

BLOQUE II: LA CÉLULA VIVA. MORFOLOGÍA, ESTRUCTURA Y FISIOLÓGÍA CELULAR

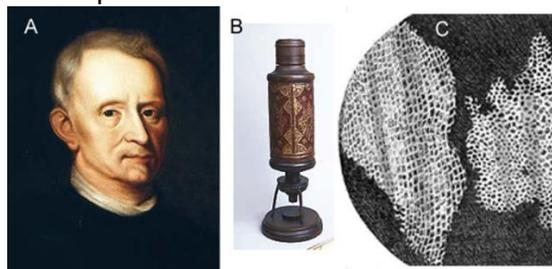
LA CÉLULA: UNIDAD DE ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

1. La célula: unidad de estructura y función.
2. Microscopio óptico y microscopio electrónico: herramientas para el estudio de las células.
3. Célula procariótica y eucariótica.
4. Células animales y vegetales.
5. Célula eucariótica. Componentes estructurales y funciones. Importancia de la compartimentación celular.
 - 5.1. Membranas celulares: composición, estructura y funciones.
 - 5.2. Pared celular en células vegetales.
 - 5.3. Citosol y ribosomas. Citoesqueleto. Centrosoma. Cilios y flagelos.
 - 5.4. Orgánulos celulares: mitocondrias, peroxisomas, cloroplastos, retículo endoplasmático, complejo de Golgi, lisosomas y vacuolas.
 - 5.5. Núcleo: envoltura nuclear, nucleoplasma

1. LA CÉLULA: UNIDAD DE ESTRUCTURA Y FUNCIÓN.

En la actualidad sabemos que todos los seres vivos están formados por células, como establece la Teoría Celular, pero esto no fue siempre así. La Teoría Celular es una de las grandes teorías de la Biología. A su formulación se llegó tras un largo proceso de aproximadamente 200 años. Los acontecimientos más importantes son los siguientes:

1.665 Robert Hooke utilizó por primera vez la palabra célula, para referirse a las cavidades poliédricas que observó, al examinar al microscopio una laminilla de corcho.

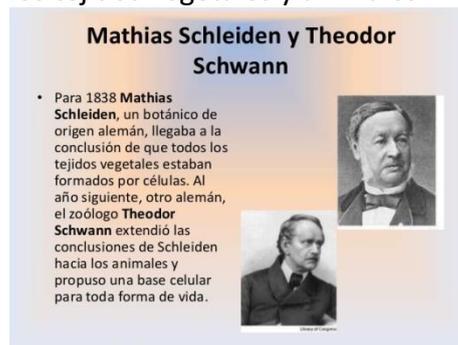


1.831 Un botánico escocés llamado Robert Brown comprueba la presencia constante de un corpúsculo en el interior de las células vegetales al que denomina núcleo.

1.839 Evangelista Purkinje empleó el término protoplasma para designar el contenido viscoso de la célula. Así se llegó a concebir la célula como una masa de protoplasma, limitada por una membrana y que posee un núcleo.



1.839 Schleiden y Schwann inician el desarrollo de la Teoría Celular al demostrar que todos los seres vivos están formados por células. Ambos llegaron a la misma conclusión, fruto de sus estudios paralelos e independientes sobre los tejidos vegetales y animales.



1.855 Rudolph Virchow continuó con el desarrollo de la Teoría Celular al esclarecer el problema del origen de las células, al comprobar que las células de los tejidos enfermos provenían de células normales, lo que le permitió concluir que toda célula tenía su origen en otra preexistente. (Omnis cellula e cellula).



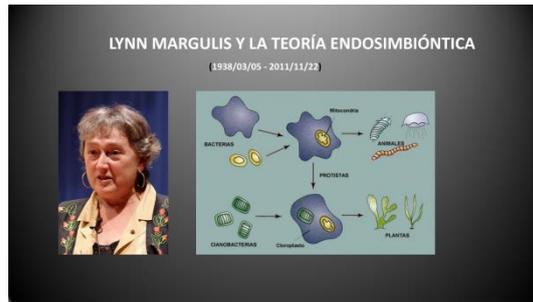
En la actualidad la Teoría Celular puede resumirse en cuatro principios fundamentales:

- La célula es la unidad anatómica de los seres vivos, es decir, todos los organismos están formados por una o más células.
- La célula es la unidad fisiológica de los seres vivos, es decir, las células realizan todas las reacciones químicas necesarias para el mantenimiento de la vida.
- La célula es la unidad genética de los seres vivos, es decir, contienen la información hereditaria de los organismos que forman y dicha información se transmite desde la célula madre a las células hijas.
- Cualquier célula se origina por la división de otra preexistente.

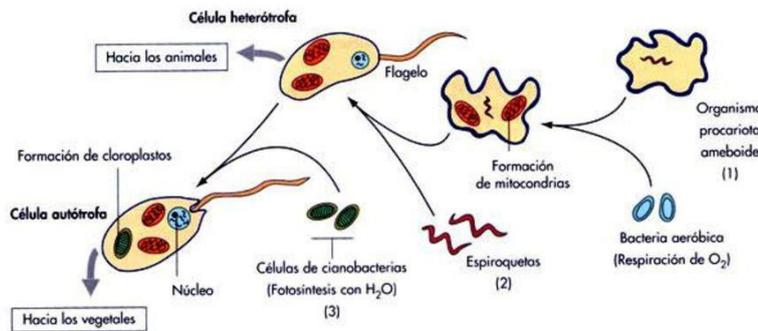
Evolutivamente las células procarióticas son mucho más antiguas. Se han encontrado fósiles con una edad aproximada de 3.800 millones de años. Las primeras células eucarióticas aparecen hace 1.500 millones de años y para explicar su origen se han propuesto dos hipótesis:

- Hipótesis Autógena, que considera que estas células eucarióticas proceden de un lento proceso evolutivo, en el que a partir de células procarióticas, han ido aumentando de tamaño y de complejidad.

- Hipótesis de la Endosimbiosis. Parece ser que el origen de las células eucarióticas se encuentra en la asociación simbiótica de varios organismos procarióticos, que fueron fagocitados por una célula ancestral anaeróbica. Así, las actuales mitocondrias eran en un principio bacterias aerobias, los cloroplastos serían algas cianofíceas, mientras que los flagelos serían bacterias espiroquetas. Una prueba a favor de esta hipótesis es la presencia de moléculas de ADN en las mitocondrias y en los cloroplastos. También la presencia en estos orgánulos de ribosomas 70 S, idénticos a los de células procarióticas.



Teoría de la endosimbiosis de Lynn Margulis: Una célula procariota de gran tamaño y con capacidad de fagocitosis pudo “engullir” bacterias aerobias, que, en lugar de ser digeridas, sobrevivieron en simbiosis con su captora hasta depender de ella y constituir las mitocondrias. Por un proceso similar de endosimbiosis, pudieron formarse, los cilios, los flagelos y centriolos a partir de espiroquetas y los cloroplastos a partir de cianobacterias.



2. MICROSCOPIO ÓPTICO Y MICROSCOPIO ELECTRÓNICO: HERRAMIENTAS PARA EL ESTUDIO DE LAS CÉLULAS.

El ojo humano no puede apreciar objetos de tamaño inferior, en el mejor de los casos a 0,2 mm. Resulta pues evidente que, estando el tamaño de la mayoría de las células muy por debajo de este límite, el estudio de la estructura celular requerirá el uso de dispositivos capaces de generar imágenes considerablemente aumentadas de los objetos que se desea observar. Estos dispositivos se denominan **microscopios** (del griego *micros*=pequeño y *scopein*=mirar). Existen dos tipos de microscopio: el **microscopio óptico** y el **microscopio electrónico**.

El desarrollo de la ciencia de la Biología está marcado, sin duda, por el avance de la tecnología. El invento tecnológico del microscopio marcó un antes y un después en el estudio de los seres vivos, al permitir descubrir los microorganismos y las estructuras que los constituyen, las células. Las mejoras técnicas de los microscopios ópticos a lo largo de varios siglos y del microscopio electrónico, entrado el siglo XX, fueron decisivos en el avance de la Biología (A la vez que mejoraron los microscopios se desarrollaron las técnicas de tinción de las muestras y los aparatos de corte o micrótomos).

Repasaremos, de modo resumido, los principios básicos de funcionamiento de ambos tipos de microscopio.

El microscopio óptico

El microscopio óptico es uno de los inventos que ha marcado un antes y un después en la historia de la ciencia, especialmente en el campo de la biología y la medicina. Esencialmente se puede definir como un instrumento que permite observar en un tamaño aumentado elementos que son imperceptibles a simple vista.

Una simple lente de aumento montada en un soporte adecuado para su uso se denomina tradicionalmente *microscopio simple*, mientras que se denomina *microscopio compuesto* a un dispositivo que combina dos o más lentes para generar aumentos mayores. Lo cierto es que estos términos han caído en desuso y todo el mundo llama sencillamente *lupa* al microscopio simple y al microscopio compuesto sencillamente *microscopio*. Para el estudio de la célula y de las estructuras subcelulares es preciso recurrir a los aumentos que sólo un microscopio compuesto puede producir.

Partes del microscopio óptico

En un microscopio óptico podemos distinguir entre el sistema óptico y el sistema mecánico.

- El **sistema óptico** incluye el conjunto de lentes y elementos de manipulación de la luz necesarios para generar una imagen aumentada.
- El **sistema mecánico** proporciona el soporte estructural a los anteriores elementos. La siguiente imagen muestra las [partes esenciales del microscopio](#).



Partes del microscopio

Dentro del **sistema óptico** se incluye un **foco** (también denominado fuente de luz) que emite rayos de luz dirigidos hacia la muestra. Antes de llegar a la muestra los rayos atraviesan un **condensador**, la función del cual es concentrar los rayos de luz sobre la preparación a observar. Habitualmente el condensador está acoplado con un **diafragma** para regular la cantidad de luz incidente. El siguiente elemento óptico es el **objetivo**. Esta parte del microscopio consiste básicamente en un conjunto de lentes que reciben la luz proveniente de la muestra y permiten aumentar la imagen observada. Por último, el **ocular** amplía la imagen proveniente del objetivo y es a través de él que se puede observar finalmente la muestra.

En cuanto al **sistema mecánico** hay en primer lugar una **base** o pie que permite mantener el microscopio en posición estable. El **brazo** es la estructura principal del microscopio y conecta la base con el sistema óptico. El sistema mecánico incluye también la **platina**, es decir, la pieza horizontal donde se coloca la muestra. La platina no está conectada de forma fija con el brazo sino que su posición se puede regular mediante los **tornillos macrométrico y micrométrico**. El **revólver** es la parte del microscopio donde están montados los objetivos, normalmente 3 o 4, y que puede girar para seleccionar el objetivo deseado. Finalmente, el **tubo** conecta los objetivos con el ocular.

Aumento del microscopio

El aumento de un microscopio es una de sus características esenciales que define su calidad y el tipo de muestras que se podrán observar. El aumento total de un microscopio indica en qué medida este puede aumentar la imagen de la muestra observada.

En el caso del microscopio óptico compuesto, el aumento de la muestra se produce en dos etapas, primero en las lentes del objetivo y a continuación en las lentes del ocular. De este modo, es necesario conocer el aumento de estas dos partes del microscopio para conocer el aumento total que se obtiene. El aumento total del microscopio se puede calcular fácilmente multiplicando el aumento del objetivo por el aumento del ocular:

Aumento microscopio = Aumento objetivo × Aumento ocular

Los aumentos del objetivo generalmente son de x3, x10, x30 y x100. El aumento del ocular suele ser x10 o x15.

Por ejemplo combinando un objetivo con un aumento de 30x con un ocular de 10x se obtiene un aumento total de 300x.

La calidad de la imagen observada depende de varios parámetros, pero sobre todo del **poder de resolución**, que es la distancia más pequeña entre dos puntos que pueden distinguirse como dos formas separadas y no como una sola. A mayor calidad del microscopio, mayor poder de resolución.

La observación de estructuras biológicas al microscopio presenta algunos problemas. En primer lugar, la observación se realiza por **transparencia** (la luz atraviesa el objeto observado) y no por **reflexión** que es como estamos acostumbrados a ver los objetos corrientes. Debido a ello, las muestras del material biológico a observar deben ser láminas lo suficientemente finas (10 μm como máximo) como para que la luz pueda atravesarlas. Para obtener estas láminas se utilizan unos aparatos denominados **microtomos**. En segundo lugar, la materia viva es en general muy

transparente a la luz visible, por lo que las imágenes obtenidas ofrecen muy poco contraste. Con el objeto de aumentar el contraste de las preparaciones microscópicas se utilizan técnicas de **tinción**, que consisten en el uso de diferentes *colorantes* que se fijan de manera selectiva a las diferentes estructuras celulares.

Aumento del microscopio electrónico

Debido a la difracción de la luz, los microscopios ópticos están limitados a un aumento máximo de 1500x. En términos físicos esta limitación es una consecuencia de la longitud de onda de la luz, no se pueden obtener imágenes de un objeto cuyo tamaño sea inferior a la longitud de onda de la radiación electromagnética utilizada para generar dichas imágenes.

Por lo tanto, dado que el microscopio óptico utiliza la luz del espectro visible, no cabe esperar que los avances tecnológicos permitan en el futuro diseñar microscopios ópticos con un poder de resolución mayor que el más arriba indicado.

En el caso de los microscopios electrónicos, la muestra no es iluminada con luz sino con electrones. Este permite iluminar la muestra con longitudes de onda 100000 veces más pequeñas que en el caso del microscopio óptico. Esto se traduce en unos aumentos muy superiores que pueden llegar a 2.000.000x.

El microscopio electrónico

El microscopio electrónico es un instrumento de gran utilidad en la investigación científica gracias a su gran poder de [aumento](#). Mediante este tipo de microscopio es posible aumentar imágenes de muestras hasta niveles muy superiores a los del [microscopio óptico](#).

Básicamente la estructura de un microscopio electrónico es muy semejante a la de un microscopio óptico. En lugar de utilizar lentes de vidrio se utilizan lentes electromagnéticas (bobinas por las que circula electricidad) que focalizan los haces de electrones generando la imagen deseada que es recogida en una pantalla fluorescente o en una placa fotográfica (la retina humana está adaptada sólo a la luz del espectro visible y además resultaría dañada por los electrones acelerados).

El **principio de funcionamiento** de un microscopio electrónico se basa en utilizar **electrones** en lugar de luz visible. La longitud de onda con la que se mueve un electrón es inversamente proporcional a su **velocidad**. Esto significa que si los electrones son acelerados a altas velocidades pueden obtenerse longitudes de onda muy cortas.

Un microscopio electrónico utiliza esta idea para observar las **muestras**. A un nivel muy básico consiste en una fuente de electrones que son acelerados a gran velocidad. Estos **electrones impactan** con la muestra de modo equivalente a como la luz podría iluminarla. Algunos de estos electrones son **reflejados** por la muestra y otros la atraviesan. Mediante la **detección de** estos electrones es posible reconstruir una imagen de la muestra.

Partes del microscopio electrónico

Las **partes principales** de un microscopio electrónico incluyen aquellos elementos utilizados para generar electrones y dirigirlos hacia la muestra. Esto incluye:

Fuente de electrones

Es equivalente a la fuente de luz en un microscopio óptico. En este caso es necesario disponer de un emisor de electrones. En general se utiliza un filamento de tungsteno. Este filamento es calentado de modo que la energía de sus átomos y electrones aumenta. A partir de un cierto nivel energético los electrones poseen suficiente energía para escapar de sus átomos. Estos electrones libres son a continuación dirigidos hacia la muestra.

Lentes electromagnéticas

Los microscopios ópticos utilizan lentes convergentes y divergentes para desviar los rayos de luz y aumentar así la imagen de la muestra. Este mismo procedimiento no puede ser aplicado para desviar la trayectoria de los electrones. En lugar de utilizar lentes de vidrio, los microscopios electrónicos utilizan lentes electromagnéticas. Estas lentes generan campos eléctricos y magnéticos de modo que su interacción con los electrones hace que sus trayectorias diverjan o converjan en un punto.

Cámara de vacío

El procedimiento expuesto anteriormente debe llevarse a cabo dentro de una cámara de vacío. De lo contrario, los electrones interactuarían con las moléculas del aire y no sería posible determinar sus trayectorias adecuadamente. La muestra que se observa debe colocarse también dentro de la cámara de vacío. Este es uno de los motivos por el cual no es posible observar muestras vivas con un microscopio electrónico.

Detector (Pantalla fluorescente)

Una vez los electrones han impactado contra la muestra es necesario medir algún tipo de información para poder reconstruir la imagen de la muestra. Una opción consiste en utilizar una pantalla fluorescente. Esta pantalla reacciona de modo distinto según cual sea el número de electrones que impactan en ella. De este modo es posible detectar las zonas donde impactan más o menos electrones y deducir así la imagen de la muestra.

A continuación, la información capturada por la pantalla fluorescente es transmitida a un ordenador que puede asignar colores artificiales a la imagen obtenida. En los microscopios ópticos estos componentes no son necesarios porque la luz proveniente de la muestra es directamente observada con el ojo humano. Dado que nuestros ojos no están preparados para detectar electrones debemos incorporar este elemento detector en un microscopio electrónico.

Encontramos dos tipos diferentes de microscopio electrónico:

- Microscopio electrónico de transmisión, sirve para observar estructuras internas de la célula.

- Microscopio electrónico de barrido, los electrones no atraviesan la muestra, sino que son reflejados por esta y recogidos en una pantalla. Con este tipo de microscopio vemos la estructura externa de las células a observar y también organismos pluricelulares de pequeño tamaño y sus órganos.

Las partes principales de un microscopio electrónico de transmisión TEM son:

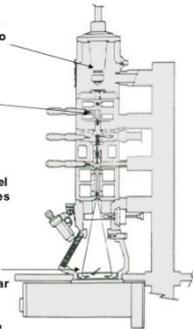
CAÑÓN DE ELECTRONES, que emite los electrones que chocan o atraviesan el espécimen (dependiendo que tipo de microscopio electrónico es), creando una imagen aumentada.

LENTES MAGNÉTICAS para crear campos que dirigen y enfocan el haz de electrones, ya que las lentes convencionales utilizadas en los microscopios ópticos no funcionan con los electrones.

SISTEMA DE VACÍO es una parte muy importante del microscopio electrónico. Debido a que los electrones pueden ser desviados por las moléculas del aire, se debe hacer un vacío casi total en el interior de un microscopio de estas características.

PLACA FOTOGRÁFICA o pantalla fluorescente que se coloca detrás del objeto a visualizar para registrar la imagen aumentada.

SISTEMA DE REGISTRO que muestra la imagen que producen los electrones, que suele ser un ordenador



3. CÉLULA PROCARIÓTICA Y EUCARIÓTICA.

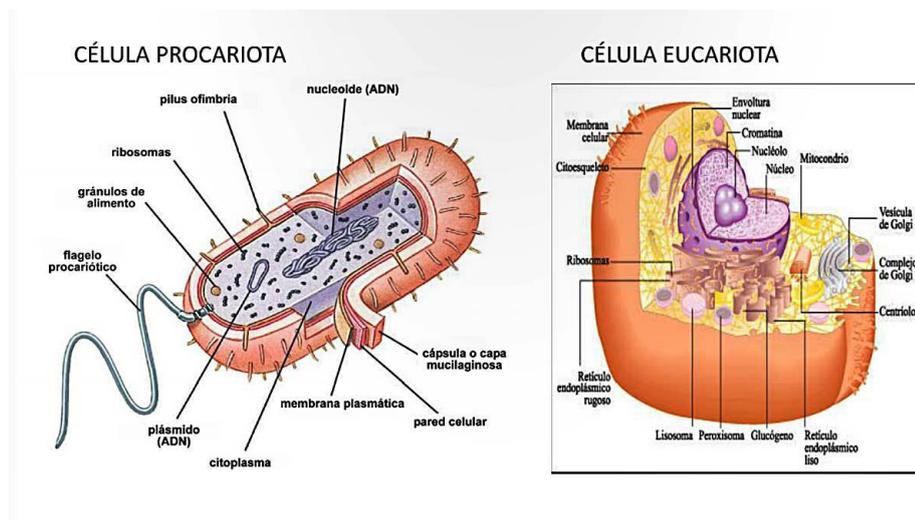
Pese a la enorme diversidad de formas vivientes (casi 2 millones de especies clasificadas) solo existen dos modelos de organización celular. Se comentan solo las diferencias más notables ya que tanto uno como otro serán estudiados en profundidad a lo largo de esta asignatura.

Células procariotas: son más pequeñas, más sencillas, más antiguas (se sabe por los restos fósiles que existen desde al menos 3.800 millones de años), su material genético no está separado del citoplasma por ninguna envoltura, es decir, no poseen núcleo definido y tienen muy poca variedad de orgánulos (ribosomas). Presentan este tipo de organización celular los organismos del reino MONERAS, es decir, bacterias y cianobacterias (algas cianofíceas).

Células eucariotas: son más grandes, más complejas, más modernas (aparecen hace unos 1.500 millones de años), poseen el material genético rodeado por una membrana, tienen por lo tanto núcleo (del griego *eu* = verdadero o bueno y *carion* = núcleo) y presentan gran variedad de orgánulos, muchos de ellos membranosos, especializados en diferentes funciones. Son eucariotas los seres de los demás reinos taxonómicos: PROTISTAS (protozoos y algas), METAZOOS (animales), METAFITAS (vegetales) y FUNGI (hongos).

	Procarióticas	Eucarióticas
Organismos	Moneras	Protistas, hongos, metafitas y metazoos
Tamaño celular	1-10 micras	10-100 micras
Metabolismo	Anaeróbico o aeróbico	Aeróbico
Orgánulos	Pocos. Ribosomas	Núcleo, mitocondrias, aparato de Golgi...
Membrana nuclear	No	Sí. Núcleo definido
Transcripción/traducción	En el citoplasma	Transcripción en el núcleo y traducción en el citoplasma
Citoplasma	Sin citoesqueleto. Corrientes citoplasmáticas ausentes. Sin endocitosis	Con citoesqueleto, corrientes citoplasmáticas, endocitosis y exocitosis
División celular	Sin procesos mitóticos, normalmente por bipartición, sin centriolos ni huso acromático	Mitosis típica, con huso acromático.

Organización celular	Unicelular	Principalmente pluricelular, con diferenciación celular
Ribosomas	70 S	80 S (en mitocondrias y cloroplastos 70 S)
Fotosíntesis	Las enzimas de la fotosíntesis se localizan en la membrana	Las enzimas de la fotosíntesis se localizan en los cloroplastos
Flagelos	Cuando los presentan, son simples y formados por la proteína flagelina	Cilios y flagelos formados por microtúbulos (tubulina)
Envolturas	Además de la membrana, presentan pared y en algunos casos otra envoltura denominada cápsula	Presentan membrana plasmática y además, en células vegetales, una pared celular formada por celulosa



4. CÉLULAS ANIMALES Y VEGETALES.

Dentro del modelo de organización eucariota se distinguen dos tipos celulares. Las células animales y las células vegetales.

DIFERENCIAS ENTRE CÉLULAS ANIMALES Y VEGETALES

1. NUTRICIÓN

En células animales la nutrición es heterótrofa, mientras que en células vegetales es autótrofa fotosintética.

2. NÚCLEO

En células vegetales adultas el núcleo suele estar desplazado hacia la periferia por otros componentes del citoplasma, generalmente las vacuolas. En células animales el núcleo suele ocupar una posición central.

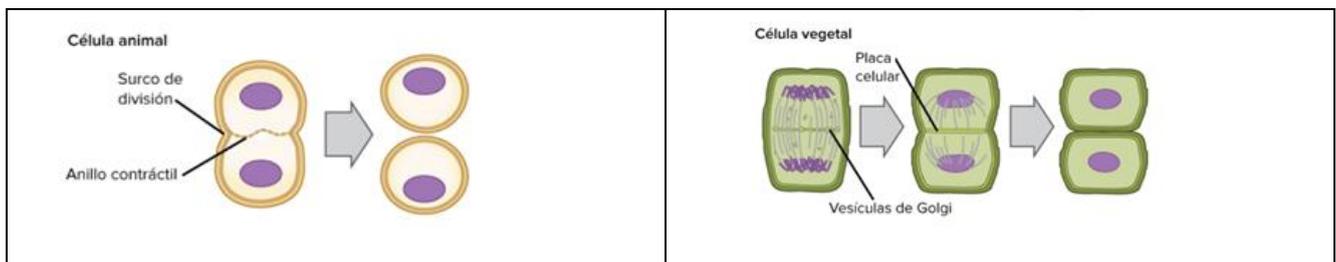
3. ENVOLTURAS

En células vegetales, aparece una envoltura especial, formada fundamental por celulosa, llamada pared celular. Esta estructura, además de proporcionar resistencia, protege la célula frente a los fenómenos osmóticos.

4. CITOCINESIS

Es el proceso de división del citoplasma. En células animales se realiza por estrangulamiento de la zona ecuatorial, provocado por el anillo contráctil.

En células vegetales, se realiza a partir de vesículas que contienen un polisacárido llamado pectina. Estas vesículas proceden del aparato de Golgi.



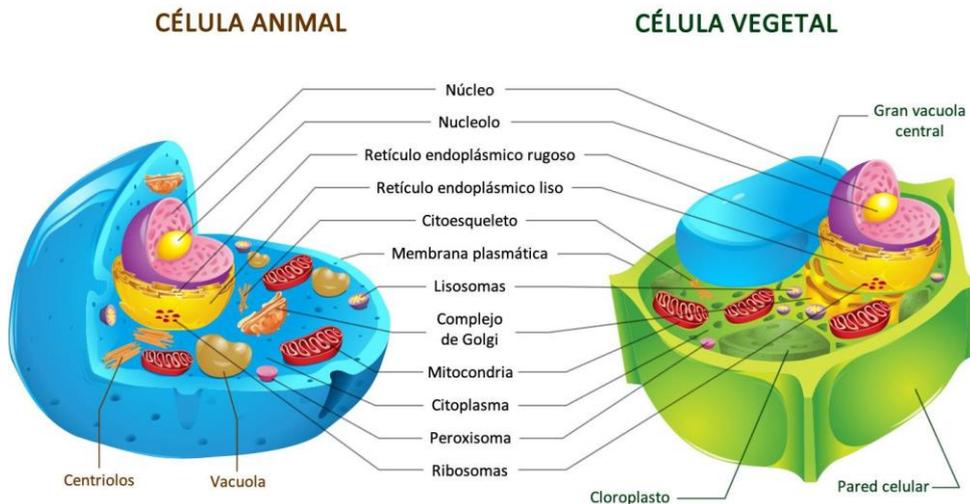
5. CITOPLASMA

Las principales diferencias son:

ORGÁNULOS	CÉLULAS ANIMALES	CÉLULAS VEGETALES
Cloroplastos	NO	SI
Centrosoma	SI	NO
Aparato de Golgi	MÁS DESARROLLADO	MENOS DESARROLLADO
Vacuolas	PEQUEÑAS, GENERALMENTE CON FUNCIONES DIGESTIVAS	DE MAYOR TAMAÑO, ALMACENAN DISTINTAS SUSTANCIAS
Microcuerpos	PEROXISOMAS	PEROXISOMAS Y GLIOXISOMAS
Lisosomas	SÍ	SÍ, ADEMÁS PRESENTAN GRANOS DE ALEURONA

Granos de aleurona: Lisosomas presentes en las semillas, cuando se hidratan se activan las enzimas que contienen y actúan sobre los glúcidos de reserva proporcionando la energía necesaria para el embrión.

No debe nunca olvidarse que tanto las células vegetales como las animales poseen mitocondrias.



5. CÉLULA EUCARIÓTICA. COMPONENTES ESTRUCTURALES Y FUNCIONES. IMPORTANCIA DE LA COMPARTIMENTACIÓN CELULAR.

Las células eucariotas son más complejas que las procariotas, pero sin duda derivan de estas ya que poseen ciertas semejanzas, como el hecho de tener una membrana citoplasmática que separa la célula del medio circundante, y que en el interior hay un líquido, el **hialoplasma o citosol**. En la célula eucariota, el hialoplasma y los orgánulos que se encuentran inmersos en él constituyen el **citoplasma**. Además, en el interior celular hay que destacar otra estructura, el núcleo. Se trata de una vesícula formada por una doble membrana que aloja en su interior el material genético. El resto de los orgánulos se enuncian seguidamente, tras hacer una distinción entre los dos grandes tipos de células eucariotas, cuya mayor diferencia se encuentra en el modo de nutrición: células animales, que son heterótrofas y, células vegetales que son autótrofas fotosintéticas.

Ambos tipos de células (autótrofas y heterótrofas) coinciden en una serie de orgánulos pero cuentan también con otros específicos. Son orgánulos y estructuras comunes:

- **Membrana plasmática o citoplasmática.** Es la capa que rodea a la célula y está en contacto con el citoplasma.
- **Retículo endoplasmático (R.E.).** Conjunto de cisternas y sacos que se distribuyen por el citoplasma y rodean al núcleo. Tiene como funciones más generales sintetizar lípidos y transportarlos así como almacenar proteínas, fabricadas por los ribosomas.
- **Ribosomas.** Se encargan de la síntesis de proteínas.
- **Aparato de Golgi.** Conjunto de vesículas y sacos donde se sintetizan glúcidos y se almacenan sustancias de todo tipo que pueden ser expulsadas al exterior.
- **Núcleo.** Ya mencionado.
- **Lisosomas.** Son vesículas rodeadas de membrana que contienen enzimas, fundamentalmente digestivas (hidrolasas). Interiormente están tapizadas por moléculas que impiden la digestión de la propia membrana por las enzimas.
- **Mitocondrias.** Son orgánulos rodeados por doble membrana. Su función es la de realizar la respiración celular, o combustión, para obtener energía (ATP) a partir de

materia orgánica y oxígeno.

- **Vacuolas.** Son vesículas rodeadas por membranas y rellenas de líquidos y sustancias que pueden tener diferentes funciones (reserva, desecho, esqueleto hidrostático...).

Los orgánulos exclusivos de las células animales son:

- **Centrosoma.** Es una estructura formada por dos cilindros dispuestos perpendicularmente denominados centriolos constituidos por proteínas. Cada cilindro se compone de tubos muy finos. Interviene en el proceso de separación de los cromosomas durante la reproducción celular. Para ello, se produce una duplicación de los dos cilindros y una emigración a polos opuestos de la célula de cada pareja, a la vez que se sintetizan unas fibras proteicas que constituirán el huso acromático. También aparecen en la base de los cilios y los flagelos responsables del movimiento de las células.

Los orgánulos exclusivos de las células vegetales son:

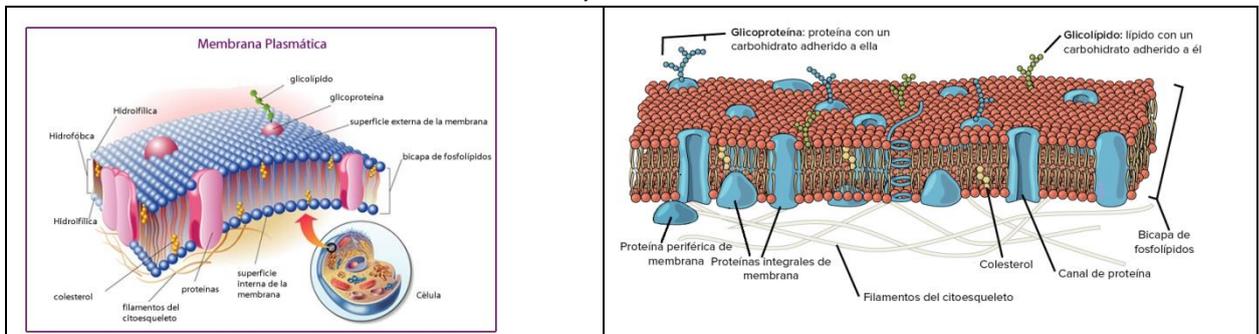
- **Cloroplastos.** Son orgánulos con doble membrana en los que se hallan situados los sistemas enzimáticos encargados de la fotosíntesis.
- **Pared celular.** Estructura situada por fuera de la membrana plasmática y constituida básicamente por celulosa.

Podríamos añadir que las células de los hongos poseen una **pared celular** semejante a la de las células vegetales pero compuesta de quitina (el mismo material que el que forma el exoesqueleto de los animales artrópodos).

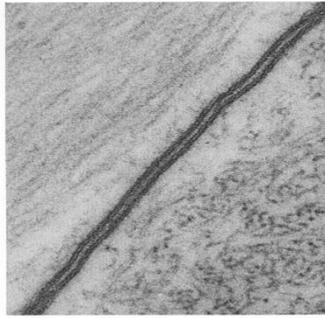
A continuación, se describirán con detalle los orgánulos y estructuras de las células eucariotas.

5.1. MEMBRANA PLASMÁTICA: COMPOSICIÓN, ESTRUCTURA Y

FUNCIONES.



La membrana plasmática es una envoltura continua que, por un lado, está en contacto con el medio exterior y, por el otro, con el citoplasma celular. Tiene un espesor medio de 75 ángstrom (Å) y aparece al microscopio electrónico como una capa triple. Son muy semejantes las membranas de las células eucariotas y procariontas. La membrana limita a la célula y permite los intercambios entre la célula y su medio.



En la imagen al microscopio electrónico se pueden observar las dos capas de la membrana lipídica (los extremos hidrófilos en oscuro y los hidrófobos en tono claro).

Composición química y estructura: químicamente, las membranas citoplasmáticas están constituidas por proteínas y lípidos en proporciones, que aunque difieren según los organismos, pueden ser consideradas por término medio del 60% de proteínas y el 40% los lípidos. También existe una pequeña proporción de glúcidos asociados a los anteriores componentes.

Lípidos:

Los lípidos más abundantes son FOSFOLÍPIDOS, GLUCOLÍPIDOS y COLESTEROL. Presentando los dos primeros un marcado carácter anfipático y en medio acuoso se disponen en forma de **bicapa lipídica**. La bicapa se forma por reacción de las moléculas anfipáticas frente al agua: las “cabezas” polares se orientan hacia el agua exterior e interior de la célula y las “colas” hidrófobas se enfrentan en el interior de la bicapa. Esta bicapa aporta fluidez a la membrana, gozando las diferentes moléculas de una amplia movilidad.

Proteínas:

Hay muchos tipos y su situación en la bicapa va a depender de su afinidad con el agua.

Según esta característica, diferenciamos entre:

Proteínas transmembrana, que son aquellas que atraviesan la doble capa.

Proteínas parcialmente introducidas en la bicapa y con una parte asomando al exterior de ella (bien al exterior o bien al interior celular).

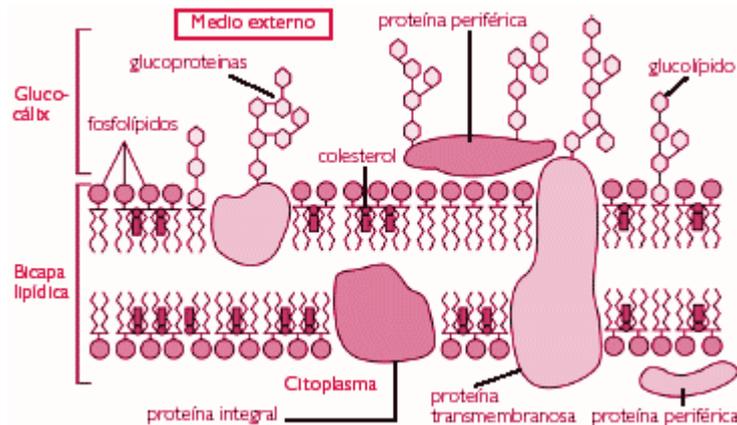
Estos dos tipos de proteínas también pueden llamarse proteínas **integrales** o **intrínsecas**, están fuertemente unidas a lípidos y son difíciles de separar. Son insolubles en agua y constituyen el 70% del total. La extracción de estas proteínas supone la desorganización de la misma.

Proteínas situadas en la superficie externa o en la interna de la membrana y unidas a otras proteínas o a lípidos.

También son llamadas proteínas **extrínsecas** o **periféricas**. Están débilmente unidas a lípidos, son fácilmente separables de la membrana y solubles en agua. En total suponen un 30% de las proteínas de membrana.

Glúcidos:

Los glúcidos se asocian bien a lípidos (glucolípidos) o bien a proteínas (glucoproteínas) de la membrana. Estos componentes se sitúan en la cara de la membrana que da al medio externo y forman una especie de cubierta llamada **glicocáliz** o **glucocálix**. Esta disposición de los azúcares, que son siempre oligosacáridos, junto con la distribución de los diferentes lípidos y proteínas, da a la membrana plasmática una clara **asimetría**.



La función de estas moléculas es muy importante ya que participan en números procesos relacionados con el reconocimiento celular. Como puede ser el reconocimiento entre óvulos y espermatozoides en organismos con fecundación externa, reconocimiento entre células vecinas, de manera que cuando entran en contacto, se produce la inhibición por contacto, que hace que dejen de dividirse (las células cancerígenas tienen alteradas estas moléculas, por eso no se produce la inhibición por contacto y se dividen indefinidamente), se comportan también como antígenos, reconocidos por el sistema inmunitario, y son responsable de los rechazos de órganos trasplantados.

Este modelo de membrana fue propuesto por *Singer y Nicholson* en 1.972 y se denomina de **MODELO DE MOSAICO FLUIDO**.

De forma resumida postula lo siguiente:

1. Los lípidos y proteínas que forman la membrana constituyen un mosaico porque están formadas por piezas independientes (al igual que las teselas forman los mosaicos).
2. Los lípidos y las proteínas pueden desplazarse (con limitaciones) dentro de la membrana, por lo que estas se comportan como un fluido.
3. Las membranas son asimétricas en cuanto a la disposición de las moléculas.

Funciones: la membrana plasmática separa a la célula del medio externo, pero no sólo aísla, sino que también comunica ambos medios, puesto que tanto la entrada como la salida de materia se hacen a través de ella. Las principales funciones de la membrana son:

1. Limita a la célula.
2. Transporte de iones y moléculas del exterior al interior y viceversa (en muchos casos las proteínas son las encargadas).
3. En ciertas proteínas de membrana se encuentra la "identificación" de la célula, constituyendo los **antígenos de membrana** (ej. los Ag de los glóbulos rojos, responsables de los grupos sanguíneos) ["el carné de identidad celular" es imprescindible para que funcione el sistema inmunitario: sólo se reconoce como propia a la célula que presenta las proteínas de membrana que tiene el individuo. Un órgano trasplantado es rechazado si sus proteínas de membrana no son reconocidas].
4. Las membranas también son receptoras de señales del exterior, por ejemplo, de mensajeros químicos como las hormonas (nuevamente son ciertas proteínas las que reciben las informaciones del medio). Los virus, parásitos celulares, también aprovechan la presencia de ciertas proteínas como receptores para poder penetrar en

sus hospedadores.

Unidad de membrana o sistema de membranas:

Muchos de los orgánulos antes definidos son membranosos. Esto quiere decir que están rodeados por una membrana e incluso algunos (mitocondrias) poseen dos de ellas. Todas estas estructuras son semejantes en composición a la membrana plasmática. De hecho, hay comunicación entre orgánulos membranosos y entre estos y la membrana plasmática (el aparato de Golgi forma vesículas membranosas que se fusionan a la membrana plasmática y así se expulsa su contenido al exterior celular. Ello sucede de modo sencillo porque como ya ha sido dicho, todas las membranas son semejantes en estructura, estando constituidas por una doble capa de fosfolípidos y proteínas. Por esto es conveniente hablar de sistemas de membranas para expresar la semejanza de todas ellas. Para referirse a esta semejanza estructural y funcional de todas las membranas celulares se utiliza el concepto de **membrana unitaria**.

5.2. PARED CELULAR

Es exclusiva de células vegetales. Está formada por fibras de celulosa y por una matriz situada entre las fibras, que está formada por agua, sales minerales, glucoproteínas y polisacáridos (hemicelulosa y pectina).

Existen muchos tipos de paredes celulares, pero en términos generales, se puede considerar que presentan la siguiente estructura multicapa:

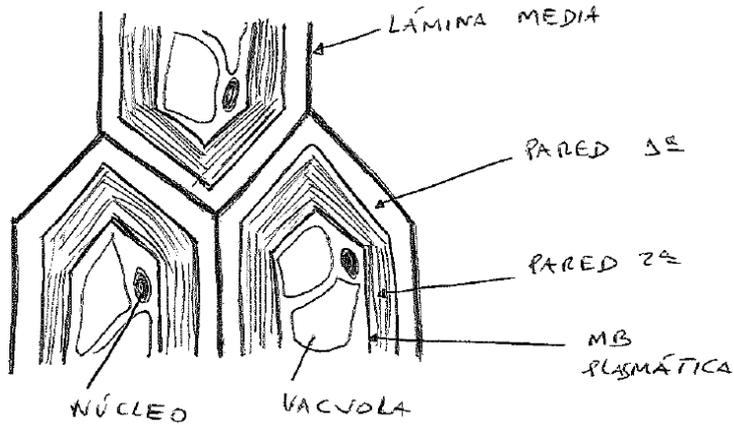
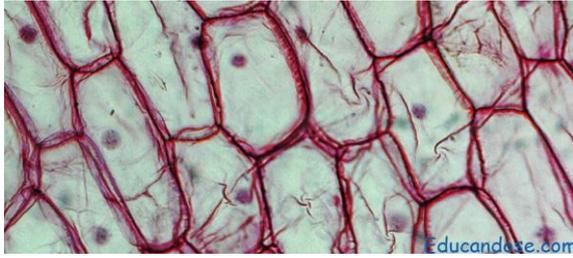
Todas las células presentan al menos dos capas en la pared, la lámina media, que es la capa más externa, formada por pectina y la pared primaria, que presenta fibras de celulosa dispuestas de forma reticular y una matriz con aproximadamente el 60% de agua.

Estas dos capas son características de células jóvenes que se encuentran en periodo de crecimiento y de células adultas que presentan gran actividad, por ejemplo las células meristemáticas.

En células adultas, entre la pared primaria y la membrana plasmática, se forma una capa muy gruesa y rígida que impide el crecimiento, se denomina pared secundaria y está formada por fibras de celulosa dispuestas paralelamente y una matriz muy escasa, con un 30% de agua y formada principalmente por hemicelulosa.

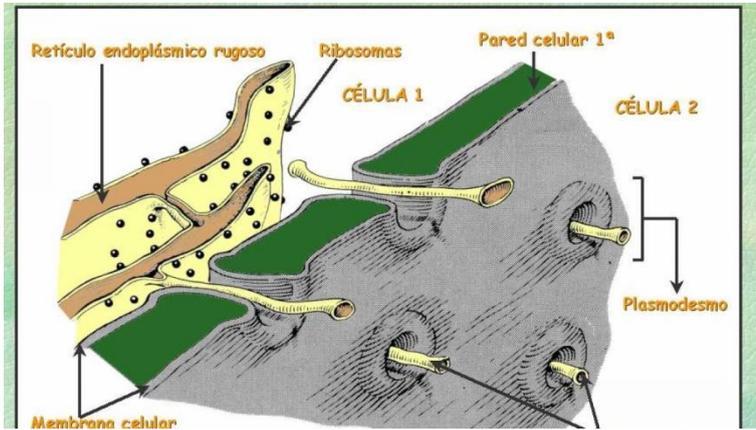
Las funciones de la pared celular son varias:

- Une todas las células entre sí, formando una especie de esqueleto que proporciona resistencia a la planta
- Protege frente a las temperaturas extremas
- Protege frente al ataque de los parásitos
- Protege frente a los fenómenos osmóticos
- Impermeabiliza a la planta evitando la pérdida de agua
- Proporciona gran resistencia a los tejidos de sostén y a los tejidos conductores de la savia



Para permitir los intercambios entre las células, la pared presenta dos tipos de diferenciaciones:

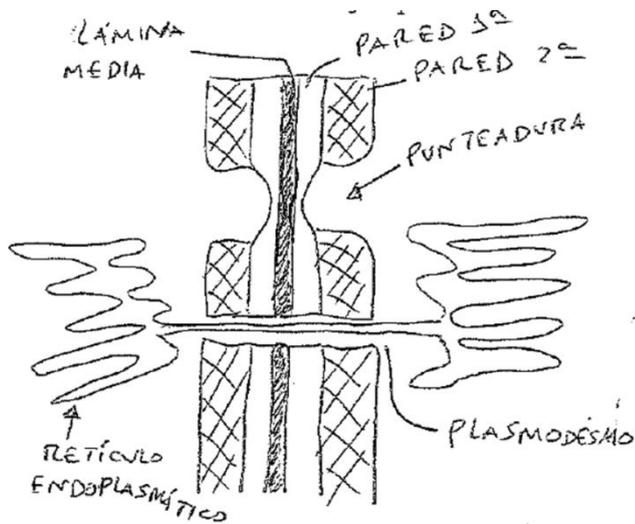
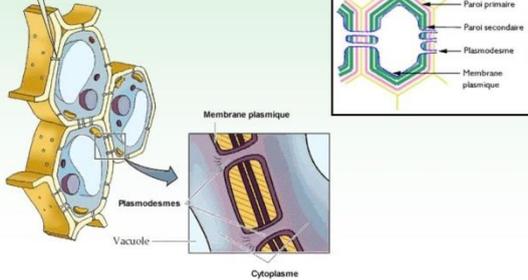
- Los plasmodesmos, que son canales que atraviesan totalmente la pared y que suelen contener tubos del retículo endoplasmático rugoso.
- Punteaduras, son zonas donde falta la pared secundaria y donde la lámina media y la pared primaria son muy delgadas.



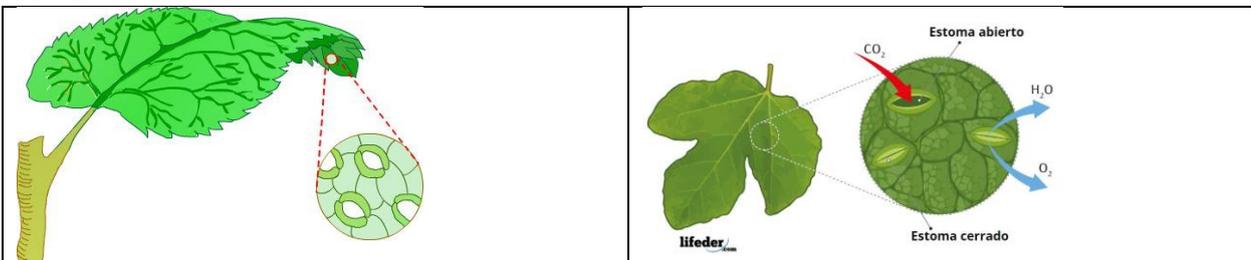
Los plasmodesmos

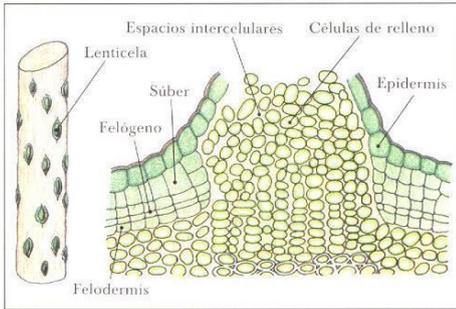
Casi todas las células vegetales poseen plasmodesmos son perforaciones que permiten unir el citoplasma de una célula con el de sus células vecinas.

Les plasmodesmes sont des canaux reliant le cytoplasme d'une cellule à celui d'une cellule voisine.



Sobre la pared se suelen depositar algunas sustancias como sales minerales (mineralización), lignina (lignificación), cutina (cutinización) y suberina (suberificación). Las dos primeras son sustancias que endurecen la pared y proporcionan resistencia. Las dos segundas son sustancias lipídicas que recubren a la planta y evitan la pérdida de agua. La suberina se deposita sobre el tejido suberoso (corcho), mientras que la cutina recubre a las hojas y a los tallos jóvenes. En ambos casos, como son sustancias impermeables, los tejidos tienen que presentar algunas modificaciones para permitir los intercambios de gases con el medio. Así las hojas y los tallos jóvenes presentan estomas, mientras que en el corcho aparecen pequeños orificios que se llaman lenticelas.





Tallo con lenticelas y detalle de una de ellas.

5.3. CITOSOL Y RIBOSOMAS. CITOESQUELETO. CENTROSOMA. CILIOS Y FLAGELOS.

CITOSOL

Se conoce como **citoplasma** al espacio o contenido celular comprendido entre la membrana citoplasmática y la envoltura nuclear. Así, una célula se compone de membrana, citoplasma y núcleo. El citoplasma, por su parte está formado por el **citósol o hialoplasma** y los **orgánulos citoplasmáticos**.

El citósol es el **medio interno** de la célula, en él se encuentran inmersos el **citoesqueleto** y los **orgánulos celulares**. Es un medio acuoso (85% agua) en el que aparecen disueltas una gran cantidad de sustancias formando una disolución coloidal. Estas sustancias son moléculas proteicas (proteínas estructurales, aminoácidos, enzimas), lípidos, glúcidos (monosacáridos...), ácidos nucleicos (nucleótidos, nucleósidos, ATP, ARNm, ARNt, etc.), productos del metabolismo y sales minerales disueltas.

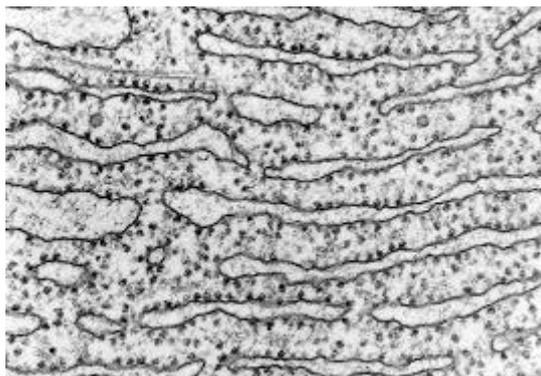
Sus funciones son las siguientes:

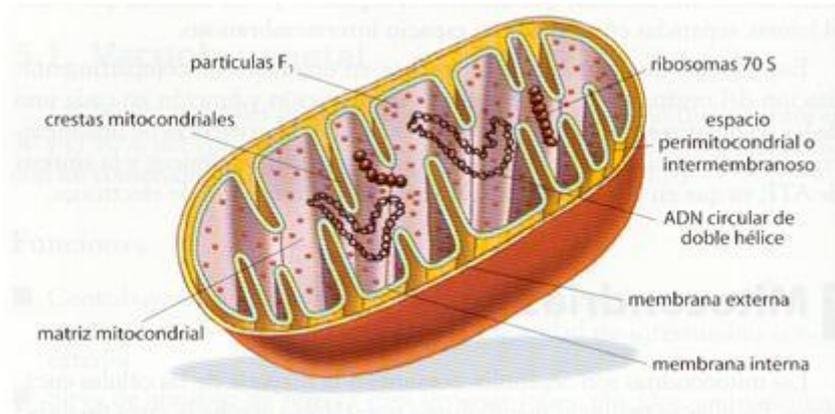
- Es el medio en el que se mueven los orgánulos.
- En él se encuentra el citoesqueleto, que da forma y una cierta rigidez a algunas células.
- Es el medio en el que se producen muchas de las reacciones del metabolismo celular.

RIBOSOMAS

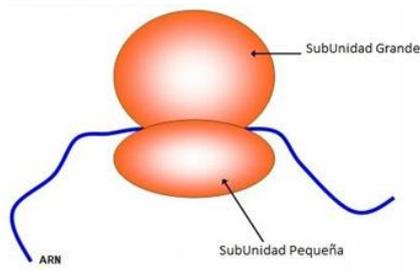
(Son muy pocos los orgánulos no membranosos: **ribosomas** y **centrosoma**, aunque este último, por su composición puede considerarse como una estructura más del citoesqueleto).

Son orgánulos globulares sin membrana constituidos por proteínas asociadas a ARNr procedente del nucléolo. Pueden estar dispersos por el citoplasma o unidos a las membranas del Retículo Endoplasmático Rugoso. También se encuentran ribosomas en el interior de las mitocondrias y de los cloroplastos.

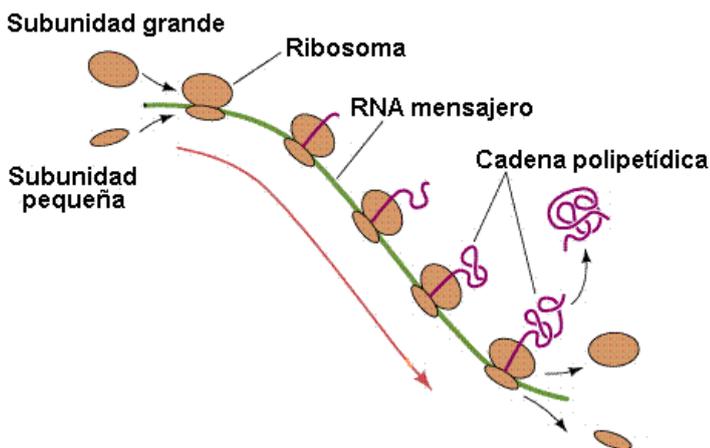




Estructura: son de tamaño muy pequeño, comparado con otros orgánulos celulares, sólo observables con el microscopio electrónico. Tienen forma aproximadamente esférica y están formados por dos subunidades de diferente tamaño, la subunidad mayor y la subunidad menor. Los ribosomas de las células eucariotas tienen un tamaño de **80S** (coeficiente de sedimentación de 80 S). Los procariontes son de **70S** (coeficiente de sedimentación 70 S). S significa unidades Svedberg.

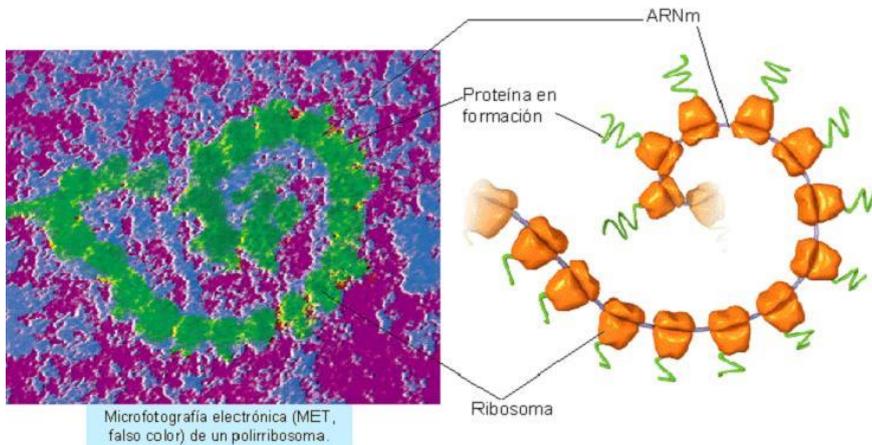


Función: actúan en la síntesis de proteínas, concretamente en la etapa de traducción. Los ARNm suelen ser leídos por varios ribosomas a la vez (de 5 a 40) dejando entre ellos una distancia (unos 100 Å). Al conjunto se le denomina **polirribosoma o polisoma**.



Polirribosomas

Si el ARN a traducir es lo suficientemente largo, puede ser leído por más de un ribosoma a la vez, formando un **polirribosoma** o **polisoma**.



La formación de los ribosomas se realiza en varias etapas. El ARNr se forma en el nucleolo, mientras que las proteínas se forman en el citoplasma, después pasan al núcleo donde se asocian con las moléculas de ARNr formando unos complejos moleculares que se denominan ribonucleoproteínas, que finalmente pasan al citoplasma donde se unen entre sí, formando las subunidades de los ribosomas.

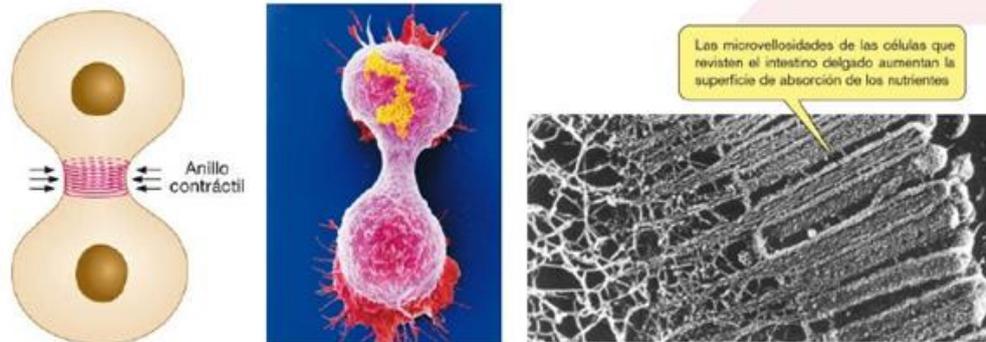
CITOESQUELETO

Se compone de una compleja red de filamentos proteicos que se extiende por todo el hialoplasma.

El **citoesqueleto** se compone de:

- **microfilamentos** o filamentos de actina, con un diámetro de 25 (Å), que tienen la función de mantener la forma de la célula o de algunas de sus estructuras como las microvellosidades intestinales; también permiten el movimiento ameboide (por pseudópodos) y en las células musculares intervienen en la contracción. También forman parte del anillo contráctil, que participa en la citocinesis de células vegetales; esta estructura se cierra poco a poco y termina por separar a las dos células hijas.

Son estructuras dinámicas y polarizadas, dinámicas porque la células los forma o destruye según sus necesidades y polarizadas, porque crecen por un extremo y se desorganizan por el otro.



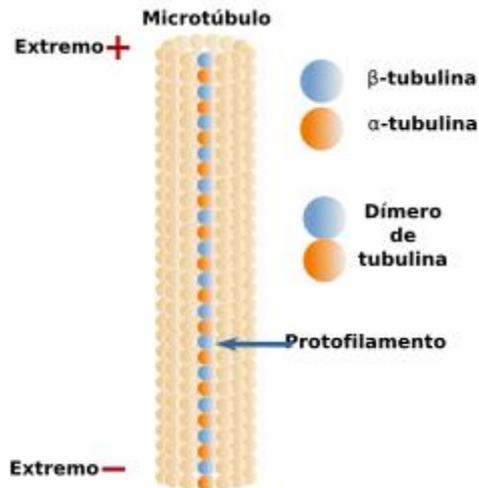
- **Filamentos intermedios.** Presentan un diámetro de entre 80 y 100 (Å). Tienen como función reforzar la estructura celular de aquellas células que están sometidas a esfuerzos mecánicos (células del tejido conjuntivo o axones de células nerviosas. [Se llaman así por el tamaño intermedio entre los microfilamentos y los microtúbulos]. Hay varios tipos, por ejemplo, los filamentos de queratina de las células epiteliales o los neurofilamentos que refuerzan los axones de las neuronas.

Filamentos intermedios

- Son proteínas fibrosas resistentes y estables.
- Tienen una función mecánica o estructural en la célula.
- Abundan en las células que están sometidas a importantes tensiones mecánicas.

- **Microtúbulos.** Presentan un diámetro de 250 (Å). Son filamentos tubulares que como en los dos casos anteriores tienen naturaleza proteica, formados a partir de una proteína, la tubulina, formada por dos subunidades. Los microtúbulos pueden originar **estructuras estables o permanentes** como los **centriolos** que se comentarán más adelante y los **cilios y flagelos**, que son prolongaciones muy finas rodeadas por membrana plasmática; cortas y numerosas en el primer caso y escasas y largas en el segundo, con funciones de movimiento.

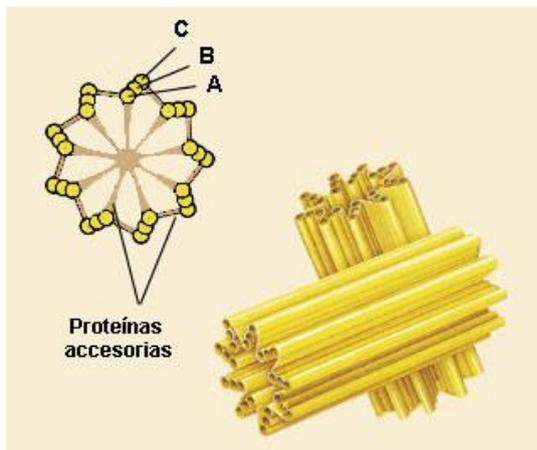
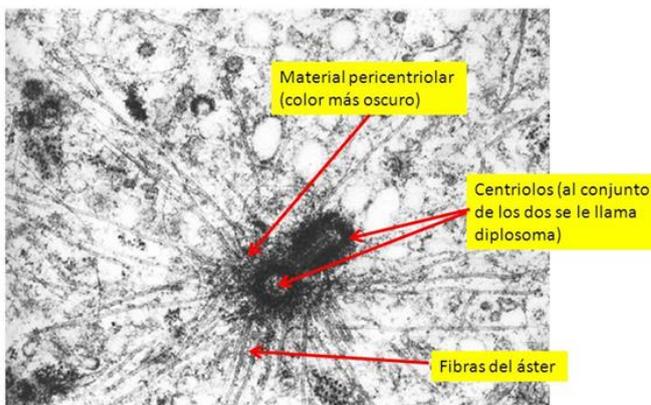
También pueden originarse **estructuras lábiles o transitorias** como el **huso acromático**, que se forma durante la reproducción celular en las células animales y los **microtúbulos de transporte**, que trasvasan sustancias de un lugar a otro dentro de la célula.



CENTROSOMA

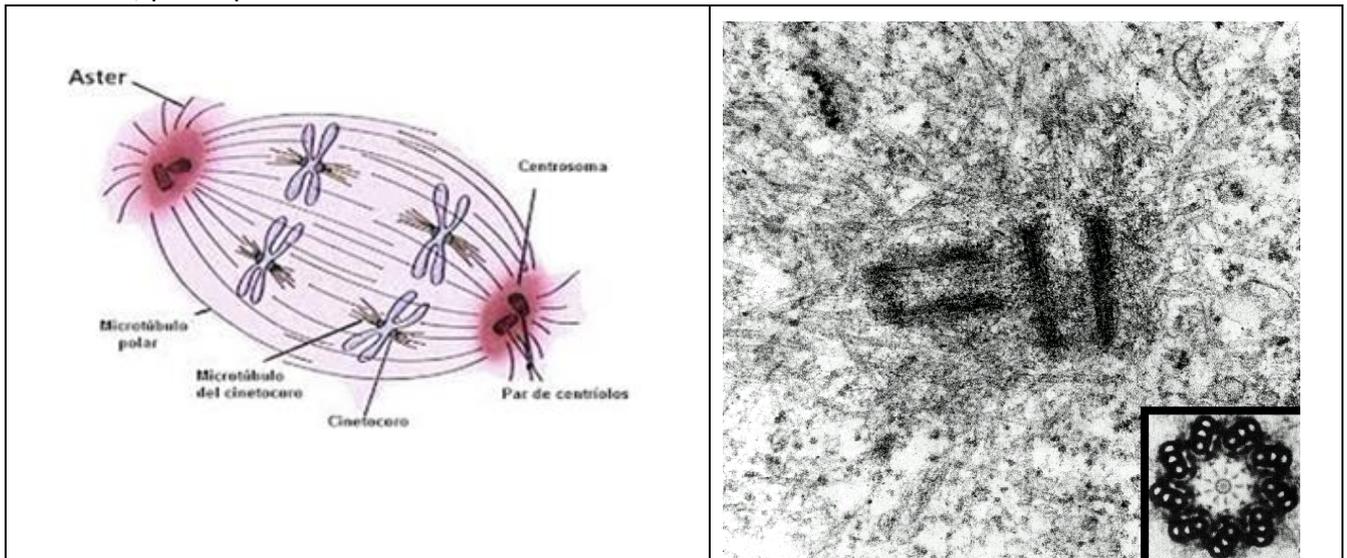
Recibe también los nombres de **Citocentro** o **Centro celular**. Es un orgánulo exclusivo de células animales. Aparece en las proximidades del núcleo, rodeado por los dictiosomas del aparato de Golgi, y es considerado un centro organizador de microtúbulos.

Estructura: el centrosoma está formado por dos **centriolos**, o cilindros dispuestos perpendicularmente y un material denso en el que se hallan inmersos y que se conoce como **centrosfera** o **material pericentriolar**. En la centrosfera se organizan los filamentos que formarán el **áster** o **huso acromático** [áster = estrella]. Cada centriolo se compone de 9 grupos de 3 microtúbulos, que se disponen formando un cilindro hueco.



Cuando la célula va a dividirse, los centriolos se duplican y forman el **diplosoma** (con un total de cuatro cilindros), que originará el huso acromático. El huso acromático se forma durante la división celular, tanto en mitosis como en meiosis y es el encargado de hacer el reparto de las cromátidas durante la anafase. En las células vegetales no aparecen estas estructuras, pero sí parecen formarse finas fibras que colaboran en el reparto de los cromosomas.

Aunque las funciones de este orgánulo no están suficientemente aclaradas, parece ser que actúa como un centro formador y organizador de microtúbulos. Así, durante la interfase forma los microtúbulos del citoesqueleto, también la estructura de cilios y de flagelos. Cuando la célula se divide, participa en la formación del huso acromático.



CILIOS Y FLAGELOS

Son estructuras vibrátiles que permiten el movimiento celular o que renuevan el medio extracelular que se encuentra en contacto con las células de los organismos pluricelulares, como ocurre en las vías respiratorias.

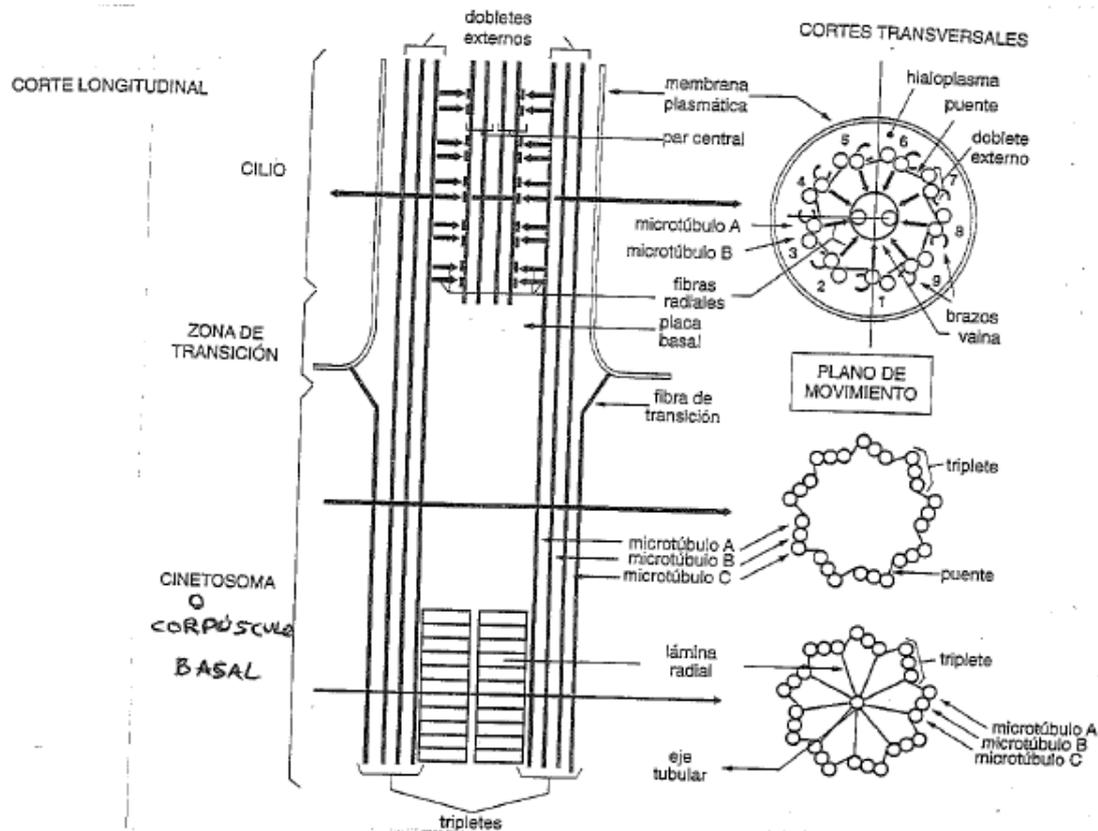
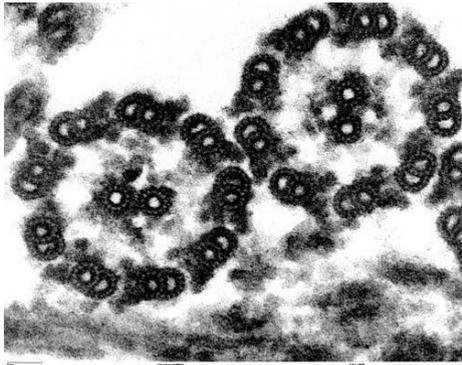
Estructuralmente son idénticos y solo se diferencian en el número y en el tamaño, así los cilios son cortos (5-10 micras de longitud) y muy numerosos. Los flagelos son poco numerosos y su longitud es de aproximadamente 100 micras.

Estructuralmente presentan tres partes: el tallo o axonema, la zona de transición y el corpúsculo basal.

El axonema presenta nueve grupos de dos microtúbulos cada uno, situados en la periferia y otros dos en la zona central.

En la zona de transición se interrumpen los dos microtúbulos centrales.

El corpúsculo basal está formado por nueve grupos de tres microtúbulos que se unen a un eje proteico central.



Los cilios se encuentran unidos unos a otros en su base de modo que el movimiento de todos ellos es sincronizado (las células del epitelio de las Trompas de Falopio o las de la tráquea presentan cilios). En cuanto a los flagelos, son prolongaciones largas, normalmente mayores que la propia célula y aparecen en pequeño número de células. En muchos casos hay uno sólo (ejemplo: el espermatozoide humano).

5.4. ORGÁNULOS CELULARES: MITOCONDRIAS, CLOROPLASTOS, RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO, COMPLEJO DE GOLGI, LISOSOMAS Y VACUOLAS.

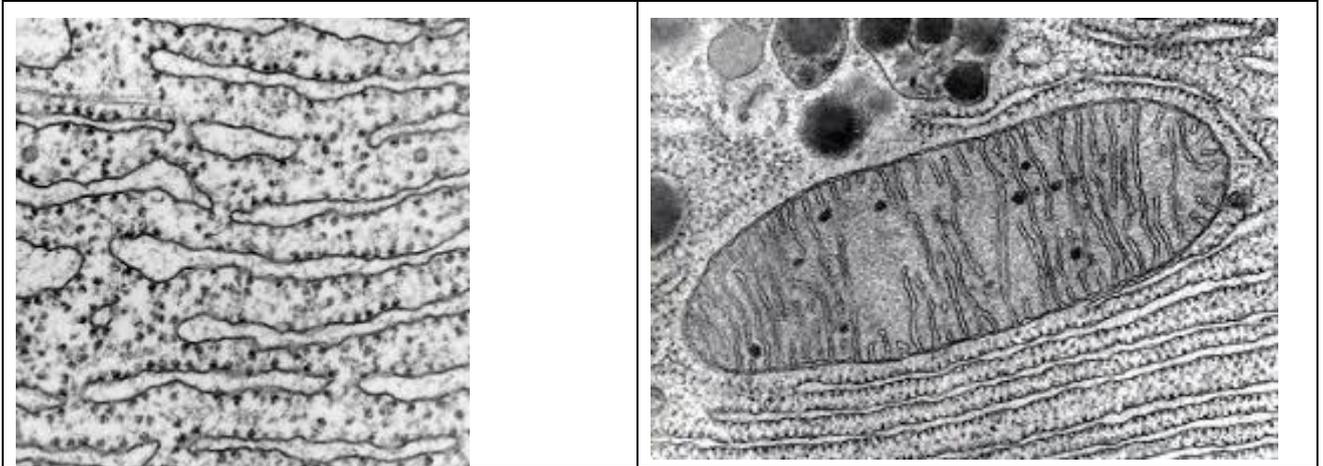
En todos ellos, las membranas son semejantes en composición y estructura a la plasmática. Por ello, se habla en ocasiones de sistema de membranas para referirse a todo el conjunto de orgánulos membranosos incluida la membrana plasmática.

RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO.

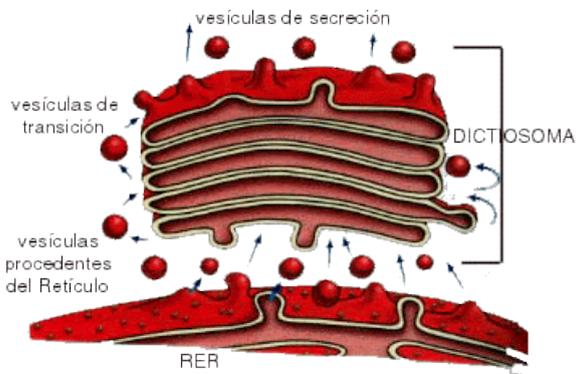
Es un sistema membranoso complejo, compuesto por sáculos aplastados, cisternas y túbulos interconectados que se extienden por todo el citoplasma y que están en comunicación con la membrana nuclear externa. Todas las cavidades del R.E. están comunicadas entre sí y se

distinguen dos tipos:

R.E. rugoso. Se caracteriza por presentar una gran cantidad de ribosomas unidos a superficie externa, que son los que le dan el aspecto rugoso, se continúa formando la membrana nuclear y funcionalmente se encarga de almacenar las proteínas formadas por los ribosomas y además, contiene enzimas que glucosilan a estas proteínas formando glucoproteínas.



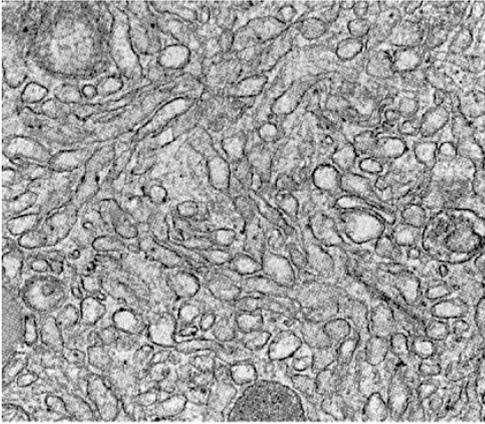
Funcionalmente este orgánulo está muy relacionado con el aparato de Golgi, así, su contenido pasa al interior de vesículas de transporte que se desprenden por gemación y que terminan por fusionarse con las membranas del aparato de Golgi.



Retículo Endoplasmático liso. No presenta ribosomas unidos a sus membranas, está formado exclusivamente por túbulos y comunicado con el retículo endoplasmático rugoso. Se encuentra especialmente desarrollado en células relacionadas con el metabolismo de los lípidos, como por ejemplo los hepatocitos o células del hígado.

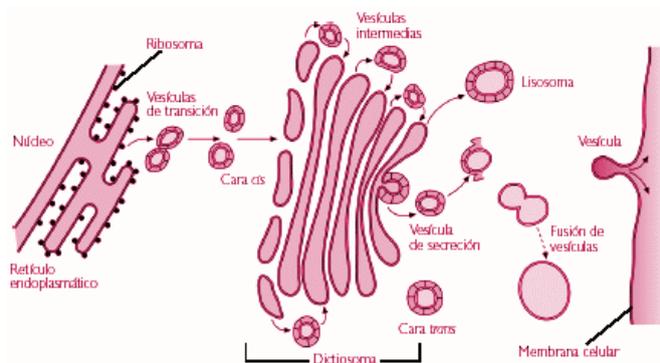
Sus funciones son:

- Su función general es la síntesis de casi todos los lípidos de la célula (preferentemente los componentes de las membranas: fosfolípidos y colesterol) y transporte de los mismos.
- Transforma sustancias tóxicas liposolubles (pesticidas, ciertos medicamentos, conservantes alimentarios, etc.) en otras hidrosolubles que se eliminan fácilmente a través de la orina.
- Recibe proteínas del retículo endoplasmático rugoso, las une con los lípidos que se forman en él y forma lipoproteínas que pasan al interior de las vesículas de transporte que se dirigen al aparato de Golgi.



APARATO DE GOLGI.

Estructura: está formado por varios grupos de cisternas aplastadas y apiladas llamados **dictiosomas**, cada uno de ellos presenta entre 4-5 cisternas. Cada dictiosoma presenta dos zonas o caras diferentes: la cara cis o de formación que está más cerca del núcleo y que está relacionada funcionalmente con el retículo endoplasmático rugoso, presenta sáculos de menor tamaño que tienen una membrana más fina. La cara trans o de maduración, está orientada hacia el exterior celular, se relaciona funcionalmente con la membrana plasmática y con el resto del citoplasma, presenta sáculos de mayor tamaño y con membrana más gruesa. Esta cara libera vesículas de secreción, que pueden desplazarse por la célula e incluso salir al exterior por exocitosis.



La cara cis recibe vesículas de transporte procedentes del retículo endoplasmático, las moléculas que contienen son transformadas por enzimas del aparato de Golgi y pasan a los extremos de las cisternas, donde se desprenden en el interior de otras vesículas de transporte que terminan por fusionarse con la siguiente cisterna, donde el proceso se repite hasta alcanzar la cara trans.

Funciones: son varias.

1. Realiza la secreción de las proteínas, estas pasan al interior de vesículas de transporte y pueden ser expulsadas fuera de la célula o pueden incorporarse a la membrana plasmática.
2. En este orgánulo se forman los lisosomas.
3. Participa en el reciclaje de la membrana plasmática, ya que la membrana de las vesículas de transporte se fusiona con esta membrana y así se reponen las porciones que la membrana plasmática pierde en los procesos de endocitosis.
4. Realiza la secreción de los componentes de la pared celular.
5. Transporte de todo tipo de sustancias fuera de la célula.

6. Participa en la citocinesis de células vegetales



LISOSOMAS

Son vesículas globulares rodeadas de membrana, procedentes del Aparato de Golgi y que contienen **enzimas hidrolíticas** (hidrolasas), como son las proteasas, lipasas, nucleasas, glucosidasas, etc.

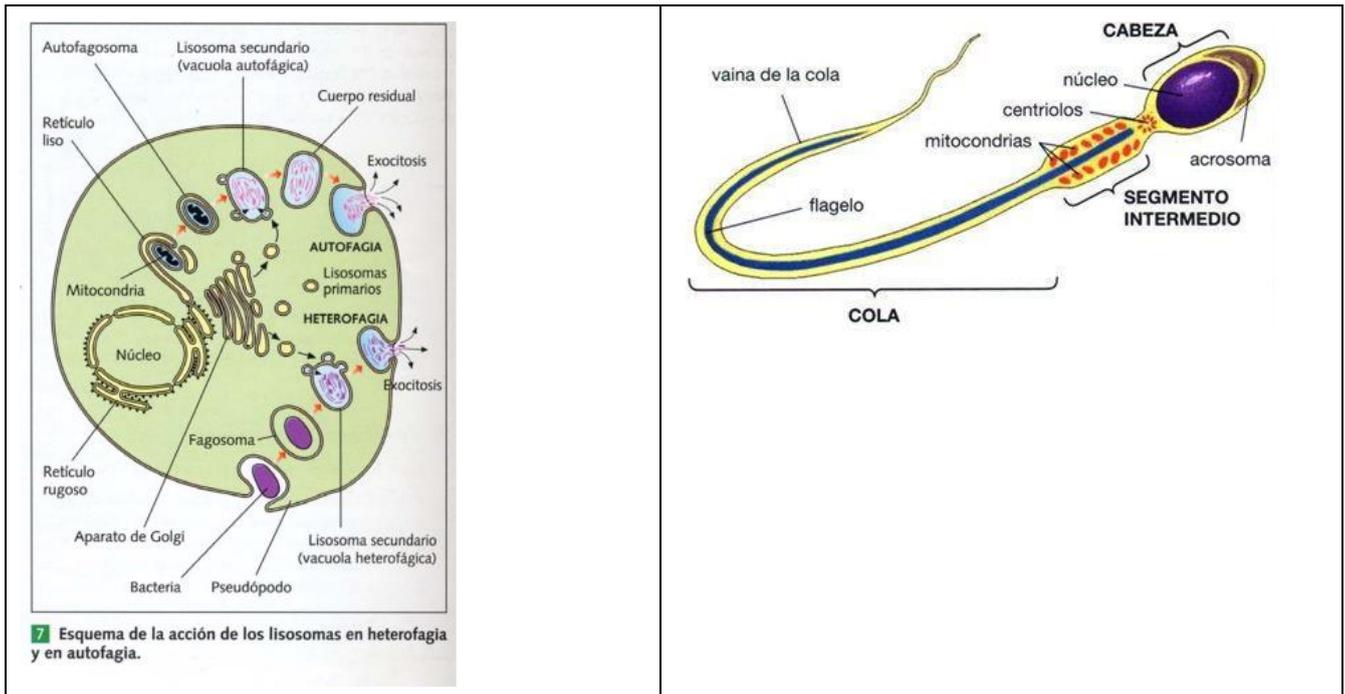
Estructura: hay que destacar que estas vesículas presentan en la cara interna de la membrana un recubrimiento de glucoproteínas que protegen al propio orgánulo de ser hidrolizado o digerido por las enzimas.

Función: digerir o hidrolizar o descomponer materia orgánica. Esta descomposición llevará a transformar las macromoléculas en otras menores (los polímeros son descompuestos en sus monómeros integrantes). Las reacciones que se producen son las de rotura de enlaces mediante agua (enlace glucosídico, éster, peptídico, etc.).

La digestión puede ser de sustancias procedentes del medio extracelular, ingeridas por pinocitosis o fagocitosis (digestión heterofagia) o de componentes o sustancias de la propia célula (digestión autofágica). En ambos casos, las partículas deberán estar contenidas en una vacuola, es decir, estarán aisladas dentro de una membrana. En el caso de la digestión autofágica, las estructuras que se digieren son rodeadas previamente por membranas del retículo endoplasmático liso, formando un autofagosoma.

Un tercer tipo es la digestión extracelular, propia de los hongos o de animales pluricelulares (las células secretoras del páncreas, del estómago o del intestino delgado expulsan el contenido de sus lisosomas a la luz del tubo digestivo). Otro ejemplo es el acrosoma de los espermatozoides que es un gran lisosoma que libera enzimas que digieren las envolturas del óvulo permitiendo la fusión de los núcleos de los dos gametos.

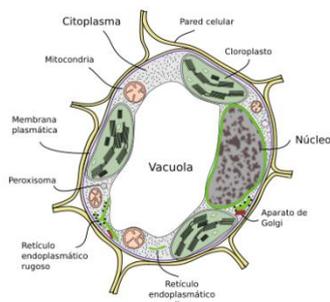
Los lisosomas pueden ser primarios, que solo contienen enzimas debido a que aún no han participado en procesos digestivos, y secundarios, que además de enzimas, contienen partículas que se encuentran en proceso de digestión y que se forman por la unión entre un lisosoma primario y una vesícula heterofágica o autofágica.

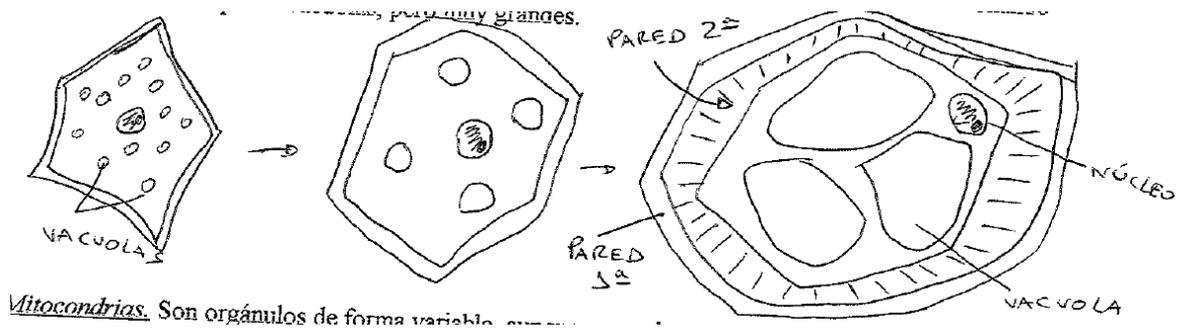


VACUOLAS

Son sáculos de forma globular, de tamaño muy variado y con diferentes funciones. Hoy día se tiende a denominar vacuolas sólo a las de gran tamaño y de origen vegetal y vesículas a las de origen animal, que son de pequeño tamaño. Se originan a partir del aparato de Golgi, del retículo endoplasmático o a partir de invaginaciones de la membrana plasmática.

En células animales suelen ser pequeñas y pueden participar en procesos digestivos. En células vegetales son de mayor tamaño y su función es almacenar distintas sustancias, como agua, sustancias de reserva, sustancias de desecho, pigmentos que utilizan para atraer a los insectos o sustancias tóxicas que protegen a la planta frente a los herbívoros. En célula vegetales jóvenes son pequeñas y numerosas, mientras que en células viejas se han ido fusionando y por esto presentan pocas vacuolas, pero muy grandes.



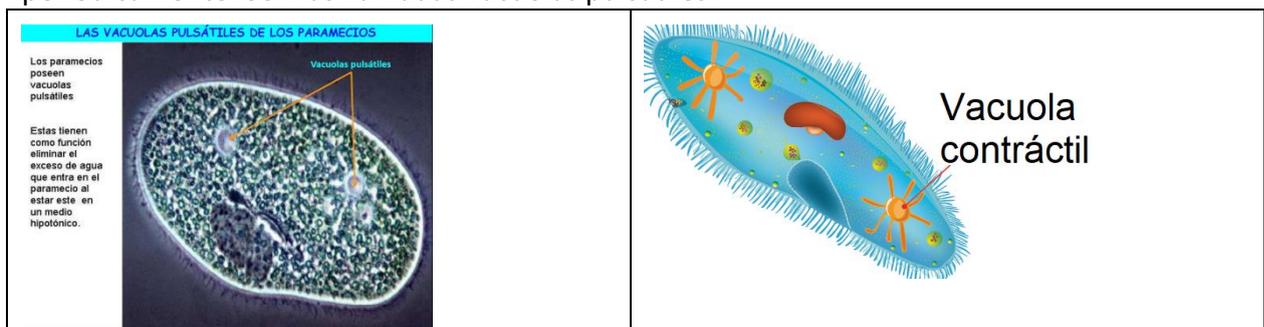


Mitocondrias. Son orgánulos de forma variable...

Estructura: presentan una membrana semejante a la plasmática que rodea al contenido.

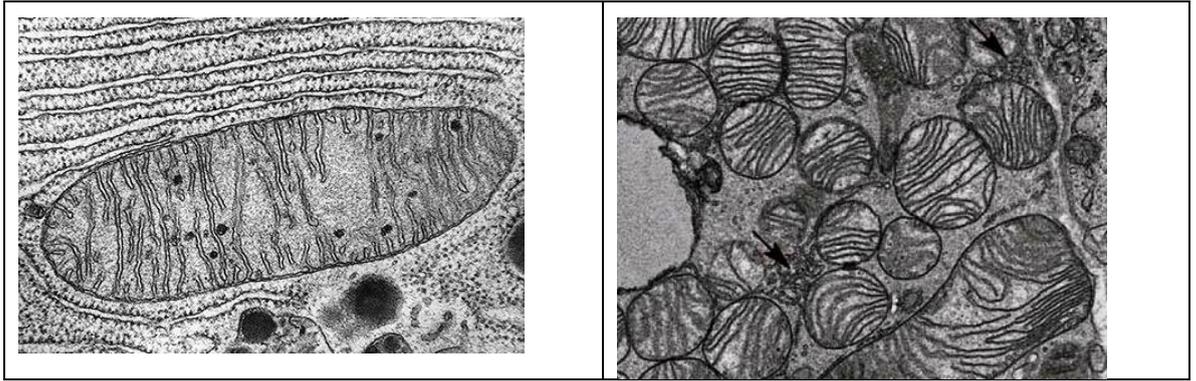
Funciones: fundamentalmente, las vacuolas almacenan sustancias, pero pueden tener otras utilidades:

- **Reserva** de sales minerales, glúcidos, lípidos... que se encontrarán inmersos en disolución acuosa.
- **Almacén** de sustancias con funciones específicas, por ejemplo pigmentos (que colorean estructuras como flores y frutos y que nunca salen del orgánulo) o alcaloides (moléculas tóxicas fabricadas por los vegetales como medio de defensa y que solo se vierten al ser destruidas las células).
- **Transporte** de sustancias de unos orgánulos a otros o al exterior (del R.E. al Ap. de Golgi, por ejemplo).
- **Esqueleto hidrostático:** las células vegetales suelen contener una única gran vacuola que ocupa casi todo el espacio citoplasmático. Contiene agua a presión, dando rigidez a la célula.
- **Mantenimiento del contenido hídrico.** Ciertos organismos como algunos protozoos ciliados dulceacuícolas (por ejemplo el paramecio) acumulan el exceso de agua, que penetra en el citoplasma por ósmosis, en ciertas vacuolas y la expulsan al exterior contrayéndose periódicamente. Son las llamadas vacuolas pulsátiles.



MITOCONDRIAS

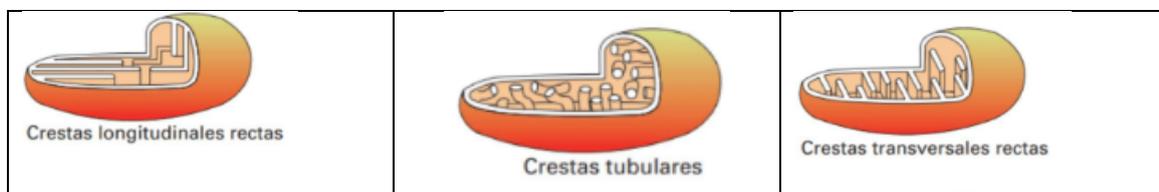
Son orgánulos cuya forma es variable, pudiendo oscilar desde esféricas hasta cilíndricas, aunque generalmente son ovaladas. Tienen un tamaño semejante al de las bacterias, (es decir, de 1 a 4 micras de longitud y de 0,3 a 1 micra de diámetro).



Aparecen en gran número en todas las células, ya sean animales, vegetales o de hongos, siendo especialmente abundantes en aquellas que presentan una elevada demanda (gasto) de energía bioquímica (ATP) como por ejemplo las células musculares, las neuronas o los espermatozoides. En células de vertebrados suele haber entre 500 y 1000 (5000 en células de hígado). Al conjunto de mitocondrias de una célula se le denomina **condrioma**.

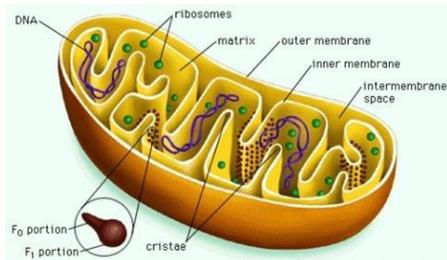
Estructura: son orgánulos con doble membrana, la interior de las cuales se halla muy replegada y por lo tanto cuenta con una gran superficie. Se distinguen las siguientes estructuras y espacios:

- 1- Membrana mitocondrial externa: semejante a la membrana plasmática, lisa y muy permeable al agua y a otras sustancias. Entre otras presenta a las enzimas que activan a los ácidos grasos.
- 2- Espacio intermembranoso: está relleno de un líquido semejante al hialoplasma.
- 3- Membrana mitocondrial interna: Está muy replegada y presenta un número variable de invaginaciones que se denominan crestas mitocondriales. Suelen ser perpendiculares al eje mayor de la mitocondria, aunque en algunas células pueden ser paralelas a este eje (aparecen en células hepáticas), e incluso en algunas células son tubulares (corteza de glándulas suprarrenales, ovarios, etc.). La membrana mitocondrial interna es poco permeable y por esto contiene gran cantidad de proteínas transportadoras (permeasas). También contiene las enzimas que forman la cadena transportadora de electrones y las ATP-sintetasas.



- 4- **Matriz mitocondrial:** es el contenido del espacio más interno de la mitocondria. Contiene muchos tipos de enzimas que realizan funciones bioquímicas. También posee ribosomas mitocondriales (70S) y **ADN mitocondrial** de doble cadena y circular (cerrado). Este ácido nucleico lleva los genes necesarios para fabricar los ribosomas mitocondriales así como una parte importante de las proteínas del orgánulo.

De hecho, las mitocondrias se reproducen dentro de las células y durante la reproducción celular, deben de repartirse entre las dos células hijas. En la reproducción sexual, ya ha sido comentado que el óvulo aporta todas las mitocondrias del nuevo ser (hecho interesante y que se emplea en pruebas de identificación mediante ADN).



La matriz contiene una disolución de enzimas entre las que se encuentran las que realizan la replicación, transcripción y traducción del ADN mitocondrial, las que participan en el ciclo de Krebs y en la oxidación de los ácidos grasos.

Funciones: la principal actividad de las mitocondrias es la de obtener energía mediante la oxidación de materia orgánica. En su interior se producen un conjunto de reacciones catabólicas que reciben el nombre de respiración celular, en las que se produce la oxidación de distintos compuestos orgánicos y que permiten la obtención de energía. Dentro de la respiración celular se pueden distinguir tres etapas:

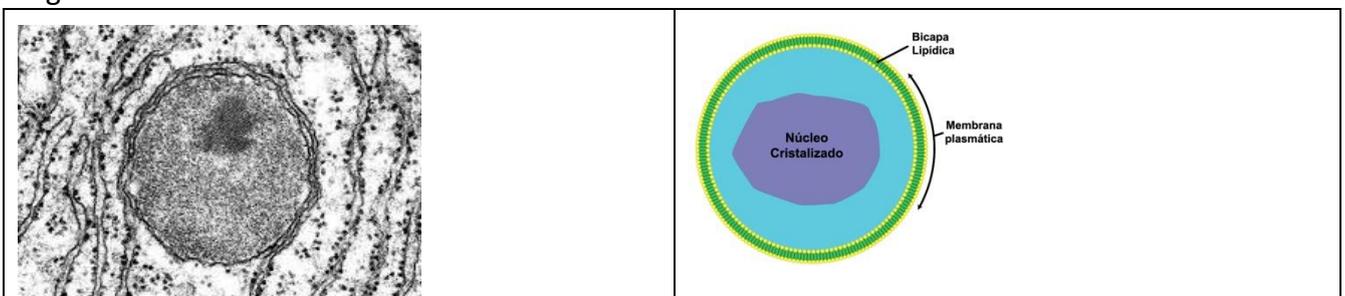
- Oxidaciones respiratorias, se producen en la matriz
- Cadena transportadora de electrones, situada en las crestas mitocondriales
- Fosforilación oxidativa, se desarrolla en las crestas mitocondriales

Además de la cadena transportadora de electrones, y de las enzimas responsables de la fosforilación para la obtención del ATP a partir del ADP, estos orgánulos realizan el **ciclo de Krebs**, la **beta-oxidación de los ácidos grasos**, (dos procesos de degradación de materia orgánica), la **síntesis de ácidos grasos y la síntesis de moléculas orgánicas precursoras de otras más complejas**.

Por último, las mitocondrias también pueden tener una función de almacén de lípidos, proteínas, iones, etc., degenerando como tales mitocondrias y transformándose en vacuolas.

PEROXISOMAS

Estructura: los peroxisomas son vesículas, semejantes a los lisosomas, que contienen una gran diversidad de enzimas, entre las que destacan las enzimas oxidativas, entre las que se encuentran la peroxidasa y la catalasa. Las enzimas se suelen concentrar en la parte central del orgánulo formando una estructura denominada cristaloide.



Función: los peroxisomas realizan **reacciones de oxidación** en las que los sustratos pierden hidrógenos. En algunas de estas reacciones se obtiene agua oxigenada que, siendo un compuesto muy oxidante y peligroso, es degradado por la enzima **catalasa**. Se llaman peroxisomas porque producen peróxido de hidrógeno, que es el nombre sistemático del agua oxigenada.

Son múltiples los productos oxidados por los peroxisomas, destacando ciertos ácidos grasos, el metanol, el etanol y el ácido úrico. Como puede observarse, algunos de estos productos son tóxicos. No obstante, a pesar de tener una cierta labor detoxificadora (rompen moléculas que pueden resultar dañinas) los peroxisomas llevan a cabo multitud de reacciones (sus enzimas) en las que se obtiene energía. En algunos tipos de células pueden intervenir en la síntesis de lípidos (colesterol, ácidos biliares...) y es destacable la función de estos orgánulos en las células vegetales: en las semillas son responsables de la transformación de los ácidos grasos en glúcidos, a partir de los cuales se obtendrá energía, imprescindible para los procesos de germinación y el crecimiento (reciben el nombre específico de glioxisomas).

En resumen, los peroxisomas pueden oxidar moléculas que no son degradadas por las mitocondrias con el fin de obtener energía, también pueden degradar sustancias tóxicas y por último, pueden realizar transformaciones de unas sustancias en otras.

CLOROPLASTOS

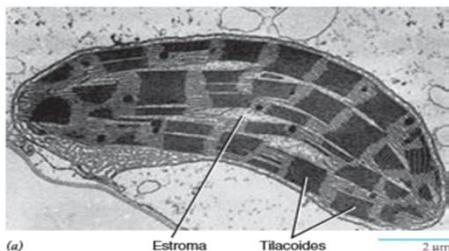
Son orgánulos exclusivos de las células vegetales fotosintéticas. Generalmente ovalados, aunque pueden ser estrellados o acintados en las algas. Sus dimensiones oscilan entre las 3 y 20 micras de diámetro mayor y de 1 a 2 micras de diámetro menor (un tamaño muy semejante al de las bacterias). En cuanto al número, es muy variable, suele haber unos 200 por célula

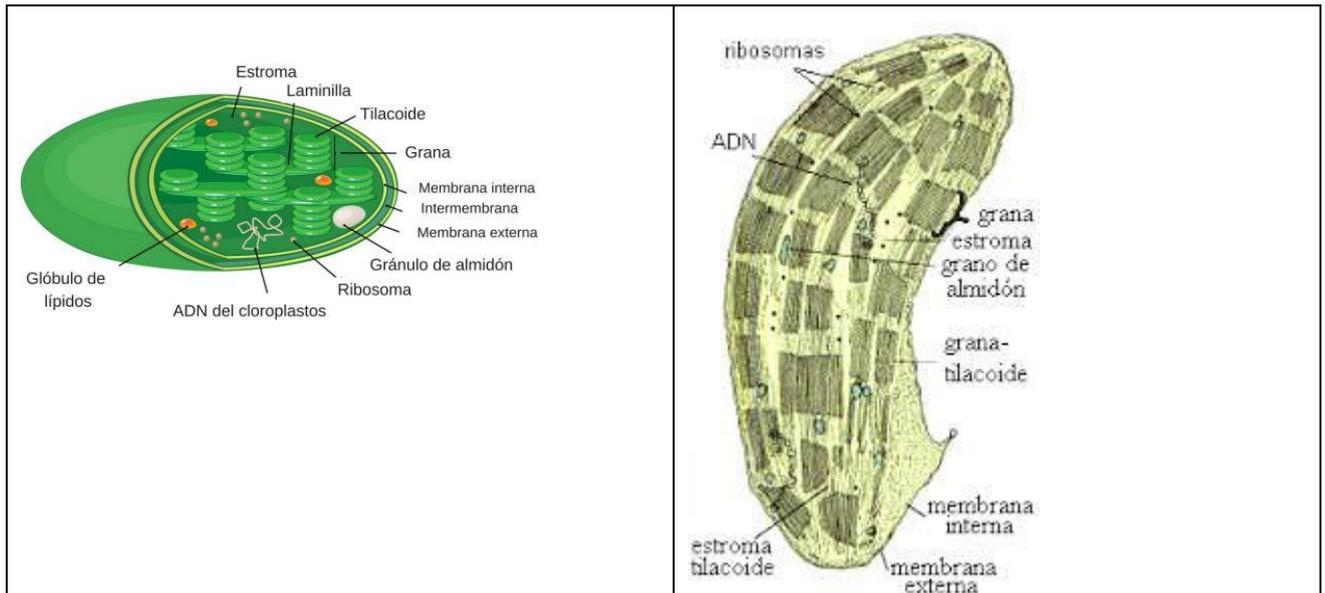
Estructura: son orgánulos con doble membrana. Una **membrana plastidial externa**, muy permeable y una **membrana plastidial interna**, muy impermeable.

La zona más interior del cloroplasto se denomina **ESTROMA**. En él, aparecen unos sáculos aplastados e interconectados, llamados **TILACOIDES**. Se distinguen dos tipos: unos de gran tamaño llamados **LAMELAS o tilacoides del estroma** y otros, sostenidos por los anteriores, de menor tamaño, con forma de disco y dispuestos de forma apilada que se denominan **tilacoides de los GRANA**.

En las membranas de los tilacoides, preferentemente en los grana, se encuentran los sistemas enzimáticos encargados de captar la energía luminosa, del transporte de electrones y de la formación del ATP. Los pigmentos fotosintéticos, encargados de captar la energía luminosa, entre los que se encuentran las clorofilas, los carotenos y las ficobilinas, se organizan formando unas estructuras que se denominan fotosistemas.

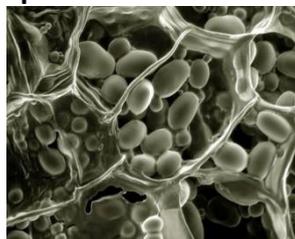
El espacio delimitado por la membrana interna se denomina estroma, contiene glúcidos, lípidos, proteínas, ADN plastidial (circular y cerrado), ARN, ribosomas 70S, pigmentos fotosintéticos, sales y otras sustancias. Como en las mitocondrias, los sistemas enzimáticos se hallan perfectamente ordenados en las membranas de los tilacoides. También en el estroma se localizan las enzimas que participan en la fase oscura de la fotosíntesis.





Función: la función primordial es la de llevar a cabo la fotosíntesis, que consiste en la transformación de materia inorgánica en orgánica empleando ATP obtenido a partir de energía solar mediante los pigmentos fotosintéticos y la cadena transportadora de electrones.

Otra función que pueden tener algunos cloroplastos es la de almacenar sustancias. Así, los **amiloplastos** acumulan almidón, los **proteoplastos** almacenan proteínas, los **oleoplastos** contienen aceites y los **cromoplastos** están rellenos de pigmentos.



Amitoplastos

5.5. NÚCLEO (INTERFÁSICO): ENVOLTURA NUCLEAR, NUCLEOPLASMA, CROMATINA Y NUCLÉOLO.

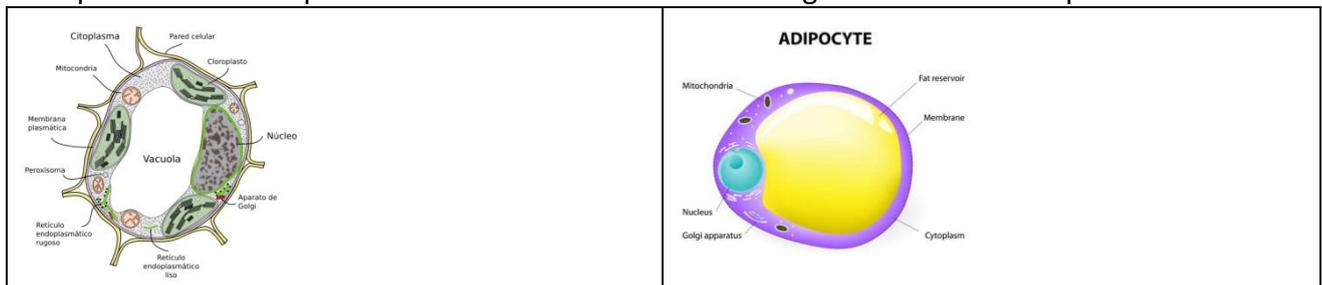
El núcleo es una estructura propia de las células eucariotas que alberga el material genético. Consta de una envoltura o **membrana nuclear** y un medio interno, el **nucleoplasma** que contiene el o los **nucléolos** y las masas de **cromatina**.

Forma, localización y tamaño:

La forma habitual es la esférica, aunque no faltan casos de núcleos ovalados, lobulados, arriñonados, arrosariados, etc.



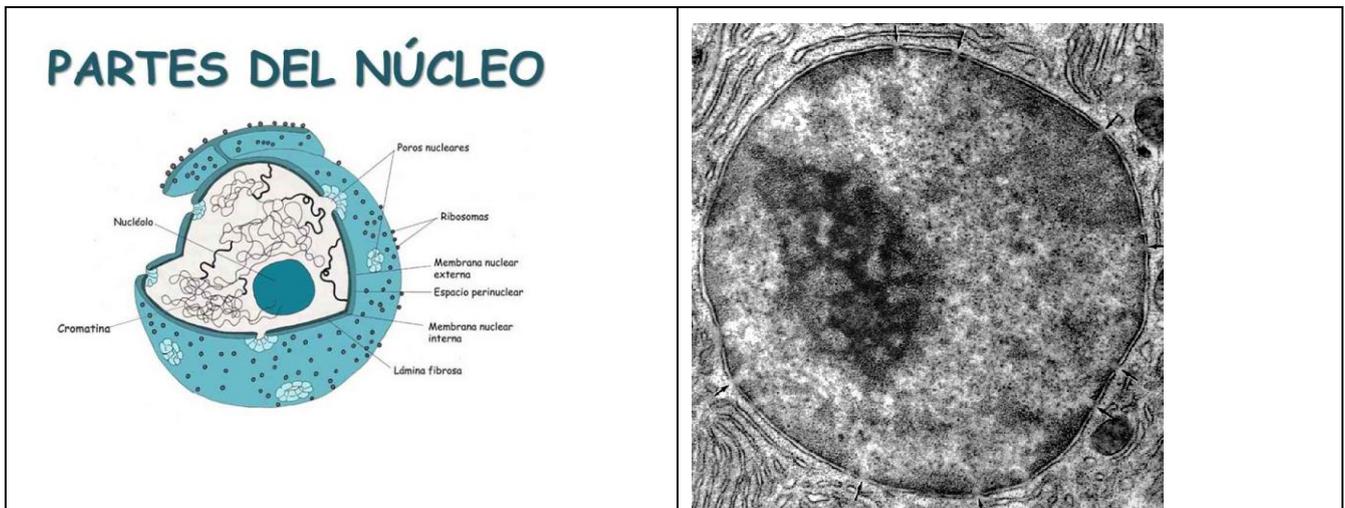
Su posición normal es la central, pero a veces está desplazado de esta zona por otros componentes del citoplasma como ocurre con las células vegetales o con los adipocitos.



El tamaño del núcleo es muy variable, aunque en general es mayor en células que presentan gran actividad fisiológica, como ocurre por ejemplo con los linfocitos, que tienen un núcleo que ocupa la mayor parte de la célula.



Descripción de las partes del núcleo interfásico



Envoltura nuclear. Es una doble membrana que separa el citoplasma del nucleoplasma. La membrana externa se continúa con el retículo endoplasmático rugoso. La **membrana nuclear externa** posee ribosomas adosados. La **membrana nuclear interna** presenta proteínas de membrana que anclan otra estructura interna de naturaleza proteica llamada **lámina nuclear**, cuya función es la de organizar la cromatina y la de estabilizar toda la envoltura.

El espacio delimitado por las dos membranas se denomina espacio perinuclear.

La envoltura nuclear está atravesada por innumerables **poros**, que son orificios de muy pequeño tamaño. Presentan en torno a ellos ocho gránulos o masas de ribonucleoproteínas y en el centro otro gránulo. La función de esa estructura es la de regular el paso de materiales tales como grandes moléculas de ARN sintetizadas a partir del ADN.

La función de la envoltura nuclear es la de separar el contenido del núcleo del citoplasma y regular la entrada y salida de sustancias. La función concreta de la lámina nuclear es la de organizar la cromatina y colaborar en la formación de los cromosomas así como de la descomposición del núcleo cuando la célula va a reproducirse.

El nucleoplasma. Es el medio interno nuclear. También se le conoce como **jugo nuclear** o **carioplasma**. Se compone de sustancias disueltas en agua constituyendo una disolución coloidal. Estos materiales son proteínas de muchos tipos (péptidos, histonas, protaminas, enzimas, aminoácidos sueltos), ácidos nucleicos (nucleótidos, nucleósidos, ARN de todos los tipos), lípidos, glúcidos, sales minerales. En cuanto a la función, en el nucleoplasma se realiza la síntesis de ácidos nucleicos (es el medio de reacción).

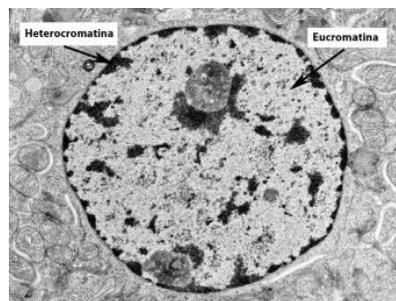
Los nucléolos. Son corpúsculos esféricos sin membrana que solo se observan durante la etapa de reposo; hay uno por célula y en ocasiones dos. Están constituidos por proteínas, ARN y ciertos tramos de ADN (bucles) que codifican ARNr y ARNm con instrucciones para proteínas ribosómicas. La función de estas estructuras es la formación de los ARNr y su unión con proteínas que proceden del citoplasma para formar unos complejos moleculares llamados ribonucleoproteínas, que pasan de nuevo al citoplasma donde se organizan formando los ribosomas.

La cromatina. Está constituida por filamentos de ADN. El nombre de cromatina proviene

de la facilidad e intensidad con la que queda teñido el ADN con ciertos colorantes empleados en microscopía (al huso acromático le sucede todo lo contrario, de ahí el apelativo de a-cromático). En la fase de **reposo** o **interfase**, estos filamentos están formando condensaciones con aspecto de ovillo, adosadas a la lámina nuclear. Durante la reproducción celular (núcleo en división), la cromatina se organiza dando lugar a los cromosomas.

La cromatina presenta una alta condensación y organización. En estado de cromosoma, el nivel de enrollamiento es mucho mayor. La función de la cromatina es doble: durante la interfase o periodo de no división celular su principal cometido es la **expresión de su información genética**, dando lugar a los ARNm. La otra función que podemos considerar en la cromatina es la de **conservar y transmitir la información genética** durante la reproducción. Para ello, el ADN deberá copiarse o duplicarse originando moléculas idénticas que para un mejor reparto se organizarán en cromosomas (que por esta razón al final de la fase de reposo tienen dos cromátidas).

Dentro de la cromatina se distinguen varios tipos. Ciertos tramos o sectores son llamados EUCROMATINA, en estos, la condensación o plegamiento es mínimo, en términos relativos (ya que siempre está muy organizada), y pueden ser transcritos fácilmente a ARN. Otros sectores, por el contrario, se hallan más condensados, denominándose HETEROCROMATINA. Estos tramos no son transcritos. Dentro de esta heterocromatina hay que distinguir entre aquella que no se transcribe nunca, y que denominamos HETEROCROMATICA CONSTITUTIVA, suponiéndose que sirve de soporte al resto del ADN, y la HETEROCROMATINA FACULTATIVA, que sólo se transcribe en ciertos momentos del desarrollo celular, quedando posteriormente inactivada. Se transcriben según las necesidades de la célula.



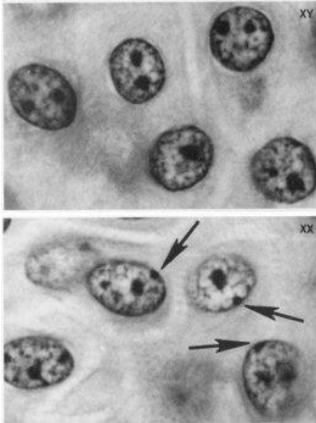
Muchos de los genes que poseemos (se piensa que hay casi 20.000 en la especie humana) solo se activan durante las primeras etapas de la embriogénesis ya que son los encargados de que a partir de un puñado de células idénticas procedentes del cigoto se produzca un embrión con todos sus órganos y estructuras. Estos genes, una vez que han cumplido su misión se inactivan para el resto de la vida del individuo (y para que no “estorben” se guardan como heterocromatina facultativa).

También hay genes que nunca se activarán en determinadas células de un organismo pluricelular con tejidos, ya que la especialización celular se basa precisamente en que cada tipo de células sólo activa aquellos genes que necesita: una célula nerviosa nunca activará el gen de producir insulina y una célula de hueso no va a activar los genes de síntesis de la hemoglobina. (Por lo tanto, siempre en las células habrá una heterocromatina constitutiva). Pero además de esta heterocromatina que contiene información (genes), hay otra que no posee información para fabricar proteínas y que por razones poco conocidas se mantiene generación tras generación entre los genes. Recibe el nombre de ADN basura y constituye más del 90% de todo el ADN. Gran parte de este material también se organiza como heterocromatina constitutiva, pero es ingenuo pensar que “no sirve para nada” a pesar del nombre [el nombre de ADN basura, parece que viene del estudio de los genomas por parte de compañías privadas, para las que el descubrimiento de un gen puede aportar beneficios, mientras que las secuencias sin información no dan dinero].

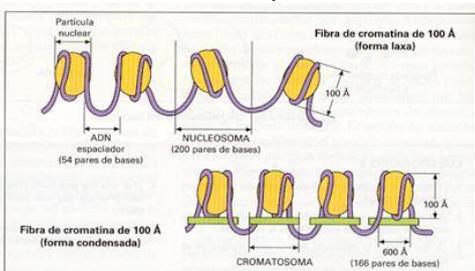
Hay también, sin duda, genes que en una especie actual no se utilizan, pero que proceden de antepasados y que no han sido eliminados, sólo silenciados.

[Las zonas de los centrómeros y los telómeros (extremos de los cromosomas) están formados por heterocromatina constitutiva.

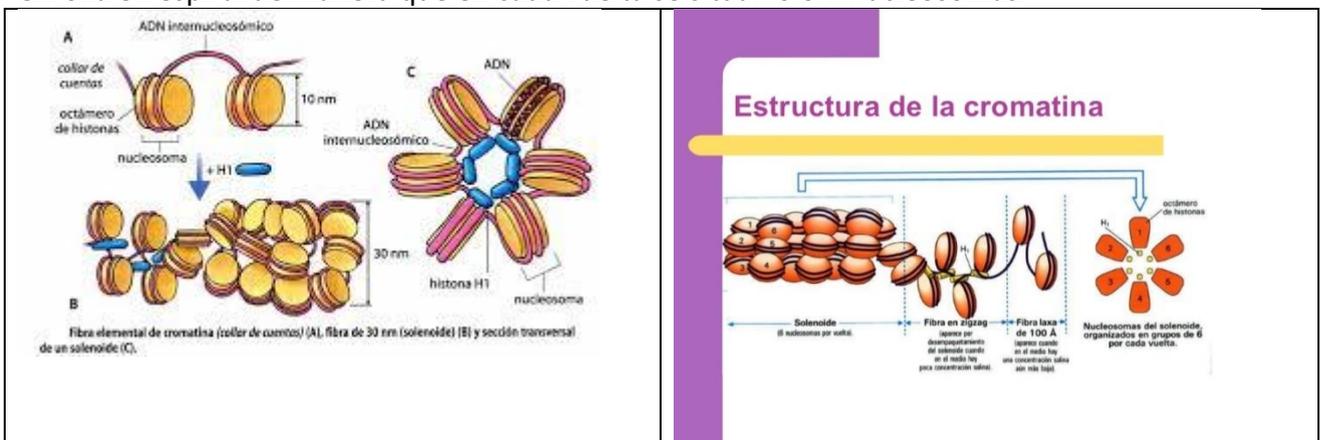
En las mujeres y en las hembras de los mamíferos en general, uno de los dos cromosomas X está fuertemente empaquetado como heterocromatina desde el momento en que se formó el cigoto. Permaneciendo así para siempre. Es el llamado **corpúsculo de Barr**].



La estructura que presenta la cromatina se corresponde principalmente con el collar de perlas o fibra de cromatina de 100 Å de diámetro. Está formada por una sucesión de partículas que se denominan nucleosomas, que están constituidos por moléculas de histonas que forman una estructura llamada partícula nuclear, alrededor de la cual el filamento de ADN describe dos vueltas (154 nucleótidos). Cada partícula está separada de la siguiente por un pequeño filamento de ADN de 46 nucleótidos que se denomina ADN espaciador.



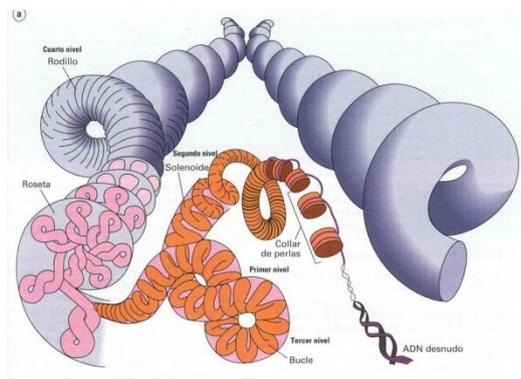
En algunas zonas de la heterocromatina se presenta una condensación mayor y la estructura resultante se denomina solenoide o fibra de cromatina de 300 Å. En ella la fibra de 100 Å se enrolla en espiral de manera que en cada vuelta se sitúan 6 o 7 nucleosomas.



Los solenoides se enrollan formando la **cromatina** del núcleo interfásico de la célula eucariota. Cuando la célula entra en división, el ADN se compacta más, formando los **cromosomas**.

La estructura de los cromosomas no está del todo aclarada y se corresponde con la estructura terciaria del ADN o ADN superenrollado.

Con la fibra de 300 Å se reduce la longitud del ADN unas 40 veces. En los cromosomas se reduce unas 10000 veces, gracias a niveles superiores de empaquetamiento (bucles, rosetas y rodillos). Los dominios estructurales en forma de bucles constituyen el tercer nivel de empaquetamiento. Se encuentran arrollados sobre sí mismos, formando prominencias de unos 600 Å de diámetro. Seis bucles formarían una roseta, y treinta rosetas seguidas, dispuestas en espiral formarían un rodillo, que constituye el cuarto nivel de empaquetamiento. El quinto y último nivel, el cromosoma, estaría formado por la sucesión de rodillos.



EL NÚCLEO EN DIVISIÓN

Cuando la célula entra en división se producen una serie de cambios en la estructura del núcleo que desembocan en la desorganización de éste:

1. El nucléolo desaparece.
2. La envoltura nuclear se desintegra.
3. El contenido nuclear se libera al citoplasma.
4. La cromatina se condensa y forma los cromosomas.

LOS CROMOSOMAS

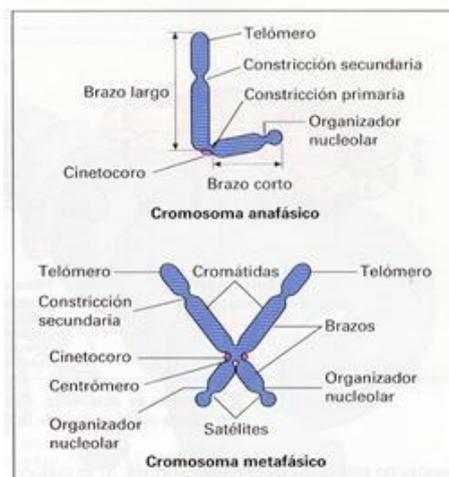
Son estructuras filamentosas con forma de **bastoncillo** que aparecen durante la división del núcleo, cuando se rompe la envoltura nuclear. Están constituidos por **ADN** e **histonas**. Cada fibra de cromatina constituye un cromosoma, siendo su número constante en todas las células del organismo de una misma especie. La función básica es facilitar el reparto de la información genética contenida en el ADN de la célula madre entre sus dos células hijas.

Constituyen la máxima compactación de la cromatina.

COMPONENTES DEL CROMOSOMA

CROMÁTIDA: Las cromátidas son el resultado de la duplicación del material genético durante la interfase (periodo S), por eso cuando al final de la profase y durante la metafase los cromosomas presentan su máxima condensación, se puede apreciar que cada uno aparece formado por dos mitades idénticas, que se mantienen unidas por el centrómero. Durante la anafase las dos cromátidas se separan, formando cromosomas, por lo que durante la anafase-telofase cada cromosoma solo tiene

una cromátida.



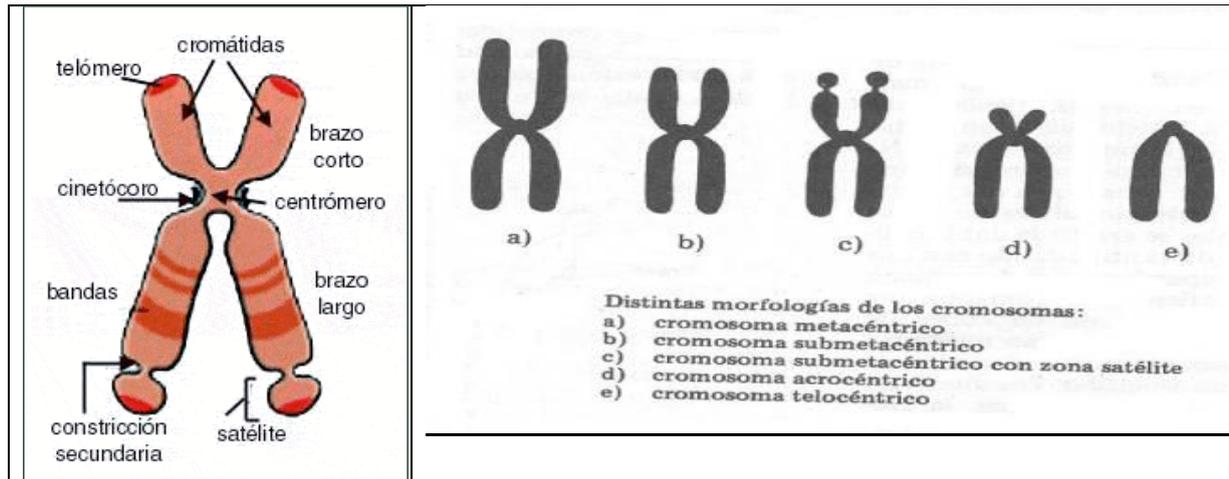
CENTRÓMERO: también denominado constricción primaria, es una zona más estrecha que divide al cromosoma en dos brazos, que pueden ser iguales o diferentes. En el centrómero cambia la dirección de los segmentos cromosómicos. A ambos lados del centrómero se localizan unas estructuras de naturaleza proteica denominadas **CINETÓCOROS** que constituyen los puntos de anclaje de las fibras del huso mitótico.

TELÓMEROS: Son los extremos de los cromosomas. Son secuencias de ADN repetitivas cuya función es dar estabilidad al cromosoma, impidiendo la degradación de los genes terminales.

CONSTRICCIÓN SECUNDARIA: Son zonas donde los cromosomas se estrechan pero no cambia la dirección de los segmentos cromosómicos. Como son constantes en su posición y tamaño, resultan útiles para identificar un cromosoma en particular. Dan lugar a unas porciones esféricas situadas en el extremo del cromosoma denominadas **SATÉLITES (SAT)**.

BANDAS: Segmentos del cromosoma más o menos anchos, que aparecen como bandas claras y oscuras, ya que se tiñen con distinta intensidad. El patrón de bandas de cada cromosoma es característico lo que permite identificarlos.

La morfología de los cromosomas se observa mejor en la metafase y anafase, periodos en los cuales la condensación de la cromatina es máxima. Los cromosomas metafásicos y anafásicos presentan los mismos componentes pero se diferencian, en que tienen dos o una cromátida respectivamente.



Los cromosomas pueden clasificarse según la posición del centrómero y la longitud de sus brazos.

Metacéntrico: los brazos son iguales, centrómero en el centro.

Submetacéntrico: centrómero en medio de dos brazos desiguales.

Acrocéntrico: centrómero en posición subterminal. Brazos muy desiguales.

Telocéntrico: un solo brazo, centrómero en uno de sus extremos.

Los cromosomas también se pueden clasificar en:

- Sexuales o heterocromosomas, son los que determinan el sexo del individuo. Son normalmente una pareja de cromosomas, diferentes según el sexo del individuo.
- Autosómicos, son los cromosomas ordinarios, iguales en los individuos masculinos y femeninos. Determinan otra serie de caracteres pero no participan en el determinismo del sexo.

En el caso de la mujer los cromosomas sexuales son iguales y se representan por XX. En el hombre hay un cromosoma de mayor tamaño, idéntico a los cromosomas X de la mujer, y un cromosoma más pequeño que se representa por la letra Y.

CARIOTIPO

Conjunto de características que permiten reconocer la dotación cromosómica de una célula. Es propio de cada especie y se identifica por el número de cromosomas y por el tamaño y forma de éstos. Para su reconocimiento son importantes ciertas características, como la posición del centrómero y la presencia de satélites, entre otras.

En las células de cualquier individuo podemos encontrar dos series cromosómicas completas, de manera que a un cromosoma de una serie le corresponde otro, exactamente igual, en la otra. Estas parejas de cromosomas idénticos se denominan cromosomas homólogos.

El número total de cromosomas se denomina n° diploide ($2n$), la mitad de ese n° se denomina n° haploide (n). El número haploide se obtiene al tomar un cromosoma de cada una de las parejas de homólogos.

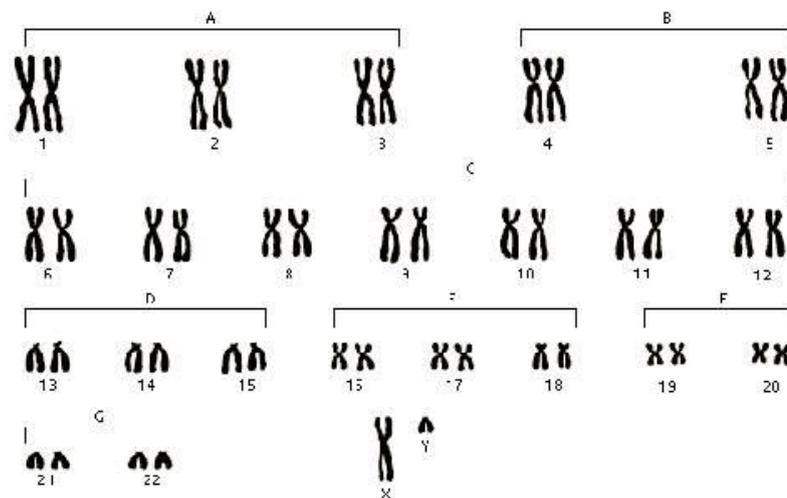
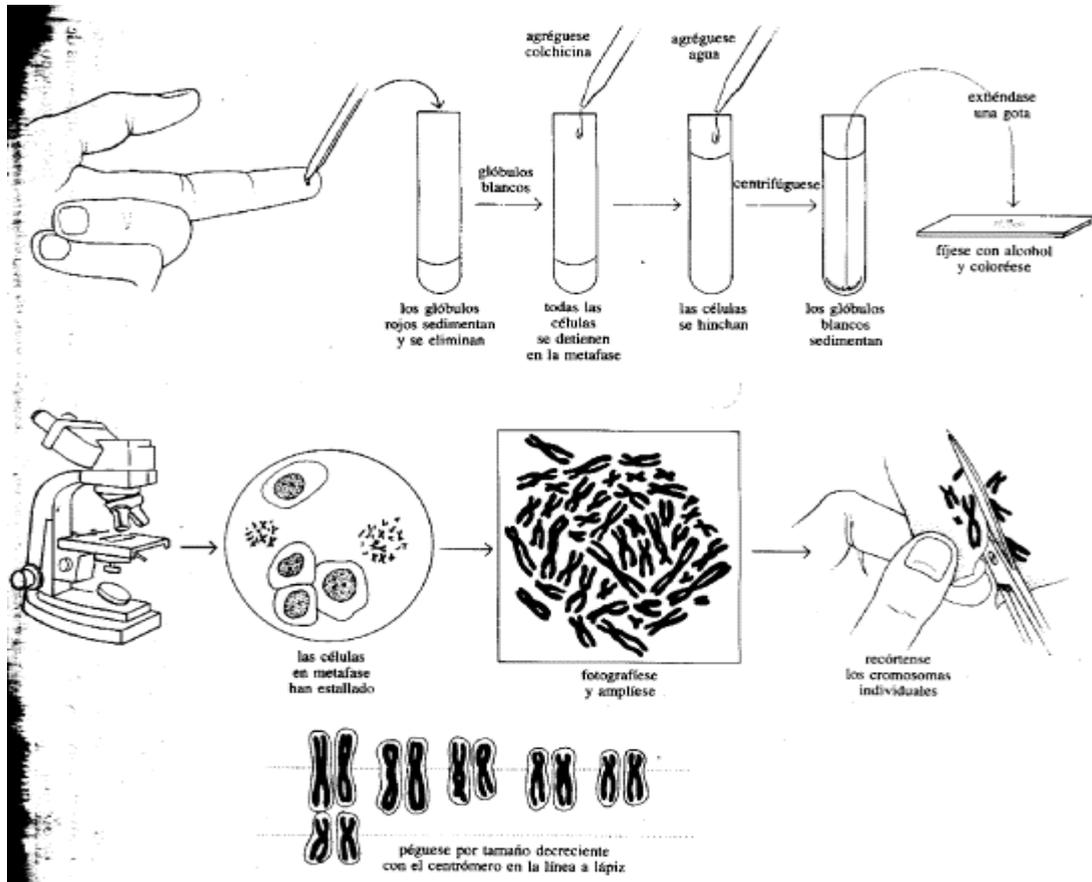
Los pares de cromosomas iguales, denominados homólogos, se ordenan por tamaños decrecientes. Si tienen el mismo tamaño se atiende a la posición del centrómero.

No existe relación entre el cariotipo de una especie y su complejidad anatómica y fisiológica.

El interés en el cariotipo aumentó considerablemente tras descubrirse que la presencia de un cromosoma extra podría asociarse a un importante problema patológico, el síndrome de Down.

Los cromosomas que aparecen en el cariotipo humano son característicamente cromosomas metafásicos, cada uno consistente en dos cromátidas hermanas unidas por el centrómero. Para preparar un cariotipo a los glóbulos blancos sanguíneos en vías de dividirse se los detiene en metafase agregando colchicina, que impide los pasos posteriores de la mitosis. Luego de tratarlos y teñirlos, los

cromosomas se fotografían, se amplían, se recortan y se ordenan de acuerdo con su tamaño. El número diploide normal de cromosomas del ser humano es de 46 y consiste en 22 pares de autosomas y dos cromosomas sexuales. Los autosomas se agrupan por tamaños (A, B, C, etc.) y después se aparean los homólogos probables. La mujer normal tiene dos cromosomas X y el hombre normal, tiene un cariotipo similar al visto a continuación, con un cromosoma X y otro Y.



BLOQUE II: LA CÉLULA EUCARIÓTICA. FUNCIÓN DE REPRODUCCIÓN

- 6.1. El ciclo celular. Interfase y división celular
- 6.2. Mitosis: etapas e importancia biológica
- 6.3. Citocinesis en las células animales y vegetales
- 6.4. La meiosis: etapas e importancia biológica

En los organismos pluricelulares y eucarióticos se encuentran dos tipos de células, las células somáticas, que son diploides porque presentan por duplicado cada uno de sus tipos de cromosomas. Estas células se representan por $2n$, donde n es el número de tipos de cromosomas. Las otras son las células reproductoras o gametos, que sólo presentan una copia de cada uno de los tipos de cromosomas, se representan como n y decimos que son haploides.

Al igual que aparecen dos tipos de células también existen dos tipos de división celular:

- 1- La mitosis que origina células con el mismo número de cromosomas que la célula madre.
- 2- La meiosis que origina células con la mitad de cromosomas que la célula madre.

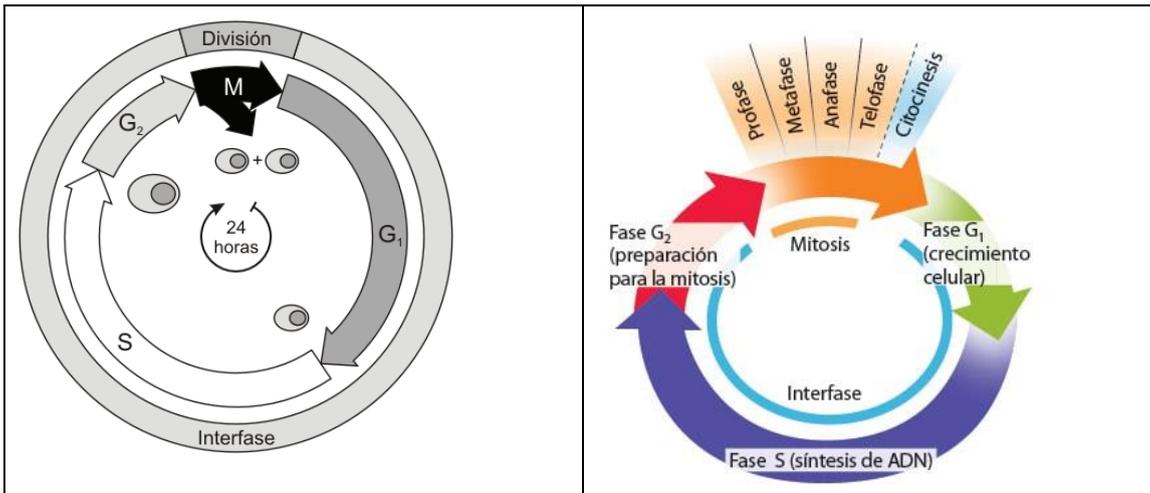
6.1. El ciclo celular. Interfase y división celular

Se conoce como ciclo celular al conjunto de todos los procesos que tienen lugar desde que una célula "nace" por división de una célula precursora (madre) hasta que se divide en dos o más células hijas. También puede definirse como el período de tiempo que transcurre desde que se forma una célula hasta que esta se divide, dando lugar a nuevas células. Por lo tanto, el ciclo celular es todo lo que sucede a una célula entre dos divisiones celulares sucesivas.

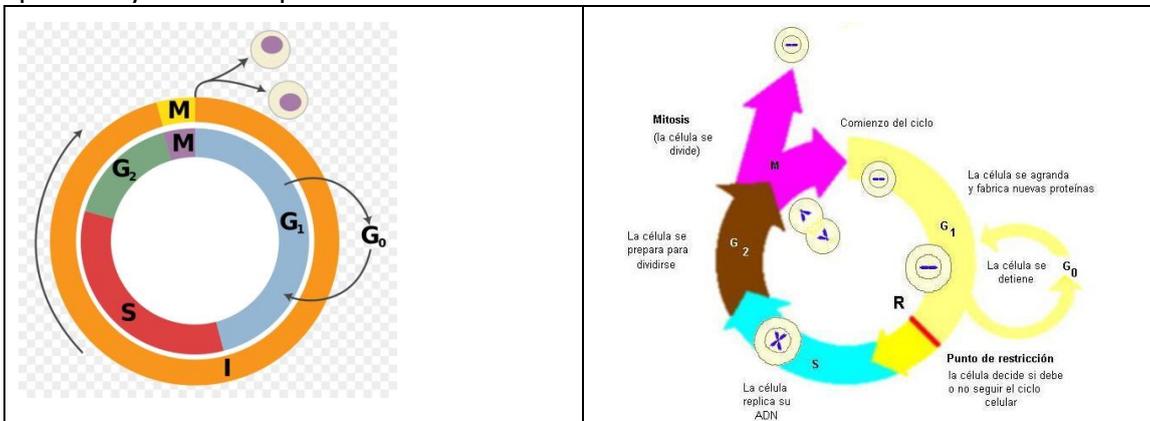
En las células de la piel y las células del epitelio pulmonar e intestinal el ciclo es muy corto ya que se dividen cada 8 horas.

El ciclo celular suele durar entre 8 horas y 100 días, aunque existen casos de células muy especializadas en las que el ciclo celular no termina con la división celular sino con la muerte, esto ocurre con los glóbulos rojos que viven aproximadamente 120 días o con las neuronas y las células musculares esqueléticas que puedan durar toda nuestra vida.

El ciclo celular presenta dos etapas, la etapa de división, en la que se produce la división del núcleo o cariocinesis, y la división del citoplasma o citocinesis. La etapa de reposo o interfase, se divide en tres periodos: G1, S o de síntesis y G2. De forma esquemática el ciclo celular de una célula somática sería el siguiente:



El periodo G1 tiene una duración muy variable, en él se produce una intensa actividad bioquímica que es responsable del crecimiento y desarrollo de la célula, se produce la síntesis de ARNm y la síntesis de proteínas, existe un momento al final de este periodo, denominado punto R (punto de restricción) a partir del cual se suceden obligatoriamente el periodo S, el periodo G2 y la etapa de división, aunque hay algunas células, que antes de alcanzar este punto, entran en un periodo especial denominado G₀ en el que pueden permanecer durante mucho tiempo (es el caso de las neuronas y las células musculares esqueléticas) a veces durante el periodo G₀ actúan sustancias, suelen ser hormonas, que activan a los procesos de la mitosis y hacen que estas células alcancen el punto R y terminen por dividirse.



El periodo S es el más importante porque durante él se produce la replicación del ADN, por eso cuando la célula alcanza la etapa de división, cada cromosoma está formado por dos moléculas de ADN idénticas, que se denominan cromátidas. Durante este periodo también se producen los procesos de la transcripción y de la traducción, que conducen a la formación de unas proteínas llamadas histonas, que se unen al ADN para formar los cromosomas, finalmente, durante este periodo se inicia el proceso de duplicación del centrosoma que conduce a la formación de un esbozo de cada centriolo, que se denomina procentriolo.

El periodo G2 es el más corto de la etapa de reposo, durante él también se producen los procesos de la transcripción y de la traducción que conducen a la formación de las proteínas necesarias para formar el huso acromático. También continúa el proceso de desarrollo de los procentriolos.

Puntos de control del ciclo celular:

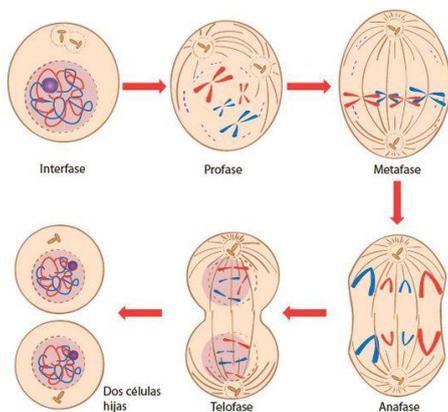
En el ciclo celular hay tres puntos controlados por sistemas de vigilancia del núcleo celular, diseñados para evitar que las células se puedan replicar si están dañadas, sobre todo a nivel del ADN. Una célula detenida en el ciclo por estos mecanismos puede: activar los mecanismos de reparación del ADN o, si fallan, empezar el proceso de apoptosis para eliminarse.

- **Punto de control G1:** Revisa que las composiciones del medio sean favorables para la proliferación de la célula (temperatura adecuada, presencia de nutrientes, sales), que esta haya crecido lo suficiente y que el material genético esté intacto. El punto de control G1 es el más importante ya que coincide con el punto de Restricción del ciclo celular.
- **Punto de control G2-M:** garantiza que las células no ingresen en la fase de Mitosis hasta que no se haya reparado el ADN y se complete su replicación.
- **Punto de control M:** se encuentra en la fase de mitosis, entre la metafase y la anafase. Se encarga de revisar que todos los cromosomas se hayan unido al huso mitótico.

6.2. Mitosis: etapas e importancia biológica

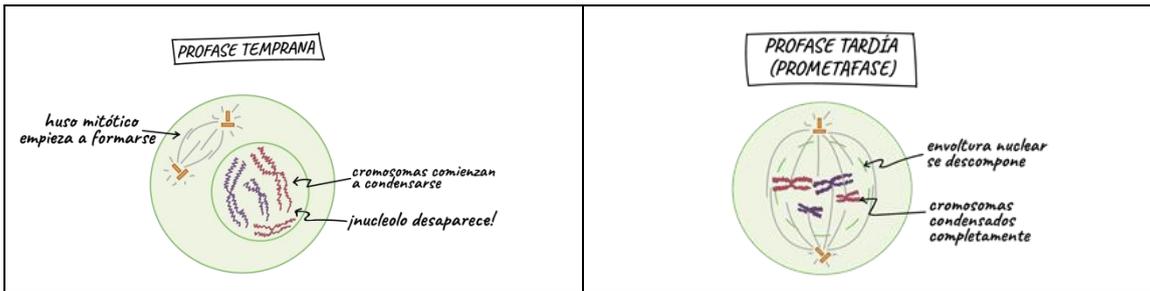
Es el proceso de división del núcleo que garantiza que cada célula hija reciba el mismo número de cromosomas que tenía la célula madre.

La **mitosis** entendida como **cariocinesis**, es un proceso continuo que se ha dividido para su mejor estudio en cuatro fases: **profase, metafase, anafase y telofase**.



Profase

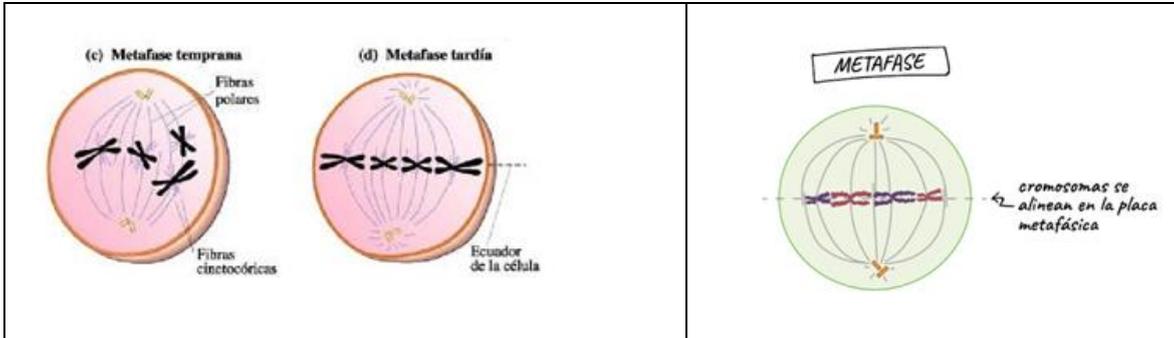
Es la etapa más compleja, durante ella se producen acontecimientos que afectan al núcleo y al citoplasma. En el citoplasma los centriolos terminan su duplicación e inician una lenta migración hacia los polos de la célula haciendo que se forme una estructura filamentosa con forma de tonel llamada huso acromático. En el núcleo la cromatina se condensa poco a poco, esto hace que se puedan observar unos filamentos largos y delgados que son los cromosomas. Al final de esta etapa los cromosomas son muy cortos y gruesos, están perfectamente individualizados (la división en cromátidas aún no se aprecia). Al mismo tiempo que se condensa la cromatina se va desorganizando el nucleolo, al final no se aprecia. Finalmente la lámina nuclear se separa de la membrana y esta se desorganiza permitiendo que el contenido del núcleo se mezcle con el citoplasma.



Metafase

Durante esta etapa el huso acromático está perfectamente desarrollado, los cromosomas, debido a la condensación del ADN aparecen divididos en dos mitades llamadas cromátidas. Al principio los cromosomas se sitúan al azar en el citoplasma, pero a medida que avanza esta etapa se dirigen al plano ecuatorial de la célula y desarrollan una estructura a nivel de la constricción primaria llamada cinetócoro, a partir de ella se van a ir organizando unos microtúbulos que crecen desde la zona ecuatorial hacia los polos, se denominan microtúbulos cinetocóricos. Cuando se completa este proceso se puede observar al microscopio una estructura que se llama placa ecuatorial o placa metafásica.

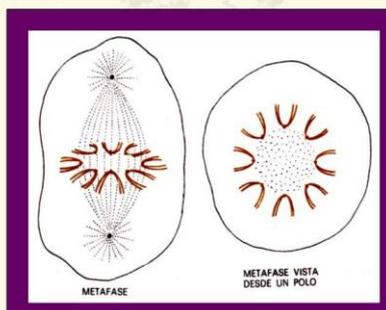
Los cromosomas, que ya están completamente replegados o condensados, se sitúan en forma de V (cada rama de la V es doble) con el centrómero en el vértice de la V dirigido hacia el huso acromático y los cuatro brazos del cromosoma dirigidos hacia la periferia celular. La estructura así formada se denomina **placa ecuatorial**, ya que todos los cromosomas se disponen en el "plano ecuatorial".



METAFASE

Se caracteriza por:

- Centríolos situados en los polos de la célula
- Huso acromático totalmente desarrollado
- Cromosomas situados en un plano ecuatorial, perpendiculares al huso, con el centrómero dirigido hacia el interior (estrella madre)
- Cromátidas sujetas por su centrómero a un filamento del huso



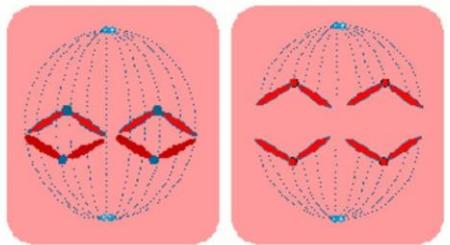
Anafase

Esta etapa comienza bruscamente como si obedeciera a una señal, parece ser que está

relacionada con la entrada de calcio en la célula.

Durante ella el centrómero se rompe, los microtúbulos cinetocóricos se acortan poco a poco, todo esto provoca que las cromátidas se separen y que inicien una lenta migración hacia los polos.

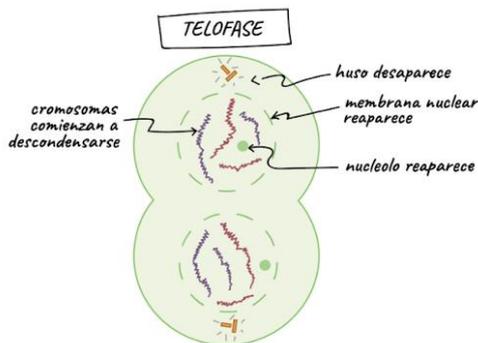
En la **anafase tardía**, se observa la migración de los cromosomas hijos hacia polos opuestos, debido a la contracción de las fibras del huso acromático. Es en este momento cuando se inicia la distribución equitativa de la información genética; si la célula es humana, hacia cada polo estarán emigrando 46 cromosomas simples



Anafase temprana y Anafase tardía

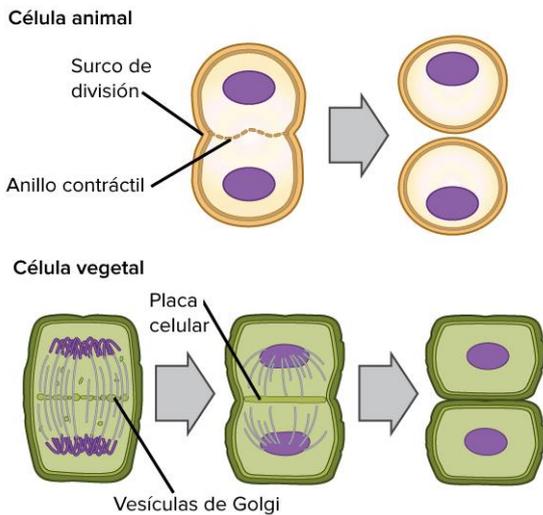
Telofase

Durante esta etapa los cromosomas han alcanzado los polos de la célula y comienzan a desenrollarse pasando poco a poco al estado de cromatina, al mismo tiempo se organiza poco a poco, el nucleolo y también la membrana nuclear.



Al final de la anafase y durante toda la telofase se desarrolla el proceso de la citocinesis; aunque el proceso es muy similar existen algunas diferencias entre células animales y vegetales.

6.3. Citocinesis en las células animales y vegetales



Citocinesis en células animales

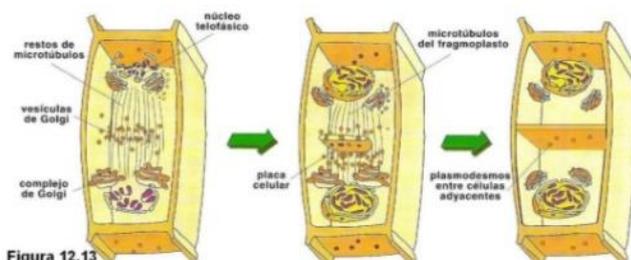
Se realiza por estrangulamiento de la zona ecuatorial de la célula madre debido a la contracción de una estructura formada por microfilamentos llamada anillo contráctil que se sitúa en la cara interna de membrana plasmática, esta estructura se cierra poco a poco y termina por separar a las células hijas.

Citocinesis en células vegetales

En estas células la rigidez de la membrana impide su estrangulamiento, en este caso la citocinesis se realiza a partir de vesículas que proceden del aparato de Golgi y que contienen un polisacárido llamado pectina. Estas vesículas se van fusionando en la zona ecuatorial formando una estructura llamada placa celular, que termina por separar a las células hijas. Generalmente la placa celular suele presentar pequeños orificios que terminan por formar canales de comunicación entre células vecinas, se llaman plasmodesmos.

Citocinesis en células vegetales:

- No puede haber estrangulamiento de la célula (pared celular)
- Formación de Fragmaoplasto
- Unión de vesículas del aparato de Golgi.
- Quedan uniones entre los citoplasmas vecinos (plasmodesmos)



Al fusionarse las vesículas para formar la placa celular la membrana de estas pasa a formar la membrana plasmática de las células hijas, mientras que su contenido forma la primera capa de la pared celular que se denomina lámina media.

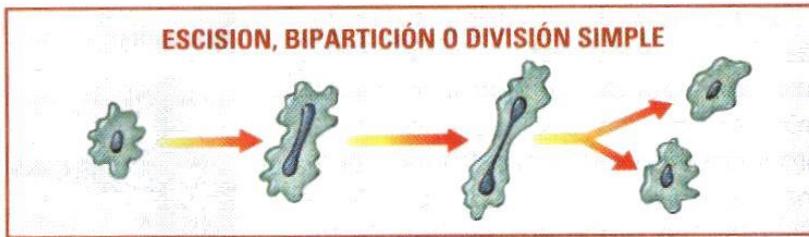
Formas especiales de citocinesis (o de división celular)

Existen varias modalidades de división celular, que se diferencian en la citocinesis, ya que el proceso de cariocinesis no admite variaciones. Se comentan las siguientes:

Bipartición. Tras la división del núcleo, el citoplasma se divide en dos partes aproximadamente iguales en tamaño. Es típica de muchos organismos unicelulares como la mayor parte de los grupos de protozoos, algas (también hay numerosos grupos unicelulares) y, por ejemplo, de las células en las primeras divisiones de los embriones de los seres vivos pluricelulares.

Gemación. Una vez que se ha duplicado el núcleo, se divide el citoplasma pero de manera desigual, resultando las dos células hijas de diferente tamaño. Es típica de las levaduras (grupo de hongos unicelulares).

Esporulación. Consiste en una serie de cariocinesis sucesivas dentro de la célula madre sin que tenga lugar la citocinesis. Posteriormente, cada núcleo hijo se rodea de una pequeña porción de citoplasma y membrana celular. En un momento dado, la célula madre se romperá liberando al medio multitud de células hijas que reciben el nombre de esporas. Este modo de división es típico de un grupo de protozoos llamados precisamente esporozoos; como ejemplos pueden mencionarse el plasmodio (agente productor de la malaria o paludismo). [Existen muchos tipos de esporas. En general todas ellas son células que presentan una cubierta externa resistente a agentes como el calor y la desecación y que les permiten la supervivencia ante condiciones extremas. Cuando el ambiente es adecuado, las células rompen la "cáscara" y comienzan su vida activa].



La célula madre se divide en dos células hijas iguales. Es la modalidad más común y muy frecuente en las bacterias.



La célula madre produce células hijas más pequeñas o yemas, que se desprenden y forman células semejantes a ella. Es muy frecuente en las levaduras.



El núcleo se divide muchas veces, formando una célula polinucleada, que origina numerosas células hijas. Se da en los protozoos.

Importancia biológica de la mitosis

La mitosis es un proceso común a todo tipo de células eucarióticas, haploides o diploides, mediante el cual se garantiza que las células hijas tengan la misma información genética y el mismo número de cromosomas, que la célula madre.

En los organismos unicelulares la mitosis da lugar a la formación de nuevos individuos.

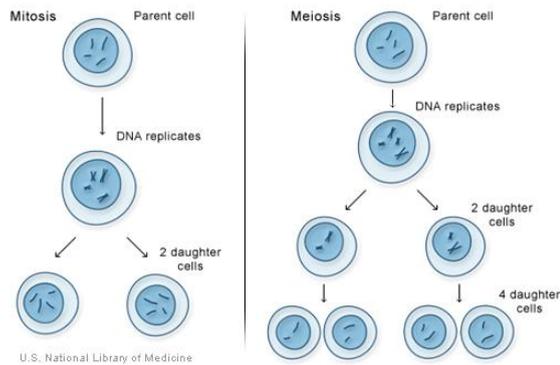
En los pluricelulares garantiza el crecimiento y el desarrollo así como la regeneración de células y de tejidos dañados. Es necesaria para que, desde el mismo cigoto y durante el crecimiento y desarrollo del individuo, las nuevas células que se forman tengan **toda** la información genética y que sea la **misma**. De igual forma, cuando se reparan los tejidos dañados, las nuevas células deben ser idénticas a las que reemplazan.

6.4. La meiosis: etapas e importancia biológica

Es otro tipo de división del núcleo, a diferencia de la mitosis es una división reduccional ya que las células hijas van a presentar la mitad del número de cromosomas que corresponde a la dotación diploide de la especie.

Consta de dos divisiones sucesivas que van precedidas de una sola duplicación del ADN; de

forma esquemática el proceso sería el siguiente:



MEIOSIS

- Interfase: duplicación del ADN

- Primera división meiótica

- Profase I
 - Leptoteno
 - Cigoteno
 - Paquiteno
 - Diploteno
 - Diacinesis
- Metafase I
- Anafase I
- Telofase I
- Citocinesis

- Segunda división meiótica

- Profase II
- Metafase II
- Anafase II
- Telofase II
- Citocinesis

PROFASE I

Es la etapa más compleja y en la que se producen los acontecimientos más destacados de la meiosis, para estudiarla se divide en cinco periodos:

1-Leptoteno:

Debido a la condensación de la cromatina, en el núcleo de la célula se pueden observar los cromosomas, estos son dobles ya que están formados por dos cromátidas, aunque aún no se pueden observar.

Leptoteno:

- ✓ Los cromosomas aparecen como largos filamentos
- ✓ Cada cromosoma ya está constituido por dos cromátidas, pero aún no se observan bien diferenciadas al microscopio óptico, y se encuentran unidos en diversos puntos a la envoltura nuclear.

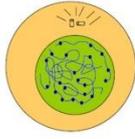
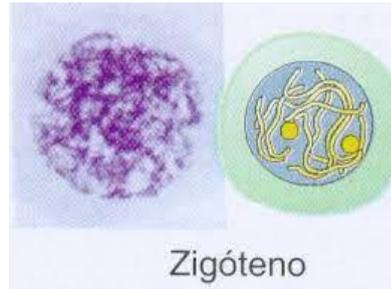


Fig. 4 Profase I: Leptoteno.



Zigóteno

2-Cigoteno:

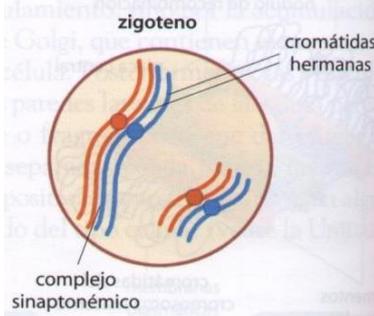
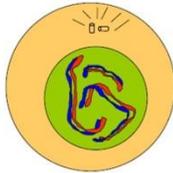
Se produce un proceso que se denomina sinapsis, consiste en el apareamiento gen a gen de los cromosomas homólogos, este proceso comienza por un extremo y avanza poco a poco hacia el otro como si de una cremallera se tratara, al final los dos cromosomas homólogos permanecen íntimamente unidos por una estructura de naturaleza proteica llamada complejo sinaptonémico.

Zigoteno:

En esta etapa los cromosomas homólogos se aparean en toda su longitud.

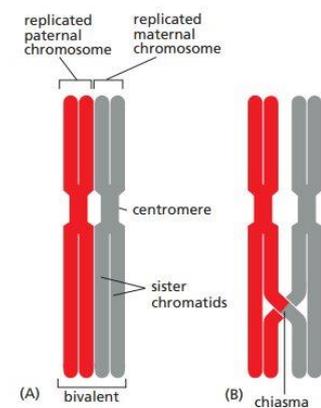
Este apareamiento puede comenzar bien por el centro o por los extremos y continuar a todo lo largo.

Cuando los homólogos se aparean cada gen queda yuxtapuesto con su homólogo. (Sinapsis)

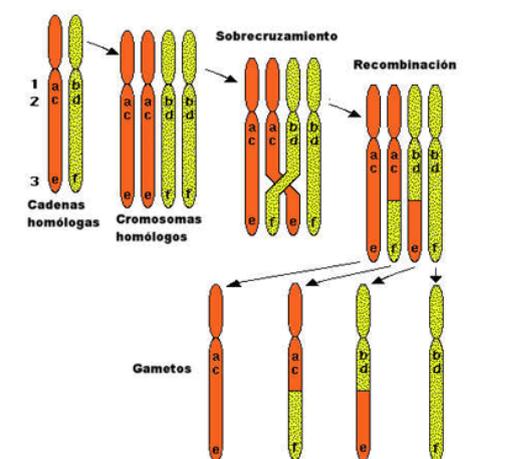


3-Paquiteno:

Es el periodo más importante ya que durante él se produce el entrecruzamiento (crossing over) de dos cromátidas, una de cada cromosoma. Durante este proceso y al azar se producen cortes a la misma altura en ambas cromátidas y posteriormente los fragmentos se sueldan de forma cruzada, el resultado se conoce como recombinación génica, esto significa que a partir de este momento las cromátidas que participan en el entrecruzamiento no sean completamente maternas o paternas sino que llevan una mezcla de los genes de ambos progenitores.

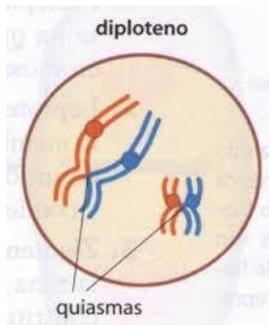


Sobrecruzamiento y recombinación



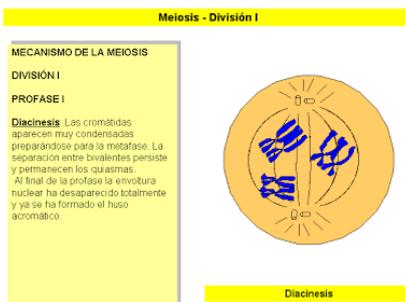
4-Diploteno:

Durante este periodo comienza la separación de los cromosomas homólogos, al final estos sólo permanecen unidos por unas zonas llamadas quiasmas que coinciden con los puntos donde se ha producido la recombinación.



5-Diacinesis:

Durante este periodo se forma el huso acromático y se desorganiza la membrana nuclear.

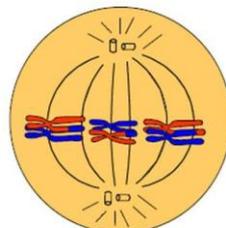


METAFASE I

Las parejas de cromosomas homólogos se dirigen al plano ecuatorial de la célula y se unen a los microtúbulos del huso acromático.

METAFASE I

Los **bivalentes** se disponen sobre el ecuador del huso, pero lo hacen de tal forma que **los dos cinetocoros** que tiene **cada homólogo se orientan hacia el mismo polo**, que es el opuesto hacia el que se orientan los dos cinetocoros del otro homólogo.



ANAFASE I

Al acortarse los microtúbulos cinetocóricos, los quiasmas se rompen y se separan los cromosomas

homólogos de manera que se dirigen a polos distintos de la célula.



TELOFASE I

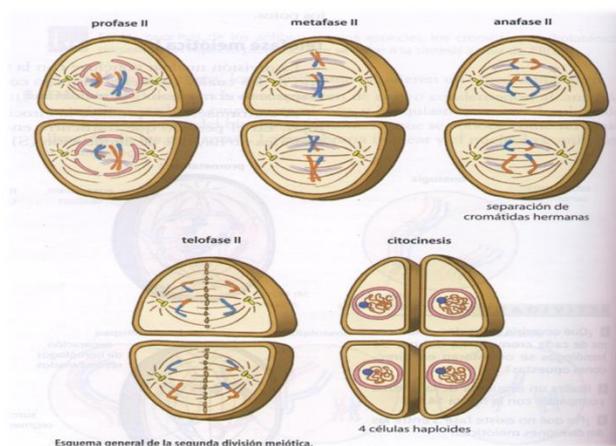
Al mismo tiempo que se produce la citocinesis, se organiza la membrana nuclear y el nucleolo.



INTERCINESIS

Es un breve periodo de reposo que se para a las dos divisiones meióticas, en el que no se produce una duplicación del ADN y en el que se produce una ligera descondensación de los cromosomas.

La segunda división meiótica es idéntica a la mitosis, lo más destacado es que durante la anafase II se separan las cromátidas.



Importancia biológica de la meiosis

La **meiosis** tiene importancia por dos hechos:

- **Produce los gametos, células sexuales haploides.** Por la meiosis se obtienen células con mitad de cromosomas que las células somáticas. De este modo, al unirse en la fecundación con otro gameto, la célula huevo o cigoto tendrá el número de cromosomas (diploide) de la especie. Si no hubiera meiosis, en cada reproducción se duplicaría el número de cromosomas.

- **Es una fuente de variabilidad genética.** La **recombinación genética** de la **Profase I**, en la que cada gameto contiene información de ambos progenitores, hace que la descendencia contenga una información genética única. La selección natural determinará qué variaciones son beneficiosas o perjudiciales, favoreciendo la evolución de las especies.

La variabilidad genética de una especie es muy importante ya que la selección natural va eligiendo las mejores combinaciones; de esta forma, las especies van evolucionando y están cada vez mejor adaptadas al medio y las condiciones en las que viven.

Cuando las condiciones se vuelven desfavorables, la selección natural siempre podrá elegir entre las múltiples combinaciones genéticas, a aquellas que mejor se adaptan a los cambios en las condiciones ambientales, actuando de esta forma como un seguro para la supervivencia de la especie.

BLOQUE II: LA NUTRICIÓN CELULAR

La nutrición constituye una de las funciones vitales, es decir, una de las características propias y exclusivas de los seres vivos. Estos, son sistemas muy organizados que necesitan intercambiar continuamente materia y energía con el medio a fin de mantener este alto grado de organización. Podemos definir la nutrición, a nivel celular, como el conjunto de transformaciones que sufren los nutrientes y que permiten a la célula obtener la energía necesaria para su actividad vital y la materia necesaria para la síntesis, conservación y reproducción de sus estructuras.

Atendiendo a la fuente de carbono utilizada, podemos distinguir dos tipos de nutrición:

1.- Nutrición autótrofa: utiliza como fuente de carbono el CO₂. Esta nutrición también utiliza compuestos inorgánicos muy simples, como son, el agua y las sales minerales; necesita también una fuente de energía que puede ser: la energía solar, en la nutrición autótrofa fotosintética o puede ser la energía que se desprende en las reacciones de oxidación de determinados sustratos inorgánicos, como ocurre en la nutrición autótrofa quimiosintética.

2.- Nutrición heterótrofa: utiliza como fuente de carbono a compuestos orgánicos que han sido formados por otros seres vivos.

Etapas de la nutrición heterótrofa

1. Captura e ingestión del alimento (Intercambios a través de la membrana)
2. Digestión celular
3. metabolismo
4. Excreción y secreción

1. Captura e ingestión del alimento (Intercambios a través de la membrana)

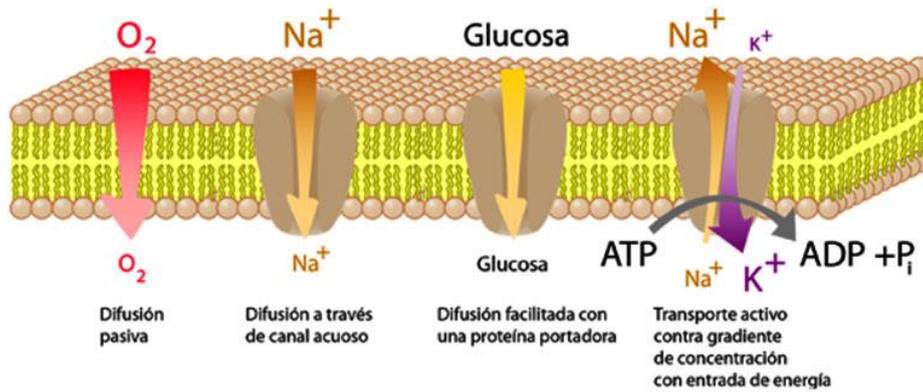
➤ Transporte pasivo

- Ósmosis
- Difusión
 - Difusión simple
 - A través de la bicapa lipídica
 - A través de canales
 - Abiertos permanentemente
 - Regulados
 - mediante ligandos
 - mediante voltaje
 - Difusión facilitada

➤ Transporte activo

➤ Intercambio de macromoléculas y partículas

- Endocitosis
 - Pinocitosis
 - Fagocitosis
 - Endocitosis mediada por receptores
- Exocitosis

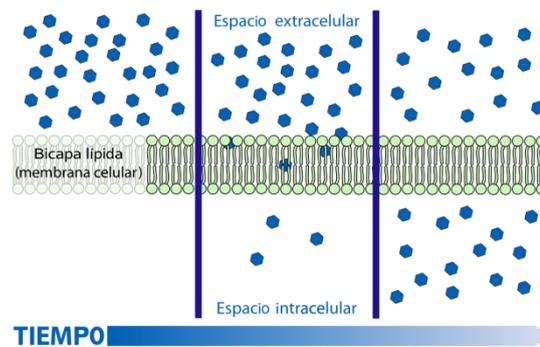


La membrana actúa como una barrera selectiva de permeabilidad que regula los intercambios entre la célula y el medio y permite a la célula mantener un medio interno constante. De forma general podemos distinguir dos grandes tipos de transporte:

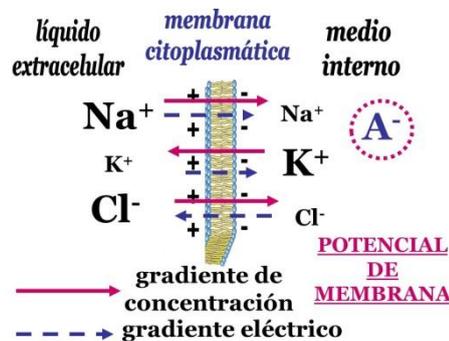
- A. **Transporte pasivo:** se realiza sin que suponga ningún gasto de energía para la célula, esto es debido a que siempre se realiza a favor de gradiente.

El gradiente puede ser:

- a. Gradiente de concentración: la membrana separa dos medios con distinta concentración y las moléculas e iones siempre se desplazan desde la zona donde la concentración es mayor a la zona donde la concentración es menor.



- b. Gradiente eléctrico: en este caso la membrana separa medios con distinta carga eléctrica. El citoplasma siempre es negativo con respecto al medio extracelular.



- c. El conjunto de estos dos gradientes afecta a las moléculas con carga y a los iones y recibe el nombre de gradiente electroquímico. [Puede haber mucho calcio en el exterior de la membrana y muy poco dentro, de modo que este ion tenderá a entrar por

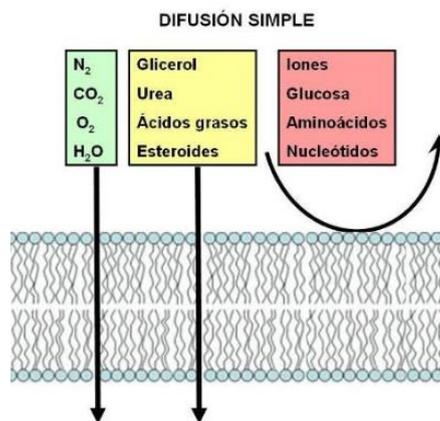
gradiente de concentración, pero si hubiera dentro de la célula más iones positivos que en el exterior (del tipo que sean), no entrará todo el calcio que pudiera por concentración, ya que el gradiente eléctrico también cuenta (las cargas, positivas en este caso también se moverán de donde hay más a donde hay menos].

Se distinguen las siguientes modalidades de transporte pasivo:

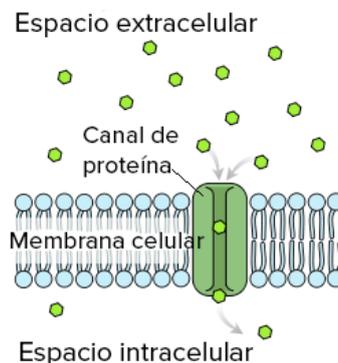
1.- Ósmosis (reparar)

2.- Difusión simple: En este caso las partículas atraviesan la membrana por sí mismas, puede ser:

A través de la bicapa lipídica: así se transportan moléculas apolares como por ejemplo las hormonas esteroides, también anestésicos y fármacos de naturaleza lipídica; también pasan de esta forma gases como el oxígeno (O₂) y el nitrógeno (N₂), e incluso pequeñas moléculas polares, pero sin carga, como la urea o el CO₂.



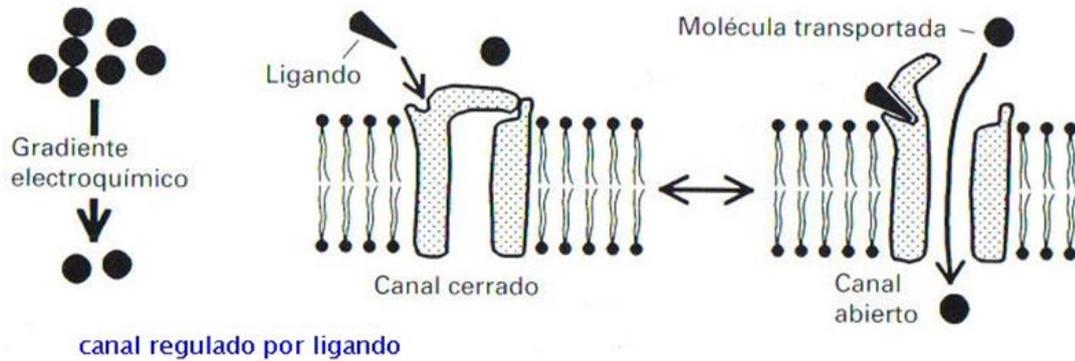
A través de canales: de esta forma se transportan los iones; los canales son proteínas que debido a su estructura delimitan un canal que atraviesa totalmente la membrana (proteínas transmembrana).



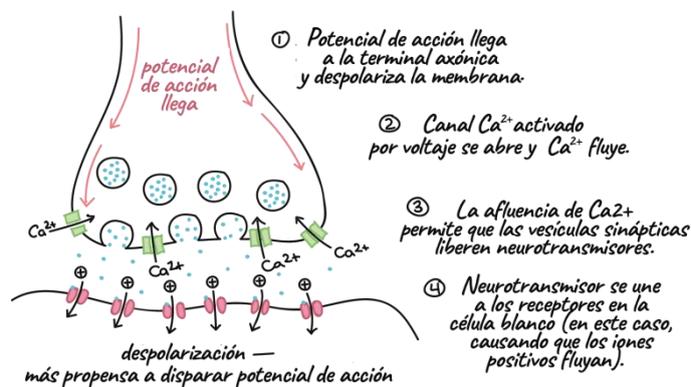
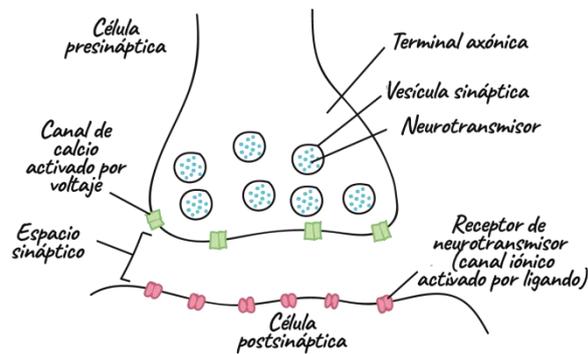
Aunque existen, canales abiertos permanentemente, la mayoría son canales regulados (normalmente están cerrados y sólo se abren cuando reciben un estímulo procedente del medio extracelular), podemos distinguir entre:

- canales regulados mediante ligandos: presentan un receptor, en la parte de la proteína que está en contacto con el medio extracelular, para determinadas moléculas que de forma general

se denominan ligandos, suelen ser las hormonas y los neurotransmisores. La unión del receptor y del ligando provoca un cambio en la estructura de la proteína que abre el canal.



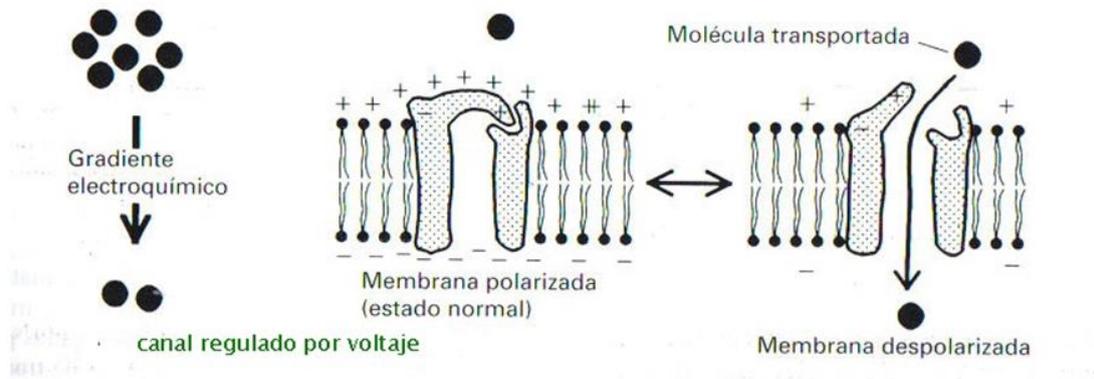
Un ejemplo de estos canales son los que se encuentran en las membranas de las neuronas y que hacen posible el paso de un impulso nervioso de una neurona a la siguiente.



Los neurotransmisores actúan como ligandos para los canales del sodio, cuando estos canales se abren, el sodio entra por difusión en la neurona y genera un impulso nervioso.

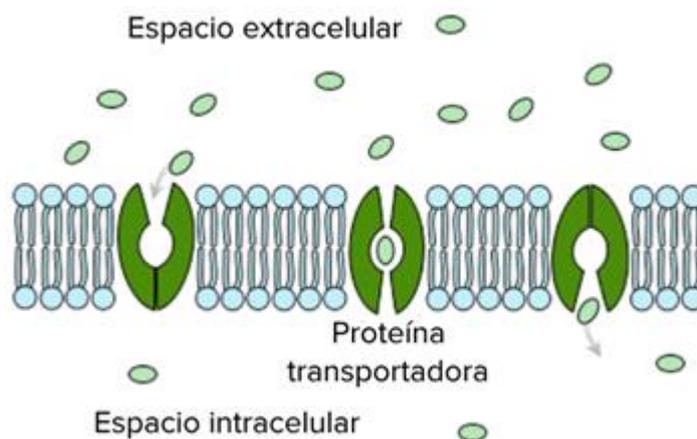
- Canales regulados mediante voltaje: son parecidos a los anteriores, la única diferencia, es que el estímulo que provoca la apertura del canal, es una alteración en el potencial de la membrana, como consecuencia de la llegada de un impulso nervioso.

Un ejemplo de estos canales son los canales para el calcio que están situados en la membrana de los botones terminales de las neuronas.



3.- Difusión facilitada:

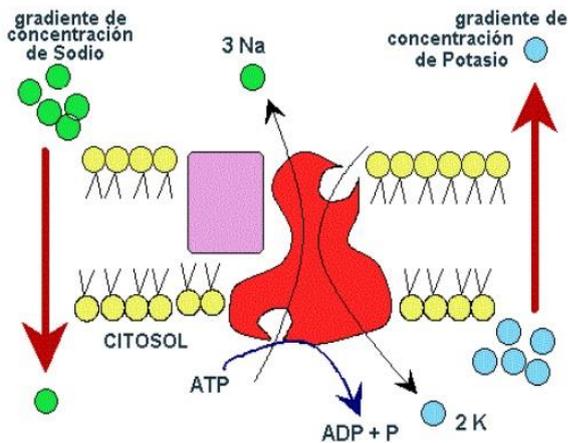
Es otra modalidad de transporte pasivo. Se diferencia de la difusión simple en que las moléculas atraviesan la membrana ayudadas por unas proteínas transportadoras llamadas permeasas. Es un tipo de transporte muy específico cuya intensidad está condicionada por el número de moléculas transportadoras. Las permeasas al unirse a su sustrato sufren un cambio estructural que arrastra a la molécula al interior de la célula; así se transportan aminoácidos, monosacáridos, disacáridos, etc.



B. Transporte activo: A diferencia del transporte pasivo supone un gasto de energía para la célula debido a que siempre se realiza en contra de gradiente. La energía procede de la hidrólisis del ATP, al igual que ocurre con la difusión facilitada también intervienen proteínas específicas transportadoras. El sistema de transporte activo más importante es la bomba de sodio y potasio, está situada en la membrana de todas las células y por cada molécula de ATP que hidroliza bombea hacia el medio extracelular tres iones de sodio y hacia el citoplasma dos iones de potasio, todo esto termina por provocar una diferencia de carga a ambos lados de la membrana, que tiene un valor de -75 mV , que se denomina potencial de membrana o potencial de reposo; esta diferencia de potencial es

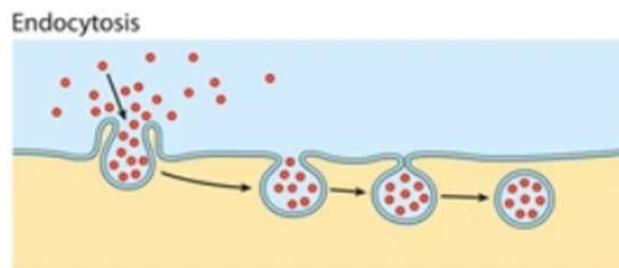
fundamental en la transmisión de impulsos nerviosos entre las neuronas y en la recepción de señales por parte de las células.

Transporte activo



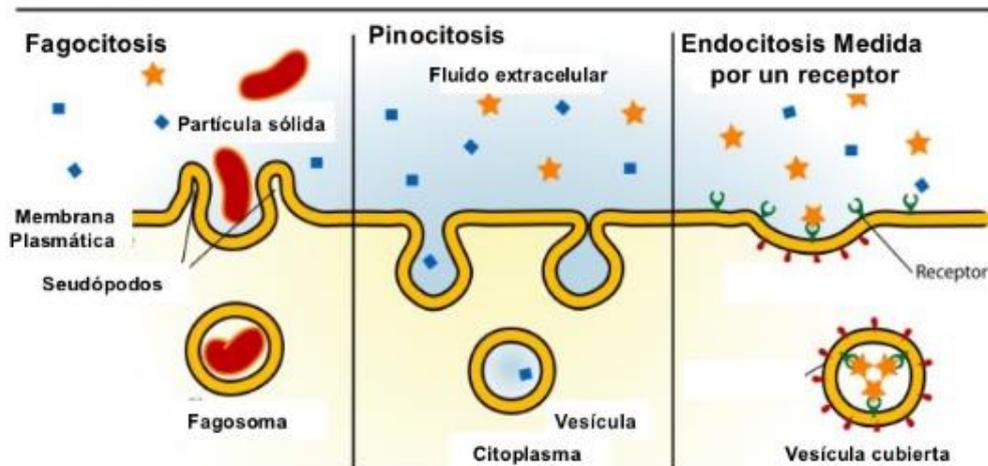
C. Intercambio de macromoléculas y de partículas

Las células también son capaces de incorporar macromoléculas y partículas, como pueden ser fragmentos celulares, bacterias, virus, etc. El proceso se denomina endocitosis y consiste en la formación de una invaginación de la membrana que termina por cerrarse y pasar al citoplasma formando una vesícula.

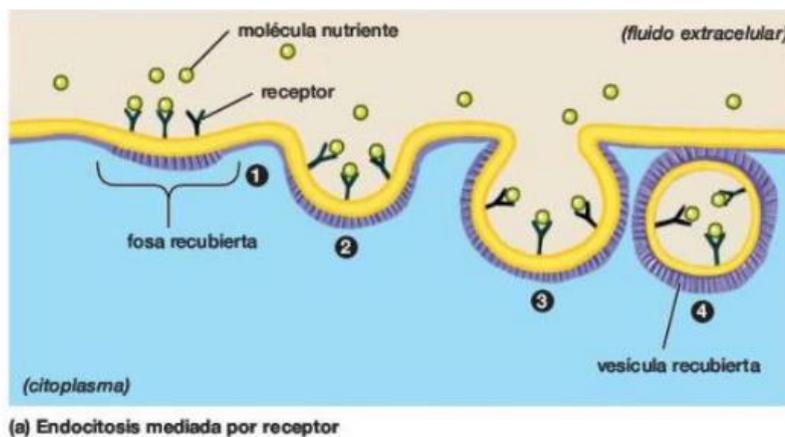


Se conocen tres tipos de endocitosis:

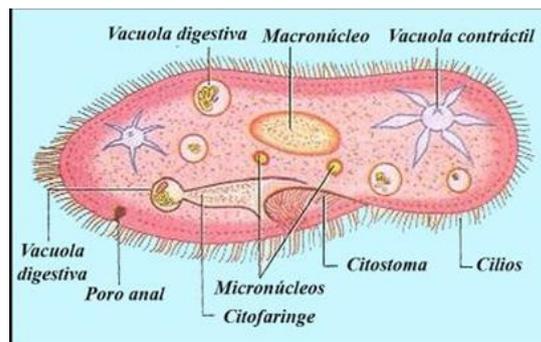
- ✓ La pinocitosis: las vesículas son pequeñas y contienen líquidos, que pueden llevar pequeñas moléculas disueltas.
- ✓ La fagocitosis: las vesículas son de mayor tamaño y suelen contener fragmentos celulares o microorganismos, suele estar relacionada con células que presentan movimiento ameboide, que son capaces de emitir unas prolongaciones de la membrana llamadas pseudópodos. En nuestro caso la fagocitosis tiene una función defensiva y la realizan dos grupos de glóbulos blancos, los neutrófilos y los macrófagos.



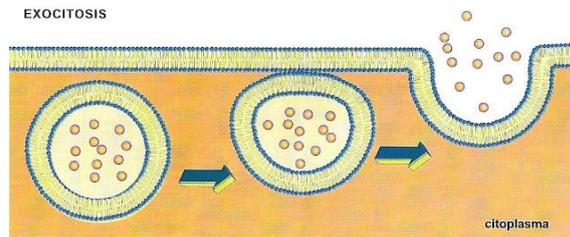
- ✓ Endocitosis mediada por receptores: es un sistema muy específico que permite la incorporación de distintas sustancias, que se unen de forma específica a unos receptores situados en la membrana. Así se transporta el hierro o el colesterol.



Algunos protozoos ciliados tienen una membrana rígida que impide su invaginación, en este caso la incorporación de las partículas se realiza a través de una abertura rodeada de cilios, llamada citostoma. Los cilios crean unas corrientes circulares que arrastran a las partículas al interior de la célula.



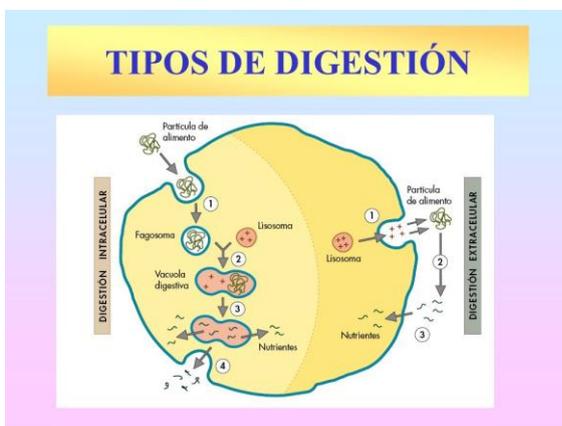
Existe un proceso contrario a la endocitosis mediante el cual la célula puede expulsar distintas sustancias hacia el medio extracelular, se denomina exocitosis.



2. Digestión celular

La digestión celular es un proceso que consiste en la descomposición de las macromoléculas orgánicas (polímeros) en moléculas orgánicas sencillas (monómeros) que puedan ser utilizadas por la célula como materia prima, bien para la construcción de su propia materia o bien para la obtención de energía. Se trata de un proceso químico que requiere la presencia de enzimas específicas (enzimas digestivas), que intervienen en reacciones de hidrólisis. Los orgánulos directamente involucrados en este proceso son los lisosomas y las vacuolas y hay que destacar el papel de la membrana citoplasmática. Indirectamente también colaboran los ribosomas y el retículo endoplasmático rugoso produciendo y almacenando proteínas respectivamente y el aparato de Golgi, produciendo las vesículas con estas proteínas enzimáticas. Puede ser:

- Extracelular: cuando la célula libera enzimas al medio extracelular que realizan la digestión y posteriormente la célula absorbe las sustancias nutritivas, es característica de los hongos.



- Intracelular: se realiza dentro de la célula, puede ser:
 1. Heterofágica: se realiza a partir de materiales que proceden del medio extracelular.
 2. Autofágica: cuando se digieren componentes de la propia célula.

Heterofágica

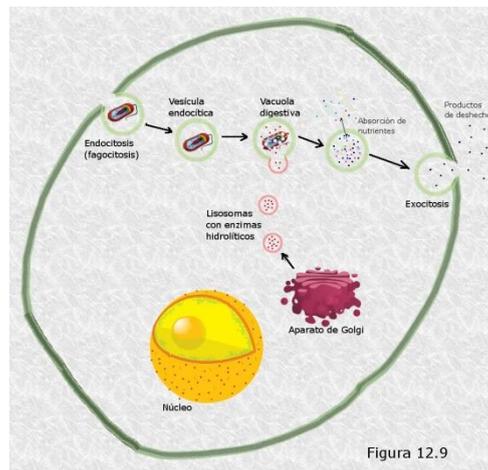
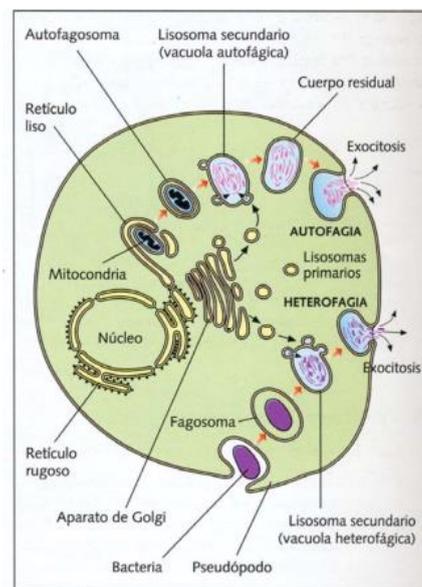


Figura 12.9

La digestión autofágica: es similar a la anterior con la diferencia de que se digieren componentes de la propia célula, en este caso son rodeados por membranas del retículo endoplasmático liso, se forman así unas vesículas que se denominan autofagosomas; este proceso permite la renovación de las estructuras de la célula y además garantiza la supervivencia de ésta en periodos de ayuno prolongado.



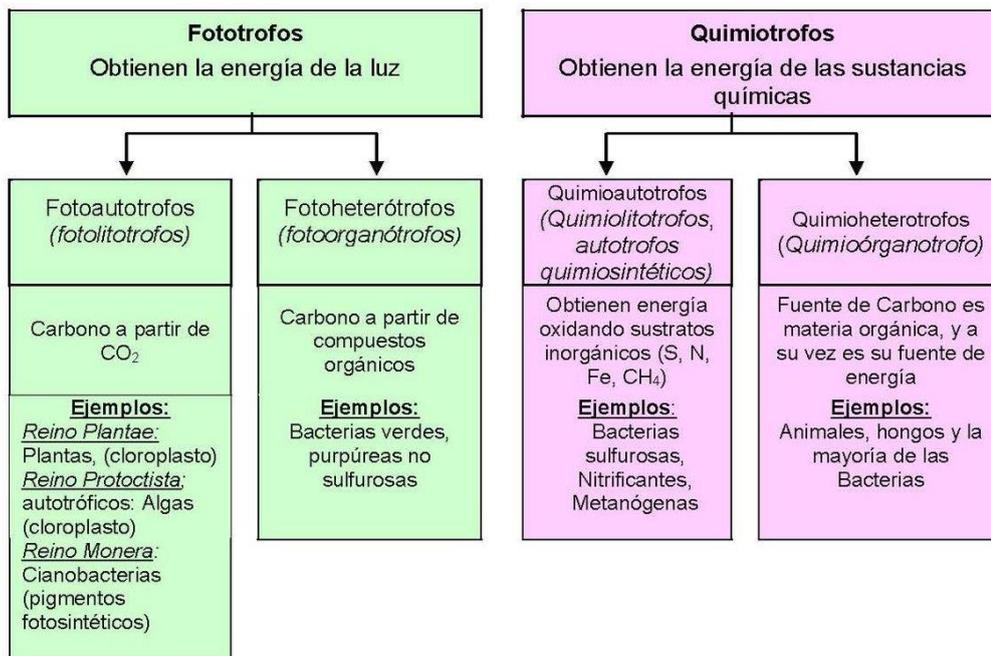
7 Esquema de la acción de los lisosomas en heterofagia y en autofagia.

3. Metabolismo

Lo definimos como el conjunto de reacciones catalizadas por enzimas que se producen en nuestras células. Podemos distinguir hasta cuatro tipos de metabolismo atendiendo a la fuente de carbono y al tipo de energía utilizada:

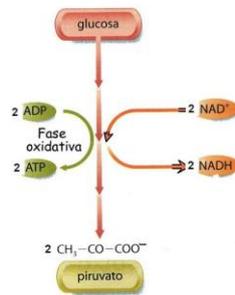
Metabolismo	Fuente de carbono	Fuente de energía	Organismos
Fotolitótrofo	CO ₂	Luz solar	Vegetales Algas Bacterias fotosintéticas
Fotoorganótrofo	Compuestos orgánicos	Luz solar	Bacterias
Quimiolitótrofo	CO ₂	Reacciones Redox de sustratos inorgánicos	Bacterias quimiosintéticas
Quimiorganótrofos	Compuestos orgánicos	Reacciones Redox de sustratos orgánicos	Animales, hongos, protozoos, bacterias

Clasificación de organismos según su metabolismo

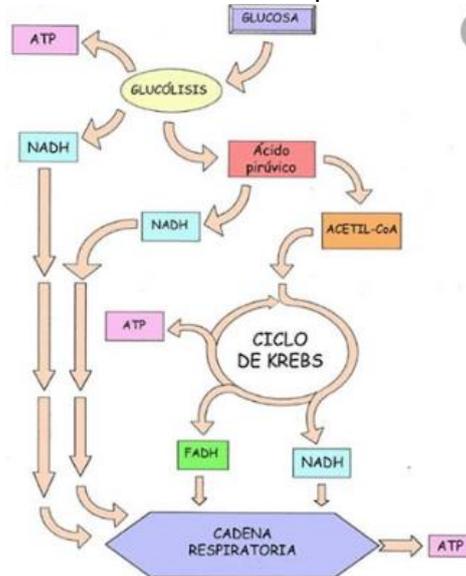


El estudio de las reacciones metabólicas es muy complejo, para esto se agrupan formando rutas metabólicas, que son secuencias de reacciones que relacionan a dos compuestos muy importantes, por ejemplo la glucólisis, es la ruta de degradación de la glucosa que conduce a la formación de ácido pirúvico, está formada por diez reacciones:

1- LA GLUCOLISIS

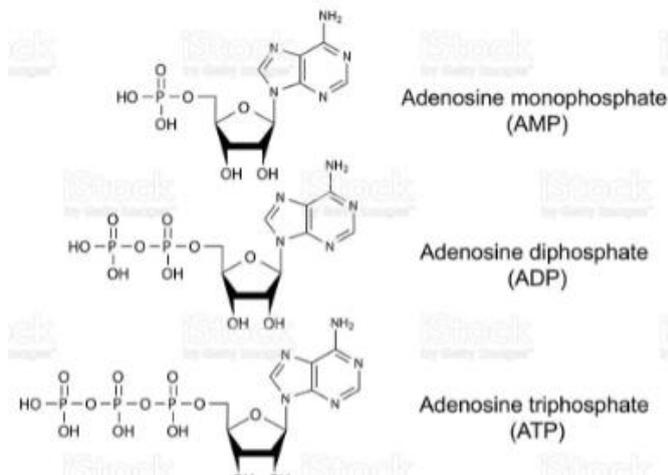


Las rutas metabólicas no son independientes sino que presentan intermediarios metabólicos comunes, de manera, que la célula utiliza unas u otras dependiendo de sus necesidades.



Muchas de las reacciones que se producen continuamente en nuestras células son incompatibles, sin embargo se desarrollan en perfecta armonía debido a su compartimentación en el interior de los distintos orgánulos.

En el metabolismo existen reacciones exergónicas (van acompañadas de una liberación de energía) y reacciones endergónicas (no se desarrollan espontáneamente sino van acompañadas de un aporte de energía). Estas reacciones suelen estar separadas espacial y temporalmente, por esto las células han desarrollado unos sistemas químicos que permiten almacenar la energía y liberarla en momento y en el lugar preciso. El sistema más importante consiste en la formación o la degradación de los enlaces entre las moléculas de adenosín fosfatos.



Las rutas metabólicas se suelen separar en dos grandes grupos:
 Las rutas anabólicas (anabolismo) y las rutas catabólicas (catabolismo).

Las primeras son reacciones de síntesis que parten de moléculas pequeñas y oxidadas y conducen a la formación de moléculas complejas y reducidas. Estas reacciones van acompañadas de un aporte de energía (puede ser la luz solar, la que se desprende en la oxidación de sustratos inorgánicos o la que se obtiene de la hidrólisis del ATP).

Las reacciones del catabolismo son reacciones de degradación que parten de moléculas complejas y conducen a la formación de moléculas simples y oxidadas.

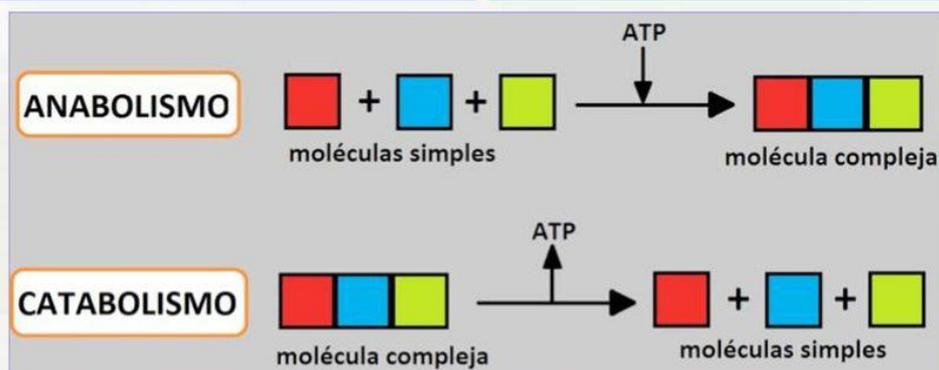
Metabolismo

CATABOLISMO

- Son reacciones de degradación.
- Transforman compuestos complejos en simples.
- Liberan energía.
- Son reacciones exergónicas.
- Son reacciones de oxidación

ANABOLISMO

- Son reacciones de biosíntesis.
- Transforman compuestos simples en complejos.
- Necesitan energía.
- Son reacciones endergónicas
- Son reacciones de reducción.

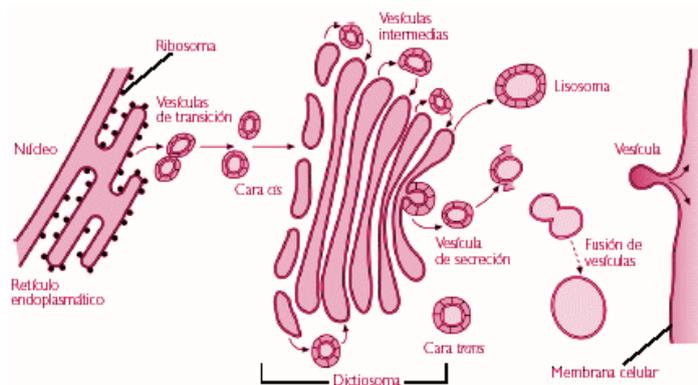


4. Excreción y secreción

Son procesos que permiten la eliminación de sustancias que proceden del metabolismo. En la excreción se eliminan sustancias de desecho, en la secreción se eliminan sustancias necesarias en otras zonas del organismo.

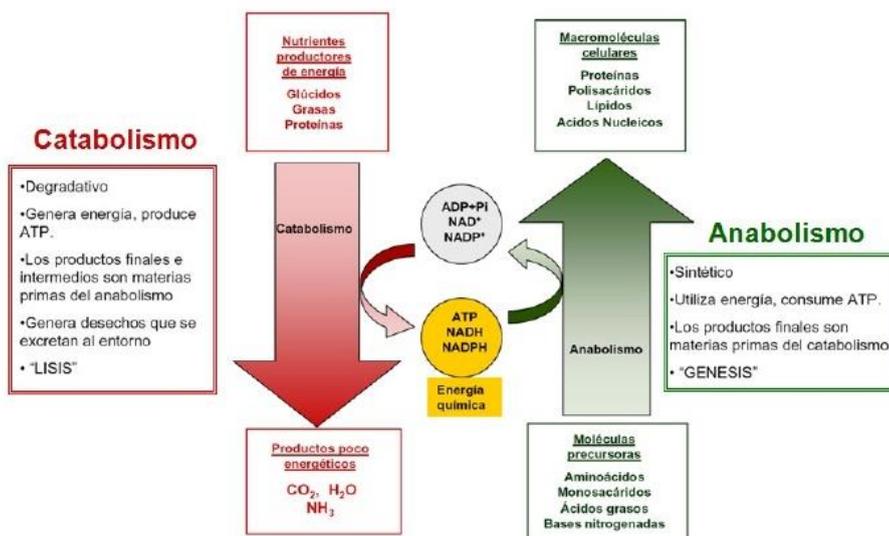
Ejemplos de secreción: formación del glucocálix de la membrana plasmática; formación de la pared celular en células vegetales o de la pared bacteriana; formación de la sustancia intercelular del tejido conjuntivo; expulsión de las hormonas al medio interno del organismo; expulsión al medio extracelular de enzimas digestivas.

La membrana de las vesículas secretoras se incorpora a la membrana plasmática y luego se recupera por endocitosis. Es decir, existe continuamente un equilibrio entre exocitosis y endocitosis que asegura el volumen celular (todo ello posibilitado por la estructura en mosaico fluido de las membranas celulares).



EL METABOLISMO

Características del catabolismo y anabolismo



Todos los seres vivos intercambian materia y energía con su entorno para automantenerse y reproducirse: en esto consisten las funciones vitales. En muchos casos, los materiales necesarios que se captan del exterior son complejos (alimentos) y han de sufrir un conjunto de transformaciones o cambios químicos (digestión) para poder ser útiles a las células en forma de biomoléculas sencillas (nutrientes). Además, en el interior de las células estos compuestos químicos o bien tienen una **función energética** y son descompuestos con el fin de suministrar energía a las actividades celulares o bien tienen una **función plástica** y son la “materia prima” para la biosíntesis, tanto de los compuestos estructurales de las células como de las sustancias intercelulares de los diferentes tejidos que hay en los organismos pluricelulares.

1.- EL CATABOLISMO

A generalidades

B catabolismo de glúcidos

C catabolismo de lípidos

D catabolismo de prótidos

E catabolismo de ácidos nucleicos

GENERALIDADES

Es la fase degradativa del metabolismo, su principal finalidad es la obtención de energía, sus reacciones son de oxidación-reducción, en las que un compuesto pierde electrones y se oxida a expensas de que otro compuesto capta dichos electrones y se reduce. Como en el catabolismo los compuestos que se oxidan son compuestos orgánicos, ricos en hidrógeno, la oxidación siempre va acompañada de la pérdida de protones, esos son recogidos por los coenzimas (NAD, NADP, FAD), de las enzimas que catalizan estas reacciones, que se denominan deshidrogenasas. Se conocen dos grandes procesos dentro del catabolismo, son la respiración celular y las fermentaciones, las principales diferencias entre ellos son las siguientes:

1. La respiración es característica de células eucarióticas, mientras que las fermentaciones son características de células procarióticas (nuestras células musculares también utilizan una fermentación como mecanismo alternativo a la respiración en ausencia de oxígeno).
2. En la respiración el dador de electrones es un compuesto orgánico mientras que el aceptor final de los electrones es un compuesto inorgánico, puede ser el oxígeno en la respiración aerobia o los iones nitrato o sulfato en la respiración anaerobia. En las fermentaciones tanto el dador como el aceptor de los electrones son compuestos orgánicos.
3. La respiración se desarrolla en las mitocondrias mientras que las fermentaciones se desarrollan en el citoplasma.
4. En la respiración se produce una oxidación total de los sustratos, por esto sus productos finales son CO₂, H₂O y energía. En las fermentaciones se produce una oxidación parcial de los sustratos, por eso entre sus productos finales siempre aparece un compuesto orgánico que aún contiene mucha energía y que caracteriza a cada fermentación.

5. El rendimiento energético es muy superior en la respiración, por ejemplo, en la oxidación de la glucosa por medio de las fermentaciones se obtienen dos moléculas de ATP, mientras que su oxidación en la respiración proporciona 38 moléculas de ATP.
6. En las fermentaciones los electrones y los protones pasan directamente desde el dador al aceptor final, sin embargo en la respiración los electrones y los protones son captados por un complejo sistema de moléculas transportadoras que forman la llamada cadena transportadora de electrones que está situada en la membrana mitocondrial interna.

B. Catabolismo de los glúcidos

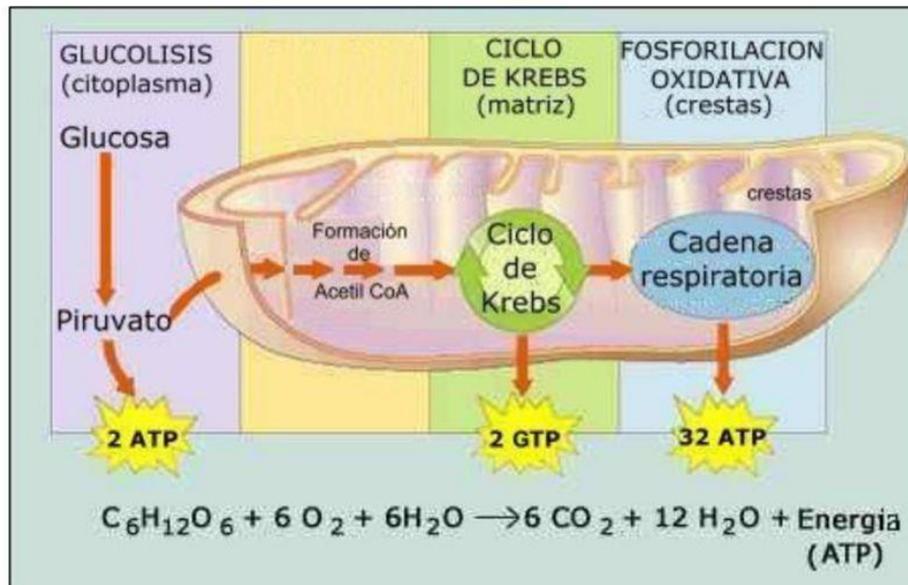
Comienza en el tubo digestivo donde enzimas específicas hidrolizan a los polisacáridos y a los disacáridos hasta liberar a los monosacáridos, también se produce la hidrólisis del glucógeno en las células del hígado y en las células musculares; la hidrólisis del almidón en las distintas zonas de reserva de los vegetales.

Como ejemplo representativo del catabolismo de los glúcidos vamos a estudiar el de la glucosa:

Se desarrolla en las siguientes etapas:

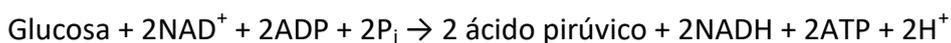
- Glucólisis
- Descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico
- Ciclo de Krebs
- Cadena respiratoria y fosforilación oxidativa

Etapas de la respiración celular



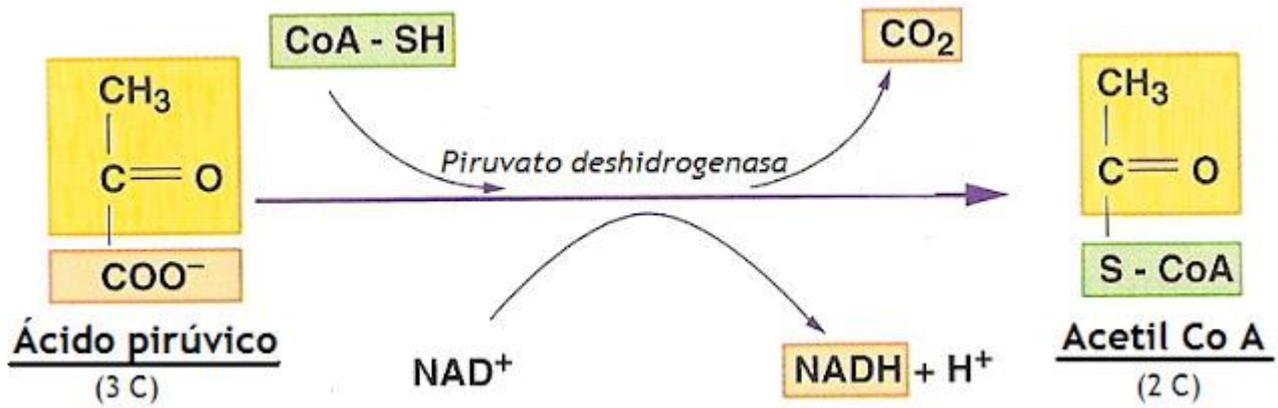
1.- Glucólisis

Es la ruta catabólica de la glucosa, se desarrolla en condiciones anaeróbicas en el citoplasma. Está formada por 10 reacciones catalizadas específicamente, que se desarrollan en dos etapas. Su fórmula general es la siguiente:



2.- Descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico

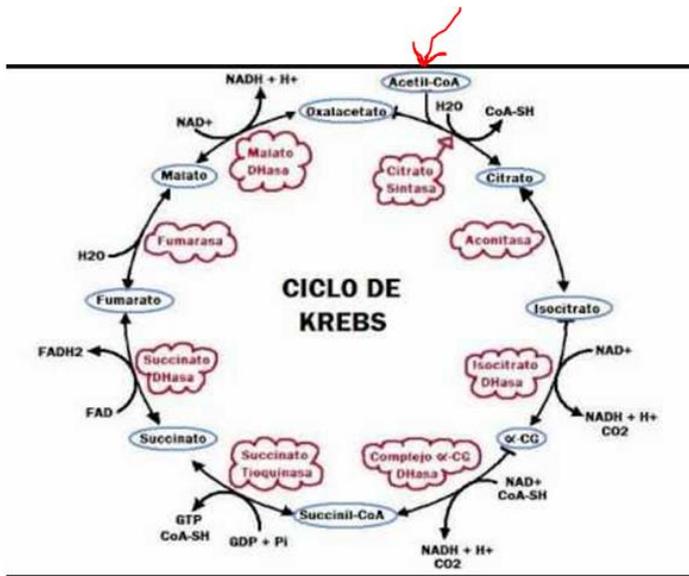
El ácido pirúvico pasa a la mitocondria donde sufre una oxidación y una descarboxilación (pérdida de CO_2), catalizadas por un complejo multienzimático, y se transforma en acetil coenzima A (acetil CoA).

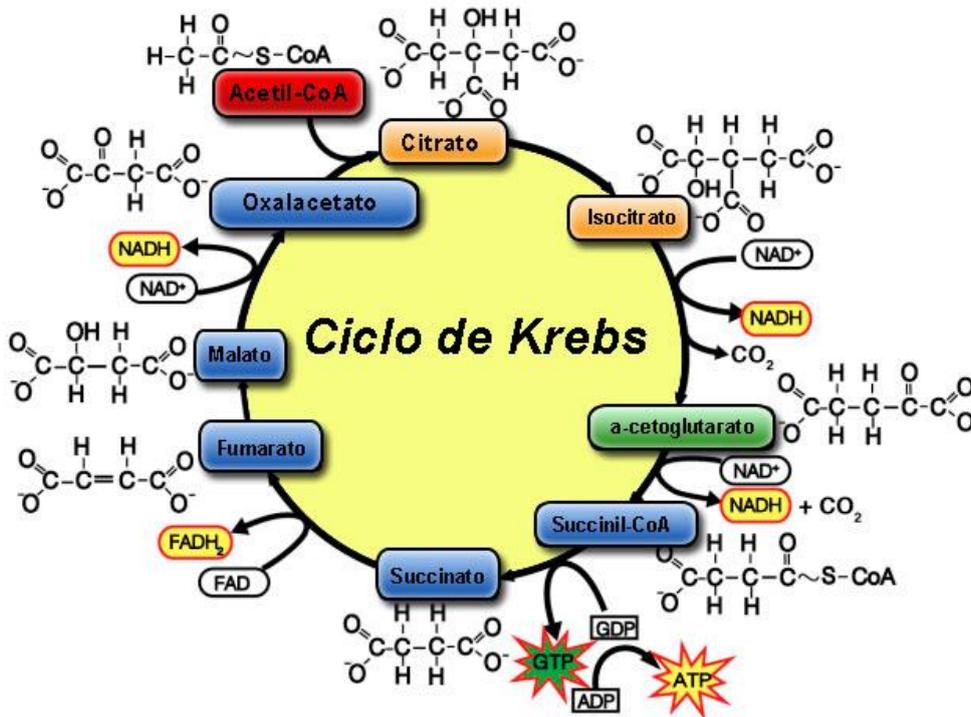


A continuación el acetil CoA ingresa en una ruta metabólica muy compleja llamada ciclo de Krebs.

3.- Ciclo de Krebs

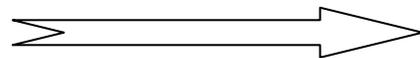
También se conoce como ciclo del ácido cítrico o también ciclo de los ácidos tricarbóxicos. Esta ruta metabólica se desarrolla en la matriz mitocondrial, su esquema sería el siguiente:





- 1-ácido oxalacético
- 2-ácido cítrico
- 3-ácido isocítrico
- 4-ácido alfa-cetoglutarico
- 5-succinil CoA
- 6-ácido succínico
- 7-ácido fumárico
- 8-ácido málico

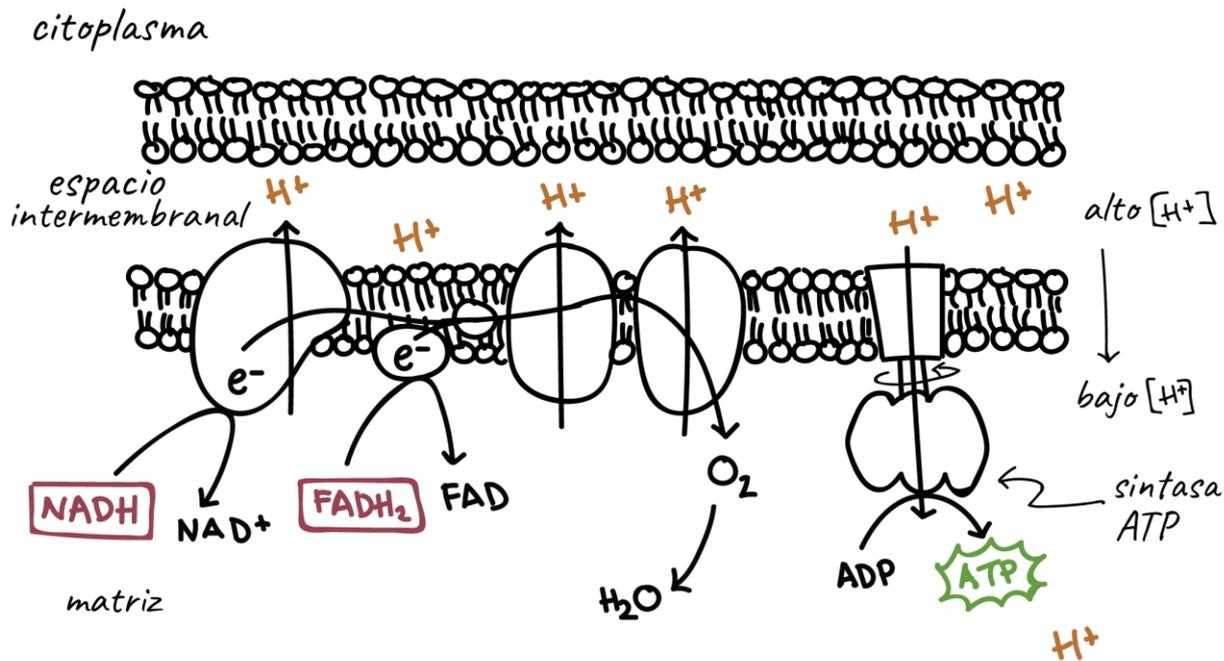
El balance de una vuelta de esta ruta sería la siguiente:



Aparentemente el rendimiento energético de la glucólisis y del ciclo de Krebs es muy pequeño, ya que sólo se obtienen 2 moléculas de ATP en la glucólisis y 2 moléculas de GTP en el ciclo de Krebs, pero lo verdaderamente importante de estas rutas es la formación de varias moléculas de coenzimas reducidos, concretamente:

2 moléculas de NADH en la glucólisis, otras dos moléculas en la transformación del ácido pirúvico a acetil CoA, otras 6 moléculas en el ciclo de Krebs y finalmente 2 moléculas de FADH₂, también del ciclo de Krebs.

Todas estas moléculas van a pasar a la siguiente etapa del catabolismo de la glucosa y van a ceder protones y electrones a las moléculas transportadoras que forman la cadena respiratoria o cadena transportadora de electrones. Estas moléculas están situadas en la membrana mitocondrial interna.

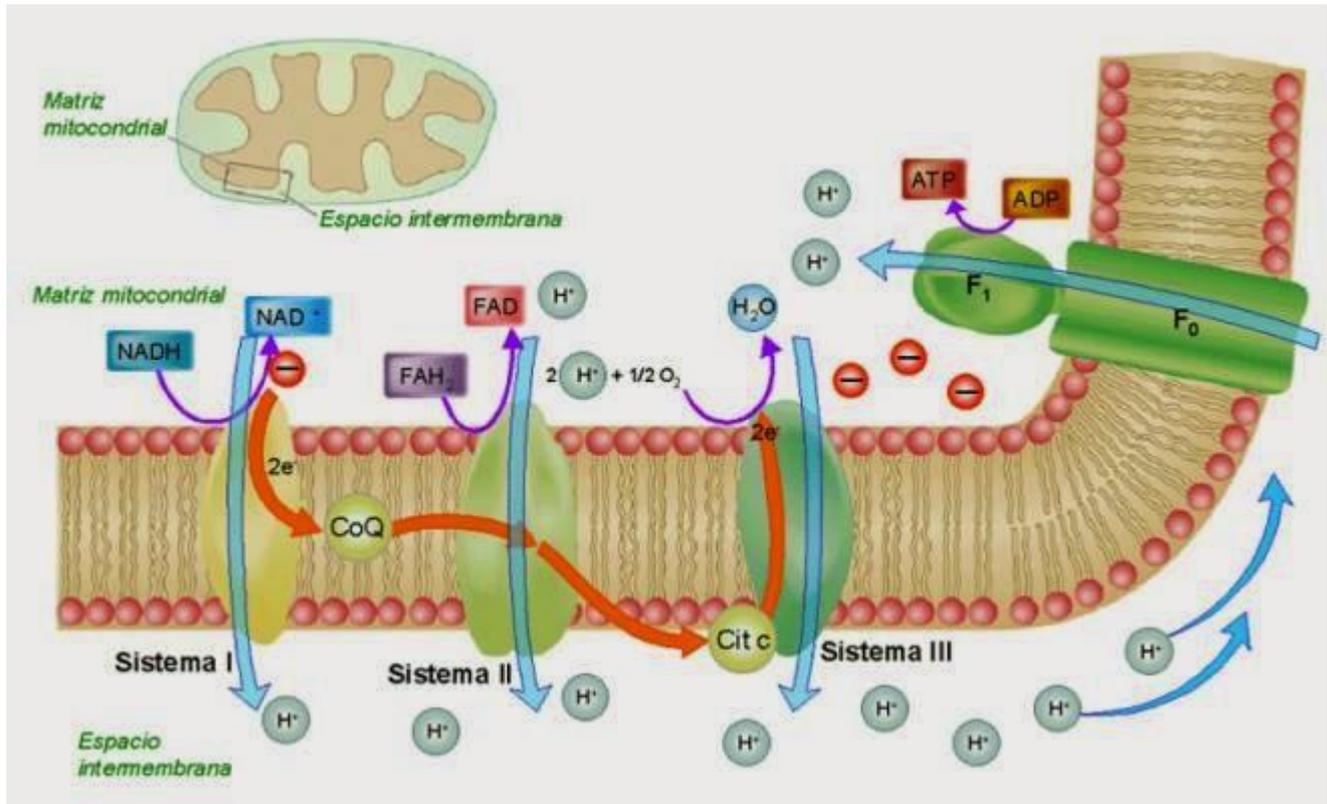


Existe una dependencia mutua entre el ciclo de Krebs y la cadena respiratoria, ya que esta necesita a los coenzimas reducidos que se forman en el ciclo mientras que este necesita a los coenzimas oxidados que aparecen al final de la cadena respiratoria.

La cadena respiratoria

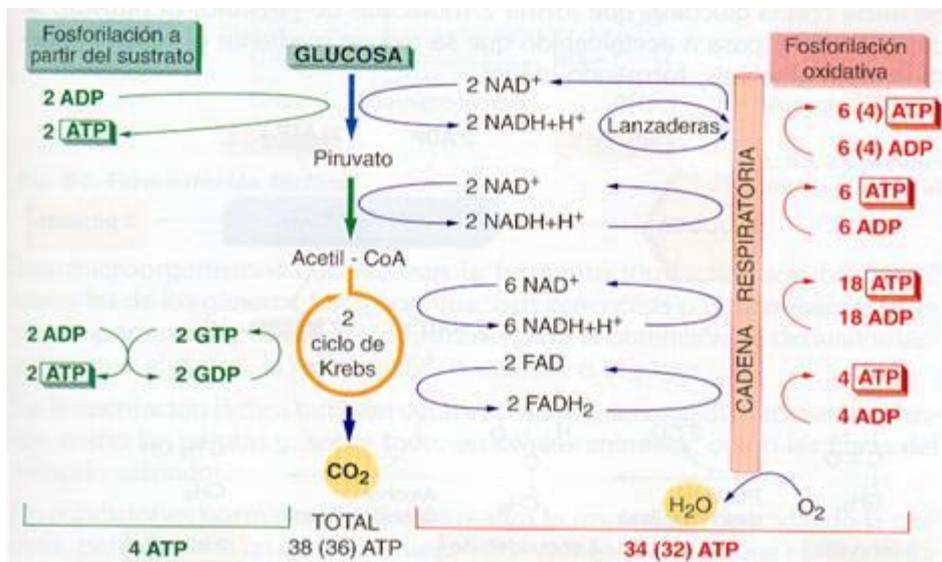
Está formada por 15 enzimas, todas transportan electrones y algunas además transportan protones, de manera que cuando una enzima que transporta protones y electrones es oxidada por una enzima de las que sólo transportan electrones, los protones de la primera quedan libres en la matriz. Las enzimas se agrupan formando tres complejos multienzimáticos, se llaman Complejo I o de la NADH deshidrogenasa, Complejo II o de los citocromos b-c1, Complejo III o de la citocromo oxidasa. Estos complejos se encuentran conectados por dos moléculas transportadoras, el coenzima Q entre los complejos I y II y el citocromo C entre los complejos II y III.

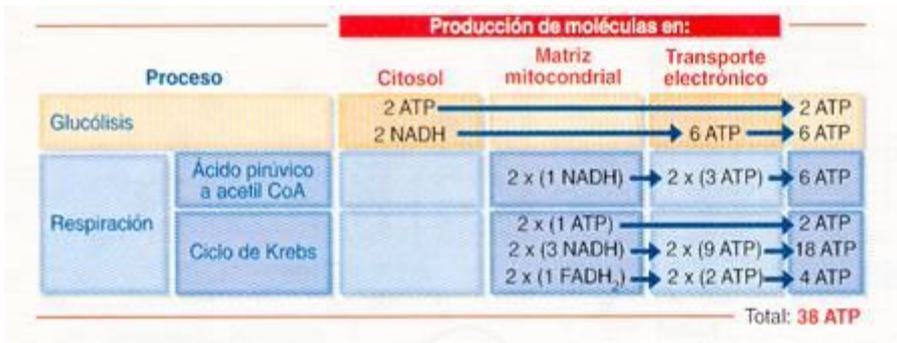
El NADH cede electrones al complejo I, mientras que el FADH₂ cede los electrones al coenzima Q. El transporte de los electrones a lo largo de la cadena respiratoria libera la energía necesaria para bombear protones desde la matriz al espacio intermembranoso, de esta forma se genera un gradiente electroquímico entre ambas zonas por el cual los protones tienden a pasar por difusión hacia la matriz, pero resulta, que la membrana mitocondrial interna es impermeable a los protones, estos sólo pueden pasar a través de unas enzimas llamadas ATP-sintetasas, que captan la energía desprendida por el flujo de los protones y lo utilizan para formar ATP; esta síntesis de ATP acoplada al transporte de electrones se denomina fosforilación oxidativa.



Se ha comprobado que por cada molécula de NADH que se oxida se libera la energía necesaria para bombear 6 protones hacia el espacio intermembranoso, mientras que si la energía procede del FADH₂ sólo se bombean 4 protones; también se sabe que para formar una molécula de ATP tienen que pasar a través de la ATP-sintetasa dos protones, por tanto la oxidación de una molécula de NADH permite la formación de 3 moléculas de ATP, mientras que el FADH₂ permite la formación de 2 moléculas de ATP.

De forma resumida, el balance global del catabolismo de la glucosa sería el siguiente:

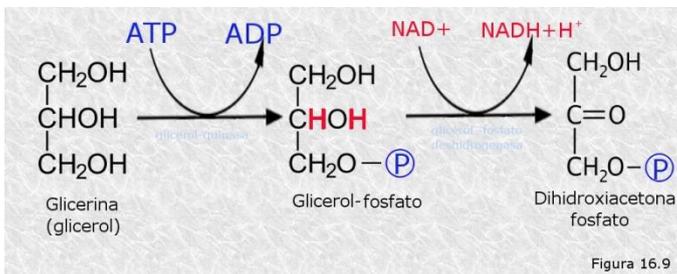




C- Catabolismo de los lípidos

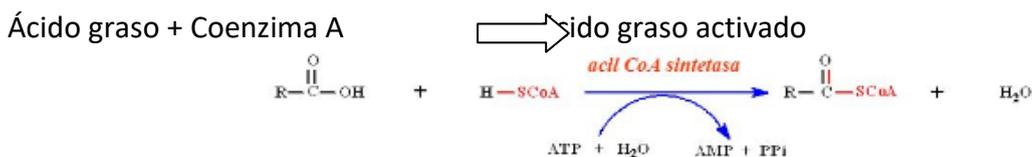
Desde el punto de vista catabólico nuestro organismo metaboliza fundamentalmente los acilglicéridos, su degradación comienza en el tubo digestivo donde unas enzimas llamadas lipasas, los descomponen en ácidos grasos y glicerina.

La glicerina sufre dos reacciones y se transforma en dihidroxiacetona:



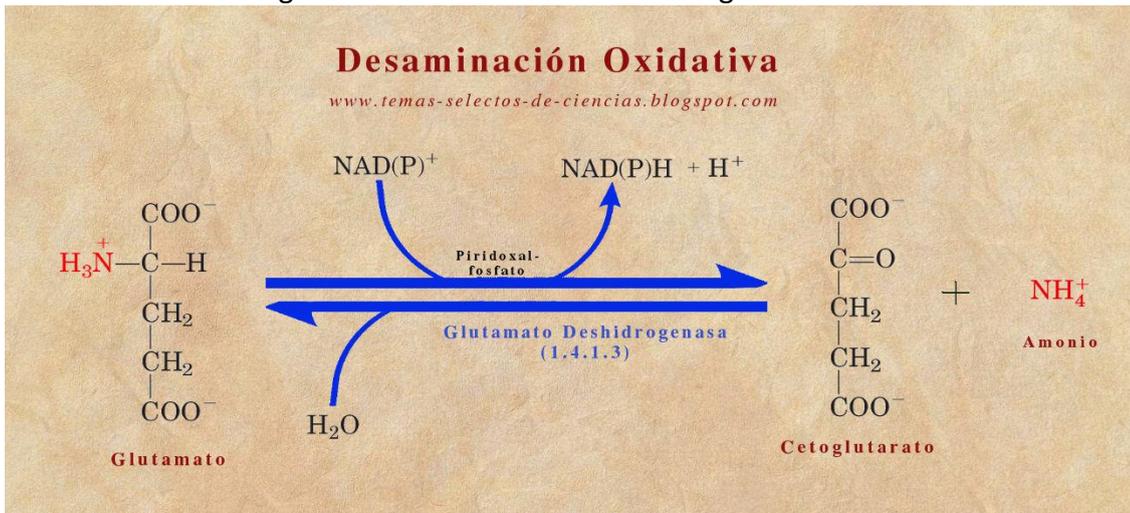
Esta molécula es un intermediario metabólico de la glucólisis y por tanto se degrada siguiendo esta ruta.

--Los ácidos grasos sufren una reacción en el citoplasma en la que se unen al Coenzima A para formar acil CoA o ácido graso activado



Esta molécula pasa a la matriz de la mitocondria donde sufre una ruta catabólica llamada beta-oxidación. Está formada por cuatro reacciones, 2 de ellas de oxidación, cuya fórmula general es la siguiente:

Ácido glutámico-----ácido alfa-cetoglutarico + amoniaco



El amoniaco es muy tóxico para las neuronas, los animales acuáticos lo excretan directamente, los animales terrestres lo transforman en otros compuestos menos tóxicos que requieren menos agua para su eliminación. La forma de expulsar el amoniaco permite clasificar a los seres vivos en tres grupos:

- Amoniotélicos, lo expulsan a través de la superficie corporal y de las branquias, como ocurre con peces, invertebrados acuáticos y la mayoría de los anfibios.
- Ureotélicos, transforman el amoniaco en urea, que se elimina formando parte de la orina, como ocurre en los mamíferos, tiburones y algunos anfibios.
- Uricotélicos, transforman el amoniaco en ácido úrico, es poco soluble y se excreta en forma de pasta semisólida, como ocurre en insectos, aves y reptiles.

3.- Degradación del cetoácido formado en la transaminación: los cetoácidos sufren distintas rutas metabólicas que conducen a la formación de intermediarios del ciclo de Krebs (ácido alfa cetoglutarico, succinil CoA, ácido fumárico o ácido oxalacético), ácido pirúvico y acetil CoA; estas moléculas pueden ser degradadas o bien pueden ser utilizadas en el anabolismo de la glucosa y de los ácidos grasos.

Catabolismo de los Ácidos Nucleicos

Los ácidos nucleicos sufren continuos procesos de degradación, en virtud de los cuales se obtienen elementos sencillos que pueden utilizarse para la síntesis de nuevos ácidos nucleicos, o que simplemente son excretados al exterior.

En los animales, la principal vía de obtención de ácidos nucleicos es su ingestión a través de la dieta, ya que casi todos los alimentos que tomamos diariamente, como la carne, el pescado o las verduras, están formados por células, y esas células tienen ácidos nucleicos en su interior.

De esta manera, la degradación inicial del ADN y ARN se lleva a cabo en el tubo digestivo. Unas enzimas rompen primero las largas cadenas de ácidos nucleicos en fragmentos más pequeños.

Los ácidos nucleicos, el ácido desoxirribonucleico (ADN), y el ácido ribonucleico (ARN), están formados por una unidad estructural básica que se repite miles de veces, los nucleótidos, por eso la rotura del

enlace fosfodiéster hace que se liberen los nucleótidos, después la rotura del enlace éster hace que se libere el ácido fosfórico, y por último la rotura del enlace N-glicosídico hace que se liberen la base nitrogenada y la pentosa.

Ácido nucleico-----nucleótidos-----ácido fosfórico + Nucleósido

Nucleósido-----pentosa + base nitrogenada

Las bases nitrogenadas, las moléculas de ácido fosfórico y las pentosas, siguen rutas diferentes y las utiliza la célula según sus necesidades:

- En el catabolismo
- En el anabolismo
- El ácido fosfórico, lo puede utilizar en el anabolismo para formar adenosín fosfatos o nuevos nucleótidos o bien lo degrada y lo elimina en forma de iones fosfatos (al final se excreta a través de la orina).
- Las pentosas, se pueden utilizar en el anabolismo para formar nuevos nucleótidos o pueden ser degradadas incorporándose a la glucólisis.
- En el caso de las bases nitrogenadas, se pueden utilizar en el anabolismo para formar nuevos nucleótidos o bien se degradan en el catabolismo sufriendo distintas transformaciones; en el caso de las bases púricas (adenina y guanina), se metabolizan hasta ácido úrico y en el caso de las bases pirimidínicas (timina, citosina y uracilo), se metabolizan hasta amoniaco, urea o distintos intermediarios del ciclo de Krebs.



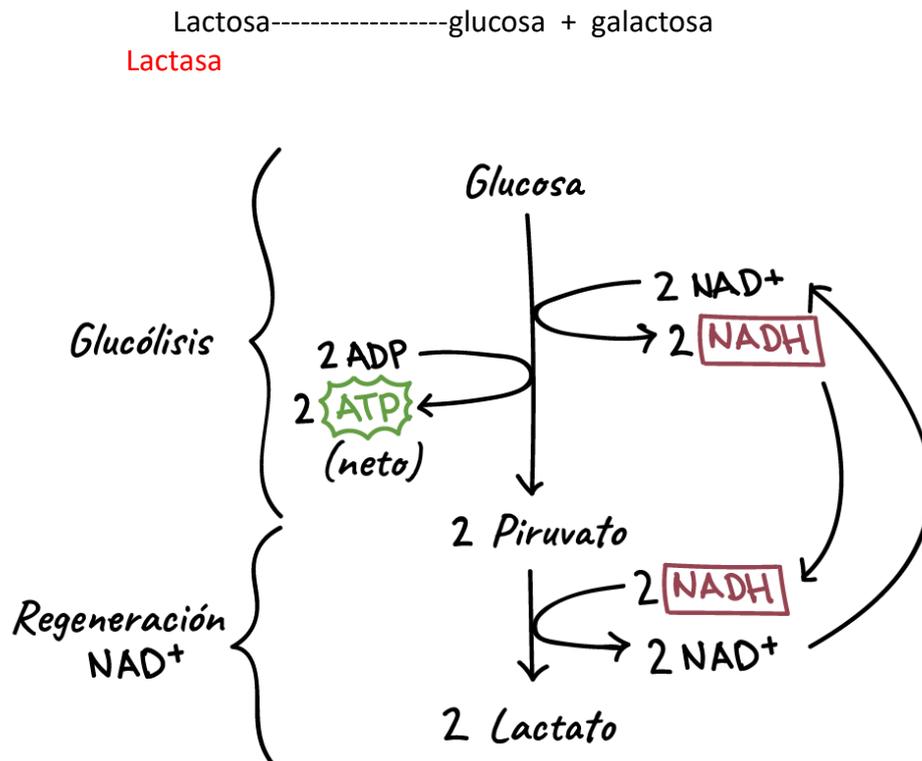
LAS FERMENTACIONES

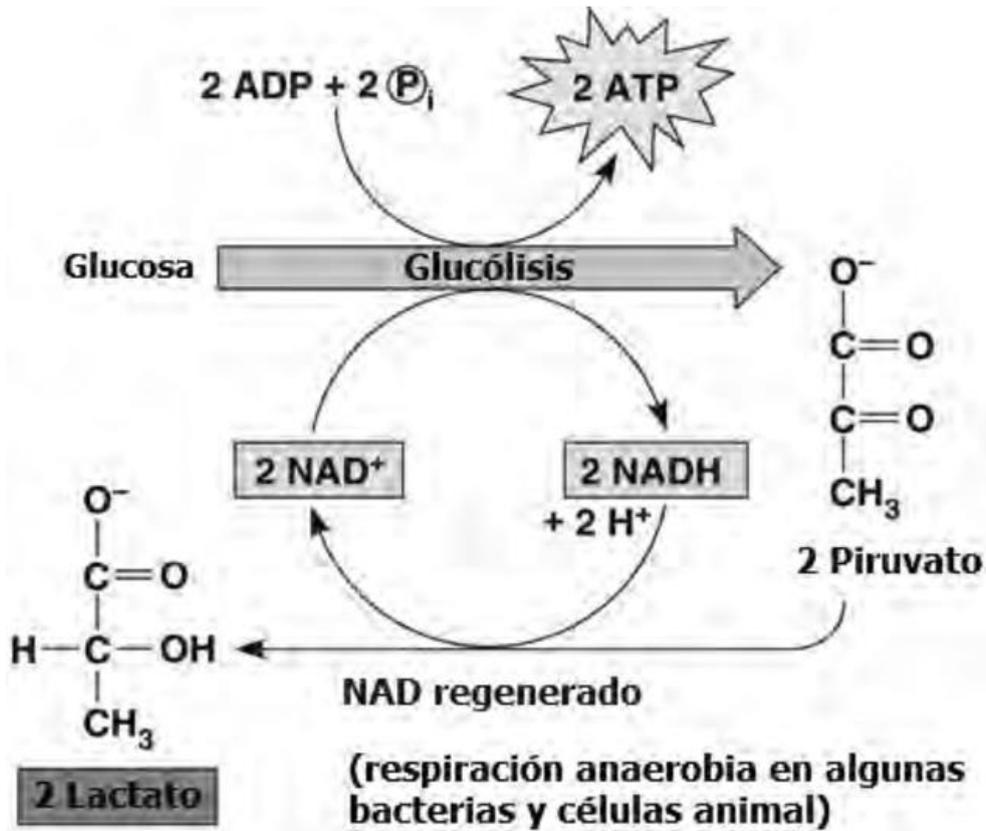
Son procesos catabólicos que permiten la obtención de energía a partir de la oxidación de compuestos orgánicos, se desarrollan en el citoplasma en condiciones anaeróbicas; tanto el dador como el aceptor final de los electrones son compuestos orgánicos; el rendimiento energético es muy pequeño si lo comparamos con la respiración, debido a que la oxidación de los sustratos es incompleta; no existe cadena transportadora de electrones; son características de los microorganismos.

Hay varios tipos de fermentaciones, suelen recibir el nombre del compuesto orgánico que actúa como aceptor final de los electrones, las más importantes son:

1.- Fermentación láctica

Utiliza como sustrato a la lactosa o la glucosa, su producto final es el ácido láctico, su esquema es el siguiente:





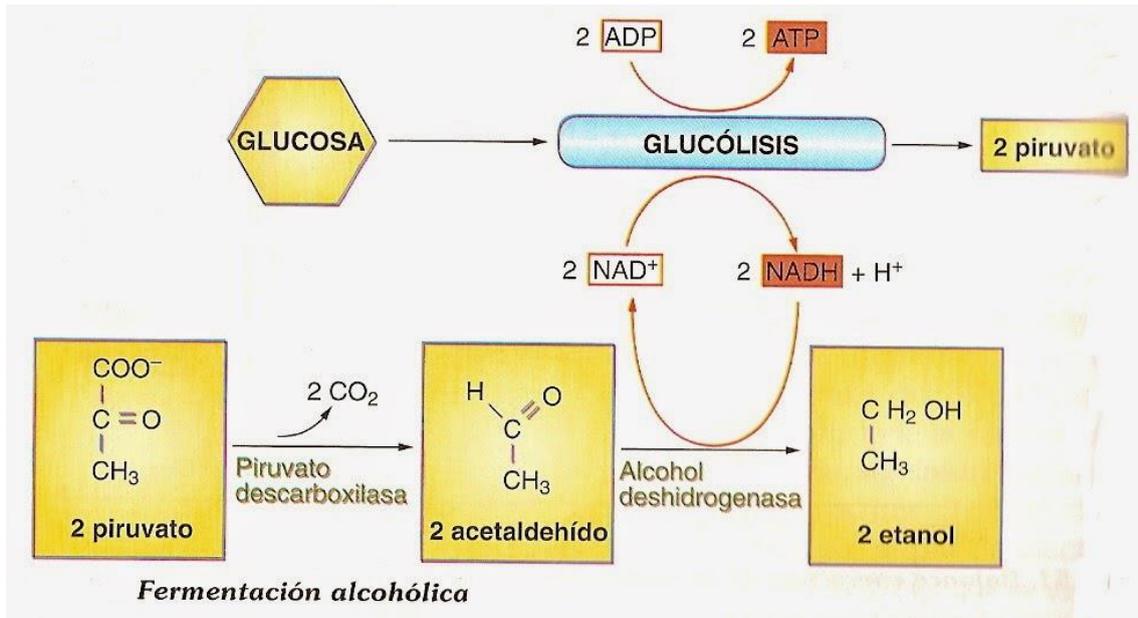
Balance de la fermentación láctica:



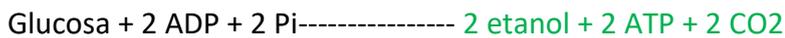
Esta fermentación tiene gran interés industrial ya que permite obtener productos como son el queso, el yogur, cuajada, kefir..., en ella participan bacterias de los géneros *Lactobacillus* y *Streptococcus*, como *Lactobacillus casei*, *Lactobacillus bulgaricus*, *Streptococcus lactis*...

También nuestras células musculares cuando realizan un sobreesfuerzo en ausencia de oxígeno realizan esta fermentación.

2.- Fermentación alcohólica

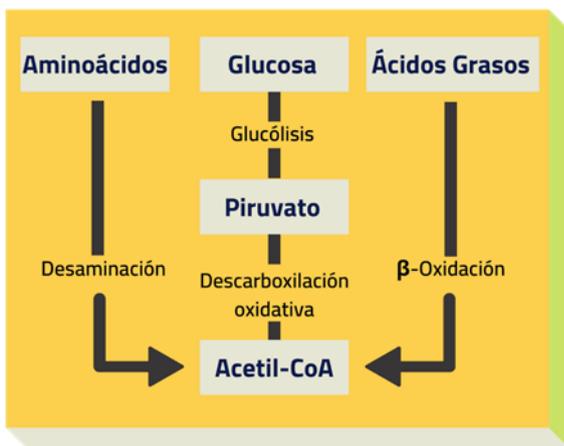


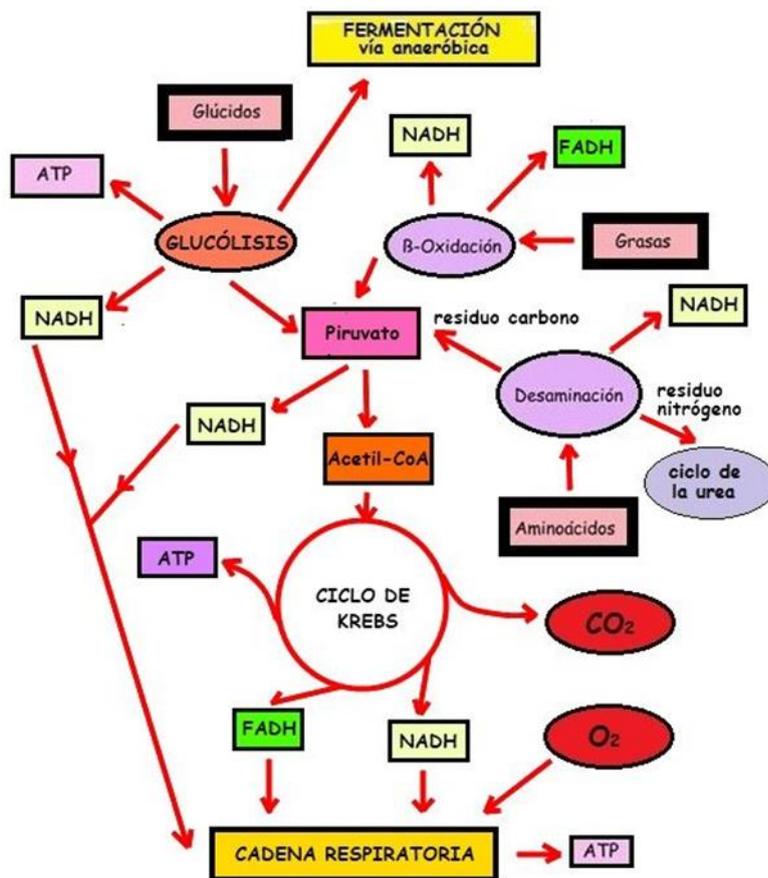
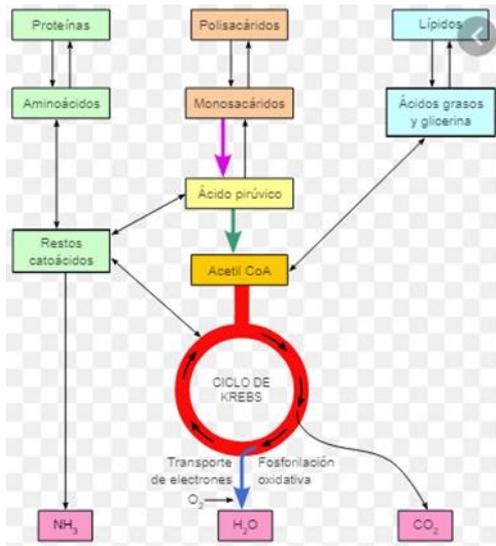
Balance de la fermentación alcohólica:



La realizan hongos unicelulares llamados levaduras que pertenecen al género *Saccharomyces*, como por ejemplo, *S. cerevisiae* que se utiliza en la elaboración de la cerveza, el whisky, el ron o el pan; *S. ellipsoideus*, que se utiliza en la elaboración del vino; *S. apiculatus*, en la elaboración de la sidra.

Como resumen de todos los procesos catabólicos podemos utilizar los siguientes esquemas:





ANABOLISMO

Es la fase constructiva del metabolismo, se parte de moléculas simples y se termina por formar moléculas complejas; si las moléculas simples son inorgánicas, (H_2O , CO_2 , sales minerales), el anabolismo es autótrofo, si las moléculas simples son orgánicas (monosacáridos, ácidos grasos, glicerina, aa, nucleótidos,...) el anabolismo es heterótrofo.

En el anabolismo autótrofo dependiendo de la fuente de energía utilizada podemos distinguir entre:

- Anabolismo autótrofo fotosintético, que utiliza la luz solar
- Anabolismo autótrofo quimiosintético, que utiliza la energía que se desprende en las reacciones de oxidación de sustratos inorgánicos.

ANABOLISMO AUTÓTROFO

I) LA FOTOSÍNTESIS

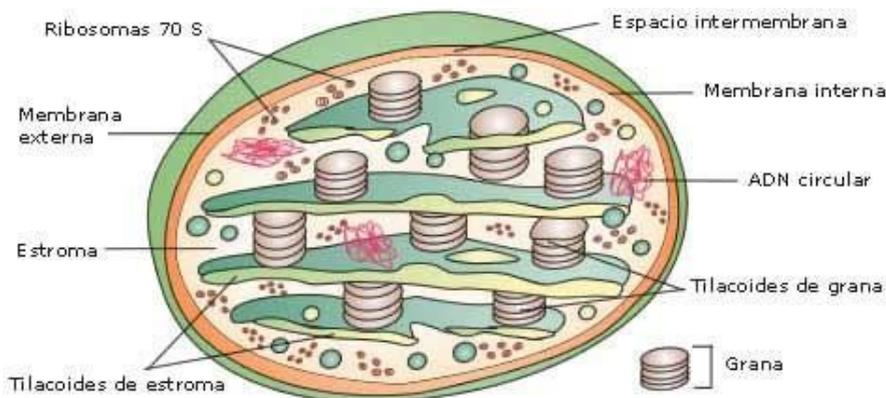
En un proceso fundamental para la vida en la Tierra, ya que los compuestos orgánicos que se forman en ella son la base de las cadenas tróficas de los distintos ecosistemas, además, el oxígeno que nosotros respiramos procede de una de las etapas de este proceso. También los combustibles fósiles utilizados como fuente de energía, carbón y petróleo, tienen su origen en la actividad fotosintética desarrollada por organismos que vivieron hace millones de años.

La fórmula general es la siguiente:



Sabemos que la fotosíntesis se desarrolla en dos etapas:

- Fase luminosa: en ella es imprescindible la luz solar, se realiza en la membrana de los tilacoides.
- Fase oscura: en ella no es necesaria la luz solar, pero sus reacciones se desarrollan durante el día, al mismo tiempo que las de la etapa luminosa, tiene lugar en el estroma de los cloroplastos.



Para que se desarrolle la fotosíntesis se necesitan tres elementos:

1.- Materias primas: El CO₂ que las plantas toman a través de los estomas y el agua y las sales minerales, que forman la savia bruta, y que la planta toma a través de la raíz.

2.- Energía luminosa: Las células vegetales captan longitudes de onda de la luz solar comprendidas entre 300 y 900 nm (nanómetros).

3.- Pigmentos fotosintéticos: son moléculas coloreadas encargadas de captar la energía luminosa, se clasifican en:

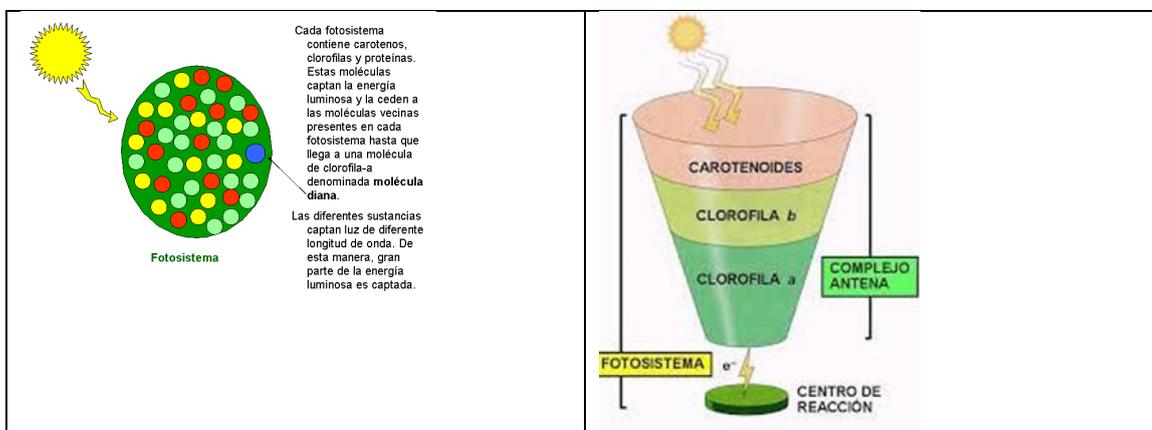
✓ Pigmentos principales—son de color verde y se denominan clorofilas, podemos encontrar la clorofila a, la clorofila b, la clorofila c, la clorofila d (c y d son exclusivas de las algas), y las bacterioclorofilas, cada una de ellas absorbe determinadas longitudes de onda.

✓ Pigmentos accesorios—captan longitudes de onda que no son absorbidas por las clorofilas, además la energía captada por estos pigmentos, para que pueda ser utilizada en la fotosíntesis tiene que ser transferida a los pigmentos principales, estos pigmentos se clasifican en dos grupos:

1- Carotenoides: son pigmentos anaranjados o amarillentos que se denominan respectivamente carotenos y xantofilas.

2- Ficobilinas: son exclusivos de las algas, destacan la ficocianina (de color azul) y la ficoeritrina (de color rojo).

Los pigmentos fotosintéticos están situados en la membrana de los tilacoides formando unas agrupaciones que se denominan fotosistemas, tienen dos partes, se denominan antena y centro de reacción.



La antena actúa como un embudo que capta la energía luminosa y la canaliza hasta una molécula del centro de reacción que se llama clorofila diana. La antena está formada por aproximadamente 300

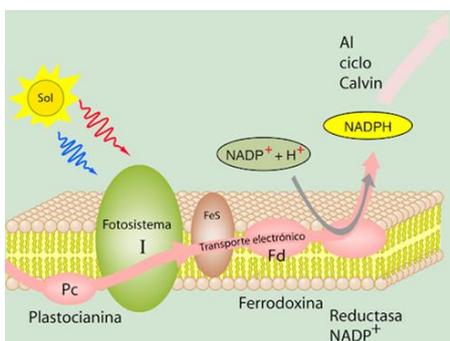
moléculas de pigmentos que están asociadas a lípidos y a proteínas que facilitan la transferencia de energía.

El centro de reacción está formado por tres moléculas:

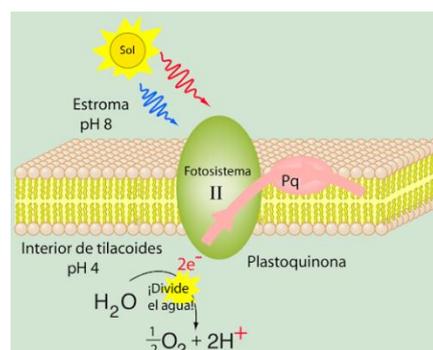
- una molécula de clorofila a, denominada clorofila diana, cuando está molécula recibe la energía captada por la antena, se excita y comienza a perder electrones.
- la molécula que capta los electrones que proceden de la clorofila diana y que los transfiere fuera del fotosistema, se denomina aceptor primario de electrones.
- Por último la molécula que devuelve los electrones a la clorofila diana para que recupere su estado fundamental, se denomina dador primario de electrones.

Sabemos que existen dos tipos de fotosistemas:

- FSI (fotosistema I): capta longitudes de onda menores o iguales a 700 nm, su antena presenta carotenos, clorofila b y clorofila a, su clorofila diana se denomina P700 o Cl a I, su aceptor primario de electrones no se conoce químicamente y se representa por la letra X, su dador primario de electrones es una molécula que se llama plastocianina.

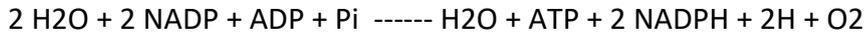


- FSII (fotosistema II): capta longitudes de onda menores o iguales a 680 nm, su antena presenta xantofilas, clorofila b y clorofila a, su clorofila diana se conoce como P680 o Cl a II, no se conoce químicamente su dador primario de electrones, que se representa con la letra Z. Su aceptor primario de electrones es una molécula denominada feofitina.



Fase Luminosa

Durante esta etapa se produce la captación de la energía luminosa y su transformación en energía química, concretamente se va a formar ATP y un coenzima reducido que es el NADPH, la fórmula general es la siguiente:

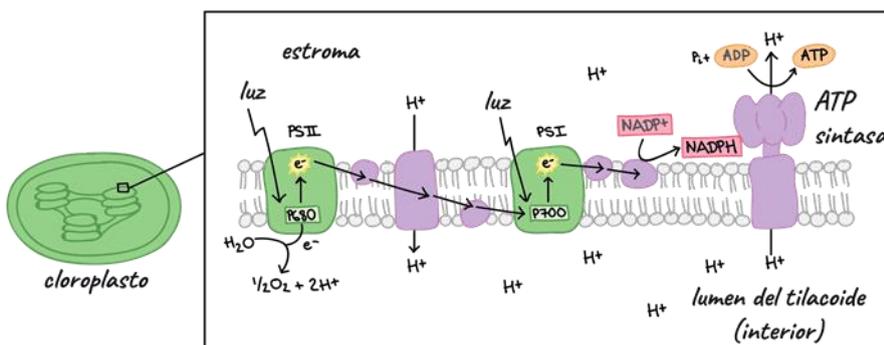


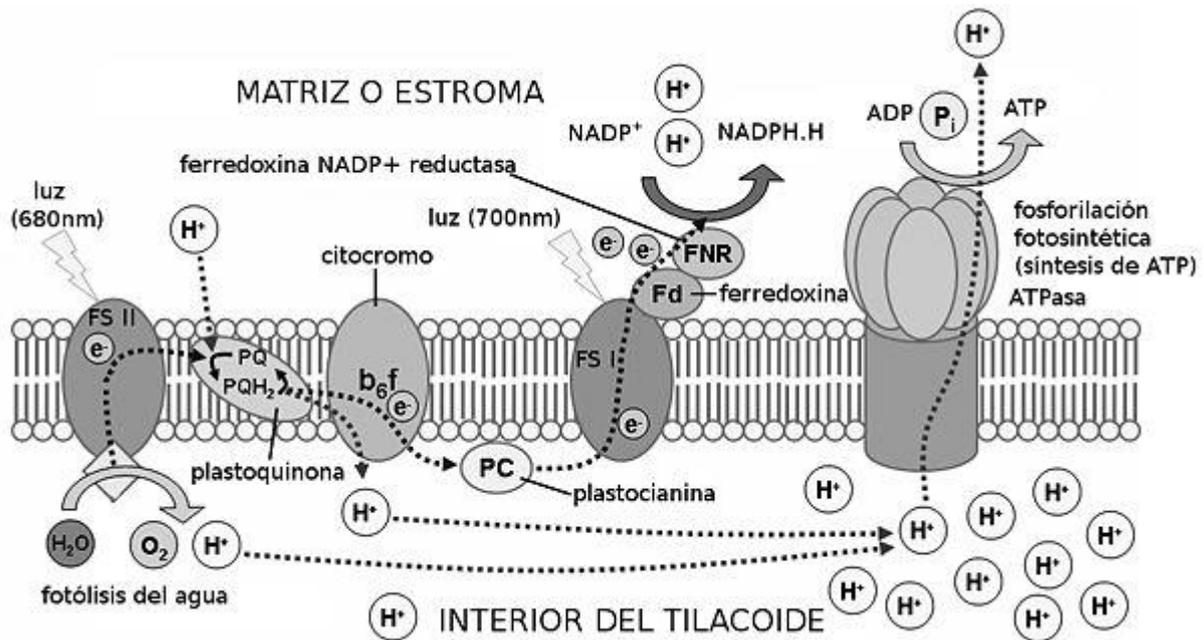
Las dos moléculas de agua del lado izquierdo de la reacción son las que desprenden el oxígeno, los protones necesarios para reducir al NADP y los electrones necesarios para reducir al NADP y liberar la energía suficiente para formar ATP. La molécula de agua del lado derecho se desprende en la fosforilación el ADP para formar ATP. Sabemos que la fase luminosa se desarrolla mediante 2 vías complementarias que se denominan fotofosforilación acíclica y fotofosforilación cíclica, en la primera participan los dos fotosistemas, mientras que en la segunda sólo participa el FSI.

Fotofosforilación acíclica

Los dos fotosistemas están intercalados en una cadena transportadora de electrones que se extiende desde el agua hasta el NADP; el agua está situada en el espacio tilacoidal, el NADP en el estroma y la cadena transportadora en la membrana de los tilacoides: En esta cadena transportadora podemos distinguir tres regiones:

- entre el agua y el FSII
- entre el FSII y el FSI
- entre el FSI y el NADP





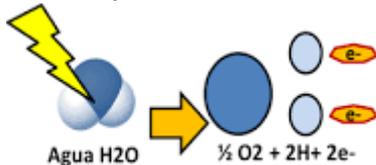
Z	dador de electrones del FSII
P680	clorofila diana del FSII
Feo	Feofitina (aceptor primario de electrones del FSII)
PQH ₂	plastoquinona reducida
PQ	plastoquinona oxidada
Cit f	citocromo f
Pc	plastocianina
P700	clorofila diana del FSI
X	aceptor primario de electrones del FSI
Fd	ferredoxina

La luz se comporta como si estuviera formada por pequeños paquetes de energía que se llaman fotones, cuando estos inciden sobre las moléculas de pigmento de la antena, algunas de estas moléculas absorben la energía y pasan algunos electrones a un nivel energético superior, decimos que estas moléculas quedan excitadas. Estas moléculas tienden a recuperar su estado energético de mínima energía, para esto los electrones recuperan su posición inicial liberando la energía que es captada por otra molécula de pigmento vecina, de esta forma la excitación se transmite de una molécula a otra hasta que alcanza a la clorofila diana. Esta molécula al captar la energía se oxida y comienza a perder electrones que son recogidos por el acepto primario de electrones.

La fotofosforilación acíclica comienza con la captación de energía luminosa por parte del FSI, su clorofila diana pierde electrones que pasan al acepto X, de aquí a la ferredoxina y de aquí a una enzima llamada NADP-REDUCTASA, esta molécula se activa, capta 2 protones del estroma y los cede junto con los dos electrones al NADP que se reduce hasta NADPH. Para que la fotofosforilación no se detenga, la clorofila del FSI tiene que recuperar los electrones que ha perdido, estos proceden del segmento que se extiende entre el fotosistema II y el fotosistema I, concretamente la energía luminosa es captada por la antena del FSII y termina por excitar a su clorofila diana, esta molécula pierde electrones que son recogidos por

la feofitina y desde aquí van pasando por la plastoquinona, el citocromo f y finalmente por la plastocianina que los cede a la clorofila diana del FSI, que así recupera su estado fundamental.

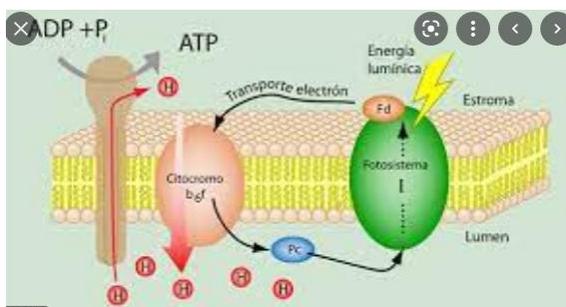
Para que la fotofosforilación no se detenga es necesario que la clorofila diana del FS II recupere los electrones que ha perdido, para esto se activa por medio de la energía luminosa una enzima, situada en el espacio tilacoidal, que se denomina factor Y, que cataliza una reacción que se llama fotólisis del agua, en esta reacción se produce oxígeno, protones y electrones. Los protones se acumulan en el espacio tilacoidal, mientras que los electrones pasan al dador primario de electrones del FSII, que los cede a su clorofila diana.



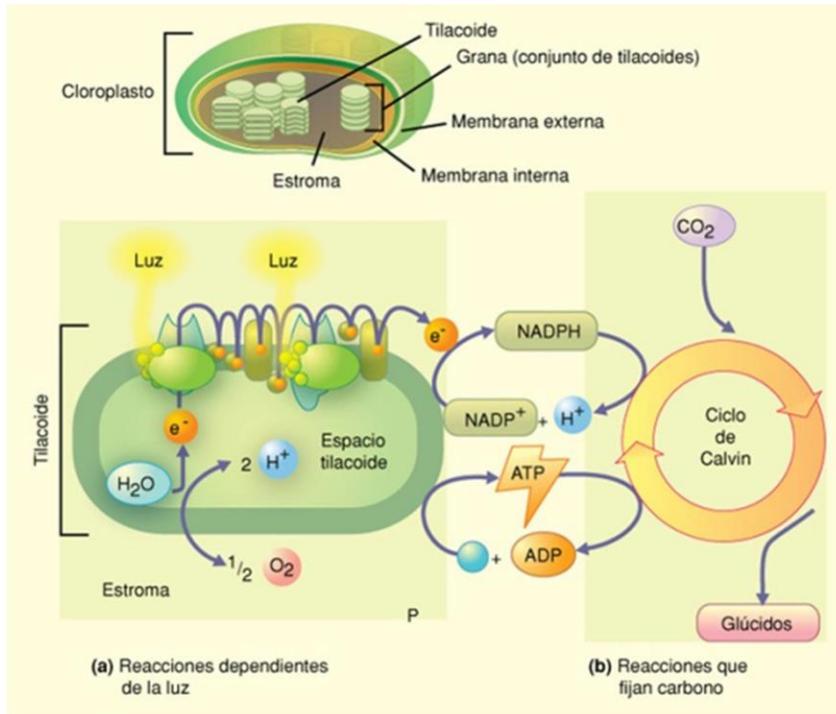
Para explicar la síntesis de ATP que se encuentra acoplada al transporte de electrones, se han propuesto varias hipótesis, la más aceptada es la hipótesis quimiosmótica de Mitchell, según este científico, el transporte de electrones libera la energía necesaria para bombear protones desde el estroma al espacio tilacoidal, concretamente la plastoquinona, cuando recibe los electrones se activa y capta dos protones del estroma, posteriormente cuando cede los electrones al citocromo f libera los protones en el espacio tilacoidal; de esta forma se genera un gradiente electroquímico entre estas dos zonas, los protones tienden a volver por difusión hacia el estroma, pero la membrana tilacoidal es impermeable a ellos, estos sólo pueden pasar a través de las enzimas ATP-sintetasas, que aprovechan la energía que se libera en este transporte para fosforilar al ADP y formar ATP.

Fotofosforilación cíclica

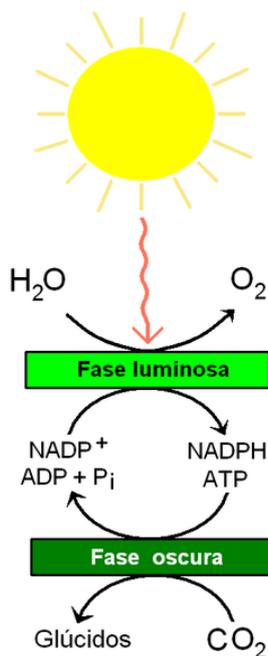
En este caso solo actúa el Fotosistema I, la finalidad de esta vía es la de completar las necesidades energéticas de la fase oscura, ya que en ella se necesitan 3 moléculas de ATP por cada 2 moléculas de NADPH y sabemos que en la fotofosforilación acíclica sólo se obtiene una molécula de ATP. Como solo actúa el fotosistema I no se produce la fotólisis del agua, no se desprende oxígeno ni tampoco se obtiene NADPH. Los electrones que escapan de la clorofila diana del FSI llegan hasta la ferredoxina y desde aquí, en lugar de pasar a la NADP-reductasa pasa a una proteína llamada citocromo B6, que los cede a la plastoquinona.



Fase oscura



En esta etapa se utiliza la energía del ATP y el poder reductor del NADPH para reducir a determinados sustratos inorgánicos y formar compuestos orgánicos. Como fuente de carbono se utiliza el CO_2 , como fuente de nitrógeno, los iones nitrato (NO_3^-) y como fuente de azufre los iones sulfato (SO_4^{--}).



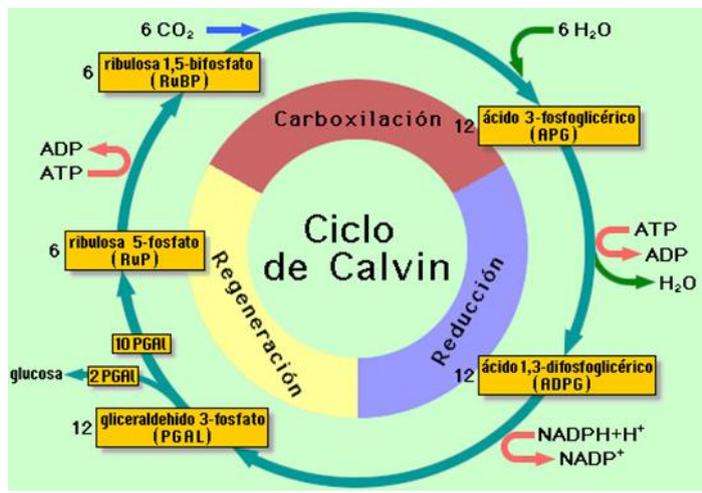
Esta etapa se desarrolla en el estroma de los cloroplastos, su ruta metabólica es muy compleja y en honor a sus descubridores se conoce como ciclo de Calvin-Benson. Se desarrolla en 3 etapas:

1—Carboxilación: El CO_2 se fija a un compuesto orgánico de cinco átomos de carbono que se llama ribulosa 1,5 difosfato, se forma un compuesto intermediario de seis carbonos, que

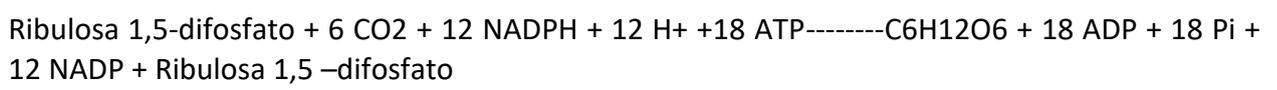
rápidamente se descompone en 2 moléculas de 3 átomos de carbono llamadas ácido 3-fosfoglicérico.

2—Reducción: En esta etapa se producen dos reacciones, en la primera se utilizan dos moléculas de ATP para fosforilar al ácido 3-fosfoglicérico y formar otro ácido llamado ácido 1,3-difosfoglicérico. En la siguiente reacción se utilizan dos moléculas de NADPH para reducir al ácido 1,3-difosfoglicérico y formar gliceraldehido-3-fosfato.

3—Recuperación: Una parte del gliceraldehido 3 –fosfato se utiliza en la regeneración de la ribulosa 1, 5 difosfato, mientras que el resto se utiliza en el estroma para formar almidón, aa y ácidos grasos o en el citoplasma para formar glucosa y fructosa, que terminarán formando sacarosa.

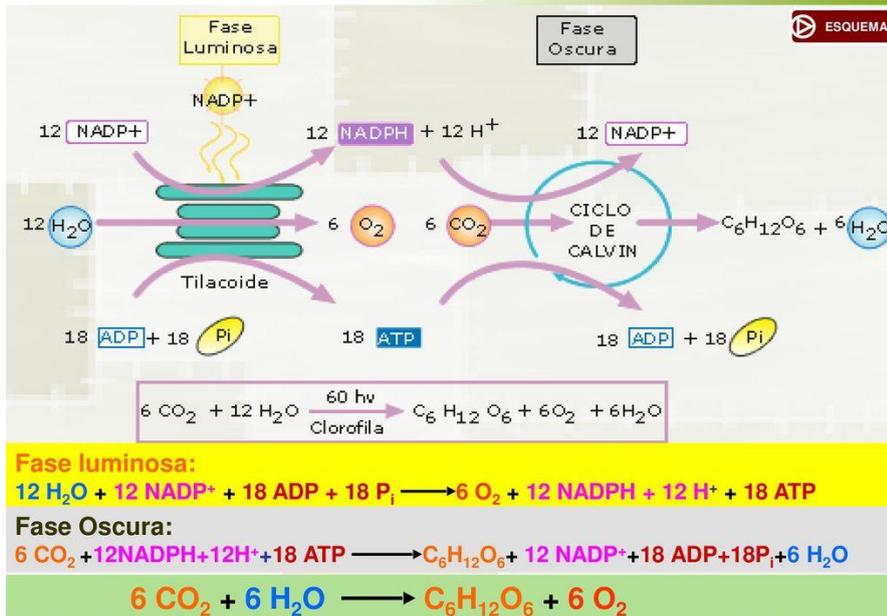


Si tenemos en cuenta que para formar una molécula de glucosa se tienen que incorporar 6 moléculas de CO₂ al ciclo de Calvin, su balance global sería el siguiente:



Esquema general de la fotosíntesis:

Fotosíntesis: Balance energético



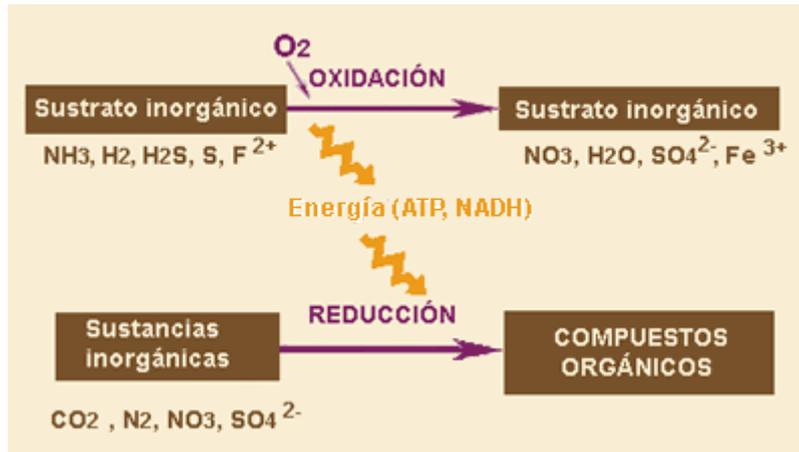
En algunas bacterias se realiza un tipo especial de fotosíntesis denominada fotosíntesis anoxigénica, en la que no se utiliza el agua como dador de electrones en la fase luminosa, por lo tanto este tipo de fotosíntesis no desprende oxígeno, estas bacterias utilizan como dador de electrones al ácido sulfídrico (H₂S), el azufre que se desprende puede permanecer dentro de la bacteria o puede ser liberado a medio. Son ejemplos de estas bacterias las bacterias verdes del azufre y las bacterias purpúreas

II) LA QUIMIOSÍNTESIS

Es otro proceso del anabolismo autótrofo característico de los organismos quimiolitótrofos, que utilizan como fuente de carbono al CO₂ y como fuente de energía la que se desprende en reacciones de oxidación de sustratos inorgánicos.

Al igual que la fotosíntesis presenta 2 etapas:

- 1- Se oxidan determinados sustratos inorgánicos y se desprende energía, que se utiliza para formar ATP y un coenzima reducido, el NADH.
- 2- Se utiliza el ATP y el NADH para reducir a compuestos inorgánicos y formar compuestos orgánicos (las rutas metabólicas de esta segunda etapa son muy parecidas a la fase oscura de la fotosíntesis).



Los organismos que realizan este proceso son bacterias que se clasifican en cuatro grupos atendiendo al sustrato inorgánico utilizado para obtener la energía, así tenemos:

1. Bacterias incoloras del azufre: oxidan al ácido sulfhídrico (H₂S) hasta iones sulfato, el H₂S es muy abundante en aguas residuales donde aparece como consecuencias de la descomposición de la materia orgánica.
2. Bacterias del nitrógeno: actúan sobre el NH₃ que se encuentra en el suelo y que procede de la descomposición de cadáveres, excrementos y restos vegetales, estas bacterias se clasifican en:
 - Nitrosificantes: degradan el amoníaco hasta iones nitrito (NO₂-).
 - Nitrificantes: oxidan los iones nitrito hasta iones nitrato (NO₃-).
3. Bacterias del hierro
4. Bacterias del hidrógeno

Las bacterias quimiosintéticas desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas ya que actúan sobre sustancias que proceden de la descomposición de la materia orgánica (h₂S, NH₃) transformándolos en iones que pueden ser utilizados nuevamente por los organismos fotosintéticos, de esta forma se cierran los ciclo biogeoquímicos.