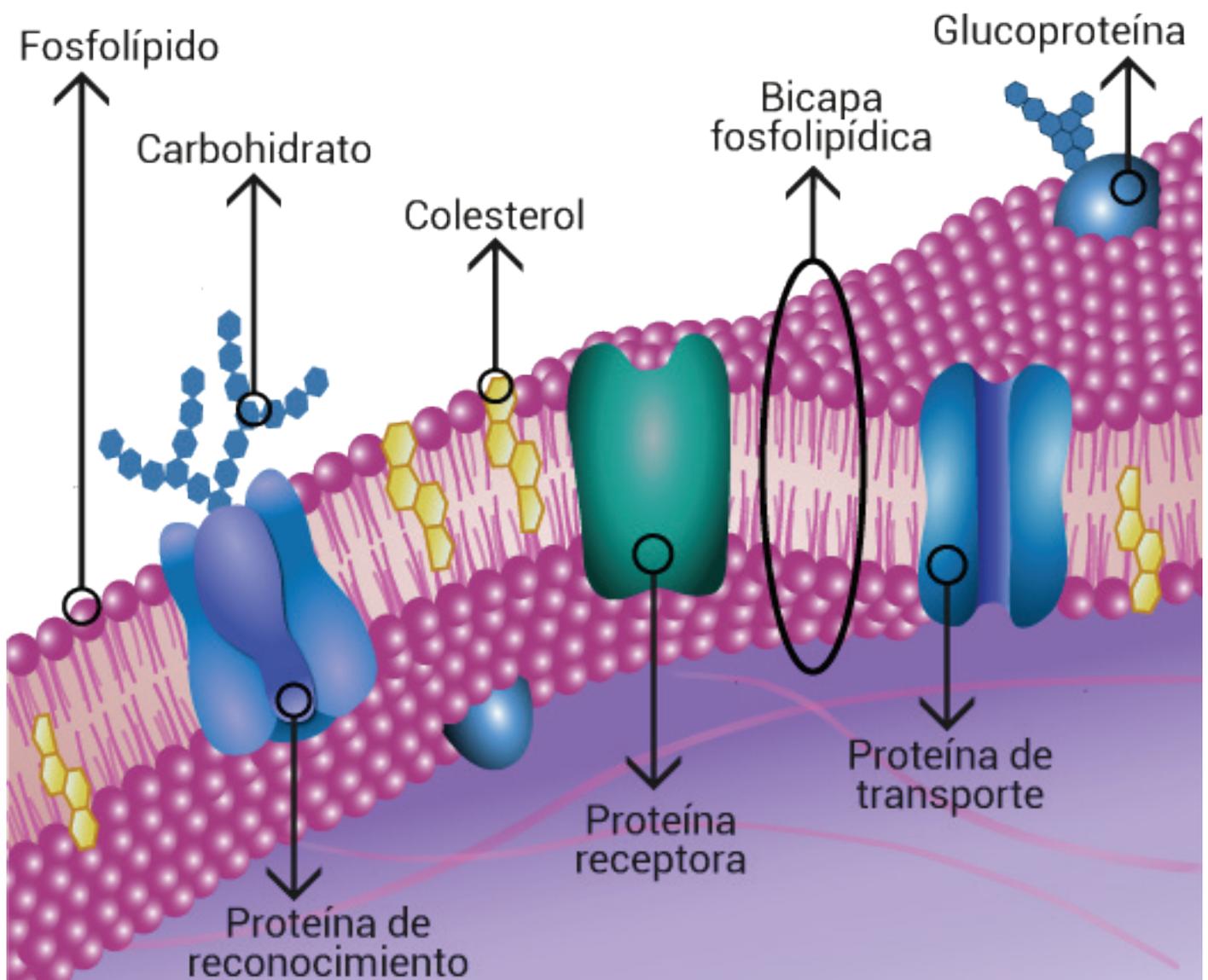


Figura 4. Composición de la membrana citoplasmática

La bicapa fosfolipídica posee cabezas hidrofílicas que están en contacto con la porción intracelular del citoplasma y extracelular





del ambiente acuoso. Las colas hidrofóbicas se encuentran en contacto de manera interna, insertando la membrana.

La bicapa fosfolipídica generalmente contiene colesterol, que hace a la membrana más resistente y flexible, pero menos fluida. El colesterol de la membrana debe estar regulado, pues mayor concentración intrabica fosfolipídica puede causar rompimiento de las moléculas estructurales (**figura 5**).

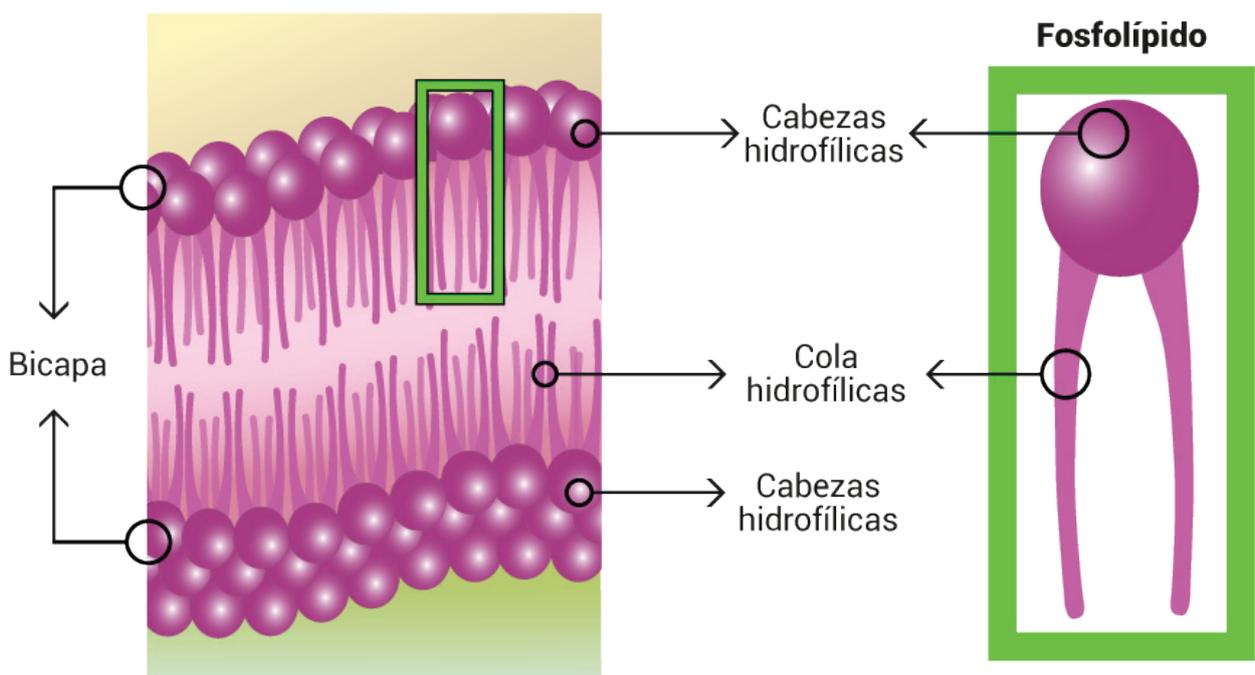


Figura 5. Fosfolípidos: cara hidrofílica y cara hidrofóbica

Diversas proteínas se encuentran ancladas en la bicapa fosfolipídica cuando dichas proteínas se encuentran unidas a carbohidratos se denominan glucoproteínas.

Existen proteínas de transporte, proteínas receptoras y proteínas de reconocimiento. Las proteínas de transporte regulan el movimiento de moléculas hidrofílicas (soluble en agua), también se les llaman proteínas de canal por los poros o canales que permiten la entrada de elementos. Las proteínas receptoras activan respuestas celulares cuando se unen a ellas moléculas específicas del fluido extracelular, como hormonas o nutrimentos.





Las proteínas de reconocimiento (glucoproteínas) permiten la identificación de agentes patógenos.

1.2.1. Transporte transmembranal

El transporte a través de la membrana se da por transporte pasivo o transporte activo (**figura 6**). El transporte pasivo no requiere gasto de energía y se presenta por difusión simple, difusión facilitada u ósmosis, lo que implica un gradiente de concentración, presión o carga eléctrica. La difusión simple se da por el paso de agua, gases disueltos o atmosféricos, o moléculas liposolubles que fácilmente atraviesan la bicapa fosfolipídica (**figura 6A**).

La difusión facilitada involucra moléculas hidrosolubles que pasan a través de un canal o proteína portadora (**figura 6B**).

La ósmosis es el paso de agua por una membrana de permeabilidad diferencial, de tal modo que facilita el tránsito de agua de acuerdo a la cantidad de solutos intra o extra celulares.

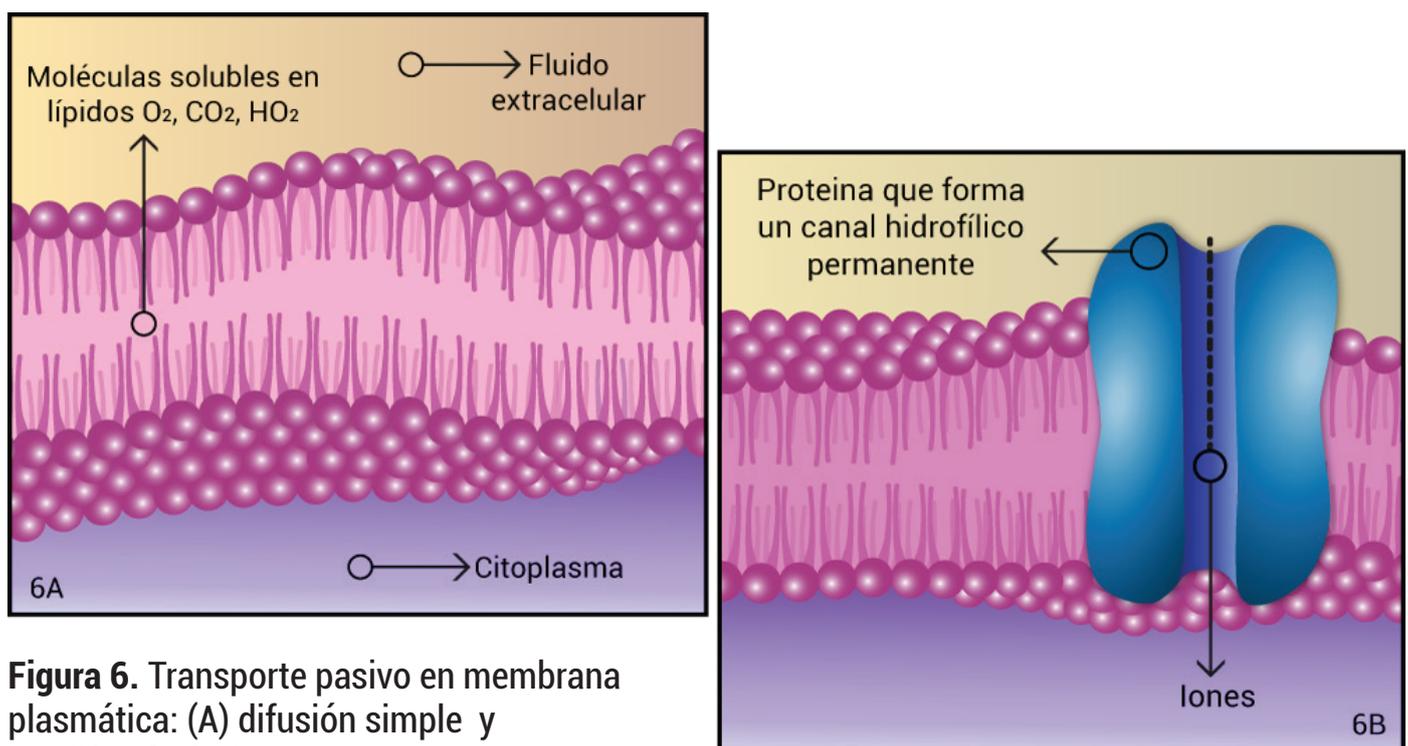
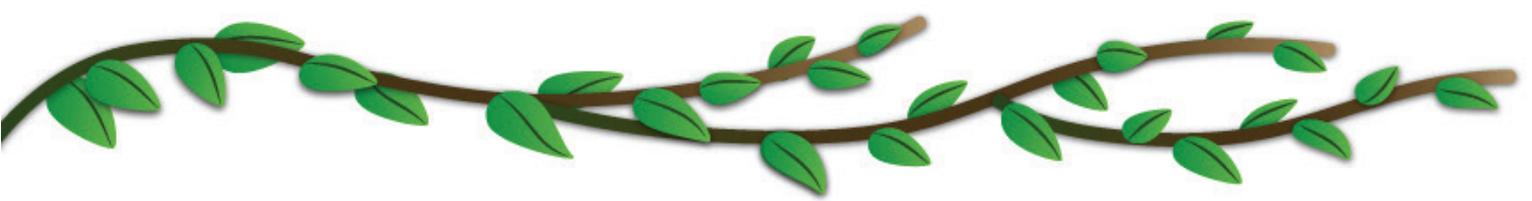


Figura 6. Transporte pasivo en membrana plasmática: (A) difusión simple y (B) difusión facilitada





El transporte que requiere de un gasto de energía se determina formalmente como transporte activo: endocitosis y exocitosis. El transporte activo requiere de uso de energía en forma de ATP para el movimiento de moléculas o iones pequeños. La endocitosis se realiza para introducir macromoléculas del medio exterior al interior del citoplasma a través de vesículas (pinocitosis) para introducir fluidos nutricionales. La exocitosis permite, por medio de vesículas, transportar materiales intracelulares que se funden con la membrana plasmática para liberarlos al espacio extracelular.

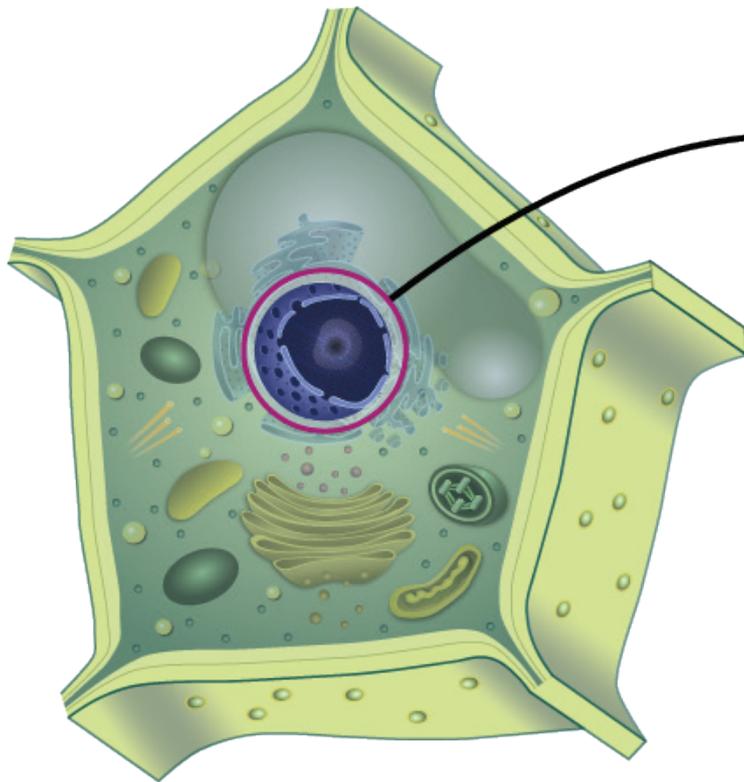
1.3. Núcleo

En las células eucariotas el núcleo es el responsable de gobernar la actividad celular (**figura 7**). Este presenta una envoltura nuclear que regula la entrada y salida de compuestos a través del poro nuclear, por donde fluye agua, iones y ATP.

El poro nuclear posee “proteínas portero” que permiten el paso específico de proteínas, trozos de ribosoma y ARN. En la envoltura o membrana nuclear exterior se encuentran ribosomas anclados que dan continuidad al retículo endoplasmático rugoso. El material genético (ADN y ARN) está disperso a nivel intranuclear en forma de cromatina, ADN asociado a proteínas. Cuando las células eucariotas están en proceso de división, el ADN y las proteínas asociadas se condensan formando cromosomas.

El núcleo posee en el centro el nucleolo, que es el responsable de la síntesis de ribosomas. Por tal motivo contiene ADN_r (ADN ribosomal), que es utilizado para la síntesis de ARN ribosomal en diversas etapas y proteínas.





Núcleo celular

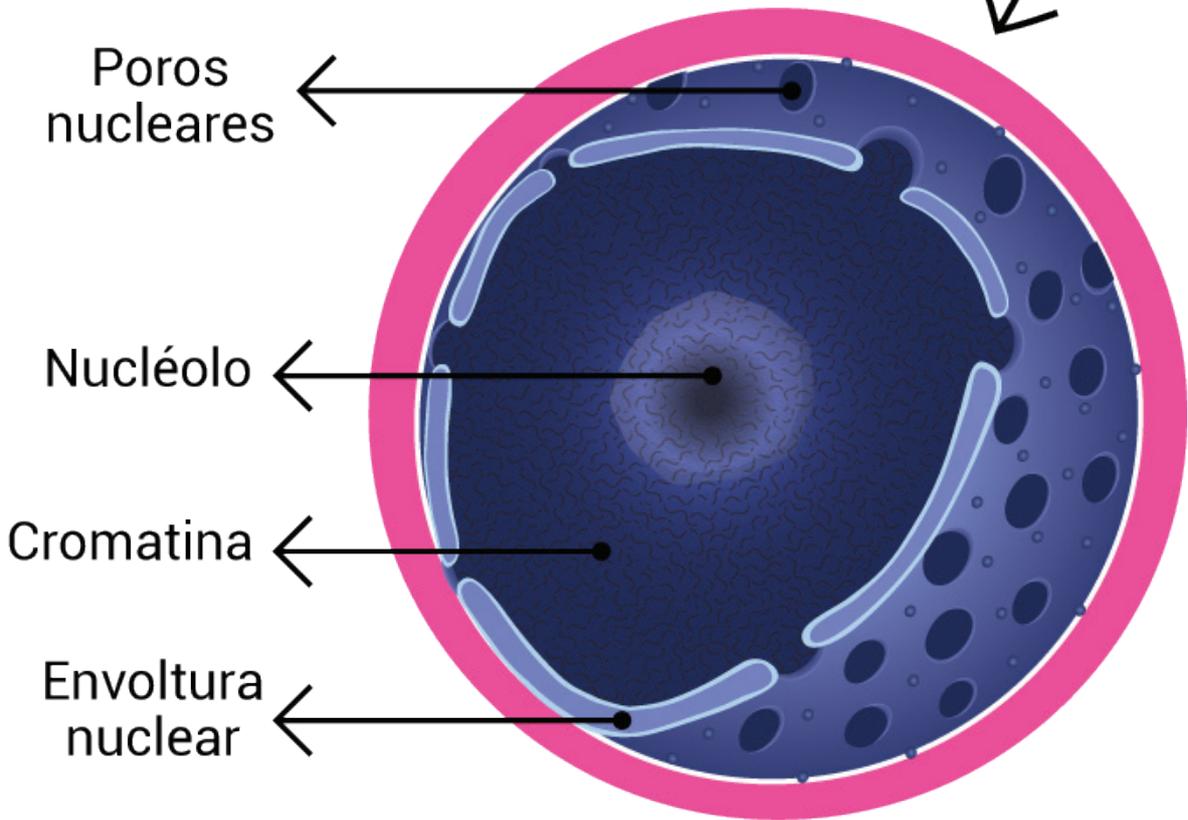


Figura 7. Núcleo celular



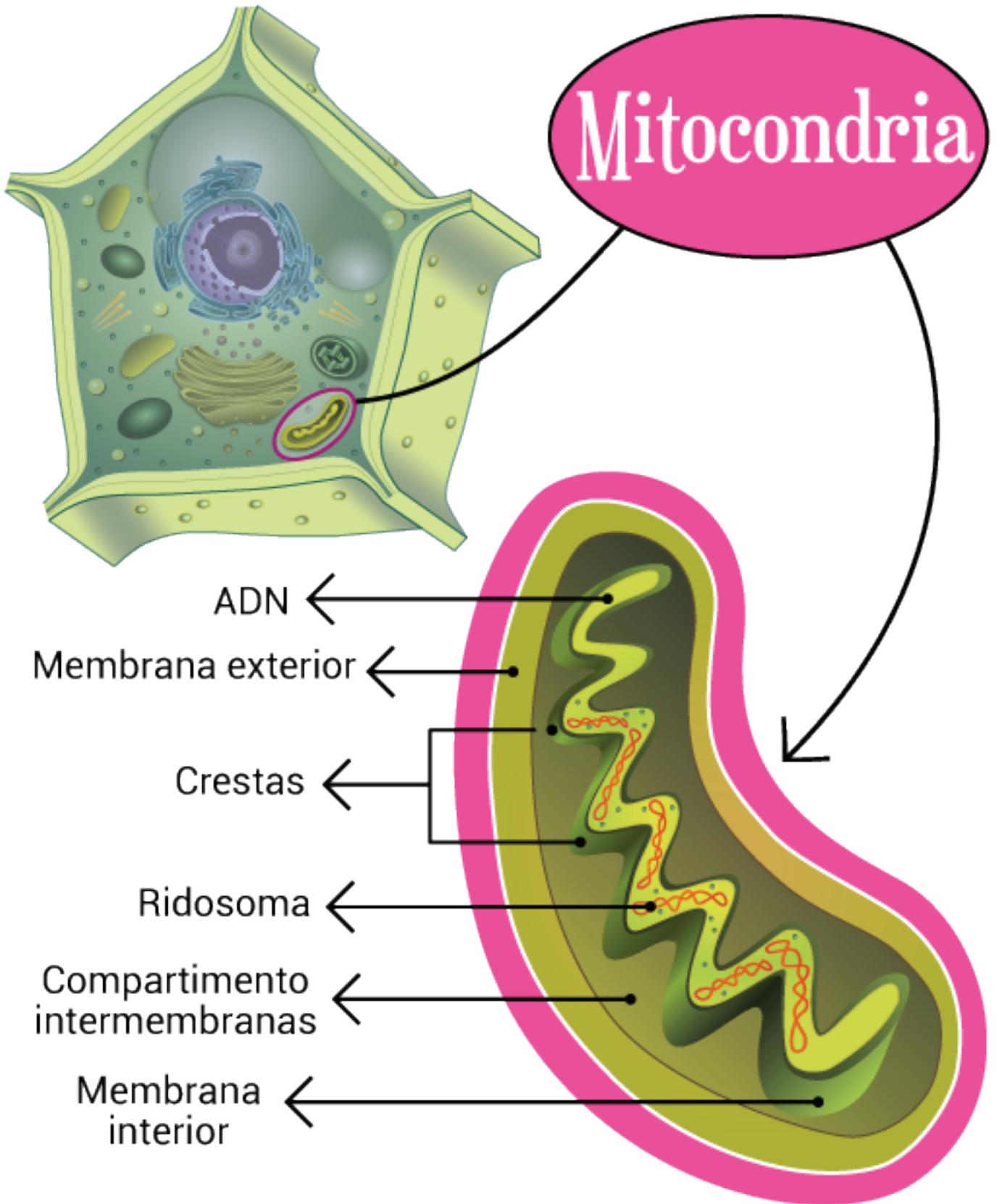


Figura 8. Mitocondria





1.4. Mitocondria

La mitocondria es la principal fuente de producción de energía de la célula. Posee forma ovalada o cilíndrica y está compuesta por un par de membranas: la membrana externa, que es lisa, y la membrana interna, que se arruga para formar crestas.

El espacio entre la membrana interna y externa se denomina compartimiento intermembranal. En el compartimiento interior se encuentran el ADN mitocondrial (ADNmt), ribosomas y proteínas (**figura 8**).

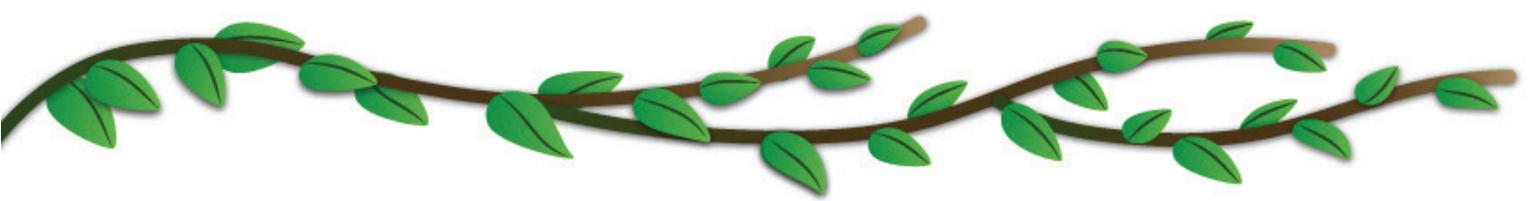
1.5. Plastidios

Los plastidios son organelos que se dividen en fotosintéticos y no fotosintéticos. Los fotosintéticos son conocidos como el cloroplasto y el cromoplasto. Estos generan el color a las plantas y contribuyen a la captación de energía lumínica para transformarla en energía química. En cuanto a los no fotosintéticos o de reserva, denominados leucoplastos por la carencia de color, se conocen los proteinoplastos, que almacenan proteínas (ej., semillas), amiloplasto, que guardan almidón (ej. tubérculos), y oleoplasto (ej., semilla del girasol). Los cloroplastos están conformados por una membrana externa y una interna. La membrana interna encierra un fluido que se llama estroma, donde se encuentran los tilacoides. Cuando hay una pila de tilacoides se denomina grana (plural, granum) (**figura 9**).

1.6. Retículo endoplasmático

El retículo endoplasmático (**figura 10**) se constituye en una serie de tubos y canales interconectados, encerrados por membranas





en el citoplasma. En el ítem “Núcleo” (pág. 22) se mencionó la continuidad que existe entre la membrana nuclear y el retículo endoplasmático. El retículo endoplasmático se divide en rugoso (RER) y liso (REL). El RER tiene incrustados ribosomas que permiten la síntesis de proteínas. El REL facilita la síntesis de lípidos que incluyen los fosfolípidos y colesterol que se utilizarán en las membranas.

Las proteínas pasan por los conductos del RER y llegan a las membranas, las cuales se estrangulan y liberan las proteínas en vesículas para el complejo de Golgi.

1.7. Ribosomas

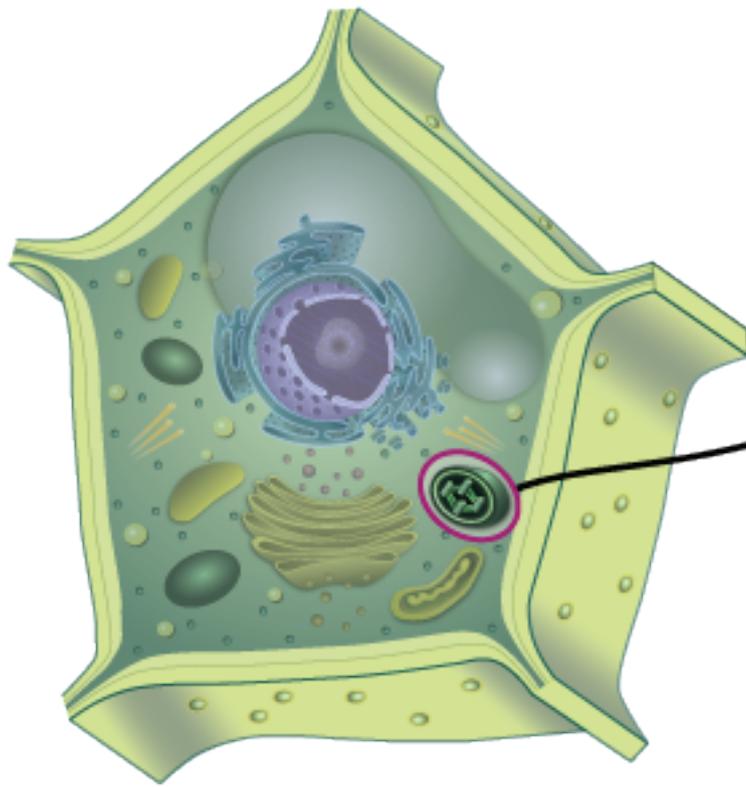
Los ribosomas son complejos macromoleculares citoplasmáticos cuya función consiste en sintetizar proteínas. Estos se constituyen de dos subunidades: la subunidad grande, que posee un sitio catalítico y dos sitios de unión de ARN de transferencia (ARNt) aminoácidos, y, la subunidad pequeña (**figura 11**).

Ambas subunidades se ensamblan para la entrada del ARN mensajero (ARNm), el cual trae las tripletas de bases nitrogenadas, o codones, que en la traducción dan el mensaje para que el anticodon una los aminoácidos específicos de acuerdo a la lectura.

Los ribosomas se pueden encontrar insertados en la cara externa del núcleo o en el retículo endoplasmático rugoso cuando van a producir proteínas que se utilizarán de manera extracelular. Sin embargo, también existen ribosomas libres que sintetizan compuestos para el uso intracelular.

Los plastidios y la mitocondria también poseen ribosomas.





Cloroplasto

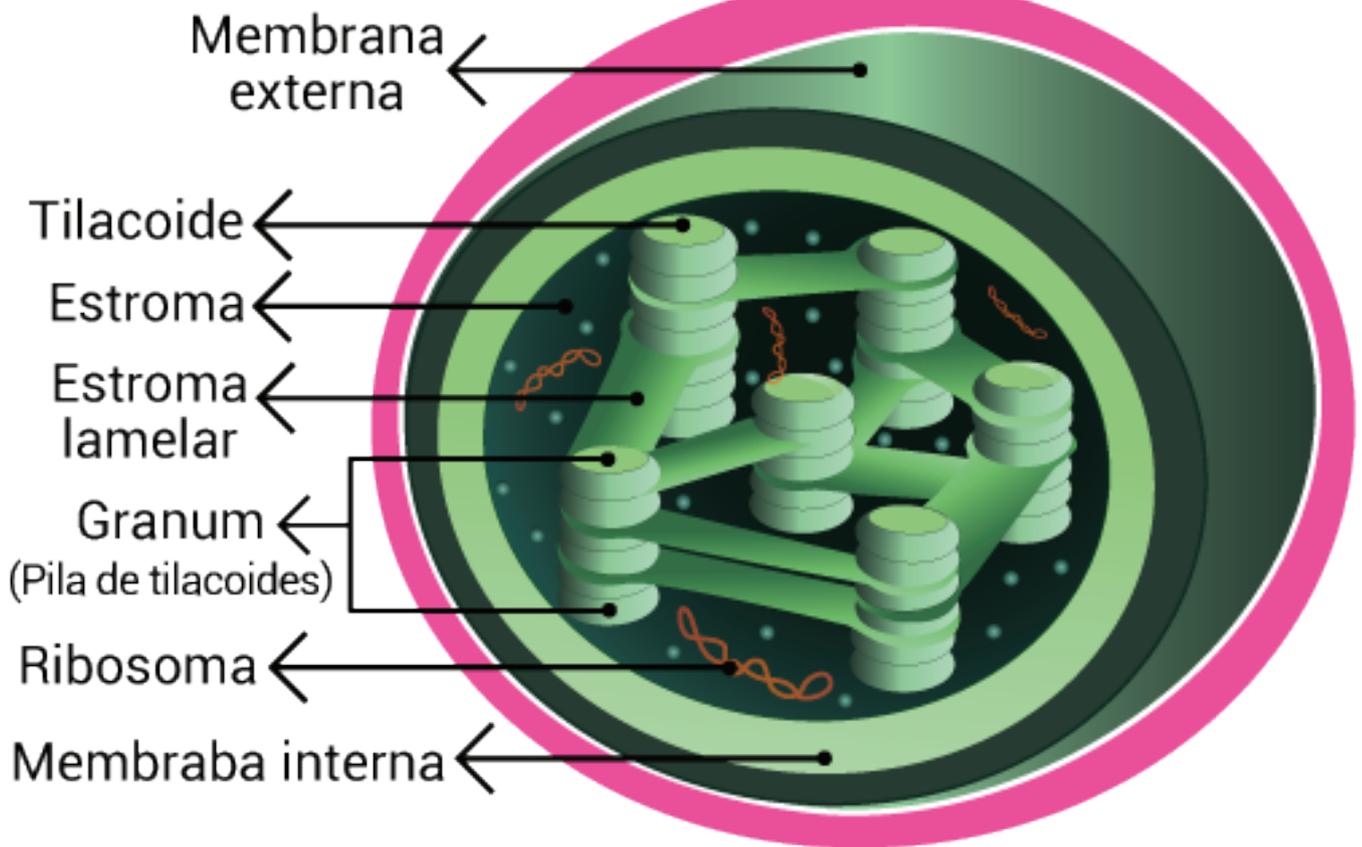


Figura 9. Cloroplasto



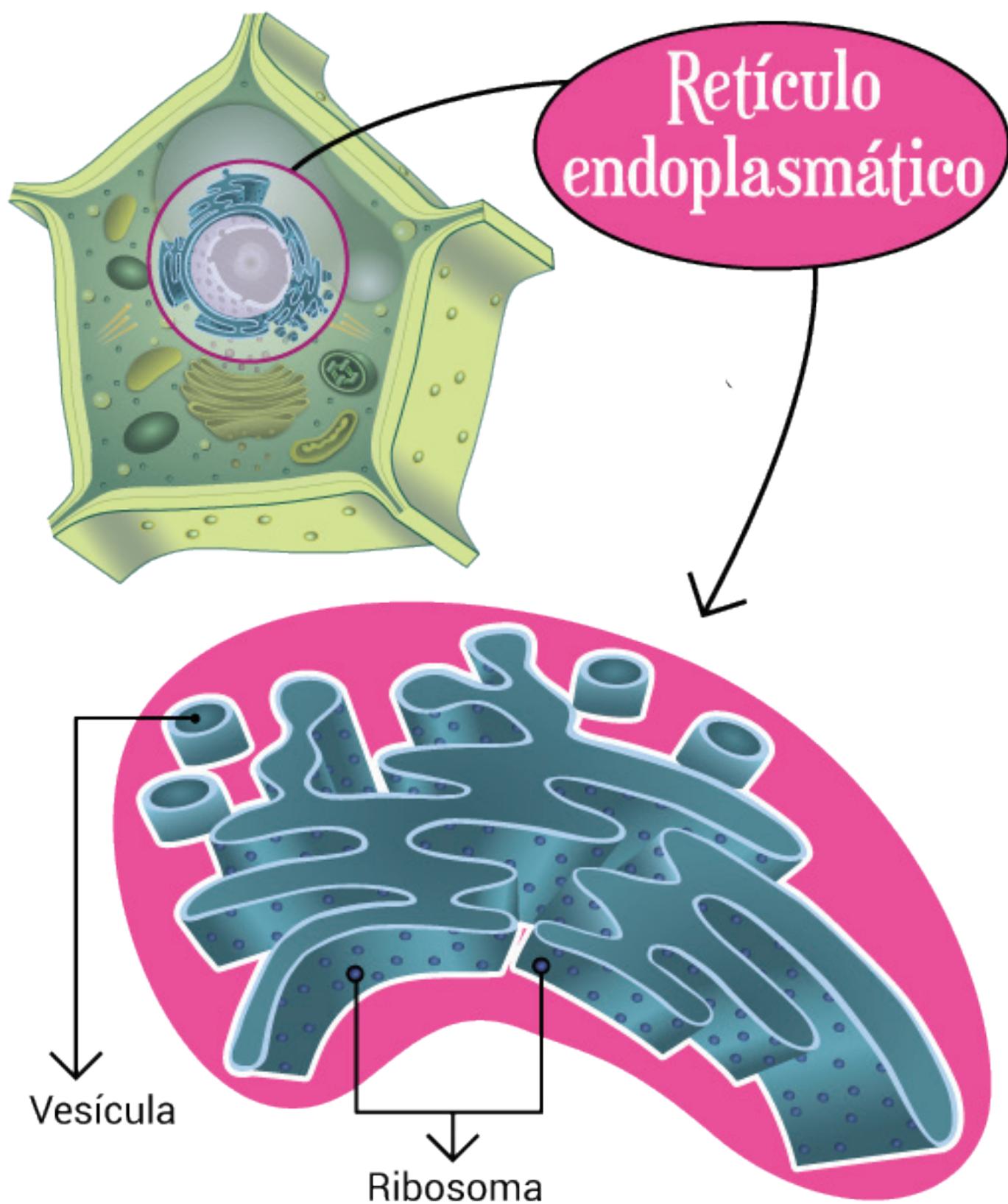


Figura 10. Retículo endoplasmático



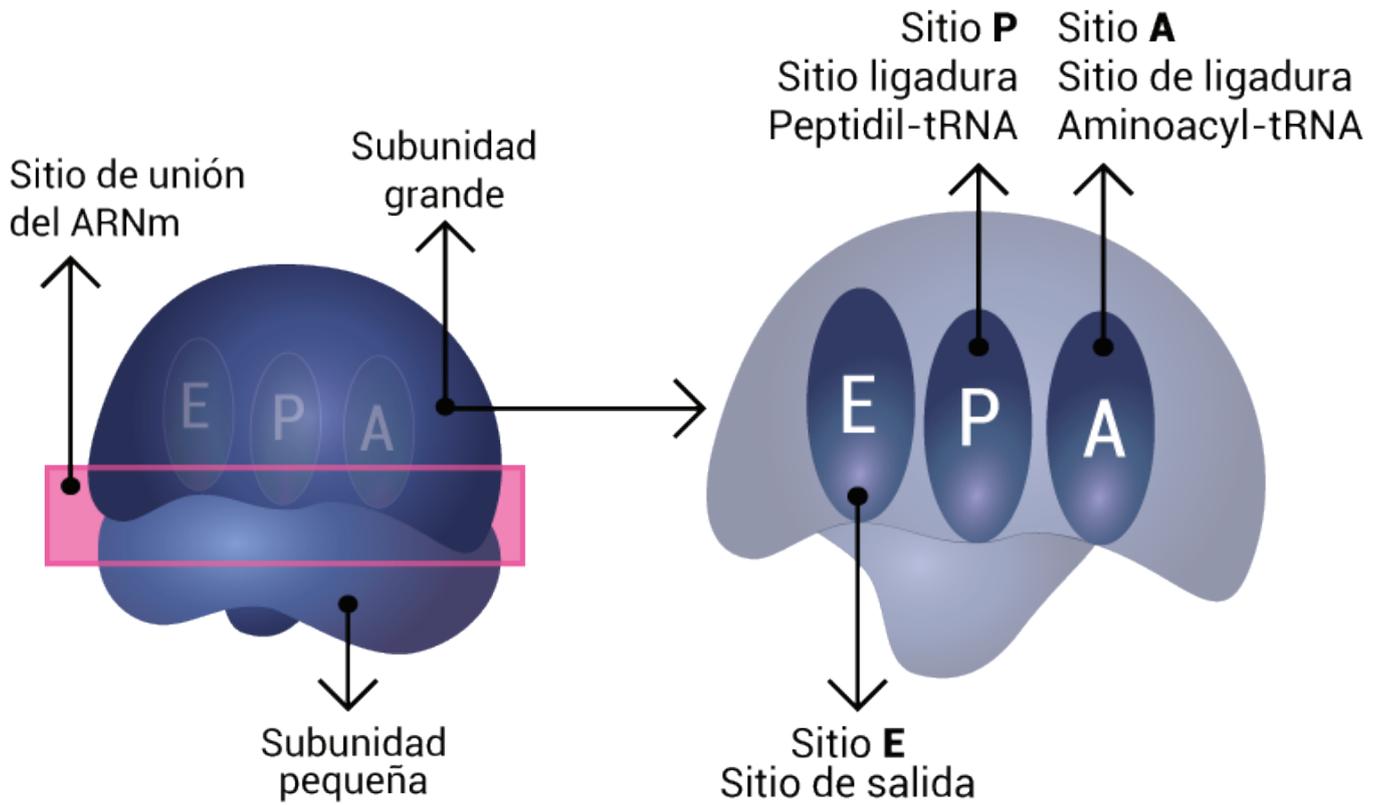


Figura 11. Ribosoma

1.8. Complejo de Golgi

El complejo de Golgi (CG) es un conjunto especializado de membranas aplanadas derivadas del retículo endoplasmático (RE) en forma de disco (**figura 12**). Cabe mencionar que existe un espacio entre el RE y el CG rico en vesículas denominado la zona intermedia. El conjunto de sáculos en apilamiento también se le llaman dictiosoma. Existe la cara interna, o cis, y externa, o trans, y una intermedia, la región intermedia.

La parte más externa del lado cis se denomina la red cis Golgi y la más externa del lado trans la red trans Golgi.



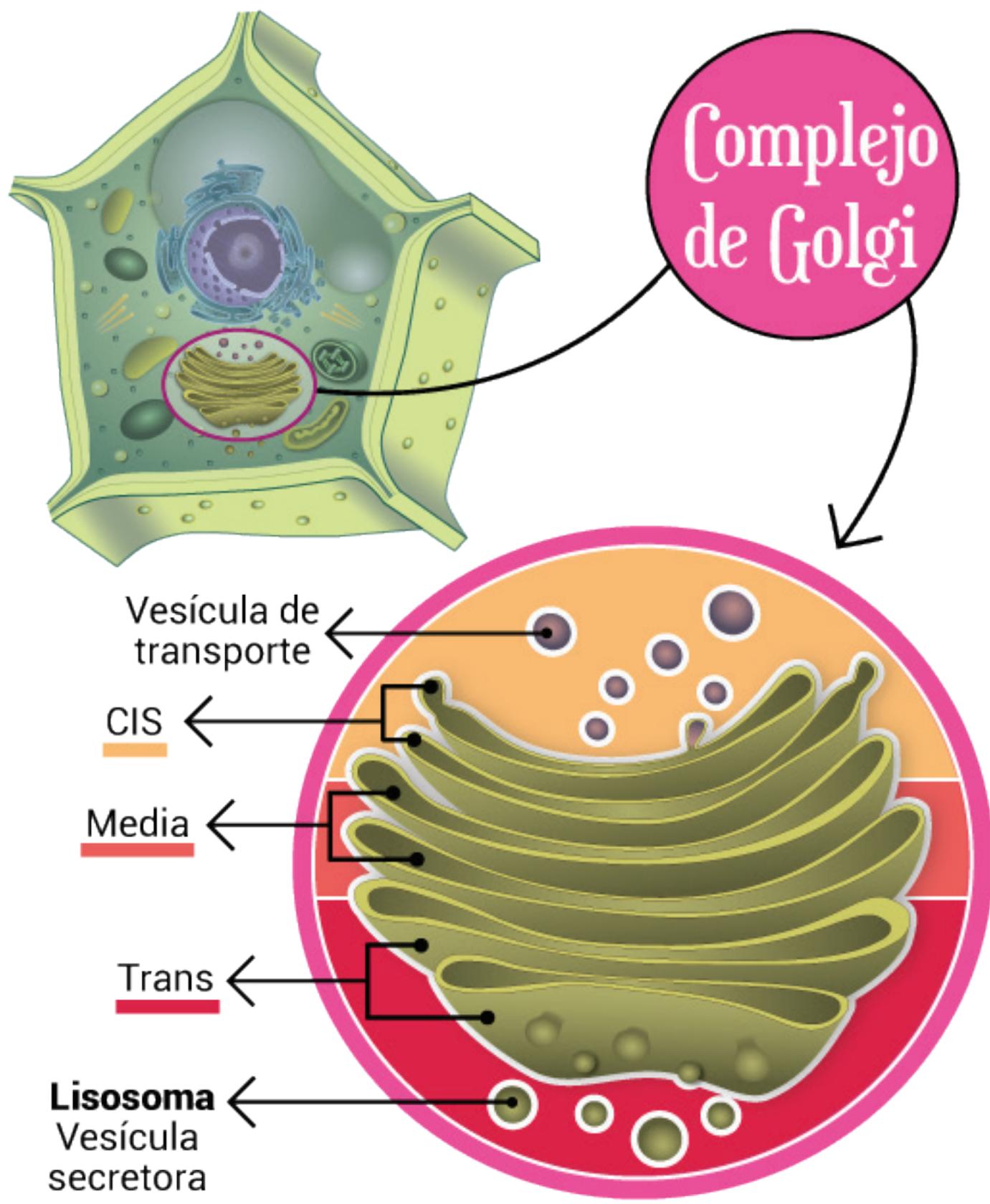


Figura 12. Complejo de Golgi





Las principales funciones del CG son separar las proteínas y los lípidos según su destino, modificar algunas moléculas en procesos de glucosilación, sulfatación y postraducción, y empacar estos materiales para el transporte a los organelos o a la membrana plasmática asociada al proceso de exocitosis.

1.9. Lisosomas

Los lisosomas actúan como el sistema digestivo de la célula y de la planta en general. Su función principal es digerir proteínas, carbohidratos y lípidos a subunidades más pequeñas, al igual que destruir microorganismos (**figura 13**). Además, los lisosomas también tienen la capacidad de digerir las membranas celulares excedentes y organelos defectuosos como mitocondrias y cloroplastos.

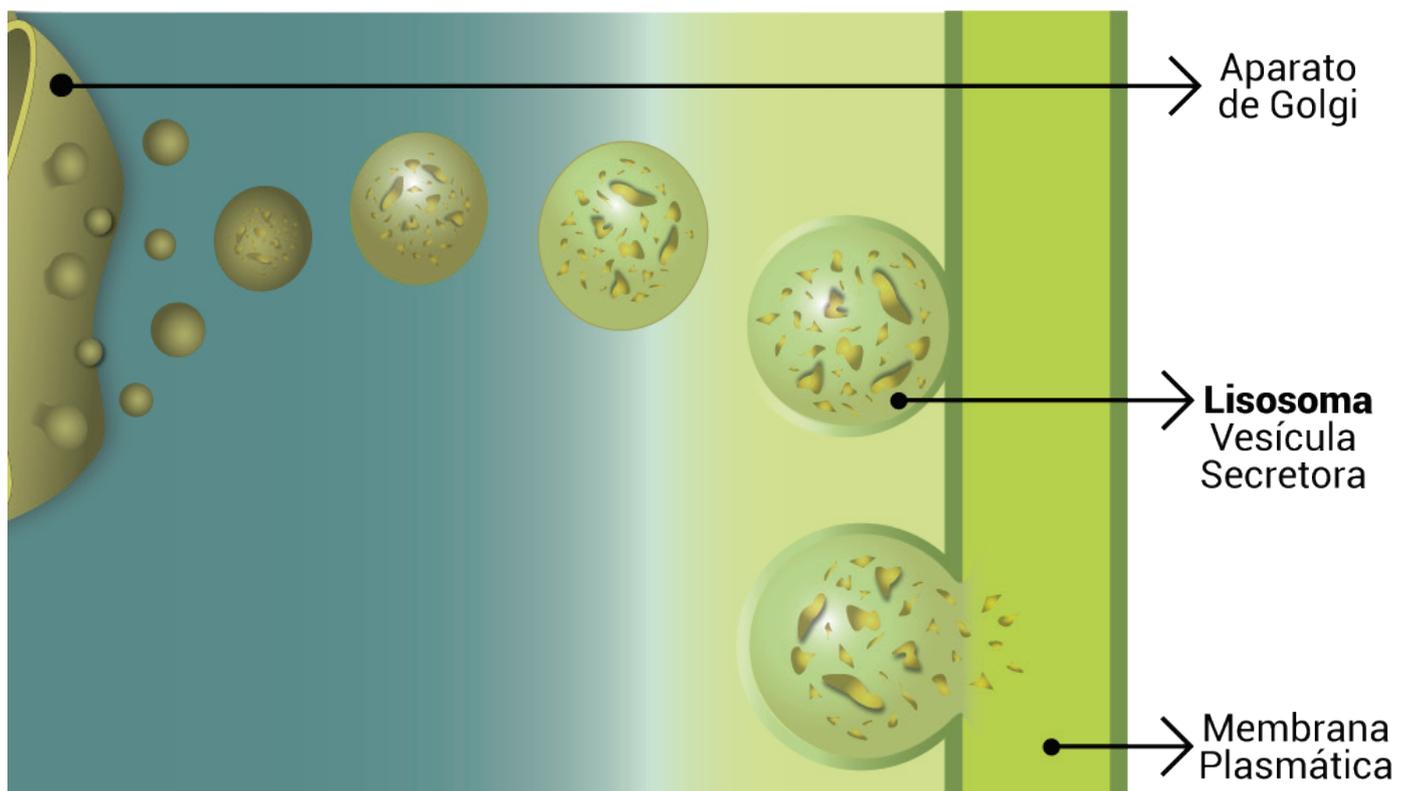
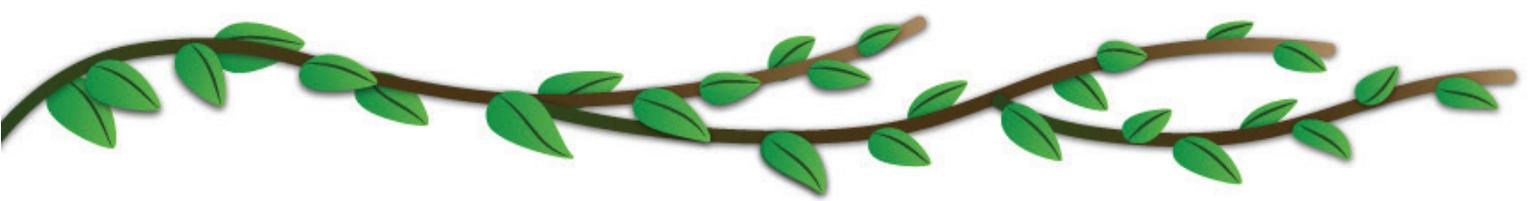


Figura 13. Lisosomas





1.10. Vacuola

Generalmente, las células poseen múltiples vacuolas, no obstante, en algunas es diferente, ej., las células vegetales que presentan una vacuola central (**figura 14**).

La vacuola central, al ser hipertónica, tiene la capacidad de regular la entrada de agua por presión de turgencia al hincharse y, consecutivamente, la célula, al plegarse por la membrana plásmática. Por lo anterior, cerca del 90% del espacio intracelular de la célula vegetal lo puede ocupar la vacuola central.

En las vacuolas también se depositan sustancias tóxicas, azúcares, aminoácidos e iones de importancia como el potasio (K^+)

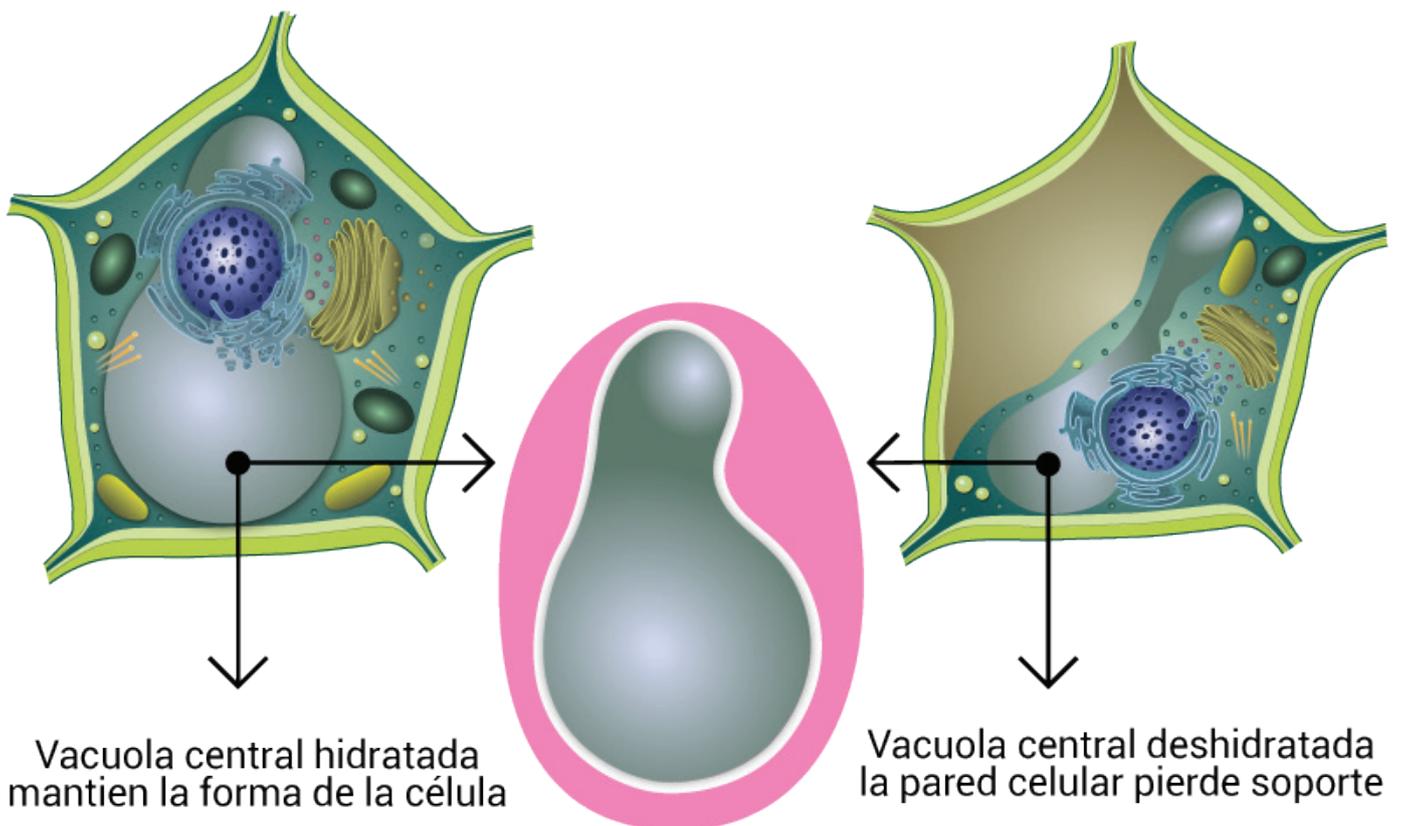


Figura 14. Vacuola



1.11. Peroxisomas

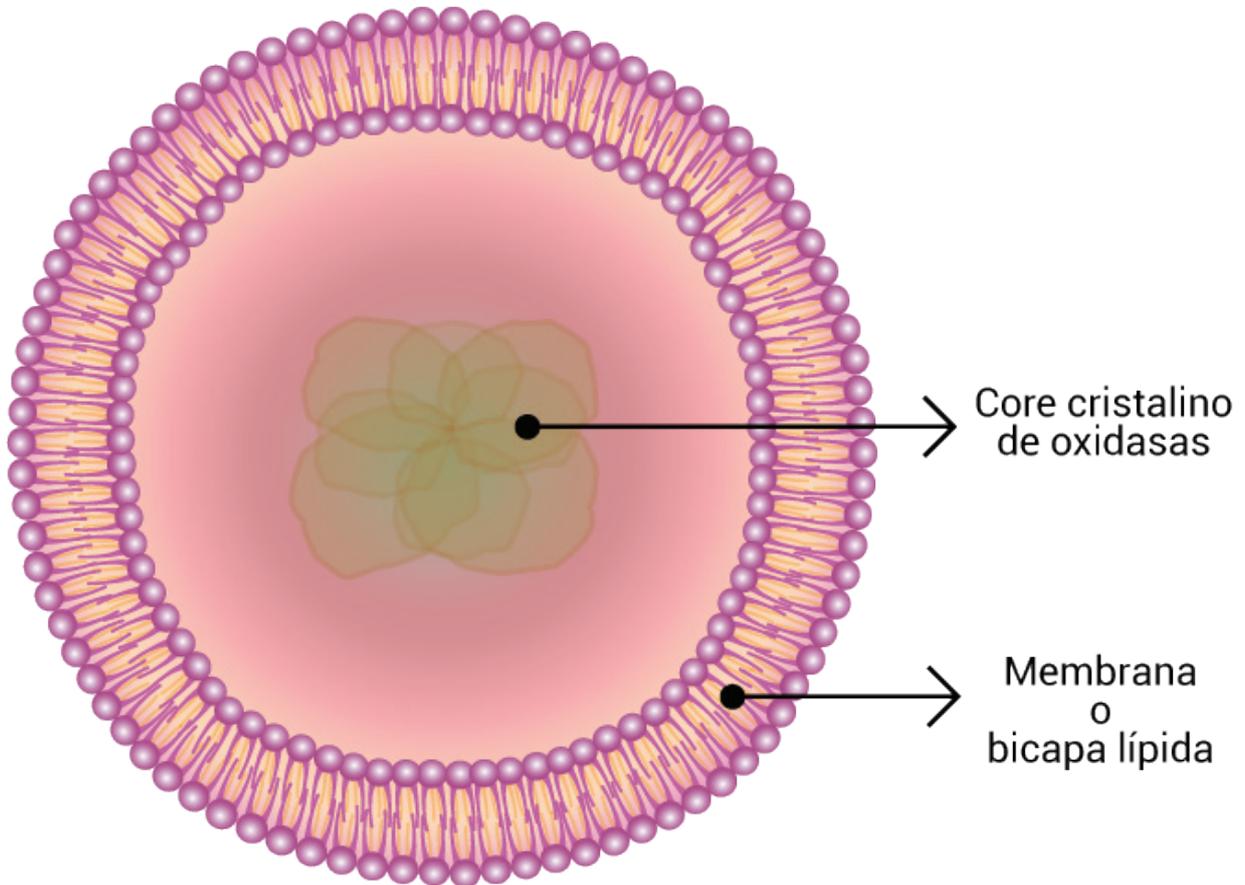


Figura 15. Peroxisoma

Los peroxisomas (**figura 15**) son cuerpos o corpúsculos que cuando se descubrieron fueron relacionados con su alta producción de peróxido de hidrógeno, sin embargo, se han reportado otras actividades fisiológicas para estos.

Dentro de sus múltiples funciones se encuentra la oxidación de lípidos, poliaminas y D-aminoácidos, detoxicación de renobióticos (ej. etanol), metabolismos de la lisina y ácido pipecólico, biosíntesis de isoprenoides, producción de radicales libres, termogénesis y rol antioxidante.

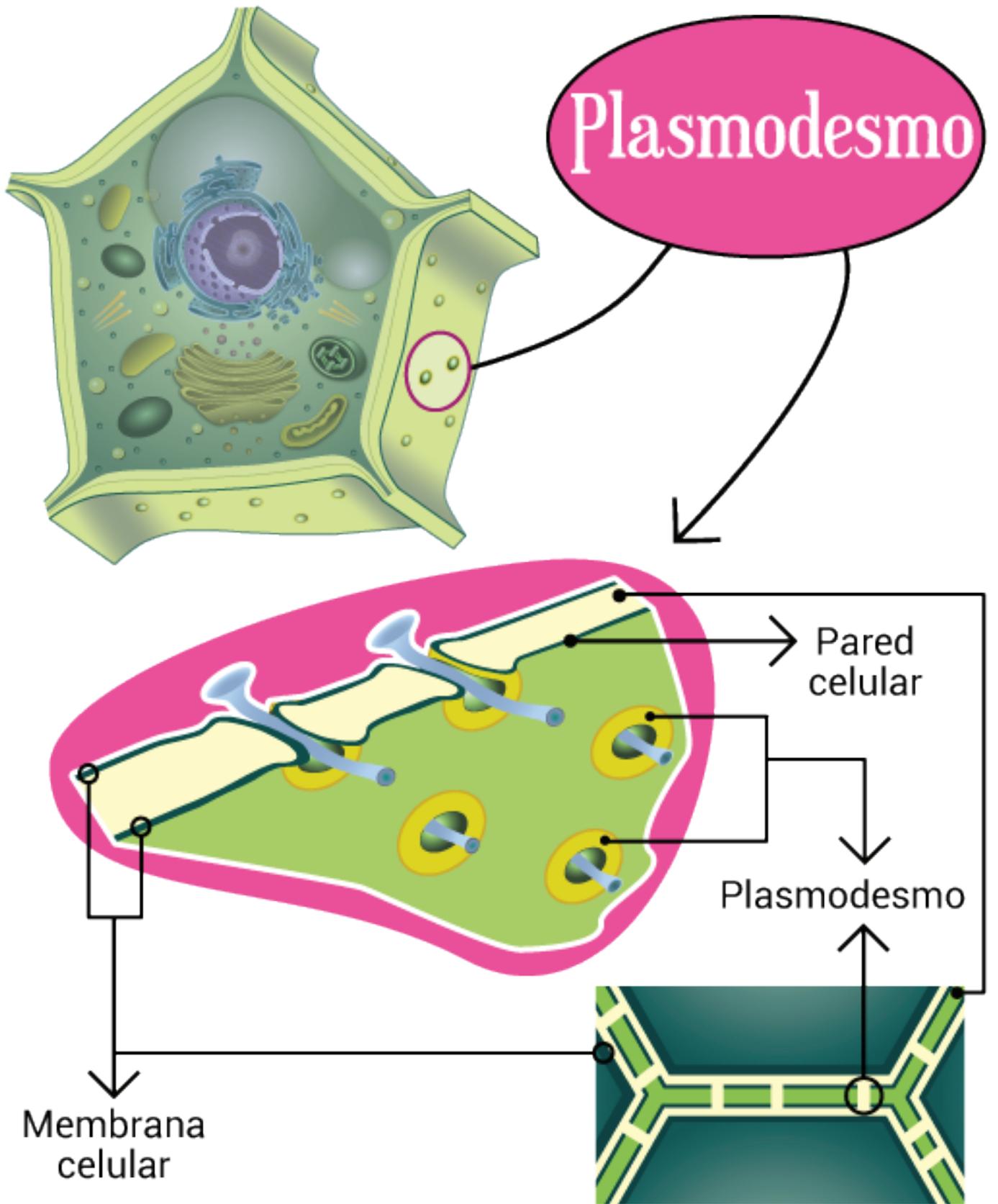
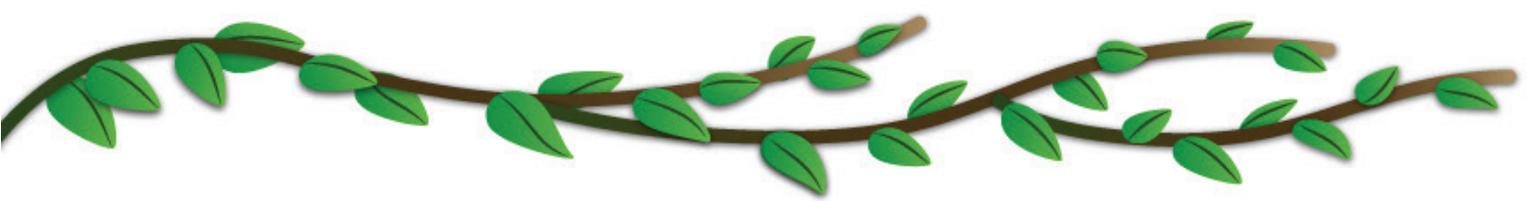


Figura 16. Plasmodesmo





1.12. Plasmodesmo

El plasmodesmo permite la comunicación intercelular. Esta estructura compleja nace de un desmotúbulo del retículo endoplasmático que atraviesa la membrana y la pared celular (**figura 16**).

Así facilita el flujo de macromoléculas a través de los citoplasmas de células, las cuales permiten la entrada de compuestos como agua, nutrientes, metabolitos, reguladores de crecimiento y macromoléculas.

Los plasmodesmos pueden ser primarios o secundarios. Los primarios son los que se forman durante la división celular. Los plasmodesmos secundarios se forman post división celular. Además, pueden ser simples o ramificado sin embargo, esto depende de la madurez y tejido.

1.13. Citoesqueleto

El citoesqueleto le confiere a la célula forma, soporte, movimiento y división celular (**figura 17**). De tal manera, es el sostén celular y la vía para el transporte de elementos y moléculas de uso intracelular.

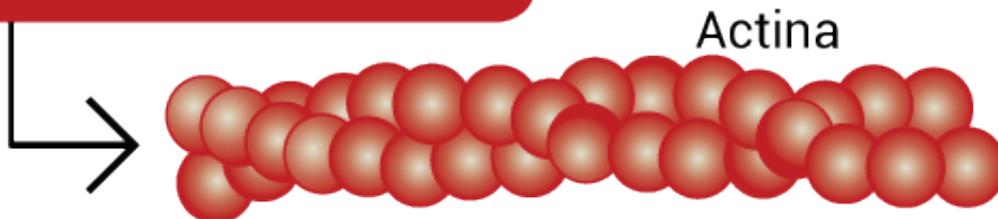
Enzimas, macromoléculas y organelos en su mayoría se encuentran sujetos al citoesqueleto.

El citoesqueleto está constituido de fibras protéicas delgadas (microfilamentos), de grosor mediano (filamentos intermedios) y gruesos (microtúbulos) (**figura 18**).





Microfilamentos



Filamentos intermedios



Microtúbulos



Figura 18. Componentes del citoesqueleto



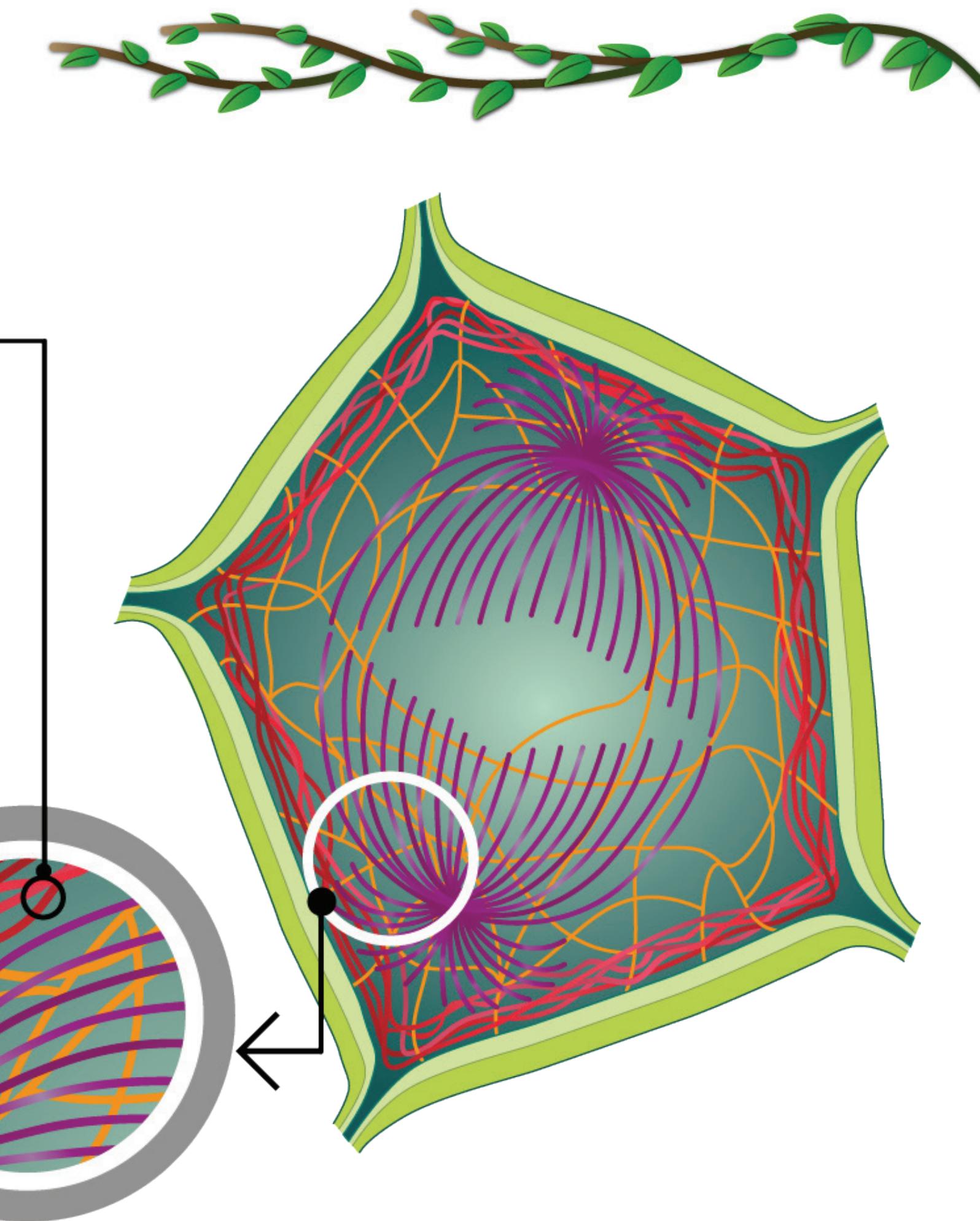


Figura 17. Citoesqueleto