



# BIOLOGÍA

Acceso a la universidad para mayores de 25 años

**TEMA 2: Morfología, estructura y funciones celulares**

[www.tipsacademy.es](http://www.tipsacademy.es)

## TEMA 2: MORFOLOGÍA, ESTRUCTURA Y FUNCIONES CELULARES

### TEORÍA CELULAR

En 1665 Robert Hooke observó al microscopio una lámina de corcho y describió una especie de celdillas a las que llamo células. El conocimiento sobre las células se fue desarrollando hasta que en 1838 se formuló la teoría celular, cuyos postulados son:

- La célula es la unidad estructural y funcional de los seres vivos.
- Todos los seres vivos están formados por células, pudiendo ser unicelulares o pluricelulares
- Toda célula proviene de una célula anterior.

### MODELOS DE ORGANIZACIÓN CELULAR

La estructura de las células consta de un contenido llamado **citoplasma** envuelto por una **membrana plasmática** lipídica que controla el transporte de sustancias al interior y exterior de la célula. Las células tienen **material genético** que se encarga de controlar las funciones de la célula y **ribosomas**, encargados de la síntesis de proteínas.

Los **virus** no son organismos celulares, sino estructuras más sencillas, Los veremos más adelante.

### CÉLULAS PROCARIOTA Y EUCARIOTA

En función de su complejidad, existen dos grandes tipos de células, las procariotas y las eucariotas.

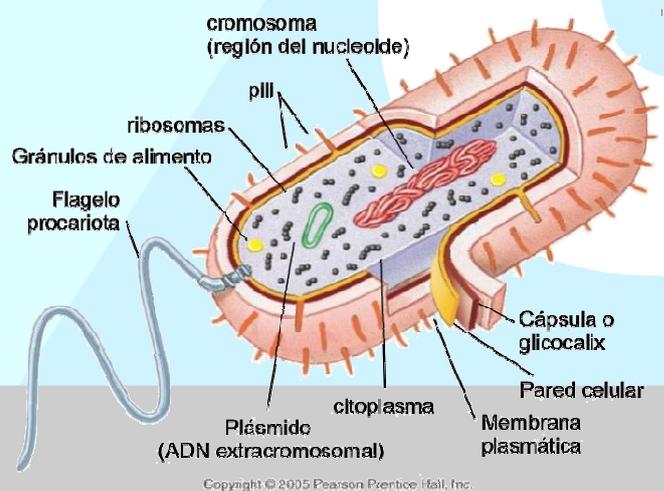
Las más importantes diferencias entre ambas son las siguientes:

CÉLULA PROCARIOTA	CÉLULA EUCARIOTA
Pequeño tamaño	Tamaño mayor
Sin envoltura nuclear	Con envoltura nuclear
Sin orgánulos membranosos	Con orgánulos membranosos
Siempre tiene pared celular	No siempre tiene pared celular
Ribosomas pequeños (70S)	Ribosomas más grandes (80S)
Seres unicelulares o coloniales	Unicelulares y pluricelulares

#### CÉLULA PROCARIOTA

Son las bacterias. Entre sus estructuras se encuentran siempre:

- **Membrana plasmática.** Similar a la de la célula eucariota (ver más adelante).
- **Pared celular.** Es una cubierta externa a la membrana que da forma a la célula. Es distinta a la de las células eucariotas.
- **Material genético.** Tienen un sólo cromosoma de ADN. A veces presentan un plásmido (fragmento de ADN independiente).
- **Ribosomas.** Se encargan de la síntesis de proteínas.
- **Mesosomas.** Son invaginaciones de la membrana con función energética.



Copyright © 2005 Pearson Prentice Hall, Inc.

En ocasiones aparecen otras estructuras:

- **Cápsula.** Cubierta exterior a la pared celular. Función de protección y adhesión.
- **Fimbrias y flagelos.** Función de desplazamiento de la célula.
- **Inclusiones.** Acúmulos de distintas sustancias.

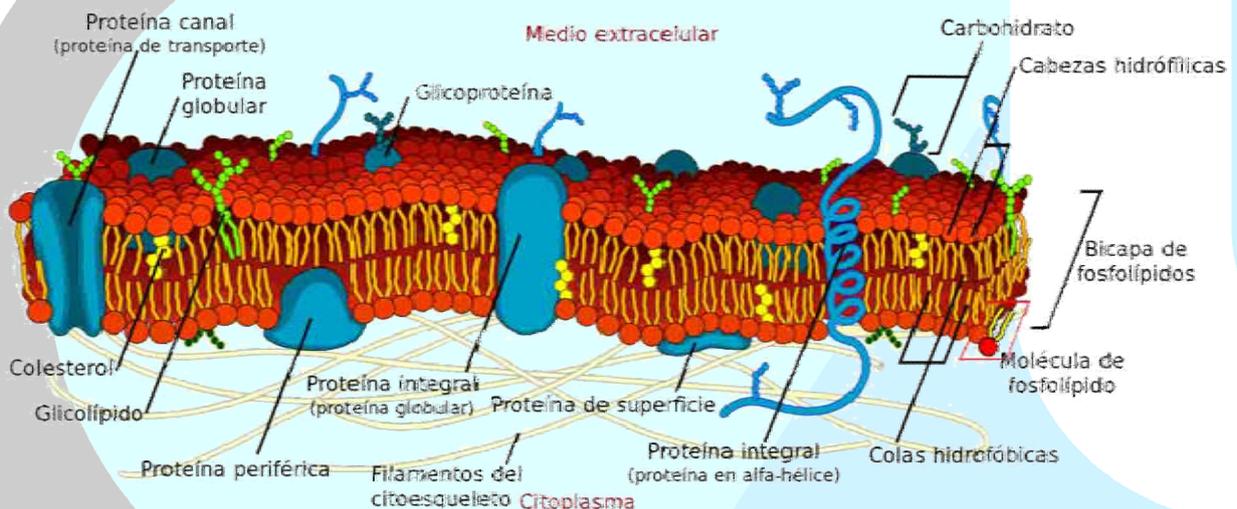
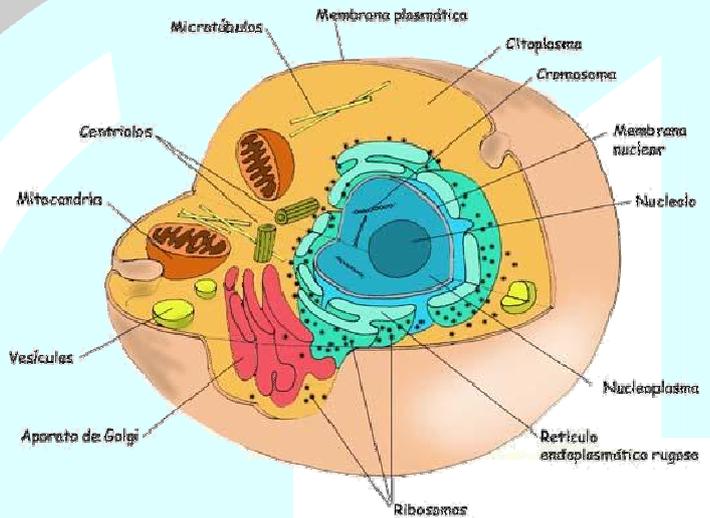
### CÉLULA EUCARIOTA

Forman parte de organismos unicelulares y pluricelulares. Según la **teoría endosimbiótica**, su origen está en una célula procariota que incorporó otra en su interior, dando lugar a una célula más compleja.

Entre sus estructuras distinguimos:

### MEMBRANA PLASMÁTICA

Está formada por lípidos y proteínas. Sigue un modelo denominado **mosaico fluido** porque ambos tienen movilidad. Los lípidos son fosfolípidos, esfingolípidos y glucolípidos anfipáticos que forman una bicapa que expone sus cabezas polares al exterior, quedando en el interior de la bicapa las cadenas polares. Además, inmersas en esta bicapa, hay moléculas de colesterol, lo que influye en la fluidez de la membrana. Las proteínas pueden moverse por la bicapa, y pueden ser **integrales** si atraviesan parte o toda la membrana y **periféricas** si están pegadas a la membrana en alguna de sus dos caras. La membrana es **asimétrica**, ya que la superficie externa tiene unos componentes y la interna otros. En el lado externo de la membrana se sitúa el **glucocalix**, una zona periférica compuesta de oligosacáridos de glucolípidos y glucoproteínas, cuya función es darle una identidad a la célula y reconocer señales externas.



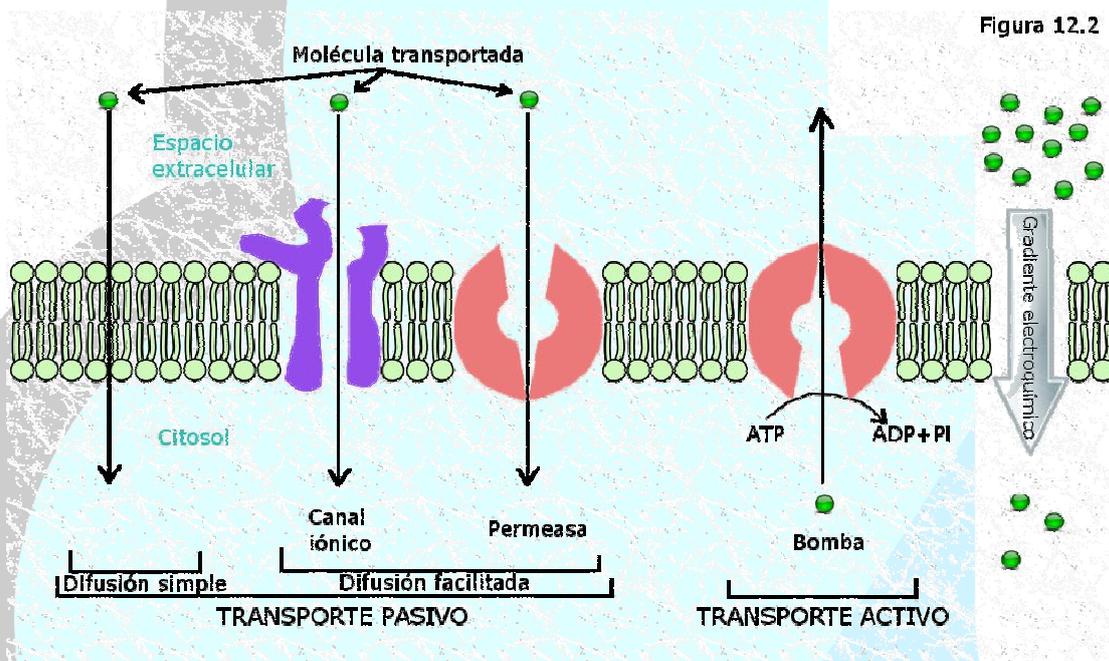
**FUNCIONES DE LA MEMBRANA PLASMÁTICA**

- Limita el espacio celular
- Controla el paso de sustancias hacia el interior y el exterior de la célula
- Recibe señales del exterior

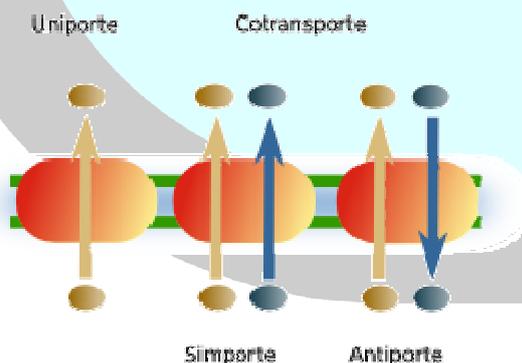
**TRANSPORTE DE PEQUEÑAS MOLÉCULAS A TRAVÉS DE LA MEMBRANA**

**Pasivo.** No requiere gasto de energía porque las moléculas se mueven a favor de **gradiente electroquímico**, que es la fuerza que empuja de manera espontánea las moléculas de un lado a otro de la membrana. Este fenómeno se da porque existe un **gradiente de concentración**, que empuja las moléculas desde el lado con mayor concentración hasta el de menor, y el **gradiente eléctrico**, que empuja las moléculas cargadas hacia el lado con cargas del signo contrario para equilibrar las cargas.

Las moléculas muy pequeñas u otras más grandes pero liposolubles (apolares) atraviesan la membrana por **difusión simple** (O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>...). Cuando el transporte se da mediante un canal que deja pasar las moléculas o una permeasa (transportador que lleva las moléculas de un lado a otro) se le llama **difusión facilitada** (agua, iones...). Un ejemplo de este transporte pasivo de agua es la **ósmosis**, que se basa en el paso de agua desde soluciones hipotónicas a soluciones hipertónicas.



**Activo.** Requiere gasto energía porque se transportan moléculas en contra del gradiente electroquímico.



Hasta ahora hemos considerado el transporte de una única molécula, pero en ocasiones se produce el transporte de varias a la vez. Es lo que se llama **cotransporte**. Si las diferentes moléculas pasan en el mismo sentido se habla de **simporte**, si lo hacen en el contrario, de **antiporte**. El cotransporte suele suponer el paso de moléculas en contra de su gradiente gracias al paso de otras a favor de su gradiente, por lo que se suele incluir en el transporte activo.

Un ejemplo de cotransporte antiporte es la **bomba Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>**, que bombea 2 K<sup>+</sup> hacia el interior celular y 3 Na<sup>+</sup> al exterior en contra de sus gradientes y, por tanto, con gasto de energía en forma de ATP.

Sus funciones son:

- Ayudar a mantener el interior de la célula cargado negativamente y la cara externa cargada positivamente, lo que permite ciertas funciones celulares.
- Controla el volumen celular. Sin la expulsión de Na<sup>+</sup> las células se hincharían por ósmosis y explotarían.
- El Na<sup>+</sup> expulsado puede ayudar a introducir nutrientes en la célula gracias al cotransporte con esas moléculas.

### TRANSPORTE DE GRANDES PARTÍCULAS A TRAVÉS DE LA MEMBRANA

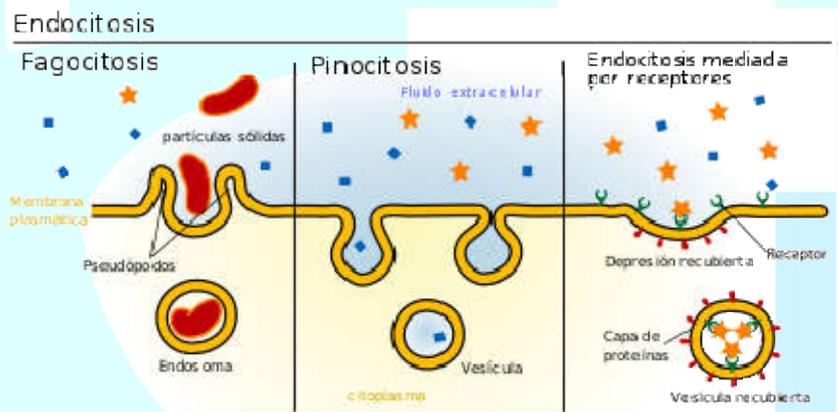
Para el transporte de sustancias más grandes, las membranas forman vesículas que contienen esas sustancias. Pueden ser formadas por un proceso denominado **endocitosis cuando se da hacia el interior y exocitosis** cuando se da hacia el exterior.

Hay tres tipos de endocitosis:

**Fagocitosis.** La membrana envuelve una partícula mediante unas prolongaciones llamadas pseudópodos y la incorpora.

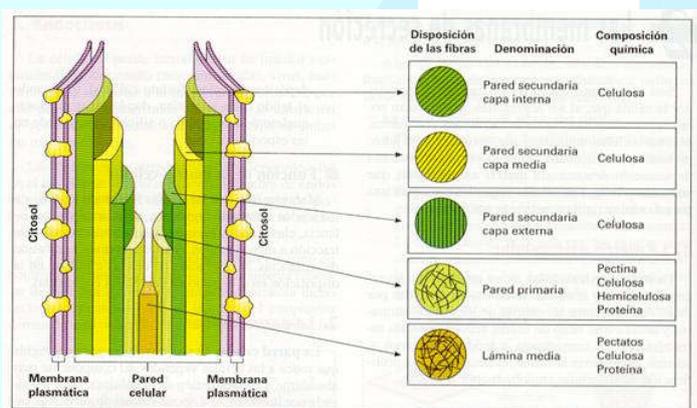
**Pinocitosis.** La membrana engloba en una vesícula una porción de líquido del exterior de la célula y la asimila.

**Endocitosis mediada por receptor.** Una molécula se une a un receptor de la membrana, el cual promueve la formación de una vesícula que incorpora la molécula.



### PARED CELULAR VEGETAL

Esta pared celular es muy diferente a la bacteriana y sólo está presente en las células vegetales. La capa más externa que separa las paredes celulares de células vecinas se denomina **lámina media**, compuesta principalmente por pectina. En las células jóvenes hay una **pared primaria**, más interna, formada principalmente por una matriz de pectina y hemicelulosa en que se integran las fibras de celulosa. En determinadas células se añade una capa más interna, la **pared secundaria**, compuesta principalmente por fibras de celulosa, que otorga mayor grosor y consistencia a la pared celular.



La función de la pared celular es otorgar protección y soporte a la célula, así como controlar el volumen.

## CITOSOL

Es el medio en el que tienen lugar las reacciones químicas de la célula. En el citosol están inmersos una red proteica llamada **citoesqueleto** y los **orgánulos** celulares. Estos últimos son estructuras que realizan funciones determinadas para la célula, de manera similar a como los órganos lo hacen en el cuerpo, y pueden estar rodeados de membranas o no.

## CITOESQUELETO

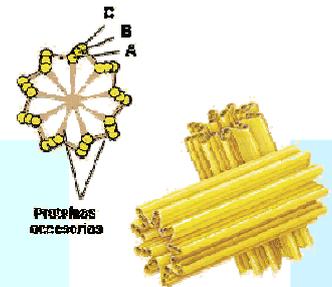
Es una estructura proteica en forma de red formada por microfilamentos (de actina), microtúbulos (de tubulina) y filamentos intermedios (queratina y otras proteínas). Es el responsable de la forma de la célula y el movimiento de sustancias y orgánulos en el citosol.



## ORGÁNULOS NO MEMBRANOSOS

### CENTROSOMA

Orgánulo exclusivo de células animales. Está formado por los **centriolos**, dos cilindros huecos formados por microtúbulos y perpendiculares entre sí, y la sustancia que los rodea. Su función es organizar los microtúbulos de la célula. Tiene gran importancia en la división celular porque en ella guía el movimiento de los cromosomas.

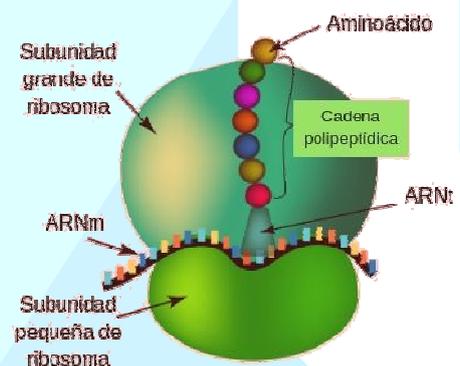


### CILIOS Y FLAGELOS

Son estructuras principalmente por microtúbulos. Pueden moverse y con ello dan a las células capacidad de desplazamiento.

### RIBOSOMAS

Orgánulos pequeños, con dos subunidades compuestas por ARNr y proteínas. Pueden estar libres o adosados al retículo endoplasmático rugoso (ver más adelante). Su función es sintetizar las proteínas, traduciendo una secuencia de nucleótidos en otra de aminoácidos.

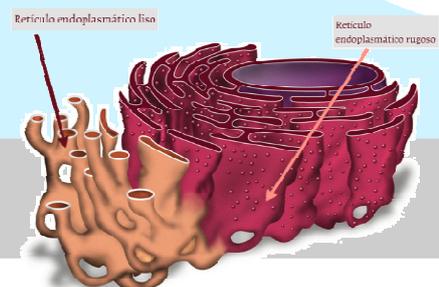


## ORGÁNULOS MEMBRANOSOS

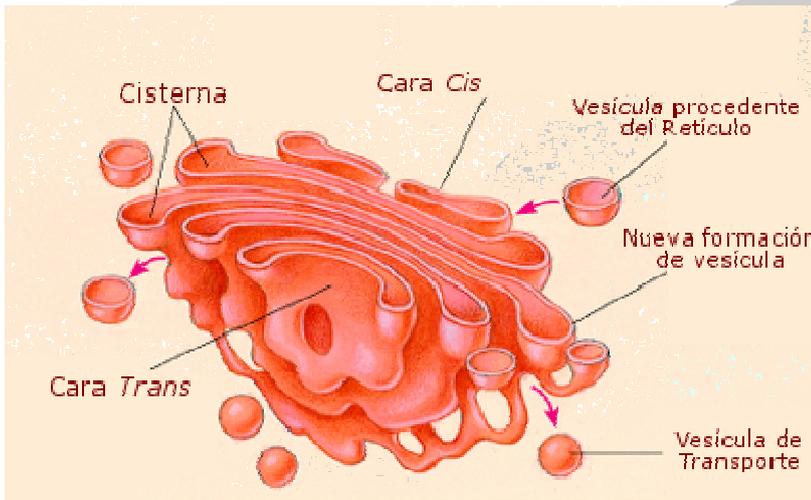
### RETÍCULO ENDOPLASMÁTICO

Estructura laminar, vesículas y tubos. Se distinguen

dos tipos: **El retículo endoplásmico liso**, formado por túbulos y vesículas, en el que se sintetizan lípidos de membrana y el **retículo endoplásmico rugoso**, que debe su nombre a que tiene adosados ribosomas en su cara externa, donde se sintetizan proteínas para las diferentes membranas y para la exocitosis. De ambos salen vesículas que pueden llegar al aparato de Golgi u otros destinos.



### APARATO DE GOLGI



Está formado por una serie de sacos apilados. Presenta dos caras la "cis" o de formación en la que se encuentran las vesículas de transición que vienen del vesículo endoplásmico y la cara "trans" o de maduración en la que se encuentran las vesículas de secreción. Tiene las siguientes funciones: transporte de proteínas, glicosilación de moléculas, formación de membranas y pared celular y formación de lisosomas para la digestión intracelular, entre otras.

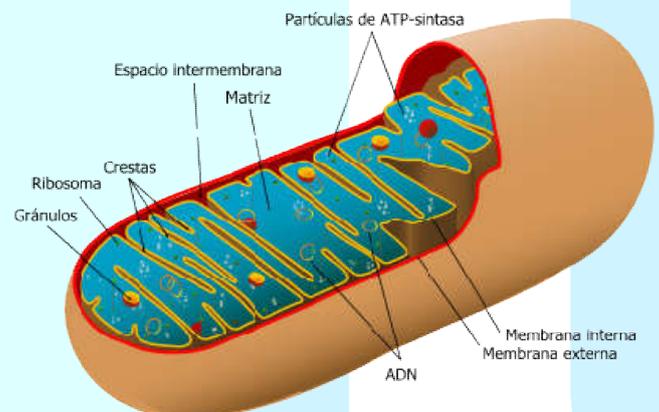
Son vesículas que realizan la digestión de partículas externas (heterofagia) o internas (autofagia). En su cara interna tienen una cubierta protectora para evitar que los enzimas digestivos que contienen destruyan su propia membrana.

### VACUOLAS

Son vesículas de gran tamaño en vegetales y pequeño en animales. Su función principal es el almacenamiento de sustancias, fundamentalmente agua.

### MITOCONDRIAS

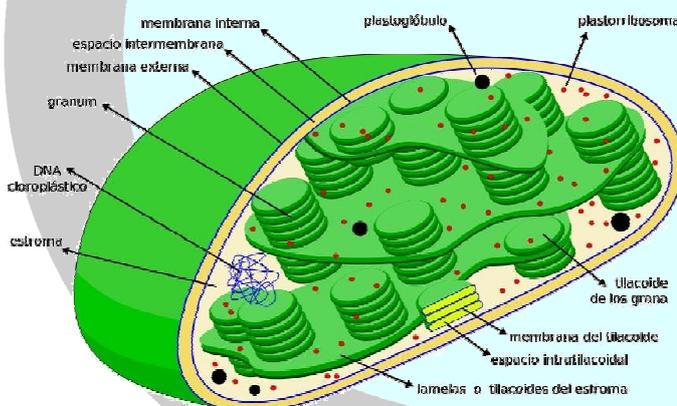
Órganulos con doble membrana, la interna está replegada formando crestas, en las que se encuentran enzimas para realizar la respiración celular. En su interior denominado matriz se realizan procesos catabólicos como el ciclo de Krebs o la oxidación de los ácidos grasos. De todos estos procesos se obtiene energía en forma de ATP.



Son orgánulos con tres membranas. La más interna con forma de láminas y sacos apilados denominados tilacoides, en los que se realiza la fase luminosa de la fotosíntesis. En el interior denominado estroma se realiza la fase biosintética o no dependiente de la luz de la fotosíntesis.

### CLOROPLASTOS

Únicamente se encuentran en células vegetales.



El **origen de mitocondrias y cloroplastos** se explica por la **teoría endosimbiótica** de Margulis, que supone que son antiguas bacterias que fueron capturadas por otras células heterótrofas y quedaron en su interior aprovechándose de sus funciones.

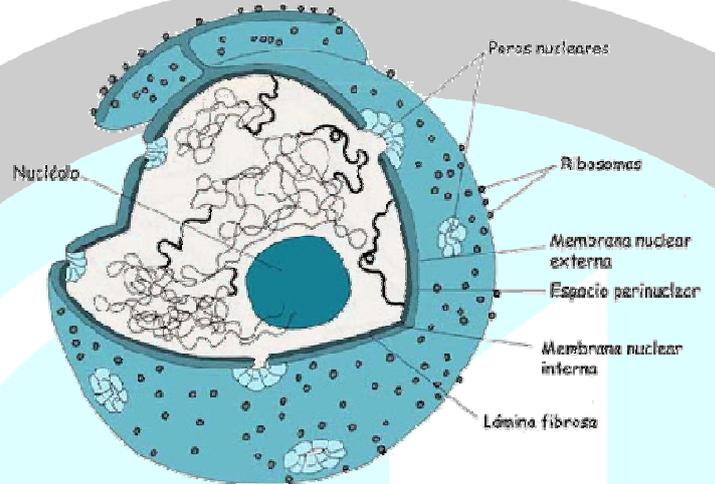
## NÚCLEO

Puede tener diversas formas y localización. Consta de las siguientes partes:

**Envoltura:** formada por el retículo endoplásmico, es una doble membrana en la que aparecen unos poros de comunicación. En su parte interna se ancla la cromatina.

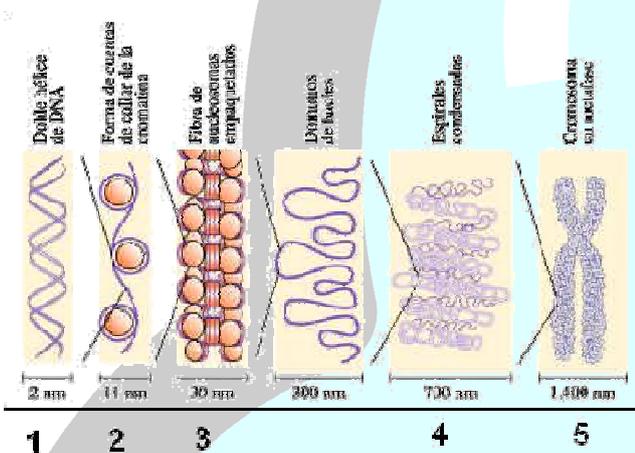
**Nucleoplasma:** Es el medio en el que se encuentra el material genético.

**Cromatina:** Es la forma aparentemente amorfa y mezclada que tiene el conjunto de moléculas de ADN de la célula cuando no está en división. En ella la doble hélice de ADN está compactada varias veces. El primer nivel de condensación consiste en los **nucleosomas** (agrupaciones de ADN alrededor de unas proteínas llamadas histonas), que se unen en una estructura



llamada **collar de perlas**. Después, los nucleosomas forman una fibra, el **solenioide**. La siguiente compactación forma unos **bucles**, que al volver a compactarse dan lugar a **espirales**. La cromatina funcional se encuentra en estos dos últimos estados. En la división celular se da una última compactación que da lugar a los  **cromosomas** en división, los cuales ya pueden distinguirse unos de otros.

Al conjunto de cromosomas de una célula y sus características se le conoce como **cariotipo**.

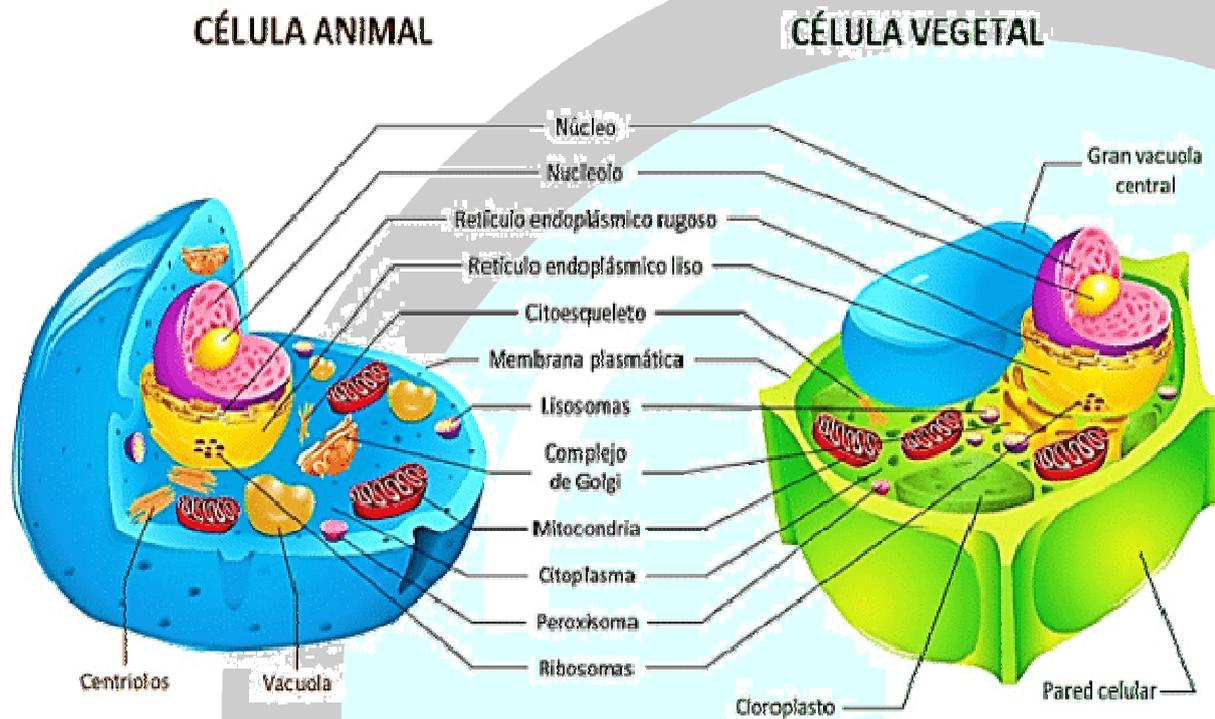


**Nucleolo:** Es una zona circular densa formada por ARN, proteínas y ADN. En ella se fabrican los ribosomas, por lo que hay ARN ribosómico y nucleolar (precursor del ribosómico).

## CÉLULA ANIMAL Y VEGETAL

Como se ha visto, las células eucariotas contienen todos los orgánulos antes descritos. Existen dos modelos de organización celular, la animal y la vegetal, que tienen las siguientes diferencias:

CÉLULA ANIMAL	CÉLULA VEGETAL
Sin pared celular	Con pared celular
Sin cloroplastos	Con cloroplastos
Varias vacuolas pequeñas	Una vacuola grande
Muchos lisosomas	Pocos lisosomas
Con centrosoma	Sin centrosoma



## CICLO Y DIVISIÓN CELULARES

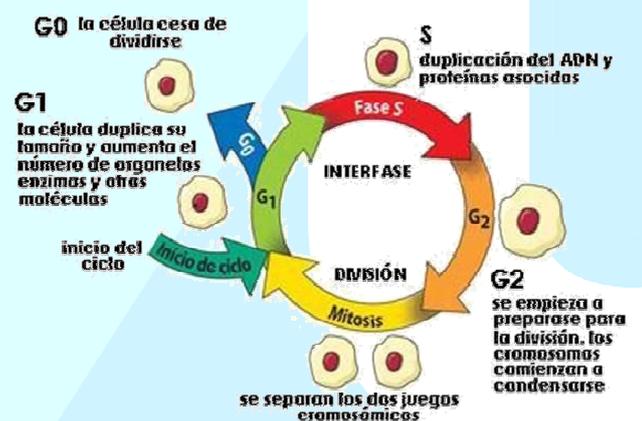
Para que los organismos se puedan reproducir necesitan que sus células se dividan. El proceso de división celular forma parte del llamado **ciclo celular**, que se basa en la repetición de una serie de fases por las que pasan las células vivas. Las fases del ciclo celular son:

### INTERFASE

- **G1.** Es una fase de crecimiento que se da en las células hijas tras la división celular.
- **S.** En esta fase el ADN se duplica, para asegurar que en una futura división las dos células hijas tengan la misma cantidad de ADN.
- **G2.** La célula se prepara para la división.

### DIVISIÓN

- **M.** La célula se divide, bien a través de **mitosis** o de **meiosis**, que ya veremos en más detalle.



Existen células especializadas, como las neuronas o las fibras musculares, que ya no se dividen: salen del ciclo y pasan a una nueva fase llamada **G0**, en la que a pesar de que no se dividan siguen teniendo actividad.

## DIVISIÓN CELULAR

La división celular ocurre en la fase M. La **mitosis** es la división del núcleo que se da normalmente, y su resultado son dos células hijas idénticas a la célula madre original. Después de la mitosis, se da la división del citoplasma y el reparto de orgánulos, **citocinesis**.

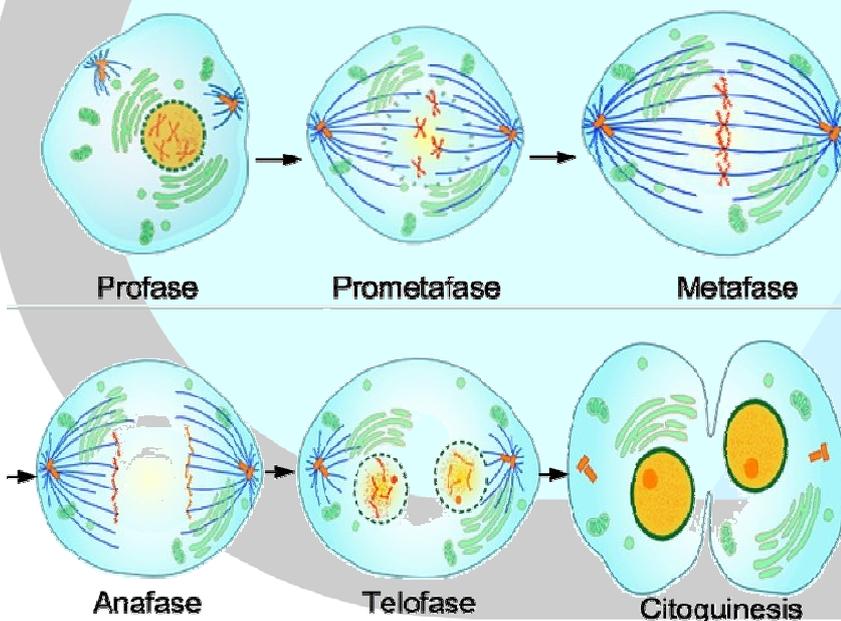
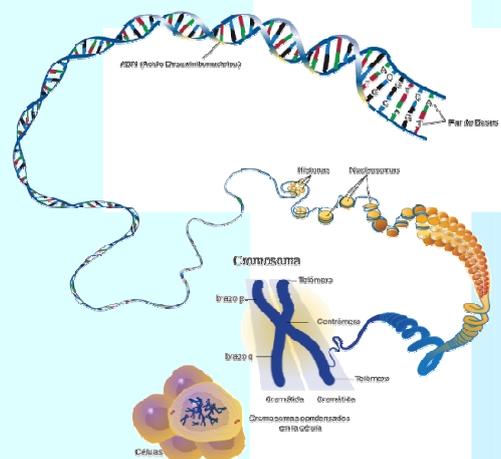
### MITOSIS

Las células de los organismos de una especie tienen un número de cromosomas determinado que se repite en todas las células de esa especie. Cada cromosoma lleva información para determinados caracteres (color de ojos, pelo, etc.). Las células que tienen un sólo juego de cromosomas se denominan **haploides** se dice que tienen **n** cromosomas. Las que tienen dos juegos de cromosomas, es decir dos **cromosomas homólogos** que codifican información para los mismos caracteres, son **diploides**, y tienen **2n** cromosomas. La mayoría de las células de nuestro cuerpo son diploides, siendo haploides únicamente las células que van a dar lugar a los gametos (espermatozoides y óvulos).

La mitosis de una célula diploide (2n) dará lugar a dos células idénticas (2n) con el mismo número de cromosomas que la original. Tiene las siguientes fases: **profase, metafase, anafase y telofase**.

**Profase.** Desaparece el nucleolo. Se hacen visibles los cromosomas, que poseen dos cromátidas porque se han duplicado anteriormente en la fase S del ciclo celular. Desaparece la envoltura nuclear. Se duplica el centrosoma y los resultantes se desplazan a los polos de la célula, formando el **huso cromático**, red de microtúbulos que se encargarán de separar los cromosomas.

Los cromosomas cuando la célula está en división, dejan de estar en forma desorganizada (cromatina) y se hacen visibles. Cuando los cromosomas se han duplicado presentan dos **cromátidas**, cada una de ellas copia exacta de la otra. Están unidas por el **centrómero**.



**Metafase.** Los cromosomas se sitúan en el plano ecuatorial. Están unidos al huso acromático por el centrómero.

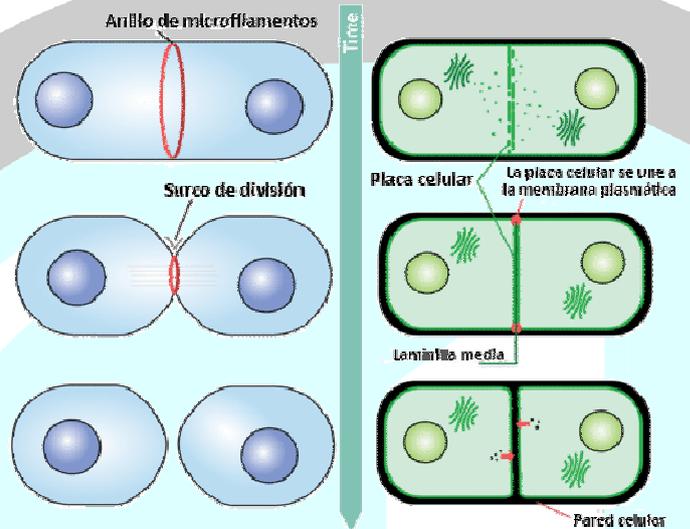
**Anafase.** Las cromátidas de cada cromosoma se separan y se dirigen a los polos opuestos de la célula, arrastradas por los microtúbulos del huso. Cada cromátida pasa a ser un futuro cromosoma de las células hijas.

**Telofase.** Estos cromosomas hijos llegan a los polos y dejan de ser visibles, pasando a forma de cromatina. Se forman nuevas envolturas nucleares y se desorganiza el huso acromático.

### CITOCINESIS

Después de la mitosis se debe dar la citocinesis o división del citoplasma. El proceso es diferente en células animales y vegetales. En animales, se forma un **anillo contráctil** que comprime la zona ecuatorial o media de las células hasta que las membranas se separan y se obtienen las dos células hijas.

En la célula vegetal, sin embargo, la pared celular impide este proceso. En su lugar el aparato de Golgi secreta componentes que se colocan en la región ecuatorial de la célula y forman una nueva pared celular separando las dos células hijas.

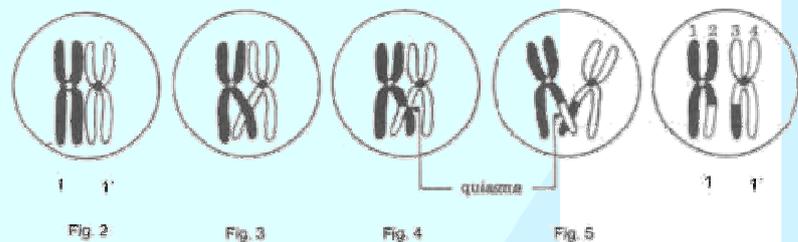


### MEIOSIS

Cuando la división celular tiene por objeto la obtención de gametos ( $n$ ) no da lugar a dos células idénticas, diploides, si no que da lugar a 4 células haploides. Este proceso, que comprende dos divisiones celulares sucesivas, es necesario para la obtención de células germinales, diferentes entre sí, que posibilitará la variabilidad genética, fundamental para la reproducción y la evolución. Las fases de este proceso son semejantes a mitosis, pero con características propias.

#### PRIMERA DIVISIÓN MEIÓTICA

**Profase I.** Esta fase es más larga que la de mitosis. Desaparece el nucleolo y los cromosomas se hacen visibles. Los homólogos (cromosomas que llevan información genética para los mismos caracteres) se unen longitudinalmente. Este proceso se denomina **sinapsis**. Al unirse los cromosomas homólogos aparece una estructura nueva denominada **bivalente**. Entonces se recombinan trozos de cromosomas apareados, quedando entre las cromátidas unos puntos de unión denominados **quiasmas**. Comienzan a separarse los cromosomas homólogos, aunque todavía permanecen unidos por los quiasmas y finalmente se separan por completo y desaparece la envoltura nuclear.



Entonces se recombinan trozos de cromosomas apareados, quedando entre las cromátidas unos puntos de unión denominados **quiasmas**. Comienzan a separarse los cromosomas homólogos, aunque todavía permanecen unidos por los quiasmas y finalmente se separan por completo y desaparece la envoltura nuclear.

**Metafase I.** Las tétradas o bivalentes se sitúan en el plano ecuatorial.

**Anafase I.** Cada uno de los cromosomas homólogos se dirigen a los polos opuestos de la célula, arrastrados por los microtúbulos de huso. Cada uno de los cromosomas están todavía duplicados y conservan sus dos cromátidas.

**Telofase I.** Los cromosomas se agrupan en los polos.

Se produce la primera división citoplasmática dando origen a dos células hijas haploides ( $n$ ), ya que sólo tienen un juego de cromosomas, aunque estos tengan dos cromátidas.

## SEGUNDA DIVISIÓN MEIÓTICA

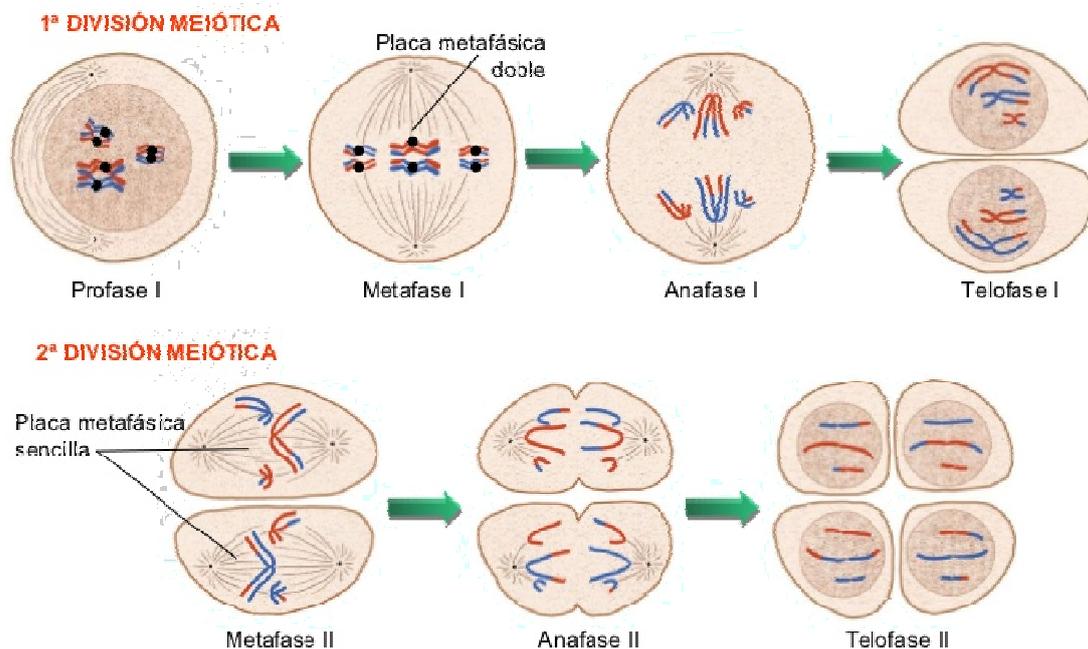
La realizan las dos células obtenidas en la anterior división. Es una división muy parecida a la mitosis.

**Profase II.** desaparece la envoltura nuclear. Se duplican los centriolos y se forma el huso acromático. Si los cromosomas se descondensaron, ahora vuelven a condensarse y ser visibles.

**Metafase II.** Los cromosomas se colocan en el plano ecuatorial unidos al huso por el centrómero.

**Anafase II.** Se separan las dos cromátidas dirigiéndose a los polos opuestos de la célula. Cada cromátida pasará a ser un cromosoma de las células hijas.

**Telofase II.** Se forman las envolturas nucleares, los cromosomas se descondensan a cromatina.



Se produce la segunda división del citoplasma. El resultado final son cuatro células haploides, con un sólo juego de cromosomas homólogos, cada uno de ellos con una sola cromátida.

## SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LA MITOSIS Y LA MEIOSIS Y COMPARACIÓN DE AMBOS PROCESOS

La **mitosis** es un proceso que utilizan los organismos unicelulares para reproducirse y las células somáticas (no reproductoras) de los organismos pluricelulares para el crecimiento de los organismos. Se mantiene toda la información genética. Aunque las células obtenidas en principio son idénticas, en el proceso de especialización celular pueden llegar a ser muy diferentes morfológica y funcionalmente.

La **meiosis** es un proceso orientado a la producción de células reproductoras o gametos, que será utilizados en la reproducción sexual de los organismo pluricelulares. Este proceso permite que en la reproducción sexual no se duplique el número de cromosomas en la siguiente generación. Además en la profase I se produce intercambio genético entre cromosomas homólogos, y de esta forma en los gametos existe mezcla de caracteres paternos y maternos. De esta forma se produce variabilidad en la descendencia y se favorece el proceso de evolución de los seres vivos.

Las **semejanzas** entre ambos procesos son las siguientes:

- Son divisiones del material del núcleo.
- A partir de una célula madre se obtienen varias células hijas.
- El total del material genético que interviene es el mismo.
- La envoltura nuclear desaparece.
- El movimiento y situación de los cromosomas es el mismo en cada una de las fases.

Las **diferencias** entre ambos procesos son las siguientes.

MITOSIS	MEIOSIS
Se originan 2 células	Se originan 4 células
Células idénticas a la madre	Diferentes, gametos
Igual número de cromosomas en las células hijas	Células hijas con la mitad de cromosomas que la original
Se produce en células somáticas	En los órganos que dan lugar a células reproductoras, las gónadas
Una sola división	2 divisiones sucesivas
Las células hijas son iguales entre sí	Los gametos tienen diferente información genética entre sí
No hay bivalentes	Sí hay bivalentes.

## METABOLISMO

El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas que tienen lugar en el interior de las células. Estas reacciones se dan de forma consecutiva, en una secuencia denominada **ruta metabólica**. Se pueden distinguir las rutas metabólicas en las que se obtiene energía degradando moléculas complejas, **catabolismo**, y en las que se gasta energía para fabricar moléculas, **anabolismo**.

Para llevar a cabo estas reacciones químicas se requiere energía y materia exógena. Los organismos que sintetizan su propia materia orgánica a partir de materia inorgánica son **autótrofos**. Si la energía necesaria para sintetizar la materia orgánica la obtienen de la luz solar son **fotoautótrofos**, si la obtienen de reacciones químicas, **quimioautótrofos**. Los organismos que obtienen la materia orgánica de otros seres vivos son **heterótrofos**.

En el metabolismo, tienen un papel fundamental las llamadas **reacciones de oxidación-reducción**. En ellas, una molécula se **reduce** (gana electrones, gana átomos de H o pierde Átomos de O) y otra se **oxida** (pierde electrones, pierde átomos de H o gana átomos de O).

## COENZIMAS EN EL METABOLISMO

Existen varias moléculas que funcionan como coenzimas, interviniendo así en estas reacciones de oxidación-reducción. Entre ellas se encuentran el **NAD+**, **NADP+** y el **FAD+**. Los tres son dinucleótidos, que pueden reducirse (tomar átomos de H) u oxidarse (soltar esos átomos), de manera que participan en redacciones de oxidación-reducción. En realidad funcionan como transportadores de átomos de H y sus electrones.

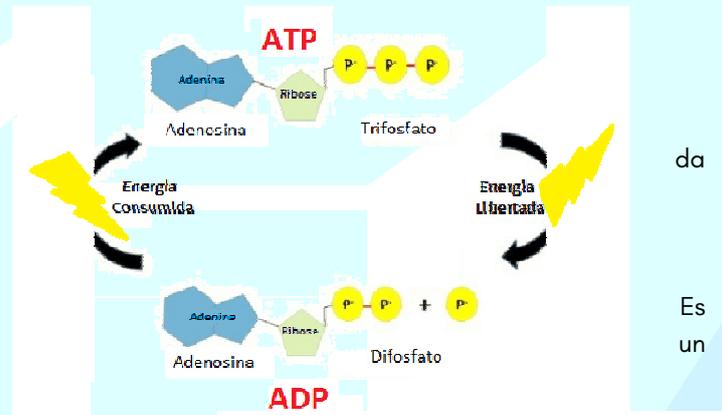
Normalmente en las reacciones catabólicas se producen oxidaciones de moléculas como azúcares o grasas, a la par que el **NAD+**, **NADP+** o el **FAD+** (el que participe en esa reacción en concreto) se reducen (toman átomos de H). Una vez en forma de **NADH**, **NADPH** o **FADH<sub>2</sub>**, respectivamente, deberán participar en otra reacción en la que se oxiden (cediendo esos átomos de H a otras moléculas). De esta manera vuelven a estar disponibles.

## NUCLEÓTIDOS ENERGÉTICOS: EL ATP

El ATP es la moneda energética usada en las reacciones de las células. Es un nucleótido formado por Adenina unida a Ribosa y ésta unida a 3 grupos fosfato, de ahí su nombre (Adenosín trifosfato). Cuando una reacción necesita energía, se rompe un enlace entre los dos últimos grupos fosfatos, dando lugar a ADP (Adenosín difosfato) y un grupo fosfato libre. La rotura de este enlace libera energía química que puede usarse en esa reacción.

De manera inversa, también puede ocurrir que se produzca una molécula de ATP a partir de ADP + un fosfato libre. Esto puede ocurrir de dos maneras:

- **Fosforilación a nivel de sustrato.** Se produce cuando una reacción libera energía y esta energía se usa para formar una molécula de ATP.
- **Fosforilación mediante ATP-sintasa.** Es una enzima que sintetiza ATP gracias a un gradiente químico.



## CATABOLISMO

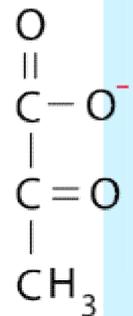
Pertencen a él todas las rutas metabólicas mediante las cuales se obtiene energía a partir de la degradación de moléculas complejas. Las biomoléculas que participan en estas rutas son principalmente glúcidos y lípidos.

En el catabolismo de glúcidos están incluidas la glucólisis, las fermentaciones y la respiración celular. En el catabolismo de lípidos, la  $\beta$ -oxidación de ácidos grasos. Algunas de estas rutas metabólicas requieren la presencia de oxígeno (**aerobias**), mientras que otras no la requieren (**anaerobias**).

### GLUCÓLISIS

En esta ruta metabólica, común a casi todos los seres vivos y **anaerobia**, se degrada la **glucosa** obteniéndose **piruvato** y ATP a nivel de sustrato a lo largo de 10 reacciones químicas que tienen lugar en el citoplasma.

La eficacia como ruta metabólica es muy baja, puesto que tiene un rendimiento neto de tan sólo 2 ATP por molécula de glucosa. Además de ese ATP, se obtiene poder reductor en forma de 2 NADH. Estos NADH deben regenerarse a NAD<sup>+</sup> de nuevo para que la glucólisis pueda continuar. Hay dos maneras de que se regenere el NADH. En la primera el NADH se oxida en la **respiración celular**. En la segunda, se oxida en unas rutas llamadas **fermentaciones**.



Piruvato

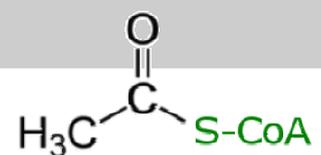
### ECUACIÓN GLOBAL DE LA GLUCÓLISIS



### RESPIRACIÓN CELULAR

Cuando se habla de respiración celular no nos referimos al proceso de toma de O<sub>2</sub> y liberación de CO<sub>2</sub> que realizan muchos organismos, si no a una ruta metabólica que produce la oxidación completa de las moléculas energéticas para obtener de estas esa energía. En realidad no es una sino dos rutas metabólicas acopladas. **Ciclo de Krebs** y **Fosforilación oxidativa** que veremos a continuación.

La respiración celular aerobia incluye la glucólisis, y las siguientes transformaciones del piruvato que se obtiene en la glucólisis. El piruvato se introduce en la matriz mitocondrial gracias a transportadores de membrana. Allí se



Acetil-Coenzima A

convierte en **acetil-CoA**, molécula que se incorporará a la siguiente ruta de la respiración celular aerobia : el ciclo de Krebs. En la reacción se libera 1 NADH.

### CICLO DE KREBS

El ciclo de Krebs o ciclo de los ácidos tricarbóxicos es una ruta metabólica cíclica que se da en la matriz mitocondrial y en la que a través de 8 pasos se produce la oxidación completa del acetil-CoA a CO<sub>2</sub>. Por cada vuelta (1 molécula de actil-CoA) se obtiene poder reductor en forma de NADH y FADH<sub>2</sub> y GTP (molécula energética convertible en ATP), además de precursores de rutas anabólicas. Al tener un papel central de rutas catabólicas y anabólicas, se dice que el ciclo de Krebs es una **ruta anfibólica**.

Por cada molécula de glucosa, el ciclo de Krebs debe dar 2 vueltas, ya que en la glucólisis se obtienen 2 moléculas de ácido pirúvico.

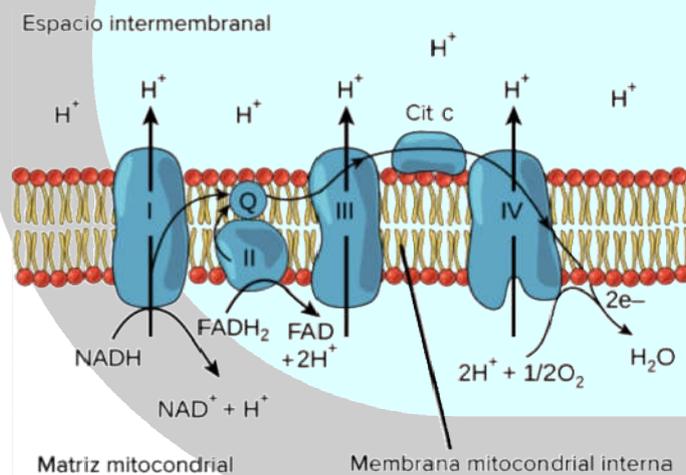
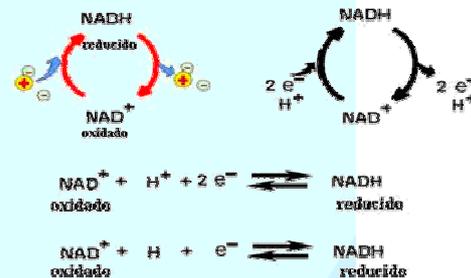
### ECUACIÓN GLOBAL CICLO DE KREBS

Por 1 molécula de acetil-CoA se producen:

- 3 moléculas de NADH y 3 H<sup>+</sup>.
- 1 molécula de FADH<sub>2</sub>.
- 1 molécula de GTP que se hidroliza para dar una de ATP a partir de ADP.

### CADENA RESPIRATORIA Y FOSFORILACIÓN OXIDATIVA

En las rutas metabólicas anteriores se obtiene una pequeña cantidad de ATP y GTP por fosforilación a nivel de sustrato. En organismos evolucionados apareció un mecanismo que permitió utilizar el poder reductor del NADH y FADH<sub>2</sub> que se obtienen en esas rutas para obtener ATP. Este mecanismo es la cadena respiratoria, en la que se da un transporte de electrones. Consiste en una serie de complejos moleculares insertos en la membrana mitocondrial interna a los que tanto el NADH como el FADH<sub>2</sub> ceden sus electrones. El NADH los cede al complejo I, mientras que el FADH<sub>2</sub> los cede al complejo II. Cuando el NADH y el FADH<sub>2</sub> ceden electrones, estos son transportados por los demás complejos en una serie de reacciones de oxidación-reducción hasta llegar al complejo IV, donde también se ceden electrones al O<sub>2</sub>, que tomando dos átomos de H del medio se convierte en H<sub>2</sub>O.



En el transporte de electrones se genera una energía que se utiliza para bombear protones (H<sup>+</sup>) al espacio intermembranal mitocondrial. Este hecho es lo que hace posible la **fosforilación oxidativa**, que consiste en la producción de ATP a través de una ATP-sintasa (complejo V). La ATP-sintasa utiliza el gradiente químico de los H<sup>+</sup> (gran concentración en el espacio intermembrana en comparación con la matriz mitocondrial). Los H<sup>+</sup> no pueden volver a la matriz salvo

por un canal de la ATP-sintasa. Cuando pasan por el canal, generan una energía que es utilizada para producir ATP a partir de ADP y un fosfato libre (Pi). Por cada NADH se generan 3 ATP y por cada FADH<sub>2</sub>, 2 ATP.

por un canal de la ATP-sintasa. Cuando pasan por el canal, generan una energía que es utilizada para producir ATP a partir de ADP y un fosfato libre (Pi). Por cada NADH se generan 3 ATP y por cada FADH<sub>2</sub>, 2 ATP.

Rendimiento energético máximo, obtenido por oxidación completa de la glucosa				
Producción de moléculas en:				
Proceso	Citosol	Matriz mitocondrial	Transporte electrónico	
Glucólisis	2 ATP		según lanzadera	2 ATP
	2 NADH		→ 4 ó 6 ATP	4 ó 6 ATP
Fase aerobia de la respiración		2 × (1 NADH)	→ 2 × (3 ATP)	6 ATP
		2 × (1 ATP)		2 ATP
		2 × (3 NADH)	→ 2 × (9 ATP)	18 ATP
		2 × (1 FADH <sub>2</sub> )	→ 2 × (2 ATP)	4 ATP
			TOTAL:	36/38 ATP

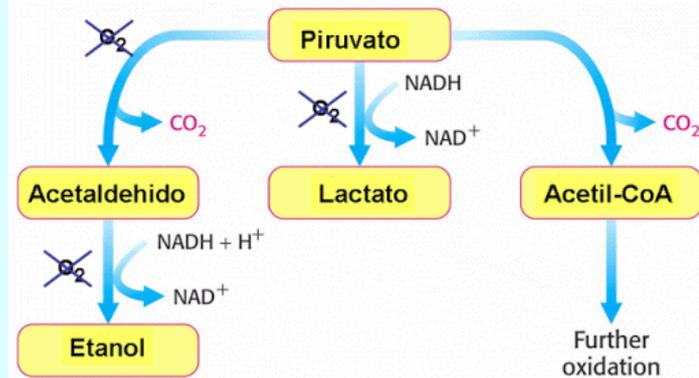
Se produce mucha mayor cantidad de energía en la respiración celular que en la glucólisis, puesto que de los 38 ATP que se producen a partir de una glucosa, sólo 2 pertenecen a la glucólisis.

### FERMENTACIONES

Son rutas metabólicas anaerobias que se dan en organismos que no realizan la respiración celular o cuando falta O<sub>2</sub> (por ejemplo ante un ejercicio físico intenso). Incluyen la glucólisis y unas reacciones en las que se regenera (oxida) NADH. Son poco eficientes energéticamente porque en ellas sólo se obtiene el ATP de la glucólisis. Las dos fermentaciones más importantes son :

**Fermentación alcohólica.** En ella se obtiene etanol y CO<sub>2</sub>. La realizan únicamente microorganismos y es utilizada para la fabricación de bebidas alcohólicas, pan y bollería.

**Fermentación láctica.** En ella se obtiene ácido láctico (también llamado lactato). Realizada por microorganismos pero también por organismos superiores. Utilizada en la fabricación de yogures y quesos.



### CATABOLISMO DE LÍPIDOS. B-OXIDACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS

Para la obtención de energía de las grasas, primero debe separarse el glicerol de los ácidos grasos mediante la actuación de enzimas. Después los ácidos grasos entran en la matriz mitocondrial y se degradan en una ruta denominada **β-oxidación**. Al entrar en la mitocondria los ácidos grasos se activan añadiéndole un grupo CoA. En este proceso se gasta una molécula de ATP. Posteriormente este ácido graso activado, llamado **acil-CoA**, sufre la β-oxidación, que consiste en la rotura por el carbono β del ácido obteniéndose un acetil-CoA y un acil-CoA con dos átomos de carbono menos. Este proceso se repite hasta que todo el acil-CoA ha sido convertido en moléculas de acetil-CoA. Este acetil-CoA puede terminar de degradarse en el ciclo de Krebs.

En cada vuelta de la **β-oxidación**, se produce además un NADH y un FADH<sub>2</sub>. De esta manera, se generan un gran número de NADH y FADH<sub>2</sub> ( los obtenidos en cada vuelta más los obtenidos en el ciclo de Krebs a partir del acetil-CoA) que en la cadena respiratoria producirán un gran número de ATP. De ahí que las grasas sean tan energéticas.

### CATABOLISMO DE PROTEÍNAS Y ÁCIDOS NUCLEICOS

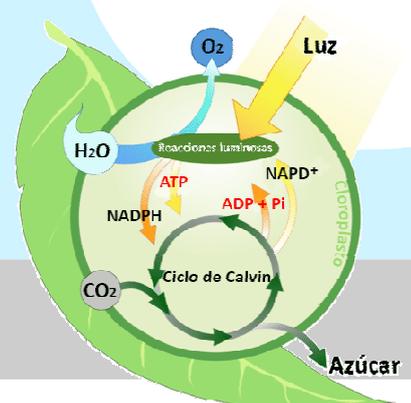
Las proteínas y los ácidos nucleicos no tienen función energética, pero en situaciones de emergencia energética, los aminoácidos y la pentosa de los nucleótidos pueden participar en reacciones catabólicas y obtenerse energía de ellos.

## ANABOLISMO

Pertencen a él todas las rutas metabólicas en las que se sintetizan las biomoléculas complejas. Veremos la más importante de todas, la **fotosíntesis**.

### FOTOSÍNTESIS

En una ruta anabólica a través de la cual los vegetales y otros organismos sintetizan materia orgánica a partir de materia inorgánica gracias a la energía de la luz solar. En la fotosíntesis se utiliza H<sub>2</sub>O como donador de electrones y el CO<sub>2</sub> como fuente de carbono.

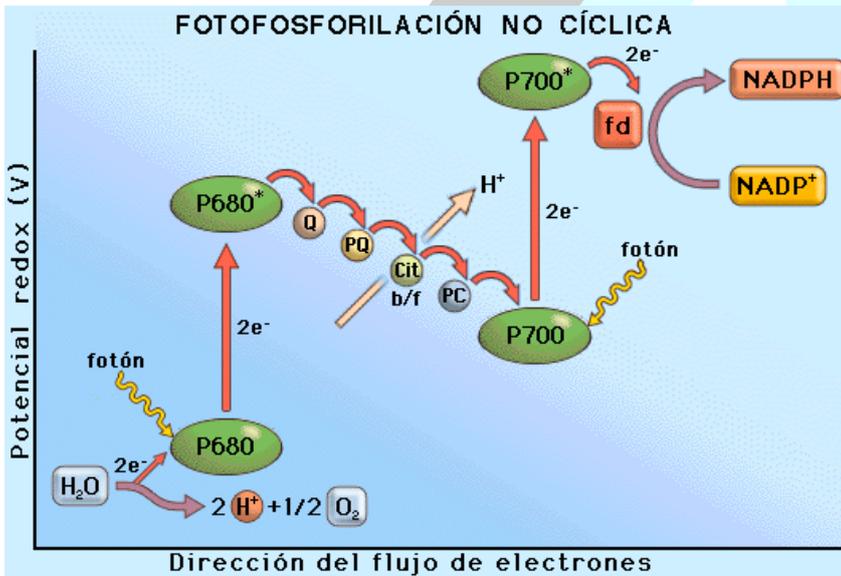


Consiste en dos fases:

- **Fase lumínica.** En ella se capta la energía de la luz solar y se utiliza esa energía para la síntesis de ATP y la obtención de poder reductor en forma de NADPH.
- **Fase oscura o biosintética.** Se utiliza este ATP y el poder reductor del NADPH para la síntesis de azúcares.

**FASE LUMÍNICA**

Ocurre en unas estructuras llamadas **fotosistemas**. La luz va a ser captada por diferentes pigmentos que se agrupan con proteínas formando los **complejos antena**. Estos complejos captan la luz y la energía luminosa se canaliza hasta una molécula de **clorofila** especial llamada **centro de reacción**, de la cual hay dos tipos:



de **clorofila** especial llamada **centro de reacción**, de la cual hay dos tipos:

- Clorofila **p700**, que se encuentra en el fotosistema I.
- Clorofila **p680**, que se encuentra en el fotosistema II.

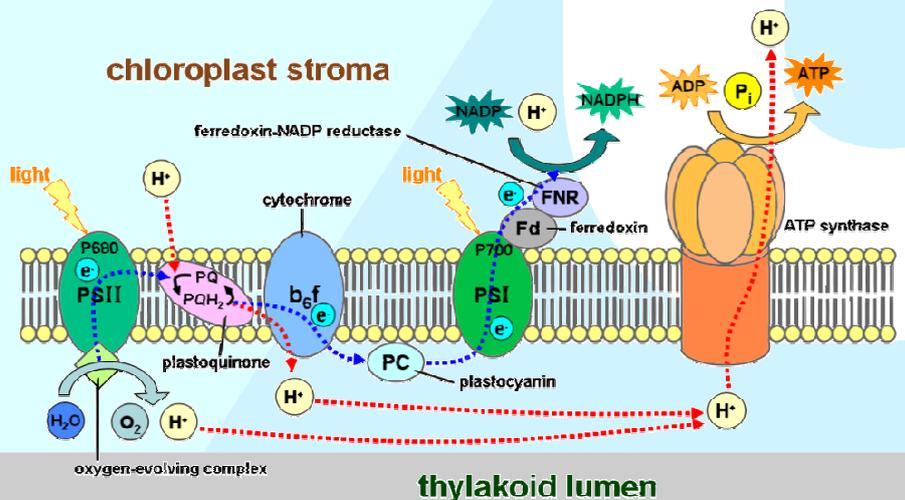
Ambos fotosistemas se encuentran en la membrana de los tilacoides de los cloroplastos.

El proceso comienza cuando la energía luminosa activa un electrón de la molécula de clorofila p700 del fotosistema I, haciendo que lo pierda y se oxide. Este electrón es transportado en una cadena de transporte electrónico en la que hay una serie de reacciones de oxidación-reducción que terminan con la **reducción del NADPH+**, que pasa a NADPH.

Como la clorofila p700 ha perdido un electrón, debe tomar otro para volver a su estado de reposo. Lo toma del fotosistema II, que cuando es activado por la luz, también cede electrones a otra cadena de transporte de electrones que llega hasta el fotosistema I y repone su estado de reposo. En esta cadena se bombean protones (H+) al interior del tilacoide, de manera parecida a como ocurre en la cadena respiratoria.

A su vez el fotosistema II recibe los electrones que le faltan de la **fotólisis de una molécula de H<sub>2</sub>O**, que libera O<sub>2</sub> y protones (H+) que se quedan en el interior del tilacoide.

En la membrana del tilacoide hay una ATP-sintasa que utiliza el gradiente de protones que se genera para sintetizar ATP a partir de ADP y Pi, en lo que se llama fosforilación oxidativa. Es un proceso similar al que ocurre en la fosforilación oxidativa de la respiración celular.



Se puede resumir la fase luminosa en sus tres sucesos principales:

- Fotorreducción del NADP+ a NADPH.

- Fotólisis del H<sub>2</sub>O
- Fotofosforilación del ADP a ATP.

### FASE OSCURA O BIOSINTÉTICA

Consiste en la síntesis de azúcares a partir de molecular inorgánicas, principalmente CO<sub>2</sub>. Como todas las biomoléculas tienen como componente fundamental al C, debe existir un mecanismo mediante el cual el C procedente del CO<sub>2</sub> se incorpore a las moléculas orgánicas. Es el llamado **ciclo de Calvin**, que ocurre en el estroma de los cloroplastos.

Se ha visto que en la fase lumínica se obtiene ATP y poder reductor en forma de NADPH. En el ciclo de Calvin se usan estas moléculas, en un proceso con 3 fases:

1. **Fijación del CO<sub>2</sub>** a la ribulosa ,1-5- difosfato
2. **Reducción** del compuesto que ha asimilado el CO<sub>2</sub>
3. **Regeneración** de la ribulosa 1-5-difosfato

El CO<sub>2</sub> se incorpora a una molécula de ribulosa 1-5-difosfato mediante la enzima **Rubisco**, que al no ser muy eficiente debe estar en gran cantidad en las células fotosintéticas, siendo la proteína más abundante del planeta. La ribulosa (5C) se convierte en una molécula de 6C, que no estable y se rompe en dos moléculas de 3C.

En la fase de reducción se usan 2 ATP y 2 NADH producidos en la fase lumínica para fosforilar y reducir esas 2 moléculas de 3C.

En la fase de regeneración se combinan entre sí varias moléculas de 3C en varias reacciones, cuyo resultado final es que se recupera la ribulosa 1-5-difosfato, con gasto de 1 ATP. En cada vuelta del ciclo se incorpora un CO<sub>2</sub> por lo que se necesitan 6 vueltas para la producción de una moléculas de glucosa (6C).

#### Balance Ciclo Calvin



### QUIMIOSÍNTESIS

Este metabolismo sólo son capaces de realizarlo algunas bacterias. En la quimiosíntesis la energía se obtiene de la oxidación de moléculas inorgánicas sencillas. Con esa energía sintetizan ATP y NADH que son utilizados en reacciones que a partir de moléculas inorgánicas sintetizan las moléculas orgánicas que necesitan.