

Colección Temas Selectos

# Célula eucariota: estructura y función

Teoría y práctica

Niveles básico - intermedio - avanzado

Biología



Ricardo Paredes Quinteros



Lumbleros  
Editores

Colección Temas Selectos

# Célula eucariota: estructura y función

Teoría y práctica

Niveles básico - intermedio - avanzado

Biología



**EL TÍO**

**LIBROS GRATIS EN PDF**



Ricardo Paredes Quinteros



Lumbreras  
Editores

# Índice

■ PRESENTACIÓN .....	7
■ INTRODUCCIÓN .....	9
■ CÉLULA EUCARIOTA	
1. Introducción .....	11
2. Origen .....	12
3. Estructura .....	13
4. Matriz extracelular .....	13
5. Membrana citoplasmática .....	15
6. Citoplasma .....	18
7. Núcleo .....	31
Preguntas resueltas .....	33
Preguntas propuestas .....	37
■ TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA MEMBRANA	
1. Definición .....	39
2. Importancia .....	39
3. Mecanismos de transporte .....	41
Preguntas resueltas .....	49
Preguntas propuestas .....	53
■ FOTOSÍNTESIS	
1. Definición .....	55
2. Importancia .....	55
3. Características .....	55
4. Fotosíntesis oxigénica .....	56
Preguntas resueltas .....	64
Preguntas propuestas .....	68

■	<b>RESPIRACIÓN CELULAR</b>	
	1. Importancia energética .....	70
	2. Definición .....	71
	3. El ATP .....	71
	4. Ecuación global de la respiración aeróbica de la glucosa .....	71
	5. Características .....	72
	6. Etapas .....	72
	7. Balance energético .....	79
	Preguntas resueltas .....	81
	Preguntas propuestas .....	85
■	<b>CICLO CELULAR</b>	
	1. Definición .....	87
	2. Fases del ciclo celular .....	87
	Preguntas resueltas .....	91
	Preguntas propuestas .....	95
■	<b>FLUJO DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA</b>	
	1. Información genética .....	97
	2. Flujo de la información genética .....	97
	3. Duplicación del ADN .....	98
	4. Expresión genética .....	102
	Preguntas resueltas .....	109
	Preguntas propuestas .....	113
■	<b>MITOSIS</b>	
	1. Definición .....	115
	2. Importancia .....	116
	3. Fases .....	117
	Preguntas resueltas .....	122
	Preguntas propuestas .....	126
■	<b>MEIOSIS</b>	
	1. Definición .....	128
	2. Importancia .....	129
	3. Etapas .....	129
	Preguntas resueltas .....	134
	Preguntas propuestas .....	138
■	<b>CLAVES</b> .....	140
■	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	142



# PRESENTACIÓN

La Asociación Fondo de Investigadores y Editores - Afined, promotora de Lumbreras Editores, presenta a la comunidad educativa el texto *Célula eucariota: estructura y función*, perteneciente a una nueva serie de temas escogidos donde se realiza el valor analítico y crítico en la enseñanza de las ciencias.

La nueva Colección Temas Selectos se caracteriza por brindar a los alumnos preuniversitarios contenidos dinámicos y precisos que afianzan sus conocimientos en temas específicos en los cursos de matemáticas, ciencias naturales y razonamiento matemático. De esta forma, Lumbreras Editores abre una nueva línea de publicaciones poniendo énfasis en el enfoque didáctico y cuidadoso en la relación teoría-práctica.

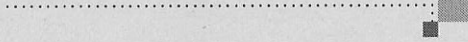
Hay temas principales en cada materia que necesitan de mayor profundización y análisis para la comprensión y resolución de los ejercicios, por eso nuestra editorial seguirá publicando nuevos títulos hasta completar una nutrida colección que permita mantener el reconocimiento y la confianza de los estudiantes, al manejar una teoría sucinta, directa, con preguntas resueltas y preguntas por niveles.

Lumbreras Editores quiere reconocer el esfuerzo conjunto que ha significado esta publicación, en la cual ha participado un grupo de profesionales de primer nivel, cuyo esfuerzo es un apoyo fundamental a nuestro anhelo de una educación científica y humanística integral. En este proceso, deseamos reconocer la labor del profesor Ricardo Paredes Quinteros de la plana de Biología de las academias Aduni y César Vallejo, por su labor en la elaboración del presente material, gracias a su valiosa trayectoria en la enseñanza preuniversitaria.

**Asociación Fondo de Investigadores y Editores**



# INTRODUCCIÓN



La célula es la mínima porción de materia viva; por lo tanto, como la define la NASA, es un sistema químico autosostenible capaz de experimentar evolución biológica.

La biología celular es la ciencia que investiga tanto su estructura como su funcionamiento. La morfología celular, antes llamada citología, indaga las diversas formas y partes que presentan las células, y la fisiología celular teoriza sobre el funcionamiento de la célula.

Su estudio es importante porque nuestro organismo está constituido por aproximadamente 10<sup>14</sup> células, de manera que su conocimiento nos permite comprender nuestro organismo. A los futuros profesionales de la salud les permitirá tener los fundamentos necesarios para poder entender el lenguaje propio de su especialidad y comprender las enfermedades en las que las células responden a la agresión de un patógeno o a una lesión. A los expertos les permite conocer su funcionamiento e, inclusive, prevenir enfermedades como el cáncer; asimismo, plantear alternativas terapéuticas para mejorar los procesos de regeneración tisular.

El presente libro titulado *Célula eucariota: estructura y función* trata los aspectos básicos del estudio de las células con núcleo con relación a los avances de la biología celular y molecular. Está dividido en ocho capítulos para una mejor comprensión de los subtemas, adaptados a las necesidades de los postulantes a las distintas universidades. Además, cada uno contiene problemas resueltos y propuestos, que están clasificados por niveles: básico, intermedio y avanzado.

Esperando que este libro sirva a los jóvenes postulantes y a todos aquellos que aman la biología, no me queda más que agradecer inmensamente a Lumbreras Editores por haberme convocado a aportar en esta serie de temas selectos y a todos sus integrantes que se han esforzado por hacer realidad esta edición. También quiero dedicar este libro a mi mamá Aurora por su inmenso amor y ejemplo diario de lucha y a mis queridos alumnos de la academia Aduni, sede de Ate, que se esfuerzan por ser mejores personas cada día.

# CÉLULA EUCARIOTA

## 1 INTRODUCCIÓN

Como lo había previsto el neodarwinista Ernst Mayr, la genómica comparada, un campo de investigación de la biología molecular, sustenta la clasificación de las células en dos grandes grupos: procariotas y eucariotas. La diferencia fundamental entre ambas es que las procarióticas carecen de núcleo, mientras que las eucarióticas tienen núcleo.

	CÉLULA PROCARIOTA	CÉLULA EUCARIOTA
<b>Núcleo</b>	Ausente. Con nucleoide, una zona donde se encuentra el ADN circular desnudo.	Presente. Formado por la carioteca, el carioplasma, la cromatina y uno o más nucléolos.
	ADN desnudo	ADN asociado a proteínas histonas y proteínas no histónicas.
	Cromosoma único	De dos a más cromosomas.
	Sin nucléolo	Con nucléolo, que se desintegra en la mitosis animal y vegetal. El nucléolo (endosoma) de los protozoos no se desintegra durante la mitosis.
<b>Citoesqueleto</b>	Ausente	Presente, formado por microtúbulos, filamentos intermedios, microfilamentos, la trama microtrabecular y los motores moleculares.
<b>Organelas sin membranas</b>	Presentes: ribosomas	Presentes: ribosomas, centrosomas, undulipodios
<b>Ribosomas</b>	Ribosomas 70S	Ribosomas 55S en las mitocondrias y cloroplastos. Ribosomas 80S en el citoplasma asociados al citoesqueleto o formando parte del RER (rugoso) y de la carioteca (membrana externa).
<b>Organelas con membranas</b>	Ausentes	Presentes. Sistema de endomembranas (constituido por el aparato de Golgi, el retículo endoplasmático, lisosomas y vacuolas), peroxisomas, glioxisomas, mitocondrias y plastidios.
<b>Sustancia de reserva</b>	Glicógeno o almidón cianofíceo	Glucógeno en la célula animal y almidón en la célula vegetal.

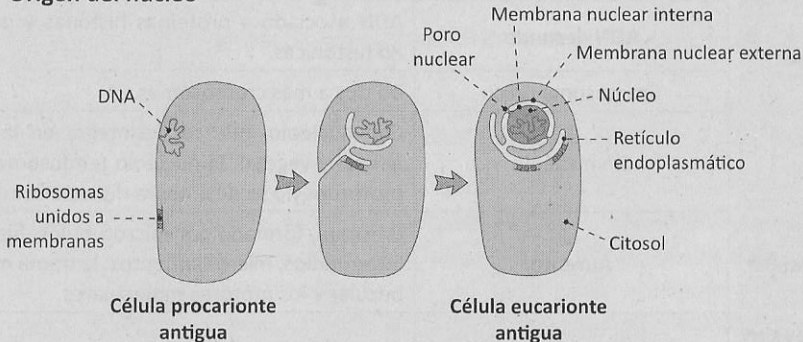
De manera que la clasificación de Mayr en dos imperios biológicos a la luz de la genómica es válida.

## 2 ORIGEN

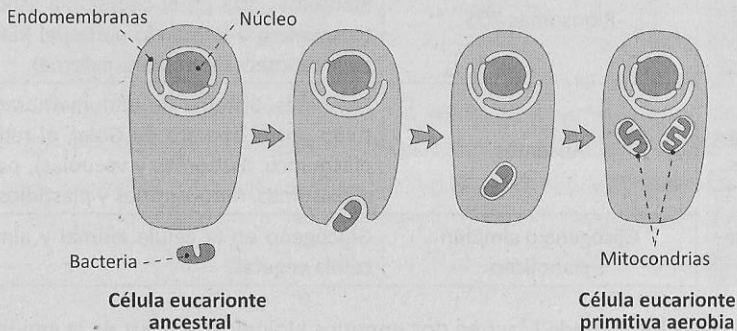
Existen muchos planteamientos acerca del origen de la célula eucariota dentro de los que destaca la **teoría de la endosimbiosis serial** de Lyn Margulis (1967), según la cual la célula eucariota se originó a partir de la simbiosis (simbiosis 'viviendo juntos') de células procariotas, es decir, de la asociación de células sin núcleo ancestrales.

Una célula procariota antigua (la más grande, que aportó el metabolismo) habría ingerido (endocitosis) a otra célula procariótica (que aportó los microtúbulos), pero no la habría digerido sino que obtuvieron beneficios mutuos (simbiosis). Luego, la membrana plasmática de la célula más grande invaginó originando el núcleo y el sistema de endomembranas. Más adelante habría fagocitado células bacterianas aeróbicas que darían origen a las mitocondrias. En síntesis, la primera célula eucariota se formó a partir de tres células procariotas: una aportó los microtúbulos, otra aportó la capacidad metabólica y la tercera originó las mitocondrias. Las dos primeras constituyen el cuerpo central de la célula eucariota primitiva. Asimismo sostiene que el surgimiento de la célula vegetal implica una endocitosis adicional de otra célula procariota que sea fotosintética y que daría origen al cloroplasto.

### Origen del núcleo



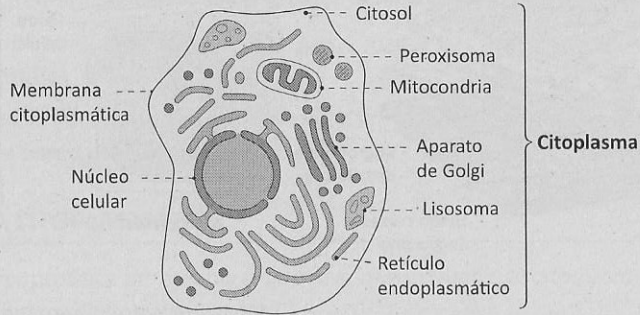
### Origen de las mitocondrias



### 3 ESTRUCTURA

En una célula eucariota típica (eucariótica o eucito), podemos encontrar cuatro regiones: matriz extracelular, membrana citoplasmática, citoplasma y núcleo.

Algunos biólogos celulares consideran tres regiones, excluyendo la matriz extracelular, y otros la dividen solo en dos partes: la membrana y el citoplasma, porque incluyen al núcleo como un organelo celular.



Los protozoarios, las algas, los hongos, las plantas y los animales son eucariontes. Esto significa que poseen células con núcleo (*eu* 'bien'; *carion* 'nucleado').

Las células eucariotas también poseen citoesqueleto, organelos membranosos (como el sistema de endomembranas) y los ribosomas 80S.

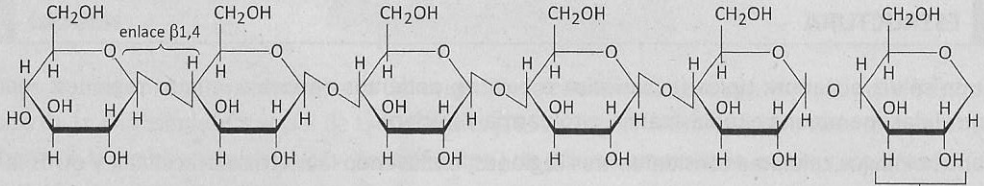
### 4 MATRIZ EXTRACELULAR

Está constituida por una gran variedad de sustancias secretadas por las células. En las plantas, las algas y los hongos, se denomina pared celular. En los hongos, la pared celular está compuesta, principalmente, de quitina, y en las algas verdes y en las plantas por celulosa.

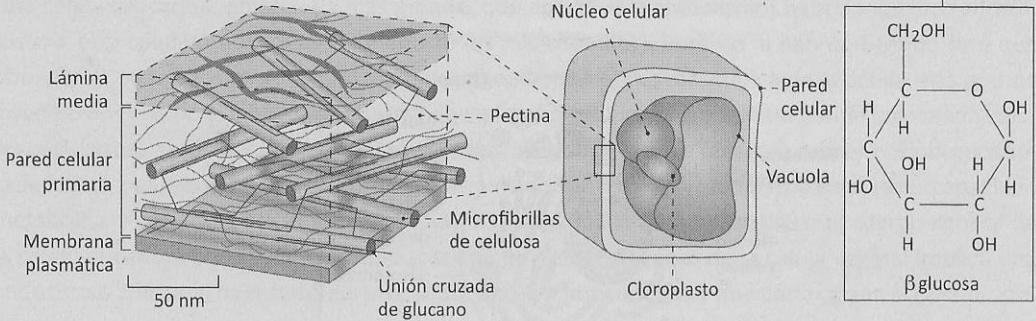
#### 4.1. PARED CELULAR DE LAS PLANTAS

La pared celular vegetal es la matriz extracelular o envoltura de naturaleza glucídica, compuesta principalmente de polisacáridos como la celulosa y las hemicelulosas. También se le llama sacodermo o apoplasto.

Generalmente es rígida y resistente, aunque ciertos componentes diferenciales y el espesor pueden variar su flexibilidad y resistencia tanto a la tracción como a ciertos agentes patógenos.



### Celulosa



#### 4.1.1. Capas

La delgada pared externa se llama **pared primaria**, que está compuesta, principalmente, de pectinas. La capa interna más gruesa se denomina **pared secundaria** y está compuesta, principalmente, de celulosa.

Además se observa una capa delgada llamada **laminilla media**, la cual pega células vegetales adyacentes, y está compuesta de pectatos de calcio y magnesio.

Cuando se produce la lignina, se impregna de modo sucesivo a la laminilla media, a la pared primaria y, en forma especial, a la pared secundaria, entonces la lignificación aumenta la firmeza, dureza y resistencia de la pared provocando la muerte celular. Algunos botánicos a esta nueva acumulación la conocen como **pared terciaria**.

La mayor parte de las células vegetales están conectadas entre sí por medio de canales tubulares conocidos como **plasmodesmos**, a través de los que fluyen moléculas orgánicas e inorgánicas.

#### 4.1.2. Proceso de formación

En las algas diatomeas, el **aparato de Golgi** secreta placas de celulosa que se acumulan sobre la plasmalema (membrana plasmática), dando origen a la pared, mientras que, en las células de las plantas superiores, el aparato de Golgi secreta celobiosa, disacárido que luego es polimerizado por los **rosetones** de la membrana citoplasmática para constituir la celulosa.

### 4.1.3. Funciones

#### a. Citomorfológica

Determina la forma de la célula vegetal: hexaédrica, isodiamétrica, cilíndrica (célula cribosa), reniforme (célula estomática).

#### b. Protección mecánica de la célula vegetal

Las fibras de celulosa forman una red altamente resistente que protege el protoplasma.

#### c. Esquelética

Las plantas no tienen esqueleto; sin embargo, debido a sus paredes celulares logran tener el cuerpo rígido.

#### d. Resistencia osmótica

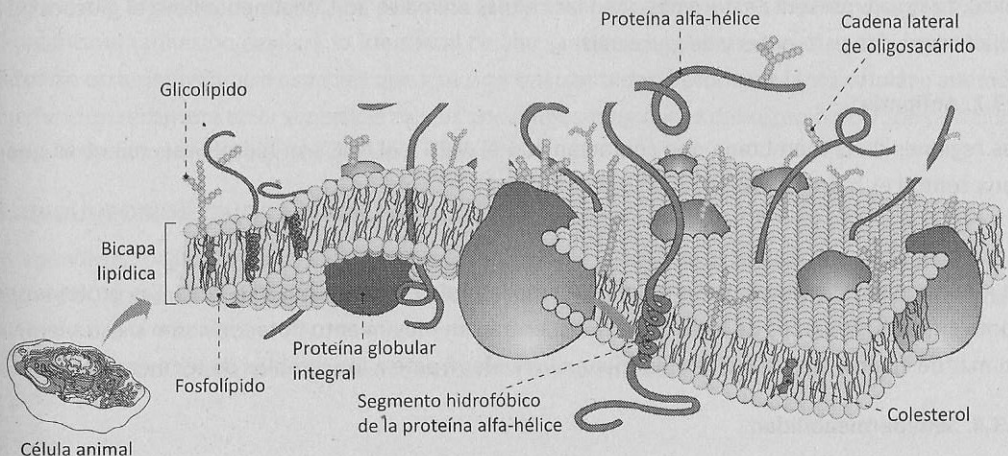
La célula vegetal se encuentra en un medio hipotónico; sin embargo, no estalla (lisis) debido a la resistencia de la pared celular.

## 5 MEMBRANA CITOPLASMÁTICA

Es una estructura lipoproteica permeable y selectiva que envuelve al citoplasma, y separa el medio extracelular (MEC) del medio intracelular (MIC).

### 5.1. ESTRUCTURA

El modelo del mosaico fluido, propuesto por Singer y Nicholson en 1972, sostiene que la membrana está constituida por una doble capa de fosfolípidos, en la cual hay proteínas asociadas: las integrales o intrínsecas que se encuentran sumergidas, mientras que las periféricas o extrínsecas están asociadas solo a la superficie.



Modelo del mosaico fluido



El estado físico de la membrana es semilíquido, lo que permite el movimiento lateral de las proteínas; por eso se dice que la membrana es fluida. La fluidez de la membrana se debe, principalmente, a la presencia de ácidos grasos poliinsaturados en la composición de los fosfolípidos y glucolípidos.

## 5.2. COMPOSICIÓN

La membrana celular citoplasmática es de naturaleza esencialmente lipoproteica. La mayoría de las membranas contiene alrededor de 40% de lípidos y 60% de proteínas. La membrana de las células animales es glucolipoproteica y contiene 40% de lípidos, 52% de proteínas y 8% de glúcidos.

Los fosfolípidos forman la esencia de la bicapa lipídica, siendo la **lecitina** o fosfatidilcolina el fosfolípido más abundante de la membrana. Los glucolípidos caracterizan a las células animales a diferencia de las membranas vegetales.

Los esteroides distinguen a las células eucariotas de las procariotas. En los protozoarios y animales, la membrana contiene **colesterol**, y en las algas y plantas, **ergosterol**; mientras que en los hongos, **micosterol**. Los esteroides estabilizan las membranas celulares que son ricas en ácidos grasos poliinsaturados.

Los glúcidos (monosacáridos u oligosacáridos) constituyen el **glucocálix** en la **hoja E** de la membrana de los protozoos y de la célula animal. En los protozoos, es un molde sobre el que se secreta el exoesqueleto, además regula la unión con las moléculas señal y con otras células.

## 5.3. CARACTERÍSTICAS

### 5.3.1. Asimetría

La membrana está formada por dos hojas diferentes: la hoja E (exoplásmica) y la hoja P (protoplásmica). La hoja E presenta esteroides, y en las células animales adicionalmente lleva el glucocálix. La hoja P carece de esteroides y de glucocálix.

### 5.3.2. Anfipatía

Las regiones de la membrana que contactan con el MEC y el MIC son hidrofílicas, mientras que la zona central es hidrofóbica.

### 5.3.3. Fluidez

La membrana es dinámica; presenta movimiento lateral de fosfolípidos (flip-flop). Las proteínas son como grandes témpanos de hielo que se encuentran en movimiento flotando como si estuvieran en un mar de lípidos. Los esteroides mantienen la fluidez frente a los cambios de temperatura.

### 5.3.4. Semipermeabilidad

La membrana es una barrera que deja pasar algunas sustancias, pero no deja pasar otras.

### 5.3.5. Permeabilidad selectiva

Debido a su componente proteico, la membrana moviliza moléculas útiles y moléculas de desecho tanto hacia el interior como el exterior de la célula, respectivamente.

## 5.4. FUNCIONES

### 5.4.1. Compartimentalización

Separa el medio extracelular del medio intracelular. Por ello, el medio extracelular es abundante en iones de sodio y cloro, mientras que el medio intracelular es rico en potasio y fosfato.

### 5.4.2. Transporte

Permite el intercambio de materiales con su medio externo. Mediante componentes especiales (principalmente proteínas), controla el paso de moléculas tanto hacia el interior como el exterior de la célula.

### 5.4.3. Receptora

Mediante proteínas especiales, llamadas receptores de membrana, la célula capta hormonas (de tipo hidrosolubles), que actúan como estímulos para el metabolismo celular.

### 5.4.4. Uniones intercelulares

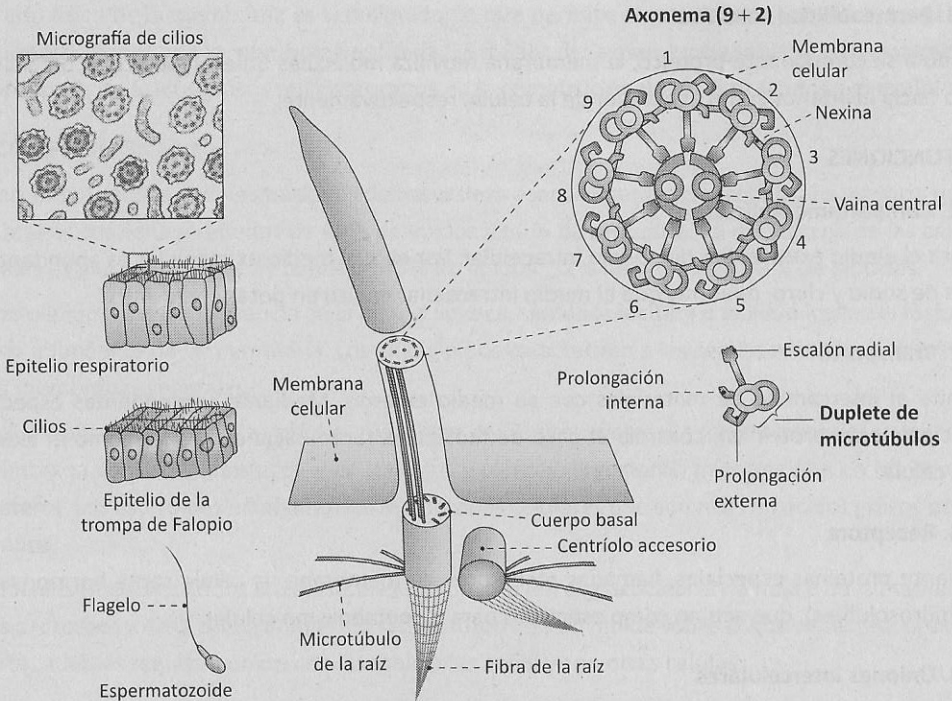
Existen modificaciones de la membrana que unen a las células animales, tales como los nexus, desmosomas, uniones estrechas, entre otras.

### 5.4.5. Funciones del glucocálix

En las células animales, el glucocálix participa tanto en la **adhesión** entre células vecinas propias del organismo (adhesión celular), la **identidad celular** (antígenos celulares), como en el **rechazo de tejidos** de otros individuos o especies que han sido trasplantados (**reconocimiento celular**); además tiene función **receptora** en la superficie celular. Los grupos sanguíneos del sistema ABO son parte del glucocálix de la membrana de los glóbulos rojos.

## 5.5. UNDULIPODIOS: CILIOS Y FLAGELOS

Son apéndices locomotores de estructura microtubular 9+2 que se encuentran parcialmente envueltos por la membrana citoplasmática. Muchos biólogos celulares los consideran modificaciones de la membrana plasmática. Los cilios son cortos y los flagelos son largos; sin embargo, presentan una estructura homóloga, dos partes: el cinetosoma y el axonema.



### Modelo de undulipodio

El cinetosoma (cuerpo basal o blefaroplasto) tiene una estructura similar a la del centríolo (9+0); es corto y rígido, ancla al cilio o flagelo a la célula y lo conecta al citoesqueleto.

El axonema tiene la estructura microtubular (9+2). Está conformado por nueve pares de microtúbulos y dos microtúbulos en el centro, es flexible y describe movimientos ondulatorios, porque su estructura 9+2 lo permite, e implica el deslizamiento de los dupletes de microtúbulos, que están hechos de tubulinas. Las nexinas permiten el mantenimiento de la estructura 9+2, mientras que las dineínas permiten el aprovechamiento de la energía del ATP.

## 6 CITOPLASMA

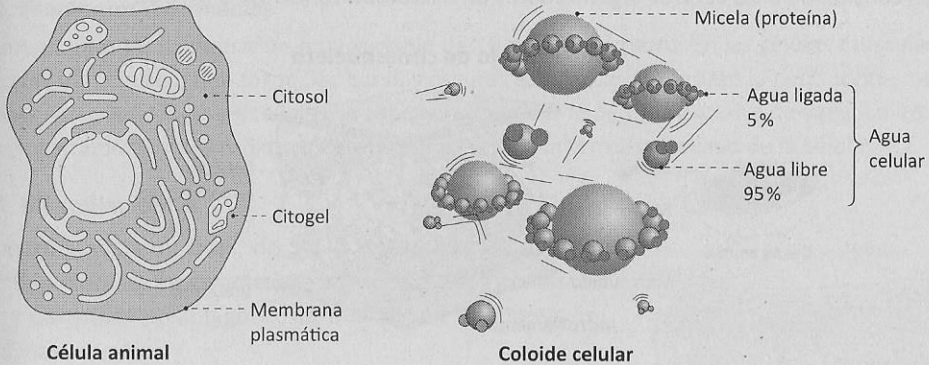
Es la región fundamental de la célula, porque lleva a cabo las principales reacciones bioquímicas (metabolismo), sin las cuales la vida no sería posible.

En las células eucarióticas, el citoplasma es una zona muy compleja debido a la gran cantidad de membranas que generan compartimentos especiales donde se realizan funciones como la digestión, respiración celular, fotosíntesis, entre otras.

Está constituido por la matriz citoplasmática, el citoesqueleto, los organelos, las inclusiones y, en algunos casos, también los extrusomas.

## 6.1. MATRIZ CITOPASMÁTICA

Es un fluido de naturaleza coloidal que está compuesta de agua, iones y micelas de fosfolípidos y de proteínas. La matriz tiene dos regiones: el citosol y el citogel. El citogel (ectoplasma o plasmagel) se localiza debajo de la membrana citoplasmática y se caracteriza por ser muy denso, rico en proteínas; mientras que el citosol (endoplasma, plasmasol o hialoplasma) es menos denso por una menor cantidad de proteínas.



El agua de la célula se clasifica en agua ligada y agua libre. El agua ligada representa el 5% del agua celular, y se trata de aquella porción que hidrata las micelas (partículas coloidales con carga eléctrica de 1 a 1000 nanómetros de diámetro); mientras que el agua libre representa el 95%.

El agua ligada protege las moléculas proteicas; mientras que el agua libre actúa como disolvente y termorregulador. El agua libre favorece a que las moléculas puedan interactuar y, de esta manera, constituye un medio para el metabolismo: las reacciones químicas de la célula.

La **tixotropía** es la principal propiedad del coloide celular. Se trata de la transformación constante de citosol a citogel, y viceversa. El **movimiento ameboso** de los leucocitos y las amebas se asocia a la tixotropía de la matriz.

### 6.1.1. Funciones

La principal función del citosol es que constituye un medio para una gran diversidad de reacciones metabólicas. Dentro de estas destacan la glucólisis, la fermentación láctica y la fermentación alcohólica.

#### a. Glucólisis

Provee dos moléculas de ATP a partir de una molécula de glucosa en condiciones anaeróbicas sin la participación del oxígeno.

#### b. Fermentación láctica

En condiciones anaeróbicas, las células musculares transforman el piruvato en moléculas de ácido láctico causando fatiga muscular.

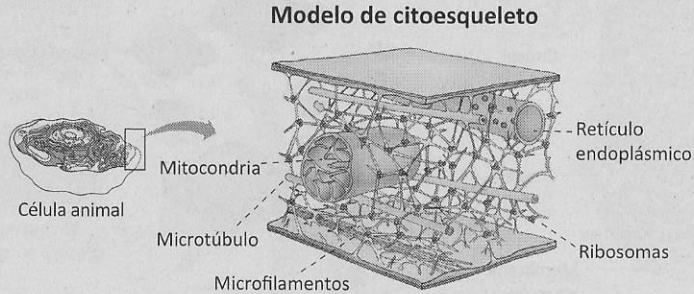
#### c. Fermentación alcohólica

En anaerobiosis, las células fúngicas, como las levaduras, transforman el piruvato en etanol y dióxido de carbono.

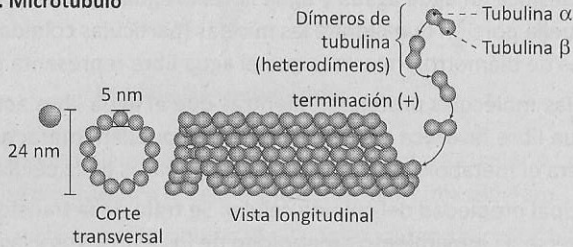
## 6.2. CITOESQUELETO

Es un conjunto de estructuras proteicas que mantienen la arquitectura celular, es decir, la forma de las células; además participa en el movimiento de vesículas dentro de la célula eucariota, así como brinda elasticidad y contractibilidad celular; es decir, participa en la motilidad celular.

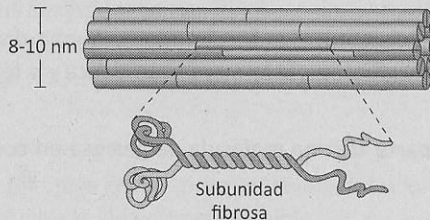
El citoesqueleto está formado por los microtúbulos, microfilamentos, filamentos intermedios, trama microtrabecular (TMT, compuesta de actinas F) y motores moleculares. Algunos biólogos celulares también consideran a los centros organizadores de microtúbulos (COMT o MTOC).



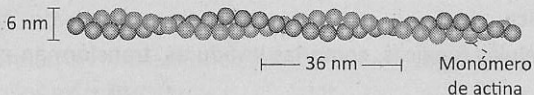
### A. Microtúbulo



### B. Filamentos intermedios



### C. Microfilamentos



### 6.2.1. Microtúbulos

Son estructuras rígidas y flexibles de 24 a 25 nm de diámetro que forman aristas y vértices en la célula animal. Actúan como carriles sobre los cuales se desplazan diversas estructuras celulares; además participan en la formación de centríolos, cilios y flagelos. Están compuestos por **tubulinas**  $\alpha$  (alfa) y  $\beta$  (beta). Son muy dinámicos; crecen constantemente en su extremo (+) y se desintegran constantemente en su extremo (-).

### 6.2.2. Filamentos intermedios

Son estructuras de composición muy variable de 10 nm de diámetro. En las células musculares encontramos la **miosina**, que forma las bandas oscuras estacionarias durante la contracción muscular (bandas A). En las células epiteliales, la **citoqueratina** evita la pérdida excesiva de agua. En las neuronas encontramos los **neurofilamentos**, responsables de la forma estrellada de la célula.

### 6.2.3. Microfilamentos

Son estructuras muy finas, de 5 a 6 nm de diámetro, compuestas por actina. Se caracterizan por ser elásticos y contráctiles, y participan en la fagocitosis, exocitosis y citocinesis de las células animales.

Las actinas globulares, llamadas actinas G, se unen (polimerizan) formando filamentos de actina, llamadas actinas F. Luego dos actinas F se unen constituyendo un microfilamento.

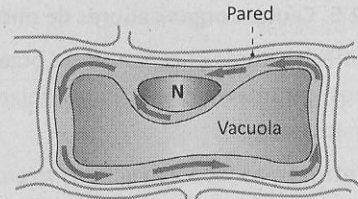
La **ciclosis**, movimiento citoplasmático que arrastra a los organelos celulares alrededor de la célula vegetal, se debe principalmente a las contracciones de los carriles de actina, estimuladas por la luz. Este movimiento es importante porque incrementa el movimiento molecular dentro de la célula vegetal y expone los cloroplastos a la luz, lo que incrementa la tasa fotosintética.

El **movimiento ameboideo**, que caracteriza a las células embrionarias, está asociado a la contracción del citoesqueleto de un polo de la célula, lo que conlleva a la emisión de pseudópodos en el polo opuesto. Es importante porque permite la **diapédesis** de los glóbulos blancos, que salen de los vasos sanguíneos en dirección a la zona de infección. En las *Amoeba proteus* "amebas", es el mecanismo de locomoción, así como de captura del alimento.

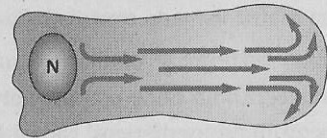
### 6.2.4. Motores moleculares

Son proteínas que se asocian a los microtúbulos o microfilamentos y participan en el movimiento de vesículas dentro de la célula.

Los más importantes son las kinesinas y las dineínas. Las kinesinas participan en el transporte anterógrado de vesículas que se desplazan por los microtúbulos hacia la periferia de las células.

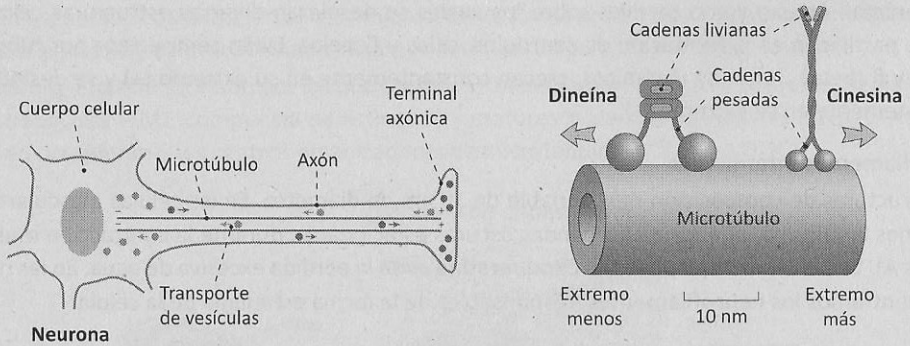


Movimiento de ciclosis



Movimiento ameboideo

Las **dineínas** participan en el transporte retrógrado de vesículas que se desplazan de la periferia hacia el centro de la célula.



### 6.2.5. Centros organizadores de microtúbulos (COMT o MTOC)

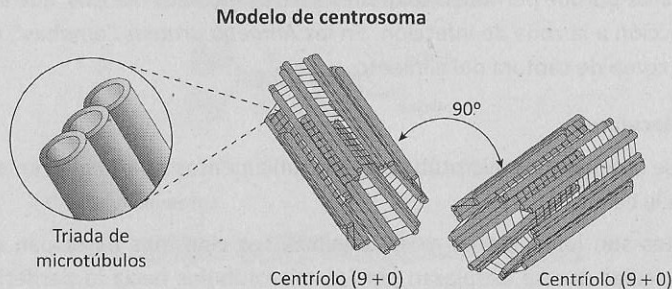
Son estructuras encargadas de organizar el citoesqueleto de las células eucarióticas. Existen tres tipos: centrosomas, casquetes polares (en las plantas espermatofitas) y corpúsculo polar del huso (en los hongos).

**Centrosomas.** Son estructuras microtubulares cuya función es formar el huso mitótico durante la división en células animales, algunos protozoos y plantas inferiores (musgos y helechos).

Los centrosomas de las células animales están formados por dos centriolos que se encuentran en una matriz llamada **centrósfera**, en cuya periferia se encuentra el **áster** (microtúbulos que irradian como "los rayos de un astro").

Cada **centriolo** tiene una estructura microtubular 9+0 constituida por nueve tripletes (triadas) de microtúbulos periféricos; cada microtúbulo a su vez está constituido por proteínas tubulinas ( $\alpha$  y  $\beta$ ).

Son importantes porque se encargan de organizar el citoesqueleto. Durante la mitosis y la meiosis, organizan el **huso acromático**. Las neuronas carecen de centrosoma, solo tienen un centriolo, razón por la que han perdido la capacidad de dividirse.



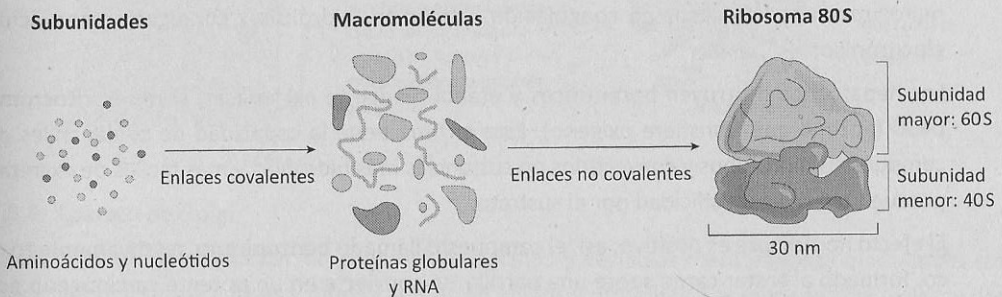
### 6.3. ORGANELOS

#### 6.3.1. Ribosomas

Son organelos nucleoproteicos no membranosos que realizan la síntesis de proteínas; es decir, traducen la información genética.

Estructuralmente, están formados por dos subunidades: mayor y menor. Ambas están constituidas por proteínas y ARN ribosómico, los que fueron ensamblados en el nucléolo.

Los ribosomas de las células eucarióticas son 80 S (en unidades de sedimentación Svedberg (S), en honor de Theodor Svedberg, y sus subunidades son 40 S y 60 S. En la síntesis de proteínas, muchos ribosomas se asocian al ARN mensajero formando **polirribosomas** o polisomas.



#### 6.3.2. Sistema de endomembranas o sistema vacuolar citoplasmático

Es el conjunto de vesículas, conductos y cisternas delimitados por membranas e interconectadas. Desde un enfoque funcional se divide en retículo endoplasmático, aparato de Golgi, lisosomas y vacuolas. Muchos biólogos celulares también consideran a la carioteca (envoltura nuclear) como parte de este sistema.

#### 6.3.3. Retículo endoplasmático (RE)

Es una red complicada de túbulos y vesículas membranosas comunicadas entre sí y con la carioteca. Su función general es la **compartimentalización**; es decir, delimita espacios donde pueden almacenarse y distribuirse sustancias dentro de la célula. Sirve como soporte mecánico del citoplasma e interviene en la reconstrucción de la membrana nuclear durante las telofases.

Comprende dos partes diferenciadas por la presencia o la ausencia de ribosomas sobre su superficie externa.

##### a. Retículo endoplasmático rugoso (RER) o granular

Presenta ribosomas adheridos a la parte externa de sus membranas, debido a que presenta unas proteínas llamadas **riboforinas** (tipo I y tipo II).

Tiene por función la síntesis de proteínas de exportación, que son liberadas al medio extracelular donde cumplen su función. En el RER se inicia la glucosilación de muchas proteínas. Se localiza mayormente en células especializadas en la secreción de proteínas, como las células del páncreas.

**b. Retículo endoplasmático liso (REL) o agranular**

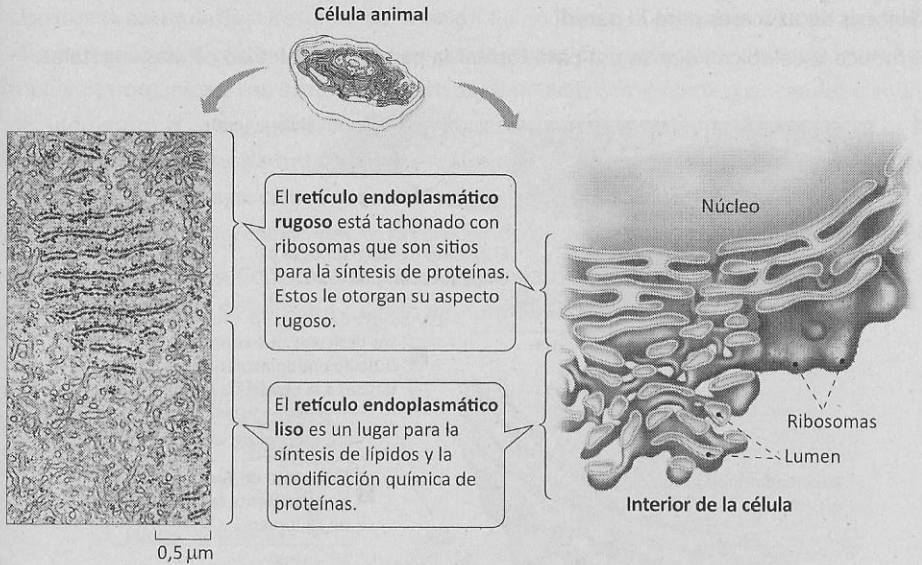
No tiene ribosomas adheridos a su superficie, debido a que carece de proteínas riboforinas. Se conecta al retículo endoplasmático rugoso. Realiza las siguientes funciones:

- **Lipogénesis.** Síntesis de lípidos: triglicéridos, fosfolípidos de las membranas biológicas, colesterol y sus derivados, como las hormonas sexuales masculinas y femeninas.
- **Detoxificación celular.** Los hepatocitos degradan carcinógenos, fármacos, drogas y venenos mediante procesos de coagulación, oxidación, hidrólisis y conjugación con ácido glucurónico.

Los hepatocitos destruyen barbitúricos y etanol mediante oxigenasas, como el **citocromo p450** (enzima que transfiere oxígeno). Esta enzima tiene la capacidad de oxidar miles de compuestos hidrófobos y convertirlos en sustancias más hidrófilas y más fáciles de excretar, porque no tiene especificidad por el sustrato.

El efecto no siempre es positivo; así, el compuesto llamado **benzopireno**, relativamente tóxico, formado al tostar carne sobre una parrilla, se convierte en un potente carcinógeno por acción de enzimas destoxicantes del REL.

- **Desfosforila la glucosa.** La enzima glucosa 6 fosfatasa transforma la glucosa 6 fosfato en glucosa y fosfato.
- **Glucosilación de proteínas.** En el REL se agregan azúcares a las proteínas.
- **Origina al aparato de Golgi.** Del REL se desprenden unas vesículas llamadas transitorias, que al fusionarse originan los dictiosomas (las unidades del aparato de Golgi).
- **Almacén de calcio.** En el REL de las fibras musculares, se acumula calcio, que se libera para iniciar la contracción muscular.
- **Glucogenólisis.** Para los exámenes de la UNMSM y UNAC, se considera que hidroliza el glucógeno hasta glucosa durante el ayuno.



#### 6.3.4. Aparato de Golgi

Es un organelo formado por un conjunto de sáculos y vesículas membranosas que actúan como procesadores, clasificadores y modificadores de lípidos y proteínas. Las unidades del Golgi se denominan **golgisomas** o **dictiosomas** y derivan del retículo endoplasmático liso. Un golgisoma está formado por una pila de sáculos membranosos denominados **cisternas**. Existen tres tipos de cisternas: cisternas cis, cisternas mediales y cisternas trans.

Las **cisternas cis** constituyen la cara de formación del Golgi y se forman a partir de vesículas suministradas permanentemente por el retículo endoplasmático. Luego tenemos las **cisternas mediales** y finalmente la cara trans, que es la que forma y desprende tres tipos de vesículas: secretoras, lisosomas y recicladoras de la membrana citoplasmática. El aparato de Golgi es abundante en células secretoras de enzimas, hormonas, o de anticuerpos. Tiene las siguientes funciones:

##### a. Glucosilación

La unión de glúcidos y proteínas da como resultado glucoproteínas y glucolípidos. En el Golgi se concluye la glucosilación de glucoproteínas tales como el colágeno.

##### b. Secreción celular

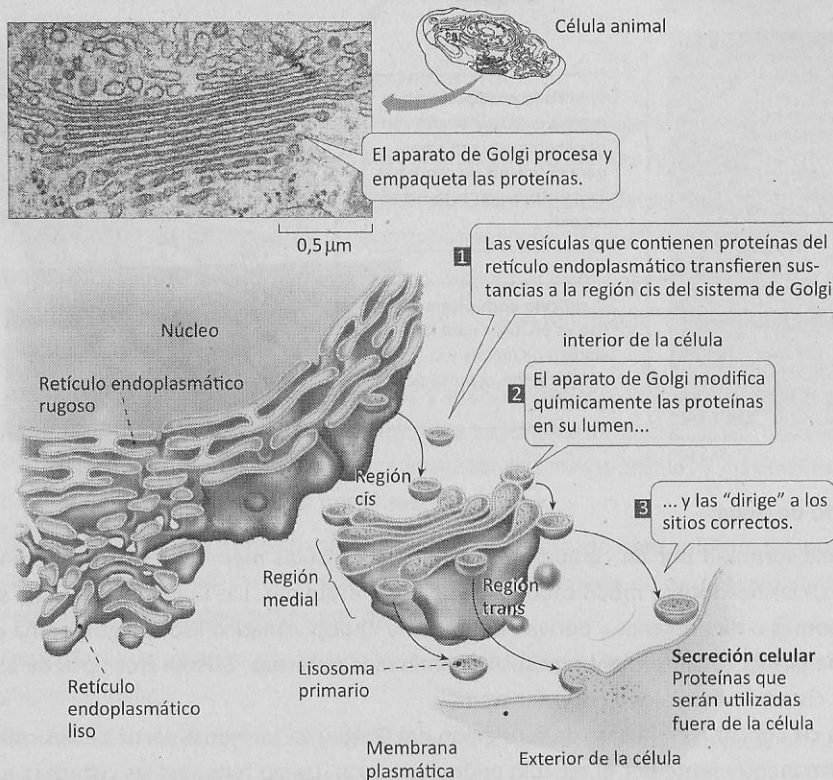
Las proteínas se forman en el retículo endoplasmático rugoso y pasan al aparato de Golgi, en donde se asocian a carbohidratos y luego son secretados al exterior.

##### c. Biogénesis de lisosomas

Origina los lisosomas. En la formación de los espermatozoides, origina un lisosoma gigante conocido como acrosoma.

#### d. Síntesis de azúcares para la pared

Produce la celobiosa que se usa para formar la pared celulósica en células vegetales.



#### 6.3.5. Lisosomas

Son los organelos que realizan la digestión celular en las células animales y protozoarios. También se les llama **vesículas de De Duve** en honor a quien dilucidó su estructura y función.

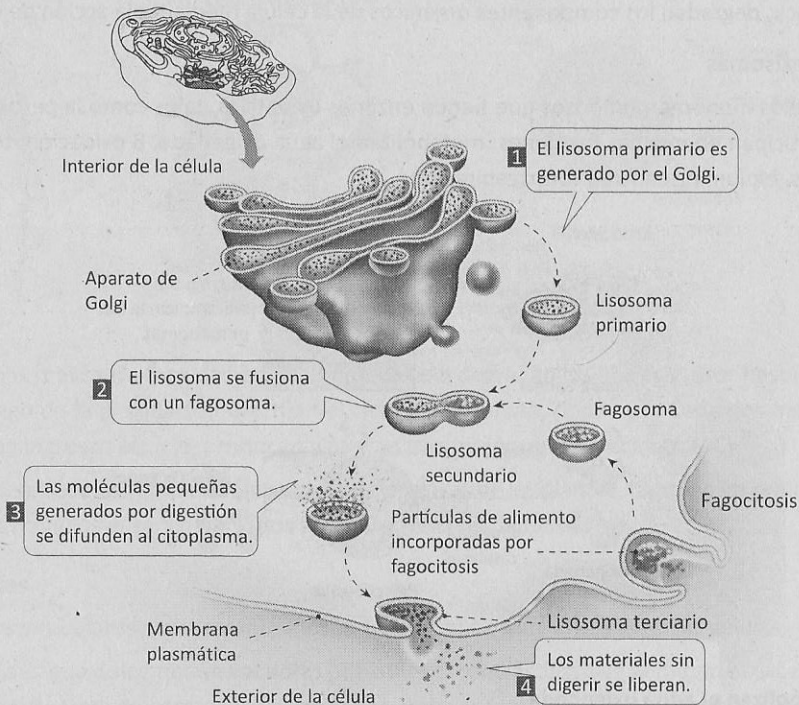
Están delimitados por una membrana tensoactiva que envuelve enzimas digestivas o hidrolíticas (nucleasas, fosfatasa, lisozimas, etc.), que actúan a  $\text{pH}$  ácido ( $\text{pH}=5$ ). El conjunto de lisosomas de una célula se denomina **sistema de vesículas ácidas**.

##### a. Tipos

De acuerdo a los aportes de De Duve, los lisosomas pasan por tres estadios: primarios, secundarios y terciarios.

- **Lisosomas primarios o gránulos de reserva.** Son "lisosomas nuevos" que se originan en la cara trans de los golgisomas (dictiosomas). Aún no han realizado digestión celular; por lo tanto, sus enzimas digestivas están inactivas.

- **Lisosomas secundarios.** Resultan de la unión de un lisosoma primario con un fagosoma. En ellos se realiza la digestión celular, que es la degradación (ruptura) de enlaces covalentes de moléculas orgánicas. Las enzimas digestivas se activan como consecuencia del cambio del pH (de neutro a ácido), generado por el ingreso de protones de hidrógeno ( $H^+$ ). Los **heterofagosomas** o **vacuolas heterofágicas** realizan la digestión de las sustancias ingeridas por la célula. Los **autofagosomas**, **vacuolas autofágicas** o **citolisosomas** degradan partes de la célula, proteínas y organelos viejos, favoreciendo el reciclaje molecular dentro de la célula.
- **Lisosomas terciarios.** Contienen residuos del proceso digestivo. Por ello también se les llama cuerpos residuales. Se generan cuando hay una digestión incompleta.



## b. Funciones

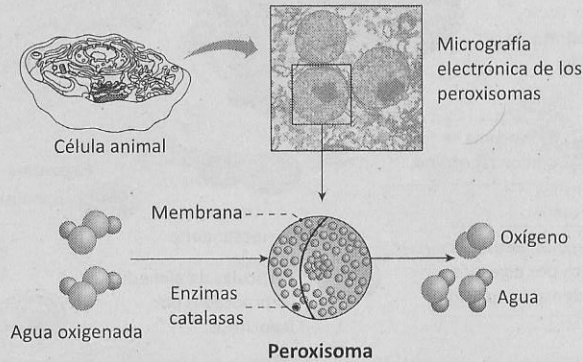
Los lisosomas realizan diversos tipos de digestión: heterofagia, autofagia, digestión extracelular y autólisis.

- **Heterofagia.** Es la digestión de bacterias o de alimentos ingeridos por la célula.
- **Autofagia.** Es la digestión de organelos viejos, no funcionales. La **crinofagia** es un tipo de autofagia en la que la célula remueve sus gránulos de secreción producidos en exceso de acuerdo a las necesidades fisiológicas en la hipófisis.

- **Digestión extracelular.** Es cuando el lisosoma se fusiona con la membrana plasmática y vierte su contenido al medio extracelular. Por ejemplo, las personas con osteoporosis pierden densidad ósea debido a la **resorción ósea** realizada por los lisosomas de los osteoclastos (un tipo de células de los huesos).
- **Autólisis.** Llamado comúnmente suicidio celular. Consiste en el proceso de degradación de las moléculas orgánicas que constituyen la célula luego que esta muere. Después de la muerte celular por **necrosis**, debido a la falta de nutrientes (como el oxígeno) ocurre la autólisis (los lisosomas degradan las moléculas orgánicas de la célula). En la metamorfosis del sapo, la pérdida de la cola del renacuajo se produce por una elevada **muerte celular programada o apoptosis**, luego de la cual los lisosomas hacen autólisis; es decir, degradan los componentes orgánicos de la célula mediante la acción de catepsinas.

### 6.3.6. Peroxisomas

Son organelos monomembranosos que tienen enzimas oxidativas, tales como la peroxidasa y la catalasa. Participan en muchas funciones: metabolizan el agua oxigenada,  $\beta$  oxidación, termogénesis, lipogénesis, bioluminiscencia y fotorrespiración.



#### a. Metabolizan el agua oxigenada

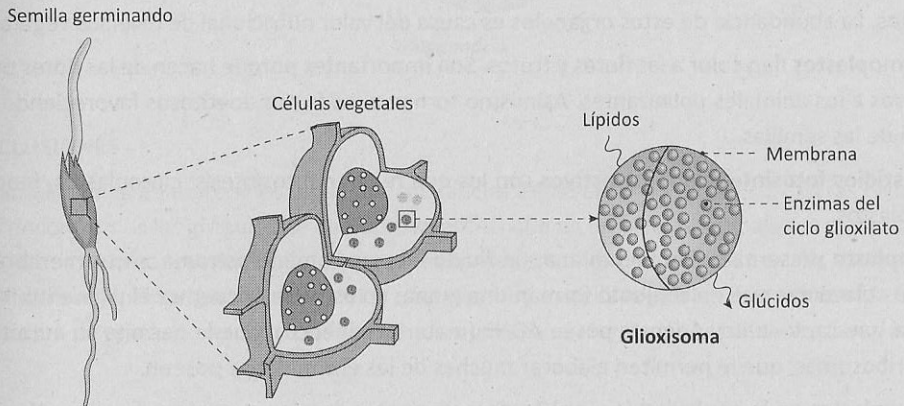
Mediante la enzima **peroxidasa** o mieloperoxidasa, los peroxisomas participan en la formación de agua oxigenada, que es un potente bactericida. Asimismo por medio de la enzima **catalasa** degradan el agua oxigenada evitando daños celulares, ya que el agua oxigenada es un potente agente mutágeno.

#### b. $\beta$ oxidación

Realiza la degradación de los ácidos grasos de cadena muy larga. Como producto de tal descomposición, libera moléculas de acetil.

### 6.3.7. Glioxisomas

Son los peroxisomas de las células vegetales que realizan el **ciclo del glioxilato**, mediante el cual se tiende un “puente” entre la  $\beta$  oxidación (degradación de los ácidos grasos) y la gluconeogénesis (síntesis de glucosa a partir de moléculas orgánicas); por ello se dice que participan en la transformación de los lípidos en glúcidos (exámenes de admisión) en el proceso de germinación de las semillas oleaginosas (aceitosas).



Los glioxisomas realizan la  $\beta$  oxidación, mediante la cual degradan los ácidos grasos hasta moléculas de acetil. Luego de la  $\beta$  oxidación efectúan el ciclo del glioxilato, donde por cada dos moléculas de acetil (2C) que ingresan al ciclo, producen y liberan una molécula de succinato (4C).

Este conjunto de reacciones metabólicas no son exclusivas de las plantas, también las realizan ciertos microorganismos y los gusanos parásitos llamados *Fasciola hepatica*.

### 6.3.8. Vacuolas

Son organelos vesiculares monomembranosos de funciones muy diversas en las células.

Los protistas de agua dulce tienen **vacuolas pulsátiles o contráctiles** que eliminan el exceso de agua del citoplasma. Se trata de organelos relacionados al citoesqueleto que se contraen y expulsan agua, gastando ATP. Su función es indispensable puesto que si dejaran de funcionar, las células se hincharían y estallarían (citólisis).

En las células vegetales adultas, la vacuola almacena agua y diversos solutos (pigmentos, alcaloides, desechos metabólicos, sales, aceites, etc.). Su membrana llamada **tonoplasto** se tensa y ejerce presión sobre la pared celular generando el estado de turgencia (rigidez) de la célula vegetal. De esta manera, la vacuola vegetal contribuye al soporte del cuerpo vegetal. Asimismo contienen enzimas digestivas hidrolasas, por lo que son los organelos de la digestión celular de las células vegetales.



### 6.3.9. Plastidios

Son organelos generalmente bimembranosos característicos de los organismos eucariontes autótrofos (algas y plantas).

Todos los plastidios se forman a partir de un plastidio inmaduro llamado **proplastidio** o protoplastidio que se encuentra en el interior de las semillas en los tejidos llamados meristemáticos o embrionarios.

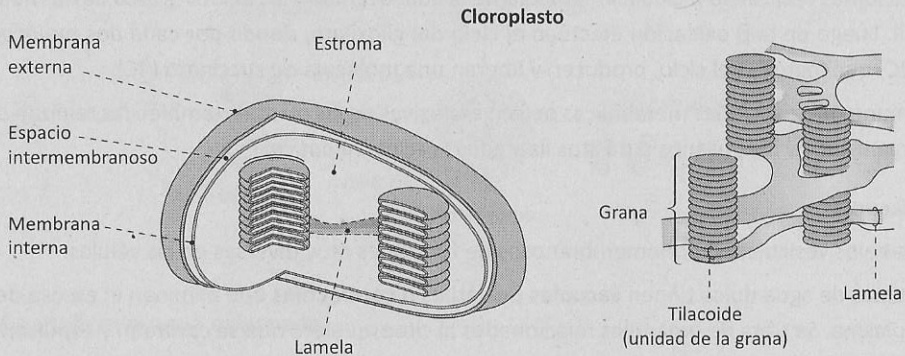
Los plastidios que almacenan alimentos se denominan **leucoplastos**. Los **amiloplastos** almacenan almidón, los **proteinoplastos** almacenan proteínas, y los **oleoplastos** o **elainoplastos** almacenan triglicéridos. La abundancia de estos organelos es causa del valor nutricional de diversos vegetales.

Los **cromoplastos** dan color a las flores y frutos. Son importantes porque hacen de las flores órganos llamativos a los animales polinizantes. Asimismo tornan a los frutos apetitosos favoreciendo la dispersión de las semillas.

Los **plastidios fotosintéticamente activos** son los que realizan fotosíntesis: cloroplastos, feoplastos y rodoplastos.

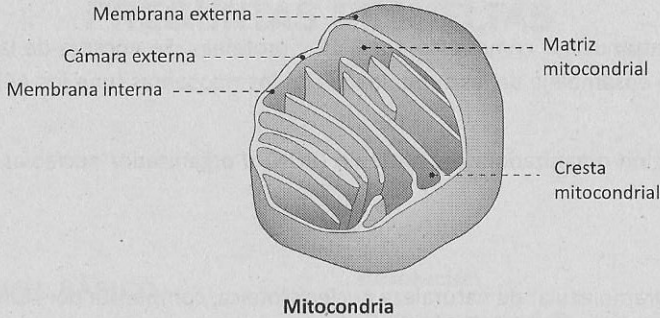
El **cloroplasto** presenta doble membrana, un fluido interno llamado estroma, sacos membranosos llamados tilacoides que en conjunto forman una grana; en estos se encuentra el pigmento llamado clorofila que capta la luz. Además posee ADNc (material genético), que le permite su autoduplicación, y ribosomas, que le permiten elaborar muchas de las enzimas que poseen.

Los cloroplastos en la oscuridad (sin luz) se desorganizan y decoloran originando a los **etioplastos**. Estos pueden regenerar cloroplastos por exposición a la luz.



### 6.3.10. Mitocondrias

Son organelas presentes en todas las células eucariontes, encargadas de la respiración celular aeróbica. Poseen doble membrana, la membrana interna se proyecta al interior para formar las crestas; estas poseen proteínas para transportar electrones y también las partículas F, donde sintetizan ATP. Además encontramos un coloide denominado matriz mitocondrial, que contiene a las enzimas del ciclo de Krebs, presenta un ADN circular y algunos ribosomas (55 S). La presencia de estas dos últimas estructuras les confiere su carácter semiautónomo.



#### 6.4. INCLUSIONES

Son acumulaciones de materiales orgánicos (sustancias de reserva) o inorgánicos. En las células vegetales encontramos los gránulos de almidón; mientras que en las células animales se acumulan glucógeno. Otras inclusiones de las células vegetales son los cristales de oxalato de calcio; estos pueden adoptar diversas formas geométricas. A los que son muy estrellados se les llama **drusas**, a los que tienen forma de agujas se les llama **rafidios**, y a los que tienen forma de barras se les llama **maclas**.

## 7 NÚCLEO

Es el centro de la regulación celular. Este "organelo" está encargado de controlar y dirigir todas las actividades de la célula por medio del proceso de transcripción (síntesis de ARN mensajero). Otras funciones del núcleo son almacenar y duplicar el ADN (la información genética del organismo).

El núcleo puede ser esférico u ovoide. Presenta cuatro partes: carioteca, carioplasma, cromatina y nucléolo.

#### 7.1. CARIOTECA

Es la envoltura nuclear (*carion* 'nucleado'; *teca* 'envoltura') que separa el contenido nuclear del citoplasma.

Presenta dos membranas: las membranas externa (rugosa porque posee abundantes ribosomas y se continúa con el RER) e interna, y un espacio perinuclear entre ambas. Debajo de la membrana interna se encuentra la **lámina nuclear** (compuesta de la proteína llamada laminina). En los lugares donde ambas membranas se ponen en contacto, se aprecian aberturas de unos 600 armstrong denominadas **poros nucleares**, los cuales permiten el intercambio de material entre el núcleo y el citoplasma.

#### 7.2. CARIOPLASMA

Es el coloide del núcleo. De pH ácido por la abundancia de ácido fosfórico y de mayor densidad que el citoplasma por su alto contenido proteico, rico en histonas y enzimas (ADN polimerasas, ARN polimerasas); también es denominado nucleoplasma o jugo nuclear.

### 7.3. NUCLÉOLO

Es un corpúsculo intranuclear compuesto por RNA y proteínas. Se encarga de la síntesis de ARNr (ribosómicos) y del ensamblaje de las subunidades de los ribosomas (une los ARNr a las proteínas ribosómicas).

Se origina de la región organizadora del nucléolo (RON) u organizador nucleolar, localizado en los cromosomas sat.

### 7.4. CROMATINA

Es la asociación supramolecular de naturaleza nucleoproteica, compuesta por ADN y proteínas básicas denominadas histonas (proteínas ricas en los aminoácidos básicos: arginina y lisina).

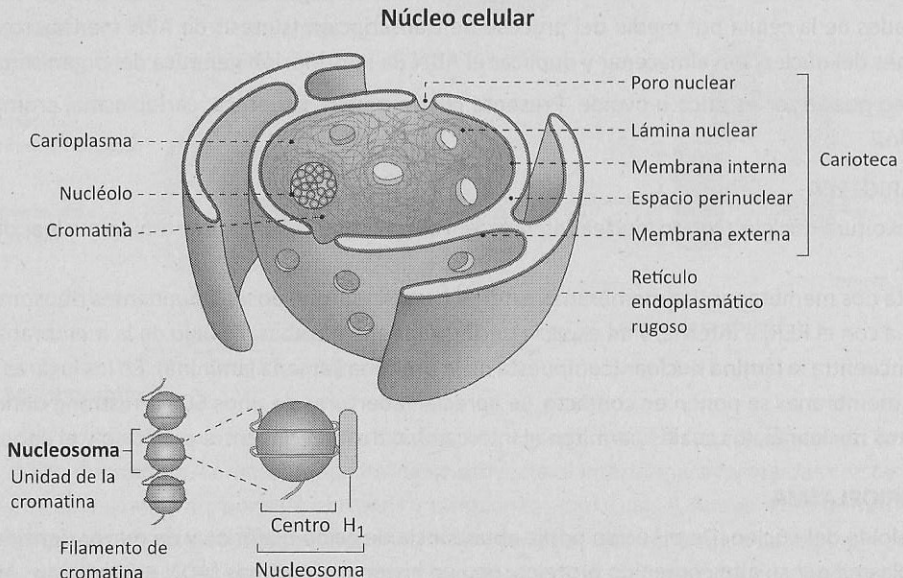
Presenta unidades estructurales denominadas **nucleosomas**. El nucleosoma consta de un centro y la histona  $H_1$ .

El centro del nucleosoma está formado por 200 pares de bases de DNA enrollado alrededor de un octámero de histonas: 2  $H_2A$ ; 2  $H_2B$ ; 2  $H_3$  y 2  $H_4$ .

La histona  $H_1$  no forma parte del centro del nucleosoma, se ubica en el DNA espaciador o linker, y su análisis filogenético (evolutivo) es importante para determinar parentesco evolutivo.

Existen dos tipos de cromatina: la **heterocromatina**, que está condensada, y la **euromatina**, que está descondensada y es muy activa, realizando constante transcripción.

En el proceso de división celular (mitosis o meiosis), las fibras de cromatina condensan y se hacen visibles originando cromosomas.





## PREGUNTAS RESUELTAS

### NIVEL BÁSICO

#### PREGUNTA N.º 1

La principal molécula de energía que utiliza la célula es el

- A) ATP.            B) GTP.            C) UTP.  
D) CTP.            E) AMPc.

#### Resolución

La célula produce y utiliza el ATP (adenosín trifosfato) como principal molécula energética.

El ATP es un nucleótido trifosfatado que almacena energía en su enlace fosfato terminal. Cuando el ATP se descompone (hidroliza), libera aproximadamente 7,3 kcal. El ATP se usa en múltiples procesos tales como el transporte activo, fagocitosis, pinocitosis, duplicación del ADN, activación de los ARNt, glucólisis, etcétera.

CLAVE **A**

#### PREGUNTA N.º 2

¿Cuál es la parte principal de toda célula viva?

- A) el ADN  
B) el ARN  
C) el núcleo  
D) el citoplasma  
E) la membrana

#### Resolución

La parte principal de toda célula viva es el citoplasma, porque en él ocurre el metabolismo que sostiene la vida. El metabolismo es el conjunto de reacciones químicas, tanto degradativas (catabolismo) como sintéticas (anabolismo).

Los virus, entidades no biológicas, pueden contener ADN o ARN, inclusive membrana, pero nunca citoplasma.

CLAVE **D**

#### PREGUNTA N.º 3

¿Cuál es el organelo más importante de una célula eucariótica?

- A) la mitocondria            B) el lisosoma  
C) el ribosoma  
D) el cloroplasto            E) el núcleo

#### Resolución

El núcleo es el organelo más importante de la célula eucariota. No se encuentra en las células procariotas (bacterias). Es importante porque realiza la transcripción (produce ARN) para dirigir el metabolismo de las células eucarióticas.

Asimismo, en el interior del núcleo se encuentra el ADN, molécula que almacena la información genética para formar las otras partes de la célula.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 4**

Los puentes citoplasmáticos que comunican a las células vegetales adyacentes se denominan

- A) poros.
- B) meatos.
- C) punteaduras.
- D) plasmodesmos.
- E) corpúsculos de Woronin.

**Resolución**

Los plasmodesmos son túbulos membranosos derivados del REL que actúan como puentes citoplasmáticos, que comunican el citoplasma de las células vegetales adyacentes.

El flujo de sustancias a través de los plasmodesmos recibe el nombre de transporte simplástico.

CLAVE **D**

**PREGUNTA N.º 5**

Los organelos que realizan la síntesis de proteínas en el citosol de las células eucariotas se denominan ribosomas

- A) 55 S.
- B) 70 S.
- C) 80 S.
- D) 40 S.
- E) 60 S.

**Resolución**

Los ribosomas 80S sintetizan libres proteínas estructurales y de importancia fisiológica en el citoplasma de las células eucariotas.

Están formados por dos subunidades; la menor 40 S y la mayor 60 S.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 6**

Son asociaciones supramoleculares proteicas que mantienen en posición a las organelas y constituyen cilios, flagelos y centríolos.

- A) los microtúbulos
- B) los microfilamentos
- C) los filamentos intermedios
- D) los miofilamentos
- E) los neurofilamentos

**Resolución**

Los microtúbulos son estructuras que resultan de la polimerización de proteínas denominadas tubulinas alfa y beta.

Los microtúbulos se encuentran constituyendo el citoesqueleto. Asimismo son constituyentes de los cilios y flagelos.

CLAVE **A**

**PREGUNTA N.º 7**

¿Cuál es el componente del sistema vacuolar citoplasmático que realiza la síntesis de lípidos?

- A) el lisosoma
- B) el ribosoma
- C) la vacuola
- D) el retículo liso
- E) el retículo rugoso

**Resolución**

El **retículo liso** (REL) se encarga de la lipogénesis (*lipo* 'grasa'; *genēsis* 'origen'); es decir, la síntesis de lípidos dentro de la célula eucariota.

Dentro de los lípidos que produce, destacan los triglicéridos (reserva energética) y los fosfolípidos (que forman membranas celulares).

CLAVE **D**

**PREGUNTA N.º 8**

¿En qué organelo se realiza la digestión celular?

- A) lisosoma primario      B) lisosoma terciario
- C) vacuola residual
- D) lisosoma secundario    E) vacuola endocítica

**Resolución**

Los lisosomas son los organelos que realizan la digestión celular. En el interior de los lisosomas se encuentran enzimas digestivas, siendo la más abundante la fosfatasa ácida.

Sin embargo, el lisosoma puede pasar, de acuerdo al modelo original de De Duve, por tres estadios: lisosomas primario, secundario y terciario. El lisosoma primario antecede a la digestión, el secundario realiza la digestión y el terciario contiene los residuos de la digestión.

CLAVE **D**

**NIVEL INTERMEDIO**

**PREGUNTA N.º 9**

El medio interno celular en el que se encuentran las enzimas de la glucólisis y de las fermentaciones es

- A) el ribosoma.      B) el mitosol.    C) el citosol.
- D) el citoplasma.      E) el estroma.

**Resolución**

El citosol realiza la glucólisis o vía de Embden-Meyerhof-Parnas, mediante la cual la célula obtiene 2 ATP netos por cada molécula de glucosa. Otras funciones del citosol son las fermentaciones. El citosol es el coloide de la célula: un medio líquido rico en agua, enzimas y precursores de macromoléculas.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 10**

Detoxifica fármacos y compuestos parcialmente dañinos como plaguicidas y herbicidas.

- A) retículo sarcoplasmático
- B) retículo endoplasmático liso
- C) retículo endoplasmático granular
- D) retículo rugoso
- E) complejo de Golgi

**Resolución**

El REL contiene una serie de enzimas que participan en la detoxificación o destoxificación celular. Algunas enzimas del REL oxigenan a las toxinas haciéndolas más solubles en agua, lo que favorece su eliminación.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 11**

Las subunidades ribosómicas se ensamblan en ..... y se activan en .....

- A) el RNA mensajero - el citosol
- B) el núcleo - el citogel
- C) el nucléolo - el citoplasma
- D) el citoplasma - el endosoma
- E) la cromatina circundante - el mitosol

**Resolución**

El ensamblaje de las subunidades ribosómicas es el proceso de unión de sus dos componentes químicos: las proteínas ribosómicas y las cadenas de ARNr. Este proceso se da en el nucléolo. La activación de los ribosomas es el proceso de unión de las dos subunidades ribosómicas. Este proceso se da en el citoplasma; es dependiente de ARNm y de magnesio.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 12**

Son denominados organelos exclusivos de las células vegetales.

- A) plastidios y membrana celular
- B) nucléolo y centríolo
- C) pared celular y ribosomas
- D) centríolos y membrana celular
- E) proplastos y glioxisomas

**Resolución**

Las células vegetales se caracterizan por presentar plastidios. El plastidio inmaduro, precursor de otros plastidios, es llamado proplastidio, protoplastidio o proplasto.

Los plastidios adultos pueden almacenar almentos (leucoplastos), almacenar pigmentos (cromoplastos), o realizar la fotosíntesis (cloroplastos o anoplastos).

Asimismo, las células de las semillas poseen glioxisomas, que participan en la transformación de ácidos grasos a precursores de glucosa.

CLAVE **E**

**NIVEL AVANZADO****PREGUNTA N.º 13**

Transporte anterógrado es a ..... como transporte retrógrado a .....

- A) tubulina - flagelina
- B) dineína - cinesina
- C) actina - miosina
- D) nexina - tropomiosina
- E) cinesina - dineína

**Resolución**

El transporte anterógrado moviliza vesículas del centro de la célula hacia la periferia con la participación de las cinesinas. Mientras que el transporte retrógrado moviliza vesículas de la periferia hacia el centro de la célula con la participación de dineínas.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 14**

Relacione ambas columnas.

- I. glucólisis ( ) citosol
- II. glucosilación ( ) ribosomas
- III. lipogénesis ( ) golgisomas
- IV. proteogénesis ( ) retículo liso

- A) II-III-I-IV
- B) III-II-I-IV
- C) I-IV-III-II
- D) IV-I-III-II
- E) I-IV-II-III

**Resolución**

La glucólisis se realiza en el citosol.

La proteogénesis o síntesis de proteínas la realizan los ribosomas.

La glucosilación, añadidura de glúcidos a los lípidos y a las proteínas, es función principalmente de los golgisomas.

La lipogénesis o síntesis de lípidos es realizada por el retículo liso.

CLAVE **E**



## PREGUNTAS PROPUESTAS



### NIVEL BÁSICO

- Planteó la teoría celular clásica.  
A) Hooke B) Virchow C) Purkinje  
D) Schwann E) Schleiden
- La teoría de ..... se contrapone al neodarwinismo al explicar el origen de la célula eucariota.  
A) Lamarck  
B) la filiación directa  
C) la selección natural  
D) la endosimbiosis serial  
E) la generación progresiva
- El ADN de las células eucariotas a diferencia de las células procarióticas se encuentra  
A) desnudo.  
B) en el nucleóide.  
C) asociado a proteínas histonas.  
D) adherido al mesosoma de tabique.  
E) estabilizado por los dedos de magnesio.
- ¿Cuál es el organelo presente en todas las células vivas?  
A) el núcleo  
B) el lisosoma  
C) el ribosoma  
D) el cloroplasto  
E) la mitocondria
- La cubierta de la célula vegetal se denomina ..... y en la célula animal es una porción de la membrana plasmática llamada .....  
A) glucocálix - pared celular  
B) matriz extracelular - glucocálix  
C) pared celular - corteza celular  
D) apoplasto - glucocálix  
E) lámina nuclear - glicocálix
- El modelo del mosaico fluido fue propuesto por  
A) Watson y Crick.  
B) Darwin y Wallace.  
C) Singer y Nicholson.  
D) Vries y Bateson.  
E) Mayr y Dobzhansky.
- Los componentes del citoesqueleto "responsables" de la ciclosis y del movimiento ameboideo son  
A) los microtúbulos.  
B) los microfilamentos.  
C) los filamentos intermedios.  
D) la trama microtrabecular.  
E) la matriz citoplasmática.

8. La estructura flexible de la célula formada por microtúbulos y microfilamentos recibe el nombre de
- A) citosol.  
B) citoesqueleto.  
C) túbulo mitocondrial.  
D) matriz citoplasmática.  
E) retículo endoplasmático tubular.
9. La función de secreción celular es realizada por
- A) la polirribosoma.  
B) la vacuola endocítica.  
C) el aparato de Golgi.  
D) el lisosoma secundario.  
E) el retículo endoplasmático liso.
12. El proceso metabólico que se lleva a cabo en el citosol de las células musculares de los animales cuando hay insuficiente oxígeno se denomina
- A) ciclo de Krebs.  
B) respiración aeróbica.  
C) respiración catabólica.  
D) fermentación láctica.  
E) fermentación alcohólica.
13. La contracción de la célula muscular esquelética se da como consecuencia del deslizamiento de los filamentos de ..... sobre los de .....

### NIVEL AVANZADO

- NIVEL INTERMEDIO**
10. ¿Qué orgánulo cumple las funciones de lipogénesis, glucogenólisis y detoxificación celular?
- A) el lisosoma secundario  
B) la vacuola endocítica  
C) el REL  
D) el polirribosoma  
E) el aparato de Golgi
11. ¿Qué organela sulfata y glucosila, empaqueta y distribuye las proteínas recién sintetizadas en la célula?
- A) la polirribosoma  
B) la vacuola endocítica  
C) el aparato de Golgi  
D) el lisosoma secundario  
E) el retículo endoplasmático liso
- A) miosina - actina  
B) dineína - cinesina  
C) actina - miosina  
D) tubulina - flagelina  
E) nexina - tropomiosina
14. Respecto a los lisosomas, señale la afirmación incorrecta.
- A) Al lisosoma secundario también se le llama vacuola digestiva.  
B) La degradación de material fagocitado es conocida como heterofagia.  
C) El lisosoma primario es un gránulo de almacenamiento que contiene enzimas hidrolíticas.  
D) Los productos digeridos pasan al citoplasma a través de la membrana lisosomal.  
E) La degradación de material intracelular, como mitocondrias y ribosomas, se denomina autólisis.

# TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA MEMBRANA

Las membranas celulares son todas aquellas membranas biológicas que se encuentran en la célula; incluyen a la membrana plasmática, las membranas de los organelos citoplasmáticos y las que rodean el núcleo celular (carioteca).

La membrana citoplasmática, llamada también **plasmalema**, es la que delimita el medio intracelular, separándolo selectivamente del medio extracelular; la separación es dinámica ya que a través de la membrana se movilizan agua, azúcares, aminoácidos, ácidos grasos y otras moléculas.

El surgimiento de esta estructura fue fundamental en el proceso de origen de la vida, puesto que permitió separar las reacciones biológicas (metabolismo) de las del entorno.

## 1 DEFINICIÓN

Es el movimiento de moléculas a través de la membrana citoplasmática, del medio extracelular al intracelular, y viceversa.

## 2 IMPORTANCIA

Las células se relacionan con su medio, del que toman los nutrientes y al que eliminan desechos y otros productos.

El ingreso de sustancias nutritivas a la célula es vital, porque provee de lo siguiente:

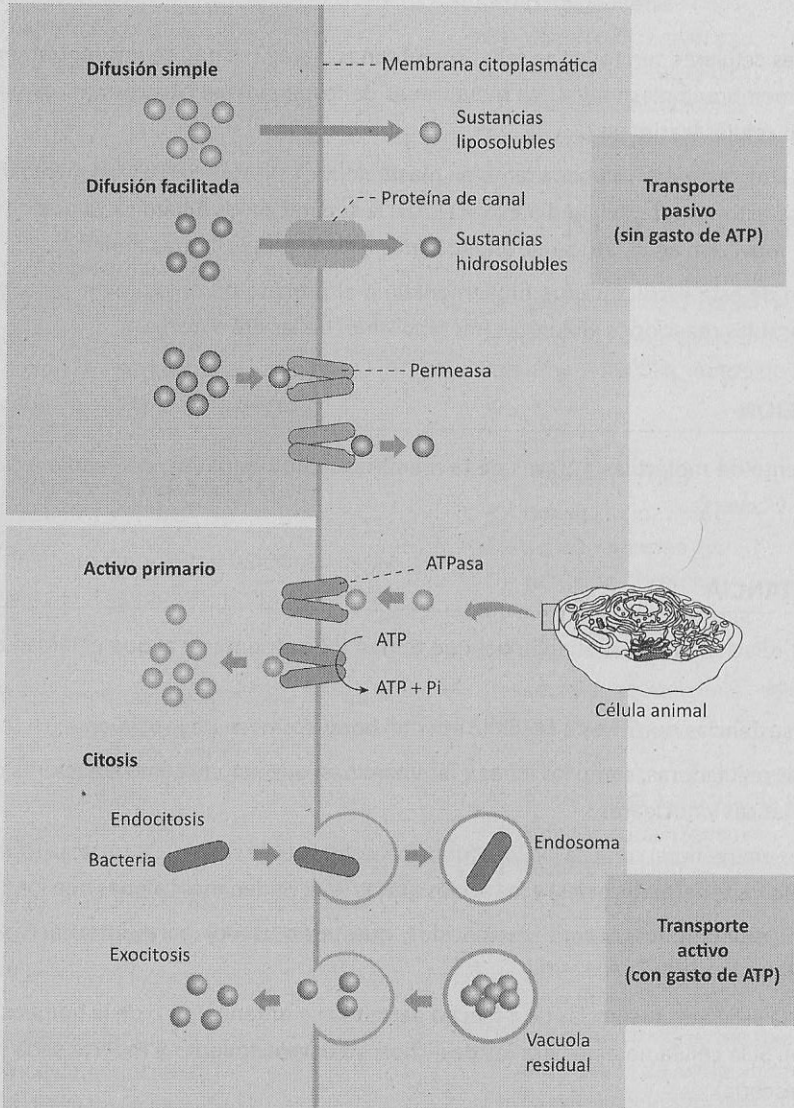
- Sustancias reguladoras, como los iones y las vitaminas, que actúan como cofactores de enzimas citoplasmáticas y nucleares.
- Moléculas energéticas, como la glucosa (principal combustible celular), la fructosa (principal combustible de los espermatozoides) y los ácidos grasos (que rinden más calorías que los azúcares).
- Moléculas monoméricas, como aminoácidos, que serán usados para sintetizar las moléculas propias de cada célula.

De otro lado, la salida de sustancias de desecho permite el mantenimiento de la homeostasis (equilibrio interno). Si la célula no eliminara los desechos, su envejecimiento y muerte sería muy rápido (teoría de la escoria).

Cabe indicar que existen procesos de transporte a través de la membrana (como la fagocitosis), que constituyen mecanismos de inmunidad inespecífica (defensa) contra agentes infecciosos.

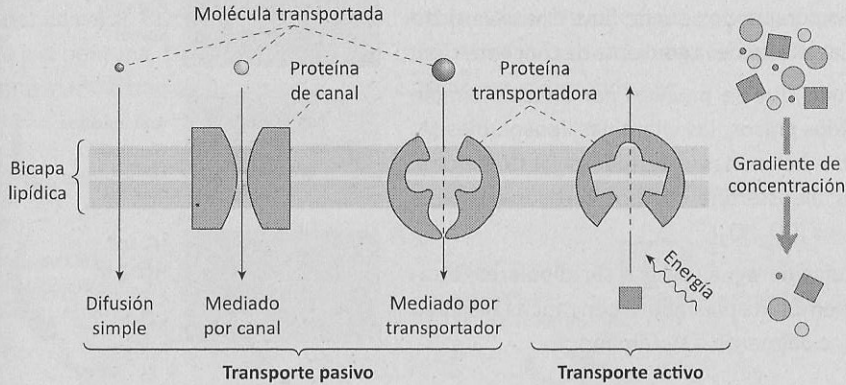
También es relevante señalar que la actividad nerviosa se relaciona directamente al funcionamiento de la membrana citoplasmática, a través de la cual "viaja" el impulso nervioso.

### Mecanismos de transporte



### 3 MECANISMOS DE TRANSPORTE

La membrana celular participa en estos procesos de intercambio de materiales a veces sin gasto de ATP por procesos de transporte pasivo, y otras veces gastando ATP por transporte activo.



#### 3.1. TRANSPORTE PASIVO

Se le llama así cuando la membrana transporta sustancias a favor de la gradiente de concentración sin gastar ATP.

**Pero ¿cómo hace la membrana para cumplir la función de transportar sin gastar energía celular?**

Este transporte se lleva a cabo por el fenómeno de la difusión. La difusión es un proceso en el cual las sustancias se mueven al azar de una zona de mayor concentración a otra de menor concentración a favor de la gradiente de concentración.

**Si todo movimiento implica una energía, ¿qué mueve a las moléculas?**

La base fisicoquímica de la difusión es la energía cinética molecular; es decir, la energía propia que tiene toda sustancia. A mayor concentración, más rápida es la difusión porque hay más energía cinética.

La difusión de moléculas de agua se llama ósmosis, mientras que la difusión de iones se denomina diálisis.

Transporte pasivo simple (por la bicapa lipídica)	{	- de gases - ósmosis (de agua)
Transporte pasivo facilitado (por proteínas)	{	- diálisis (de iones) - ósmosis (de agua) - de glucosa - de aminoácidos

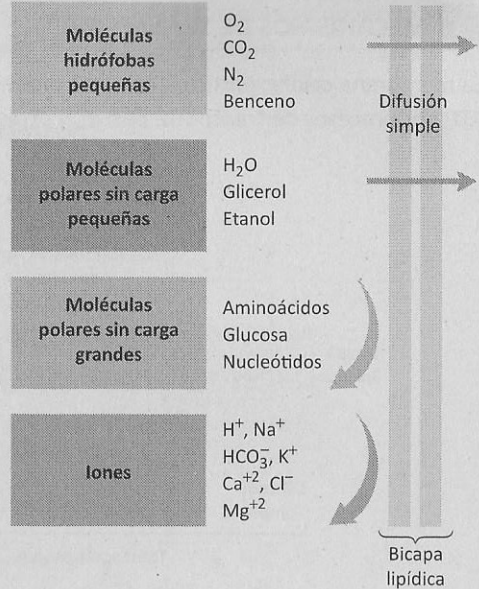
### 3.1.1. Transporte pasivo simple o difusión simple

Es la difusión de moléculas muy pequeñas y/o apolares a través de la zona lipídica de la membrana.

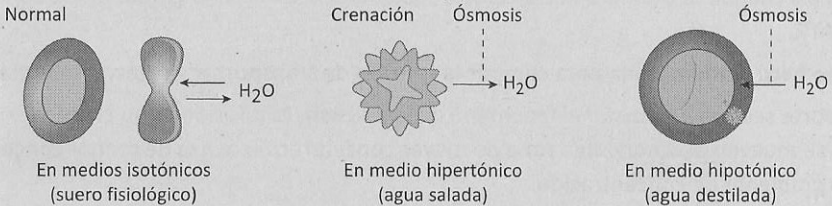
La difusión simple es favorecida por la fluidez (movimiento) de la membrana, en la que se abren canales lipídicos temporales, por donde fluye una diversidad de sustancias a favor de la gradiente de concentración.

Las moléculas que se mueven por difusión simple son los ácidos grasos, las vitaminas liposolubles (A, D, E, K), las hormonas esteroideas (testosterona, estrógenos, aldosterona, cortisol, cortisona, ecdisona), los gases ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ).

Las moléculas de agua, pese a ser dipolares, atraviesan la membrana plasmática con mucha facilidad debido principalmente a su tamaño.



### Glóbulos rojos en diferentes medios extracelulares



### 3.1.2. Transporte pasivo facilitado o difusión facilitada

Cuando la difusión se da a través de proteínas se le llama mediada o facilitada. La difusión facilitada opera para sustancias polares, que por su tamaño y/o carga no pueden pasar por la bicapa lipídica. La difusión facilitada puede ocurrir por proteínas de canal o por transportadores proteicos.

#### a. Difusión facilitada por proteínas de canal

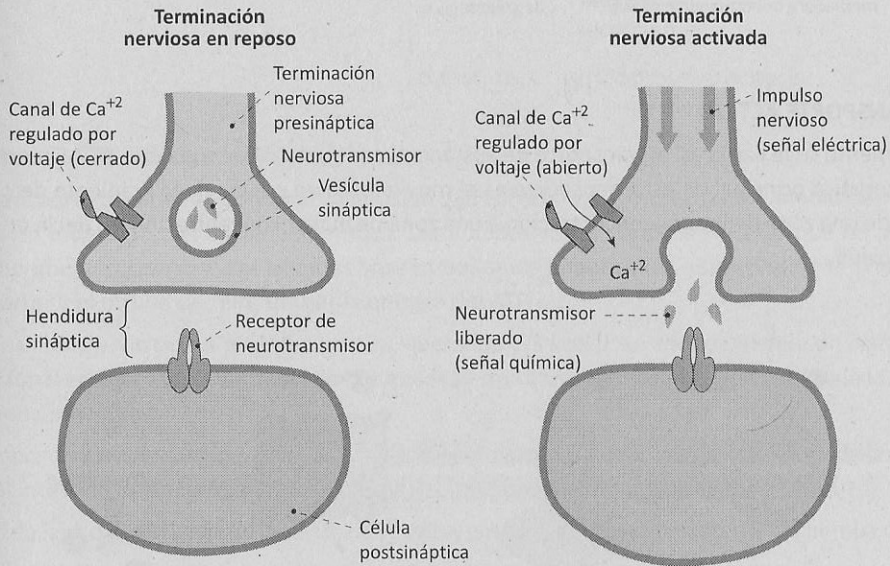
En la membrana citoplasmática existen proteínas integrales que poseen un poro o conducto central a través del cual pueden moverse sustancias polares pequeñas, como el agua y los iones. Se trata de poros o canales permanentes.

Así, por ejemplo, tenemos la familia de las **aquaporinas**, proteínas que permiten la difusión de agua en todas las células; los **canales de sodio, potasio y calcio**, que se encuentran en las membranas de las neuronas.

El **canal de sodio** es activado (se abre) por efecto de un neurotransmisor o del voltaje. Abierto este canal, se da el ingreso masivo de iones de sodio, generándose el estado de despolarización de la membrana de la neurona.

El **canal de potasio** es activado por voltaje. Por él salen los iones de potasio de la neurona, lo que ocasiona el estado de **repolarización** de la membrana de la neurona.

El **canal de calcio** también es activado por voltaje. Cuando este canal se abre, ingresan iones de calcio a la neurona. Dentro de la célula, el calcio favorece la polimerización de microtúbulos que permite la movilización de vesículas que secretan neurotransmisores.

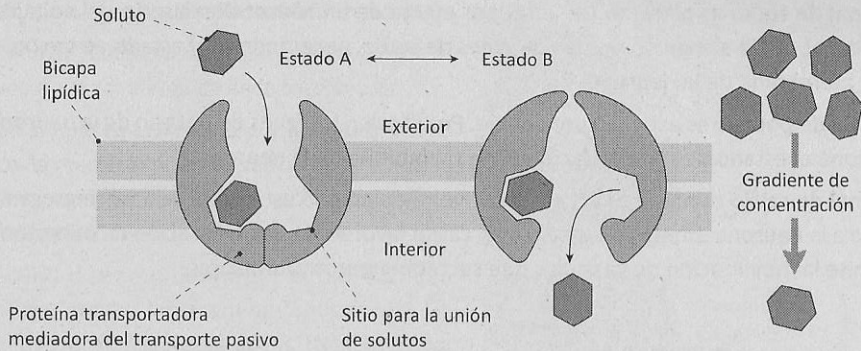


### b. Difusión facilitada por proteínas transportadoras

Las proteínas transportadoras, también llamadas translocasas, traslocadoras o permeasas, son proteínas oligoméricas (con varias subunidades) integrales de la membrana, que se caracterizan por su elevada especificidad para transportar solutos.

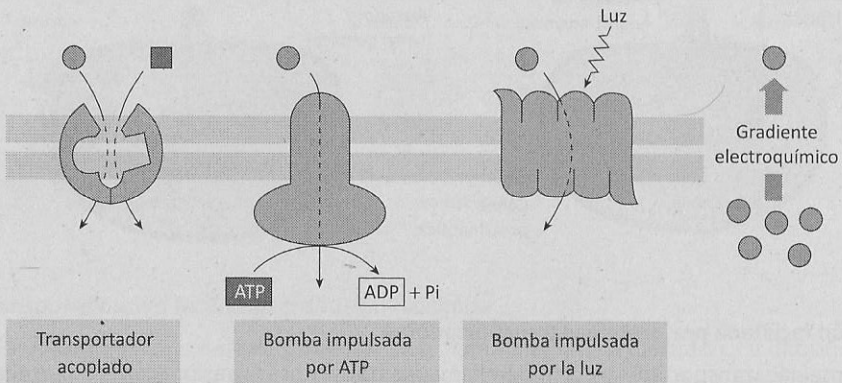
La antigua **hipótesis del translocador carrier** concebía que la proteína transportadora se unía al soluto y luego se movía de la hoja E (exoplásmica) hacia la hoja P (protoplásmica) de la membrana, lo que es cinéticamente improbable.

El **modelo del ping-pong**, aceptado actualmente, sostiene que cuando la permeasa contacta con el soluto, experimenta un cambio conformacional que le permite transportar al soluto del medio extracelular hacia el medio intracelular. Por difusión facilitada, ingresan monosacáridos, como la glucosa y la fructosa, y los aminoácidos.



### 3.2. TRANSPORTE ACTIVO

Generalmente se le llama así al transporte de sustancias con gasto de energía útil: ATP. Sin embargo, la característica principal de este transporte es el movimiento en contra de la gradiente de concentración, de una zona de menor concentración a una zona de mayor concentración, es decir, en contra de la difusión.



### Observación

Para los exámenes de admisión, el concepto se extiende a todo mecanismo de transporte que implique gasto de ATP. Por ello también se incluye el transporte en masa, aunque es independiente de los gradientes de concentración. En el transporte en masa hay modificación (por ejemplo, invaginación) de la membrana celular y formación de vesículas.

Transporte activo primario	}	- bomba de sodio y potasio	
		- bomba de calcio	
		- bomba de potasio	
Transporte activo secundario	}	- cotransporte glucosa-sodio	
		- cotransporte de calcio-sodio	
Transporte en masa (citosis)	}	endocitosis	- fagocitosis
			- pinocitosis
			- mediada por receptor
	}	exocitosis	- egestión
			- secreción
	}	transcitosis	- endocitosis-exocitosis

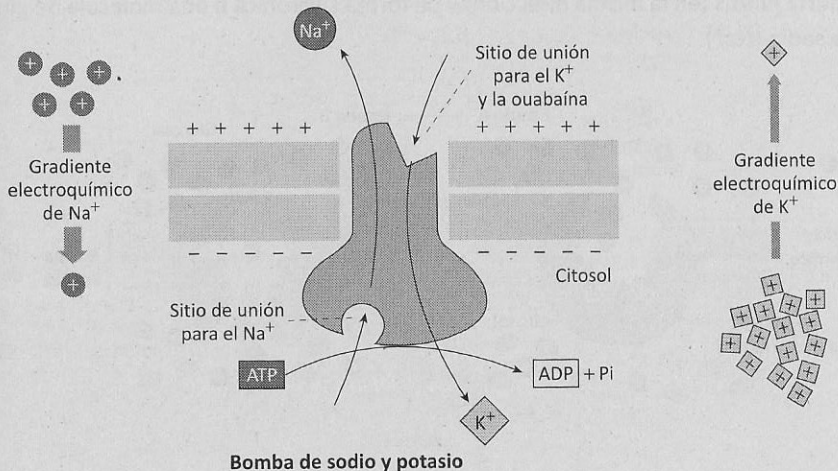
### 3.2.1. Transporte activo primario

Es el transporte de iones en contra de la difusión que consume ATP. Se realiza por medio de proteínas altamente especializadas llamadas **bombas**. Las bombas son un tipo de ATPasas que no producen ATP, sino que lo consumen. Las bombas poseen dos sitios importantes, uno de ellos se une al ion a transportar y el otro le permite utilizar la energía del ATP.

El ATP es hidrolizado por la proteína bomba, liberando 7,3 kcal. Esta energía genera un cambio conformacional en la proteína bomba, cambio que le permite transportar el ion en contra de la gradiente de concentración.

El transporte activo es importante porque permite la absorción de iones por las raíces de las plantas y por el intestino delgado humano; asimismo, es fundamental en la actividad nerviosa.

Dentro de las bombas destacan la bomba de sodio y potasio, la bomba de potasio y la bomba de calcio.



La **bomba de sodio y potasio** ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPasa) transporta tres iones de sodio ( $3 \text{ Na}^+$ ) al exterior de la célula en contra de la gradiente, y al mismo tiempo bombea dos iones de potasio ( $2 \text{ K}^+$ ) desde el exterior hacia el interior en contra de la gradiente. Esta bomba se encuentra en todas las células animales y es la encargada de conservar las diferencias catiónicas entre el medio extracelular, rico en sodio ( $\text{Na}^+$ ), y el medio intracelular, rico en potasio ( $\text{K}^+$ ). Establece un potencial eléctrico negativo dentro de las células como el que se observa en las neuronas que conducen el impulso nervioso y conservan el volumen celular constante. Cabe indicar que las células de las plantas carecen de bomba de sodio y potasio.

La **bomba de potasio** transporta iones de potasio al interior de la célula vegetal gastando ATP. Esta bomba es importante porque el ingreso de iones de potasio a la célula vegetal favorece la apertura de los estomas.

La **bomba de calcio** se encuentra en el retículo sarcoplasmático (dentro de la célula muscular estriada). Genera el ingreso de iones de calcio al interior del retículo sarcoplasmático gastando ATP. Asimismo, es un mecanismo de remoción de calcio del medio intracelular hacia el exterior de la célula.

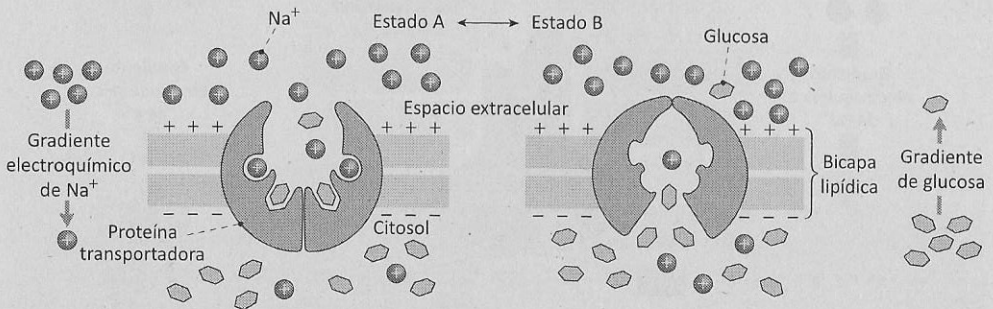
### 3.2.2. Transporte activo secundario

Se le llama secundario porque es dependiente del transporte activo primario. No consume directamente ATP, sino de forma indirecta.

En este tipo de transporte participan **proteínas cotransportadoras**, que movilizan un ion a favor de la gradiente de concentración, y usan esta energía para transportar de forma simultánea otra molécula o ion en contra de la gradiente de concentración. El cotransporte puede ser simporte o antiporte.

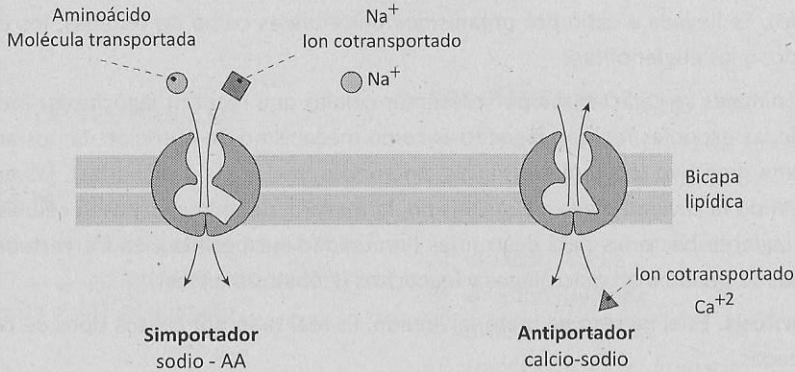
#### a. Transporte simporte glucosa-sodio

Se da en el intestino delgado, donde es importante como mecanismo de absorción de glucosa. Una proteína de la membrana plasmática de la célula del intestino delgado (llamada enterocito) transporta juntos (en la misma dirección) y de forma sincrónica a una molécula de glucosa y un ion de sodio ( $\text{Na}^+$ ).



**b. Transporte antiporte calcio-sodio**

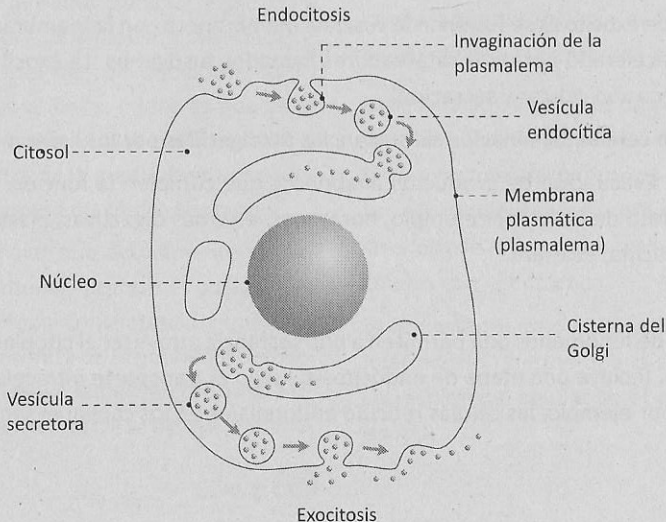
Se da en el corazón, donde genera la salida de calcio. Una proteína de la membrana plasmática de la célula del miocardio (llamada cardiocito) transporta de forma sincrónica pero antagónica (en dirección opuesta) un ion de calcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ) por un ion de sodio ( $\text{Na}^{+}$ ).



**3.2.3. Transporte en masa o citosis**

Las células eucariotas han desarrollado mecanismos para movilizar materiales en grandes cantidades a los que llamamos transporte en masa o citosis.

En el transporte en masa se modifica la forma de la célula y se consume energía celular (ATP). Existen dos tipos de transporte en masa: la endocitosis y la exocitosis.





### a. Endocitosis

Es el proceso de ingestión celular de materiales en masa. Se caracteriza por la invaginación de la membrana citoplasmática que conlleva a la formación de una vesícula que contiene el material transportado. Puede ser de tres tipos: fagocitosis, pinocitosis y endocitosis mediada por receptor.

- **Fagocitosis** (*fago* 'comer'). Es el proceso de ingestión de proteínas o de células (material sólido). Es llevada a cabo por organismos unicelulares como las amebas, los protozoarios ciliados y las euglenofitas.

Los animales se caracterizan por presentar células que realizan fagocitosis. Todas las células de las esponjas realizan fagocitosis como mecanismo de nutrición. En los animales con sistema digestivo incompleto (hidras, anémonas, malaguas y planarias), las encontramos tapizando la cavidad digestiva. Asimismo, la mayoría de animales poseen células fagocíticas que ingieren bacterias para destruirlas (inmunidad inespecífica). En los vertebrados, estas células se denominan macrófagos y leucocitos (glóbulos blancos).

- **Pinocitosis.** Es el ingreso de material líquido. Es realizado por ciertos tipos de células especializadas.
- **Endocitosis mediada por receptor.** Es un mecanismo de ingestión celular en el cual participa un receptor de membrana específico que se une a la partícula que va a ser transportada. Mediante este proceso se ingieren virus e ingresa colesterol.

### b. Exocitosis

Es el proceso de expulsión de sustancias en masa. Se caracteriza porque participan vesículas que contienen enzimas, residuos de la digestión, proteínas o grandes moléculas que cumplen funciones en el medio extracelular.

En el proceso de exocitosis se fusionan la vesícula membranosa con la membrana citoplasmática. El proceso es acelerado por unos catalizadores llamados **fusógenos**. La exocitosis puede ser de dos tipos: defecación celular y secreción.

- **Defecación celular.** Eliminación de sustancias no digeridas por los lisosomas terciarios.
- **Secreción.** Evacuación de productos anabólicos que cumplen la función fuera de la célula por el aparato de Golgi; por ejemplo, hormonas, enzimas digestivas, elastina, colágeno, celobiosa, mucina, etcétera.

### c. Transcitosis

Es el conjunto de fenómenos que permiten a una sustancia atravesar el citoplasma celular desde un lado a otro. Incluye una etapa de endocitosis, luego el transporte intracelular y, finalmente, la exocitosis; por ejemplo, las células retículo endoteliales en los capilares sanguíneos.



# PREGUNTAS RESUELTAS



## NIVEL BÁSICO

### PREGUNTA N.º 1

El transporte en el cual la célula no gasta ATP se denomina .....; mientras que aquel en el que se hidroliza el ATP es llamado .....

- A) difusión - pasivo
- B) pasivo - activo
- C) activo - mediado
- D) pasivo - difusión
- E) facilitado - difusión

#### Resolución

Generalmente se le llama transporte pasivo a aquel que no gasta ATP y moviliza sustancias a favor de la gradiente de concentración, como la difusión de agua e iones; mientras que se le llama transporte activo al que consume ATP y transporta en contra de la gradiente de concentración, como la bomba de sodio y potasio.

Es importante señalar que actualmente se distinguen, principalmente, porque el pasivo va a favor de la gradiente de concentración; mientras que el activo va en contra de la gradiente de concentración y no necesariamente consume ATP, como es el caso de transporte activo secundario.

CLAVE **B**

### PREGUNTA N.º 2

En la respiración interna, las células intercambian gases por el mecanismo de

- A) difusión simple.
- B) difusión mediada.
- C) difusión facilitada.
- D) transporte activo primario.
- E) transporte activo secundario.

#### Resolución

Los gases se intercambian por el mecanismo de difusión simple a través de la membrana citoplasmática.

El oxígeno molecular ingresa a la célula atravesando la bicapa lipídica y de la misma manera la célula elimina el dióxido de carbono.

La respiración interna es una etapa de la respiración indirecta característica de los animales que tienen órganos respiratorios especializados.

La respiración interna también es llamada tisular y es ese intercambio gaseoso que hacen las células con el entorno.

Es importante mencionar que la respiración celular no es lo mismo que la respiración interna. La respiración celular es el proceso de síntesis de ATP.

CLAVE **A**

**PREGUNTA N.º 3**

Las vitaminas liposolubles ingresan a las células por un proceso de

- A) difusión mediada.
- B) difusión simple.
- C) difusión facilitada.
- D) transporte activo primario.
- E) transporte activo secundario.

**Resolución**

Las vitaminas liposolubles ingresan a la célula por difusión simple a través de la bicapa lipídica. Son las que se disuelven en las grasas, tales como la vitamina A (retinol), la vitamina D (colecalciferol), la vitamina E (tocoferol) y la vitamina K (menadiona).

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 4**

El ingreso de glucosa a las células corporales se da por medio de

- A) ionóforos.
- B) poros lipídicos.
- C) proteínas permeasas.
- D) proteínas de la corteza celular.
- E) proteínas bombeadoras de iones.

**Resolución**

La glucosa ingresa a las células corporales o somáticas por medio de proteínas denominadas permeasas o translocasas.

Las permeasas son proteínas integrales de la membrana especializadas en el transporte de algún sustrato específico.

Las permeasas de glucosa son muy importantes porque permiten la administración constante de glucosa a las células.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 5**

Los aminoácidos ingresan a la célula por el proceso llamado

- A) difusión simple.
- B) difusión facilitada.
- C) transporte pasivo simple.
- D) transporte activo primario.
- E) transporte activo secundario.

**Resolución**

Los aminoácidos, al igual que la glucosa, ingresan a la célula por difusión facilitada.

De acuerdo al modelo del *ping-pong*, la primera etapa involucra la captación del aminoácido, luego se genera un cambio conformacional en la proteína transportadora y, finalmente, es impulsada hacia el interior de la célula.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 6**

Cuando una célula ingiere bacterias, el proceso se denomina

- A) pinocitosis.
- B) fagocitosis.
- C) transcitosis.
- D) rofeocitosis.
- E) exocitosis.

**Resolución**

Las macrófagos y los neutrófilos son células conjuntivas que ingieren bacterias por el proceso de fagocitosis. La fagocitosis constituye un mecanismo de inmunidad inespecífica. Como consecuencia de la fagocitosis, se forman vacuolas alimenticias a las que se unen lisosomas primarios para formar heterofagosomas o lisosomas secundarios, en los cuales se destruyen las bacterias.

Cabe indicar que los lisosomas humanos no tienen enzimas para digerir al bacilo de Koch.

CLAVE **B**

**NIVEL INTERMEDIO****PREGUNTA N.º 7**

El agua ingresa a la célula por el mecanismo llamado ....., generalmente, por medio de proteínas denominadas .....

- A) exocitosis - aquaporinas
- B) difusión - aquaporinas
- C) ultrafagocitosis - integrinas
- D) macropinocitosis - riboforinas
- E) endocitosis por receptor - espectrinas

**Resolución**

El agua ingresa a la célula por el mecanismo llamado difusión facilitada (ósmosis), generalmente, por medio de proteínas denominadas aquaporinas.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 8**

En el transporte activo, el movimiento de moléculas se realiza en contra de la gradiente de concentración con gasto de energía. Este tipo de transporte está mediado por proteínas

- A) de canal.
- B) ATPasas.
- C) de la corteza celular.
- D) periféricas o extrínsecas.
- E) receptoras de membrana.

**Resolución**

El transporte activo está mediado por proteínas denominadas ATPasas, debido a que gastan ATP. Las ATPasas pueden hidrolizar el ATP (romperlo) para liberar alta energía (7,3 kcal), que es utilizada para transportar sustratos en contra de la gradiente de concentración.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 9**

Durante la bomba de sodio y potasio se cumple que

- A) salen 3 sodios y 3 potasios.
- B) ingresan 2 sodios y salen 2 potasios.
- C) salen 3 sodios e ingresan 2 potasios.
- D) salen 2 sodios e ingresan 3 potasios.
- E) ingresan 3 sodios y salen 3 potasios.

**Resolución**

Durante la bomba de sodio y potasio se cumple que por cada 3 sodios que salen, ingresan 2 potasios.

La proteína que realiza este transporte es la  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  ATPasa, que consume ATP.

La bomba es importante para mantener el estado de polarización neuronal.

Las células vegetales carecen de bomba de sodio y potasio.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 10**

¿Cómo se denomina el proceso mediante el cual los macrófagos ingieren virus?

- A) pinocitosis
- B) transcitosis
- C) rofeocitosis
- D) fagocitosis
- E) endocitosis mediada por receptor

**Resolución**

Los macrófagos (células que provienen de la activación de los monocitos sanguíneos) ingieren virus mediante el proceso de endocitosis mediada por receptor.

En la membrana de los macrófagos a nivel de la hoja E (exoplásmica) se encuentran proteínas a las que se adhieren las partículas virales. Luego los macrófagos ingieren a los virus.

CLAVE **E**

**NIVEL AVANZADO****PREGUNTA N.º 11**

La glucosa es absorbida en el intestino delgado mediante el transporte ....., luego es llevada por la sangre e ingresa a las otras células del cuerpo por el transporte .....

- A) activo primario - pasivo simple
- B) pasivo simple - pasivo facilitado
- C) activo secundario - pasivo simple
- D) pasivo facilitado - activo primario
- E) activo secundario - pasivo facilitado

**Resolución**

La glucosa es absorbida en el intestino delgado por el transporte activo secundario, luego es llevada por la sangre e ingresa a las otras células del cuerpo por el transporte pasivo facilitado. El transporte de glucosa es de vital importancia porque es el principal combustible celular.

Las neuronas son particularmente muy sensibles al déficit de glucosa y colapsan si les falta esta molécula combustible.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 12**

Cuando un glóbulo rojo es colocado en una solución hipertónica, experimenta ....., y cuando una célula vegetal se encuentra en un medio hipotónico, se da la .....

- A) crenación - turgencia
- B) citólisis - plasmólisis
- C) turgencia - crenación
- D) citólisis - turgencia
- E) plasmólisis - crenación

**Resolución**

En una solución hipertónica, un glóbulo rojo experimenta crenación (se deshidrata), y cuando una célula vegetal se encuentra en un medio hipotónico, se da turgencia (se hincha pero no revienta, puesto que la pared celular lo evita).

La crenación de los glóbulos rojos se puede dar si nuestra sangre se torna muy salada en personas que ingieren agua de mar. El estado de turgencia o turgescencia es el estado normal en el que se encuentran las células vegetales.

CLAVE **A**



## PREGUNTAS PROPUESTAS



### NIVEL BÁSICO

1. El transporte de materiales a través de la membrana que no gasta ATP se realiza por un fenómeno físico denominado
  - A) difusión.
  - B) filtración.
  - C) ultrafiltración.
  - D) presión negativa.
  - E) presión positiva.
2. El ingreso de oxígeno a las células corporales se da por el mecanismo de
  - A) difusión mediada.
  - B) difusión facilitada.
  - C) difusión simple.
  - D) transporte activo primario.
  - E) transporte activo secundario.
3. Cuando una célula elimina sustancias indigeribles, el proceso se denomina
  - A) pinocitosis.
  - B) fagocitosis.
  - C) transcitosis.
  - D) rofeocitosis.
  - E) exocitosis.
4. Las hormonas esteroideas ingresan a las células por un proceso de

- A) difusión facilitada.
  - B) difusión simple.
  - C) difusión mediada.
  - D) transporte activo primario.
  - E) transporte activo secundario.
5. El ingreso de glucosa a las células corporales se da por el proceso de
    - A) difusión facilitada.
    - B) difusión.
    - C) difusión simple.
    - D) transporte activo primario.
    - E) transporte activo secundario.

### NIVEL INTERMEDIO

6. Las moléculas que participan en el transporte de los aminoácidos se denominan
  - A) ionóforos.
  - B) poros lipídicos.
  - C) proteínas ATPasas.
  - D) proteínas transportadoras.
  - E) proteínas bombeadoras de iones.
7. Las células vegetales carecen de
  - A) aquaporinas.
  - B) bomba de potasio.
  - C) bomba de sacarosa.
  - D) bomba de hidrogeniones.
  - E) bomba de sodio y potasio.

8. En la conducción del impulso nervioso, la despolarización de las neuronas se debe al ingreso de sodio a través de
- proteínas de canal.
  - poros lipídicos.
  - la bicapa lipídica.
  - proteínas ATPasas.
  - proteínas bombeadoras de iones.
9. Las moléculas de agua ingresan a la célula por
- transporte activo.
  - proteínas ATPasas.
  - aquaporinas y bicapa lipídica.
  - receptores de membrana.
  - proteínas bombeadoras de iones.
10. El sodio ingresa a la célula por transporte ..... y es eliminado por transporte .....
- activo - activo
  - pasivo - pasivo
  - activo - pasivo
  - pasivo - activo
  - mediado - pasivo
11. La absorción de iones en la rizodermis vegetal se da por el mecanismo de
- difusión facilitada.
  - difusión mediada.
  - difusión simple.
  - transporte activo primario.
  - transporte activo secundario.
12. Cuando una célula vegetal es colocada en una solución hipertónica, experimenta ....., y cuando un glóbulo rojo se encuentra en un medio hipotónico, se da .....
- crenación - turgencia
  - citólisis - plasmólisis
  - turgencia - crenación
  - citólisis - turgencia
  - plasmólisis - citólisis
13. La hormona ..... producida por las células  $\beta$  de los islotes de Langerhans desencadena el ingreso de glucosa a las células animales.
- inulina
  - insulina
  - glucagón
  - adrenalina
  - cortisol
14. La membrana de los procitos es estabilizada por los .....; mientras que en los eucitos los ..... la estabilizan.
- esteroides - hopanoides
  - hopanoides - esteroides
  - fosfoglicéridos - fosfátidos
  - diéteres de glicerol - esteroides
  - esteroides - diéteres de glicerol

### NIVEL AVANZADO

15. Es un mecanismo de inmunidad anamnésica. Está presente en todo el reino metazoa.
- fagocitosis
  - endosimbiosis
  - micropinocitosis
  - macropinocitosis
  - defecación celular



# FOTOSÍNTESIS



## 1 DEFINICIÓN

Etimológicamente, la palabra **fotosíntesis** proviene de dos vocablos: foto, que significa luz, y síntesis, que significa elaborar o producir.

La fotosíntesis es un proceso anabólico mediante el cual la radiación solar es utilizada en la elaboración de moléculas orgánicas; principalmente, la glucosa.

En la fotosíntesis, la energía luminosa es transformada en energía química, la que se encuentra almacenada en los enlaces covalentes de los átomos de carbono.

## 2 IMPORTANCIA

La fotosíntesis es, sin lugar a duda, el proceso metabólico que actualmente sostiene la vida en la Tierra. Es un proceso de **importancia ecológica**.

- Las cianofitas, las algas eucariotas y las plantas elaboran moléculas orgánicas e inician las cadenas alimenticias en los ecosistemas. Por ello, estos organismos participan como los productores o productores primarios de la mayoría de ecosistemas. Se les ubica en el primer eslabón de las cadenas alimenticias y en el primer nivel trófico de las pirámides tróficas.
- La fotosíntesis oxigénica aporta oxígeno molecular ( $O_2$ ) al medio, el cual permite realizar metabolismo oxidativo en los organismos aeróbicos (plantas, animales, hongos, etc.) y también contribuye a la regeneración de la ozonósfera (capa de ozono  $O_3$ ), que protege la vida en el planeta.
- Es una etapa fundamental del ciclo del carbono; consume  $CO_2$  y con ello regula el efecto invernadero y contrarresta el calentamiento global.

## 3 CARACTERÍSTICAS

La fotosíntesis es un proceso metabólico que cumple las leyes de la termodinámica. Se trata de una **transducción** energética donde la energía solar (radiación solar) se transforma en la energía de los alimentos (glucosa); asimismo se da la transformación de moléculas inorgánicas en orgánicas.

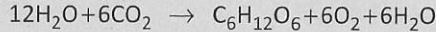
- **Proceso endergónico.** Captura la radiación solar.
- **Proceso reductivo.** El carbono del dióxido se reduce (gana electrones) al enlazarse con los hidrógenos del agua y se genera la glucosa.
- **Proceso anabólico.** Son reacciones sintéticas que se dan dentro del cloroplasto.
- **Proceso discontinuo.** Solo es diurna, se da durante el día.
- **Proceso biológico.** Solo se da dentro de los seres vivos, llamados fotótrofos o fotoautótrofos.



## 4 FOTOSÍNTESIS OXIGÉNICA

Es cuando la molécula donadora de hidrógenos (protones y electrones) es el agua ( $H_2O$ ), como ocurre en la mayoría de organismos fotosintéticos.

En el proceso, el oxígeno molecular es liberado ( $O_2$ ); mientras que los protones y los electrones del hidrógeno son utilizados en la síntesis de glucosa.



### 4.1. LOCALIZACIÓN EN LAS PLANTAS ANGIOSPERMAS

#### 4.1.1. Órganos fotosintéticos

La fotosíntesis se lleva a cabo en todas las partes verdes de la planta. Sin embargo, en las plantas terrestres, los órganos generalmente especializados en la fotosíntesis son los **nomófilos**, es decir, las hojas verdes. La forma plana y ancha del limbo (parte principal de la hoja) lo torna un excelente panel receptor de energía solar.

En las plantas cactáceas y euforbiáceas, el órgano que se ha especializado en la fotosíntesis es el tallo (las hojas son las espinas). El tallo de estas plantas que están adaptadas a la vida en el desierto recibe los nombres de cladodio, placticlado o filocladio.

#### 4.1.2. Tejidos fotosintéticos

En los órganos fotosintéticos se localiza el tejido llamado **parénquima clorofiliano**, constituido de células con abundantes cloroplastos y pared celular delgada. El parénquima clorofiliano también es llamado parénquima asimilador o clorénquima. Existen dos tipos de parénquima clorofiliano: empalizada y lagunar.

El **parénquima empalizada** está formado por células con forma de palos, con vacuola central, que almacena agua y abundantes cloroplastos rodando a la vacuola. Se ubica debajo de la epidermis del haz (cara superior de las hojas).

El **parénquima lagunar** o lacunar está formado por células esféricas, sin vacuola, pero sí con abundantes cloroplastos. Se caracteriza por presentar grandes espacios intercelulares llamados meatos, en los que se almacena agua. Se localiza debajo de la epidermis del envés (cara inferior de las hojas).

#### 4.1.3. Célula fotosintética

También llamada fotolítotrofa o parenquimática. Se caracteriza por presentar abundantes cloroplastos.

#### 4.1.4. Organelo fotosintético

El cloroplasto es el organelo fotosintético, porque en él se realizan las reacciones dependientes de luz y las independientes de luz. El cloroplasto contiene los pigmentos fijadores de la luz y las enzimas requeridas en el proceso.

#### 4.1.5. Tilacoides

Son sacos membranosos que realizan la **fase luminosa** de la fotosíntesis. Un tilacoide tiene dos partes: la membrana tilacoidal y la cámara intratilacoidal. En la membrana se encuentran los cuantosomas. En la cámara intratilacoidal se acumulan protones ( $H^+$ ). Los tilacoides se encuentran apilados formando granas.

#### 4.1.6. Cuantosomas

Fueron definidos como las **unidades funcionales fotosintéticas**, por Park y Biggins, porque en ellos se realizan las reacciones luminosas.

El cuantosoma presenta dos **fotosistemas** (PSI y PSII). Los fotosistemas son los centros que captan la energía solar; actualmente son llamados unidades fotosintéticas (Karp). Están constituidos por un conjunto de pigmentos fotosensibles: clorofilas y carotenoides (xantófilas y carotenos). Los pigmentos actúan como moléculas antena, porque captan diversas longitudes de onda solar y la transfieren a un centro de reacción.

En el **PSI (fotosistema I)**, el centro de reacción es la clorofila A1 (P700), mientras que en el **PSII (fotosistema II)**, el centro de reacción es la clorofila A2 (P680). Los fotosistemas usan por ello todas las longitudes de onda del espectro visible (de 380 nm a 760 nm), aunque sus centros de reacción principalmente captan longitudes de onda roja.

En el cuantosoma se encuentra una cadena transportadora de electrones formada principalmente de proteínas, tales como las plastoquinonas (Pq), los citocromos b-f, la plastocianina (Pc) y la ferredoxina (Fd). En el cuantosoma también existe la partícula F; también conocida como ATPasa o ATP sintetasa, que sintetiza ATP y la NADP reductasa.

#### 4.1.7. Estroma

Es el coloide del cloroplasto, aquí se realiza la **fase oscura** de la fotosíntesis. Se trata de una estructura supramolecular compuesta de agua y enzimas. La enzima más importante del estroma es la **rubisco** (ribulosa bifosfato carboxilasa oxigenasa), que participa en la fijación del  $CO_2$ .

### 4.2. PIGMENTOS FOTOSINTÉTICOS

Son moléculas cuya estructura les permite captar longitudes de onda de la radiación solar.

#### 4.2.1. Clorofilas

La clorofila contiene magnesio  $Mg^{+2}$  (magnesio) como ion central. La característica molecular de la clorofila que le permite absorber la luz es la distribución de sus electrones en pares de manera alternada (resonancia).

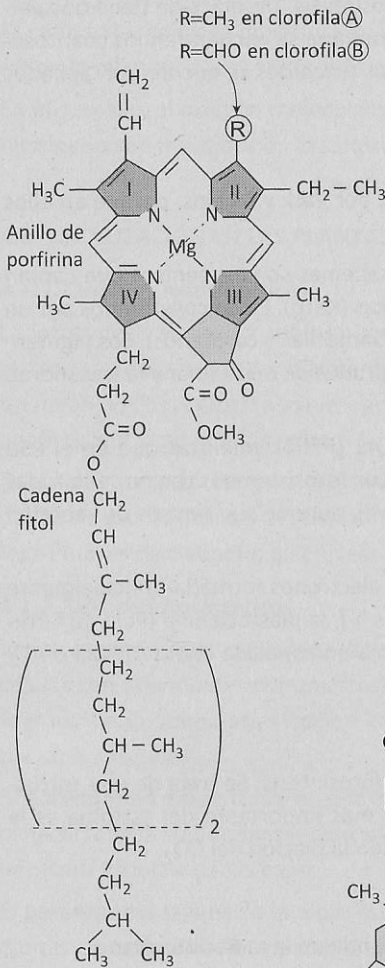
#### 4.2.2. Carotenoides

Los pigmentos auxiliares (antena) en las plantas superiores son los carotenoides (moléculas hidrocarbonadas lipídicas), como el caroteno (anaranjado) y la xantófila (amarillo).

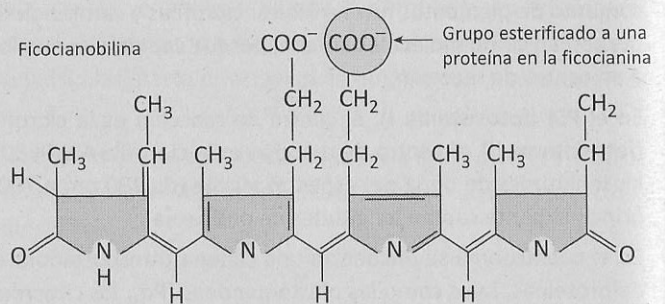
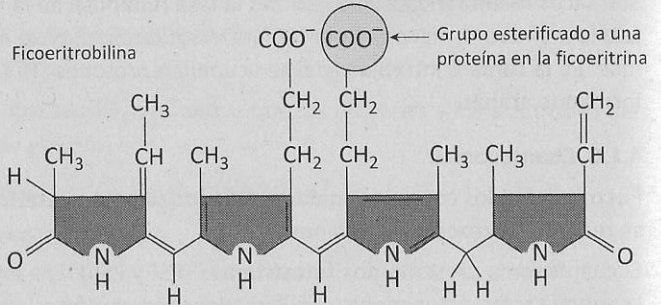
#### 4.2.3. Ficobilinas

Son tetrapirroles de cadena abierta. Se encuentran en las algas rojas.

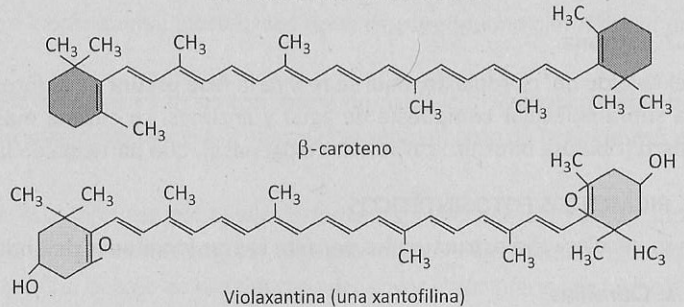
**Estructura de las clorofilas**



**Estructura de las ficobilinas**



**Estructura de los carotenoides**



**4.3. ETAPAS DE LA FOTOSÍNTESIS OXIGÉNICA**

**4.3.1. Etapa luminosa**

Son reacciones dependientes de luz que ocurren en las membranas de los tilacoides, aquí están localizados los cuantosomas.

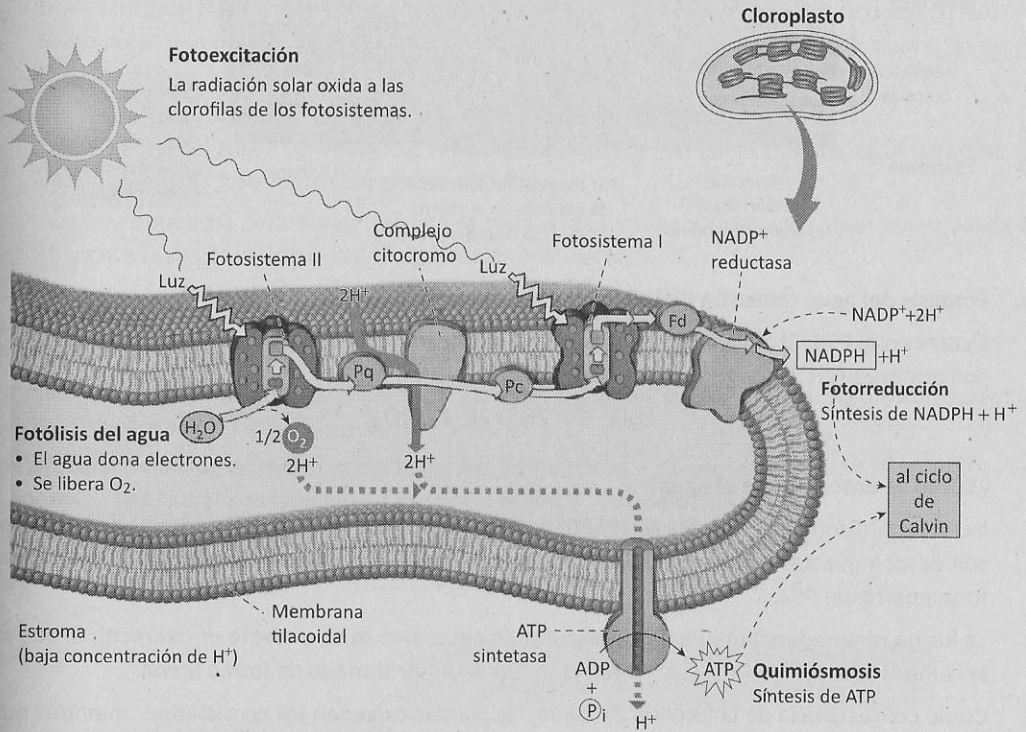
La etapa luminosa transforma la energía luminosa en energía química, proceso que se evidencia en la síntesis de ATP y NADPH+H<sup>+</sup>.

## Observación

La UNMSM llama **fotofosforilación** a las reacciones dependientes de luz, aunque generalmente es conocida como fase fótica o fase fotoquímica.

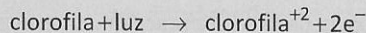
Las demás universidades (UNALM, UNFV y UNAC) restringen el uso del término fotofosforilación a uno de los eventos de la fase luminosa.

En la fase luminosa se suelen reconocer cuatro eventos: fotoexcitación, fotólisis del agua, quimiósmosis o fotofosforilación y fotorreducción.



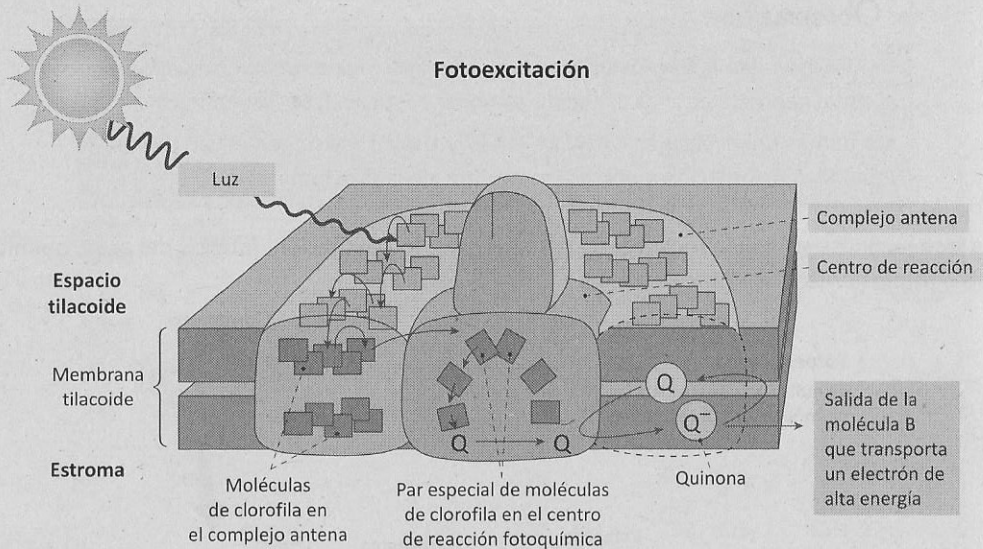
### a. Fotoexcitación (fotooxidación de la clorofila)

Ocurre en los fotosistemas. La luz llega a los fotosistemas ocasionando que las clorofilas pierdan electrones.



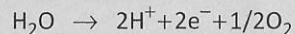
### ¿Qué ocurre?

La luz es absorbida por los pigmentos de los fotosistemas I y II, desencadenando la excitación de las clorofilas (P700 y P680, respectivamente), que captan la energía luminosa del fotón (paquete de energía luminosa), y emiten (pierden) dos electrones (2e<sup>-</sup>), los cuales pasan al sistema de transporte de electrones.



### b. Fotólisis del agua (reacción de Hill, oxidación del agua)

Ocurre en el PSII. El agua llega al fotosistema donde es descompuesta en dos electrones ( $2e^-$ ), dos protones ( $2H^+$ ) y oxígeno molecular ( $O_2$ ).



#### ¿Cómo se descompone el agua?

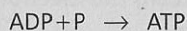
La fotoexcitación de la clorofila A2 (P680) del PSII genera la atracción de moléculas de agua, que son descompuestas por el complejo productor de oxígeno o proteína manganeso ( $Mn^{+2}$ ), que forma parte del PSII.

La luz no rompe directamente las moléculas de agua, sino que su efecto es indirecto; el que se le llame fotólisis (foto=luz; lisis=disolución) no debe ser tomado de forma literal.

Como consecuencia de la fotólisis del agua, las plantas oxigenan los ecosistemas; mientras que los electrones van a parar a la clorofila A2 (P680) y los protones se acumulan en el interior del tilacoide.

### c. Quimiósmosis o fotofosforilación

Es la síntesis de ATP en presencia de luz. Esta reacción es catalizada por la enzima ATP sintetasa. La acumulación de protones en el espacio intratilacoide y el transporte de electrones generan una gradiente (diferencia) de concentración y carga entre el tilacoide y el estroma. Como consecuencia, los protones cruzan la membrana tilacoide a favor de la gradiente a través del complejo ATP sintetasa provocando la fosforilación del ADP para formar ATP.

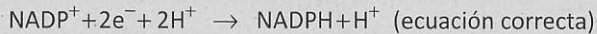


## Observación

La UNMSM llama **quimiósmosis** al mecanismo de producción de ATP (basado en los planteamientos de la moderna biología general que asumen la teoría quimiostmótica de Mitchell). LA UNALM, UNFV y UNAC denominan a este proceso **fotofosforilación o fosforilación fotosintética** (sobre la base de la fisiología vegetal).

### d. Fotorreducción

Los electrones liberados del agua son transferidos a través de la cadena transportadora de electrones hacia el  $\text{NADP}^+$ , que como consecuencia se reduce (el  $\text{NADP}^+$  gana electrones) en  $\text{NADPH}$ ; luego acepta un protón ( $\text{H}^+$ ) de los dos protones cedidos por cada molécula de agua originando  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ .



Debido a que el  $\text{NADP}^+$  al reducirse solo capta un protón, en los exámenes de la UNMSM, se considera que la fotorreducción genera  $\text{NADPH}$ .

Algunos botánicos para poder seguirle la pista a los hidrógenos del agua usan como válida la siguiente ecuación, aunque químicamente es incorrecta.



### 4.3.2. Tipos de fotofosforilación

La moderna biología general considera que hay dos tipos de fase luminosa o fotofosforilación: la acíclica (no cíclica) y la cíclica.

En la **fotofosforilación acíclica** participan los dos fotosistemas. Este proceso genera ATP y  $\text{NADPH} + \text{H}^+$  y libera  $\text{O}_2$ . Los electrones fluyen del agua hacia el  $\text{NADP}^+$  (modelo Z).

En la **fotofosforilación cíclica** solo participa el fotosistema I y genera únicamente ATP.

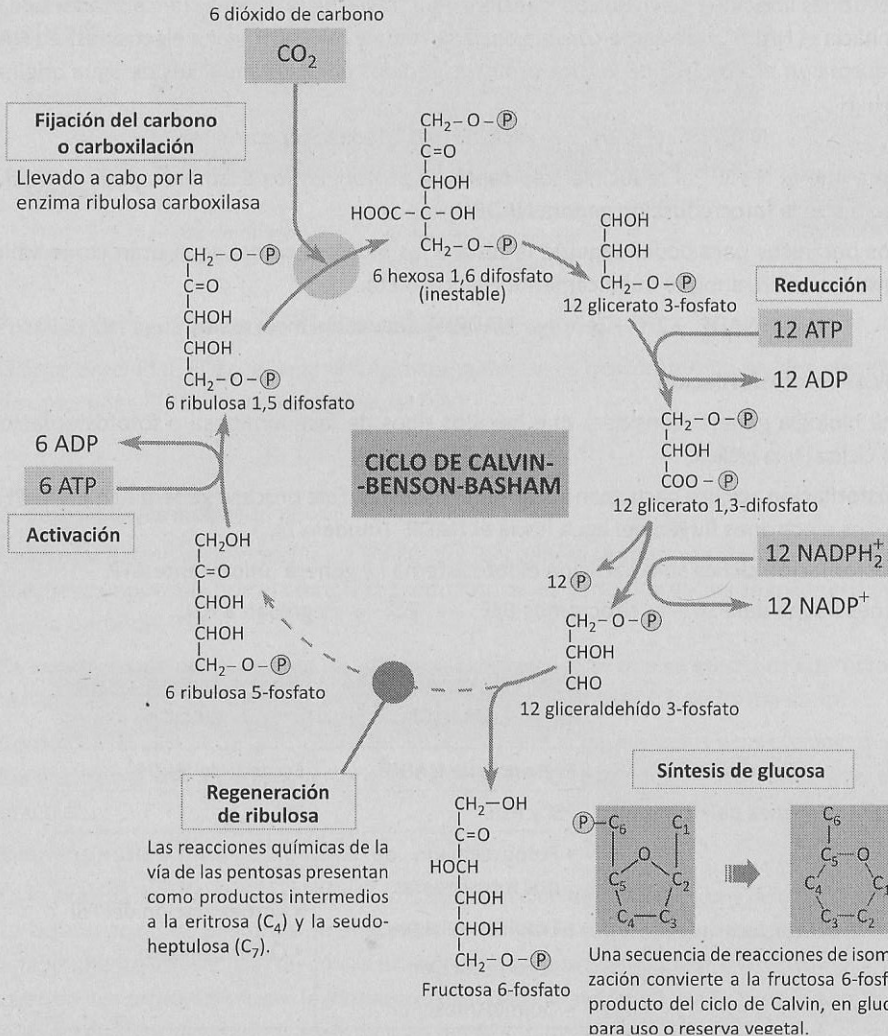
Los electrones fluyen del  $\text{PSI} \rightarrow$  citocromos B/F  $\rightarrow$  P<sub>c</sub>  $\rightarrow$  regresan a  $\text{PSI}$ .

	FOTOFOSFORILACIÓN ACÍCLICA	FOTOFOSFORILACIÓN CÍCLICA
Condición	Presencia de $\text{NADP}^+$	Escasez de $\text{NADP}^+$
Fotosistemas participantes	PSI y PSII	PSI
Procesos fotosintéticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fotoexcitación de los dos fotosistemas</li> <li>Fotólisis del agua</li> <li>Fotorreducción</li> <li>Quimiósmosis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fotoexcitación del PSI</li> <li>Quimiósmosis</li> </ul>
Productos para un ciclo de Calvin	$2\text{NADPH}_2^+$ y 2 ATP Libera $\text{O}_2$ .	1 ATP

### 4.3.3. Etapa oscura

En el enfoque clásico (que viene en todas las universidades) se considera que se trata de un conjunto de reacciones independientes de luz que se dan en el estroma del cloroplasto, por medio de las cuales se sintetiza glucosa, todo ello alineado a la ecuación global de la fotosíntesis.

También se le conoce como el ciclo de Calvin-Benson o vía  $C_3$ , es dependiente de los productos de la etapa luminosa (ATP y  $NADPH^+ + H^+$ ) y requiere de  $CO_2$  atmosférico.



**a. Fijación de CO<sub>2</sub>**

Un ciclo de Calvin se inicia con la unión de la ribulosa 1,5 difosfato al CO<sub>2</sub> de la atmósfera, reacción catalizada por la enzima **rubisco** (ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa). El proceso origina una hexosa inestable (molécula de seis carbonos) que se rompe en dos moléculas de tres carbonos denominadas **fosfogliceratos** (ácido 3 fosfoglicérico).

En síntesis, la ribulosa 1,5 difosfato capta el CO<sub>2</sub> de la atmósfera y luego de una serie de eventos da origen a dos moléculas de fosfogliceratos (ácido 3 fosfoglicérico).

**b. Reducción**

Los fosfogliceratos son fosforilados por 2 ATP, transformándose en difosfogliceratos; luego actúan 2 NADPH<sup>+</sup>+H<sup>+</sup> (agente reductor), que ceden sus protones y electrones. Los difosfogliceratos se desfosforilan generando a los dos fosfogliceraldehídos (PGAL).

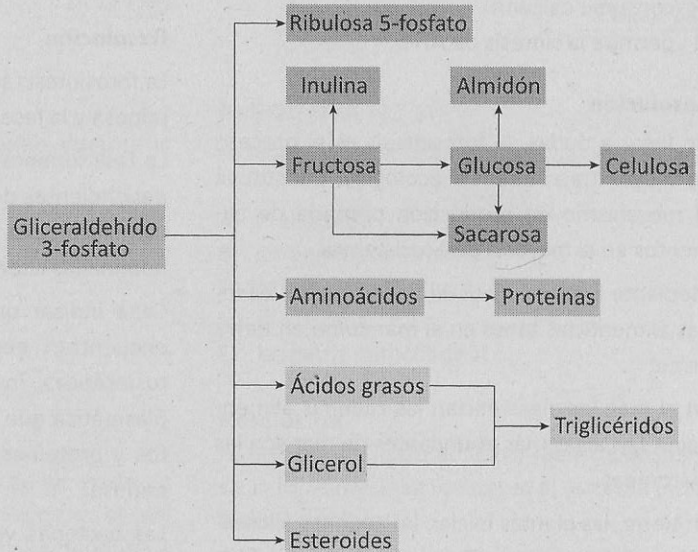
En resumen, las dos moléculas de fosfoglicerato (PGA) son transformados hasta fosfogliceraldehídos (PGAL).

**c. Síntesis de moléculas orgánicas**

Los fosfogliceraldehídos (PGAL) siguen diversas rutas por medio de las cuales originan aminoácidos, ácidos grasos y glúcidos. Por ello, los PGAL son considerados el producto neto de la fase oscura de la fotosíntesis.

Una ruta muy común es la **vía de las hexosas**, en la que mediante una serie de reacciones dan origen a la fructosa que por isomerización (cambio de conformación molecular) es transformada en glucosa, el producto final de la fotosíntesis.

**Destino final del gliceraldehído 3-fosfato**



**d. Regeneración de la ribulosa**

Los fosfogliceraldehídos (PGAL) y el ATP participan en la regeneración de ribulosa difosfato, que es la molécula que inicia y finaliza el ciclo de Calvin.



## PREGUNTAS RESUELTAS

### NIVEL BÁSICO

#### PREGUNTA N.º 1

La importancia ecológica de la fotosíntesis es que

- A) termina la cadena alimenticia.
- B) permite la descomposición de la materia orgánica.
- C) permite iniciar la cadena alimenticia.
- D) consume oxígeno.
- E) permite la síntesis de ATP.

#### Resolución

Sin lugar a dudas, la fotosíntesis es el proceso de mayor trascendencia ecológica. Constituye el mecanismo de producción primaria de alimentos en la mayoría de ecosistemas.

Mediante la fotosíntesis se da inicio a las cadenas alimenticias tanto en el mar como en tierra firme.

En el mar, las algas inician las cadenas alimenticias. Las algas más abundantes de mar son las diatomeas.

En tierra, las plantas inician las cadenas alimenticias, siendo las angiospermas (magnoliofitas o antofitas) las plantas predominantes en el planeta.

CLAVE **C**

#### PREGUNTA N.º 2

La fase luminosa de la fotosíntesis se realiza en

- A) la membrana externa del cloroplasto.
- B) la membrana interna del cloroplasto.
- C) el estroma del anaplasto.
- D) la matriz mitocondrial.
- E) las membranas tilacoidales.

#### Resolución

La fotosíntesis se divide en dos fases: la fase luminosa y la fase oscura.

La fase luminosa es el conjunto de reacciones dependientes de luz. Se realiza en las membranas tilacoidales a nivel de ultraestructuras denominadas cuantosomas.

Cabe indicar que en los seres procariotas se encuentran generalmente las laminillas fotosintéticas, invaginaciones de la membrana plasmática que toda la maquinaria de pigmentos y proteínas que hacen posible la fase luminosa.

Las bacterias verdes son un caso *sui generis*, pues poseen organelos membranosos a los que llamamos cromatóforos bacterianos.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 3**

La molécula donadora de protones y electrones durante la fotosíntesis oxigénica es

- A) el dióxido de carbono.      B) el agua.  
 C) el  $\text{NADPH}_2^+$ .  
 D) el ATP.                              E) la clorofila.

**Resolución**

El agua participa en la fotosíntesis oxigénica como la molécula donadora de protones y electrones (hidrógenos).

Los electrones son captados (durante la fase luminosa) por el  $\text{NADP}^+$ .

El  $\text{NADP}^+$  es el aceptor final de electrones en la respiración aeróbica.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 4**

El oxígeno liberado por las plantas durante la fotosíntesis proviene

- A) del agua.  
 B) de la glucosa.  
 C) del dióxido de carbono.  
 D) de la fructosa.  
 E) del almidón.

**Resolución**

En las reacciones dependientes de luz existe un evento denominado fotólisis del agua, en el cual el agua se oxida (descompone) liberándose 2 electrones, 2 protones de hidrógeno y oxígeno molecular, de manera que el oxígeno liberado por las plantas durante la fotosíntesis proviene del agua.

CLAVE **A**

**PREGUNTA N.º 5**

Los productos finales de la fase luminosa de la fotosíntesis son

- A) la luz y el ATP.  
 B) el ADN y el ARN.  
 C) el ATP y el  $\text{NADPH}_2^+$ .  
 D) la ribulosa y el ATP.  
 E) el ADP y el  $\text{NADPH}_2^+$ .

**Resolución**

La fase luminosa, fótica o fotoquímica es un conjunto de reacciones donde se transforma la radiación solar en energía química útil para que sea usada en el ciclo de Calvin-Benson-Basham (vía  $\text{C}_3$  o vía de las pentosas fosfato reductiva). Los productos finales de la fase luminosa de la fotosíntesis son ATP y  $\text{NADPH}_2^+$ .

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 6**

La fase oscura de la fotosíntesis se realiza en

- A) el tilacoide.  
 B) la membrana externa.  
 C) la membrana interna.  
 D) el estroma.  
 E) la matriz mitocondrial.

**Resolución**

La fase oscura (ciclo de Calvin-Benson-Basham) de la fotosíntesis se realiza en el estroma o matriz del cloroplasto.

El estroma es una asociación supramolecular que contiene abundante rubisco (ribulosa bifosfato carboxilasa oxigenasa), enzima que participa en la fijación del dióxido de carbono de la atmósfera.

CLAVE **D**

## NIVEL INTERMEDIO

### PREGUNTA N.º 7

La pérdida de electrones por acción de la luz a nivel de los fotosistemas se denomina

- A) fotoexcitación.
- B) fotorreducción.
- C) fotólisis del agua.
- D) ciclo de Calvin.
- E) fotofosforilación.

#### Resolución

La pérdida de electrones por acción de la luz a nivel de los fotosistemas se denomina fotoexcitación.

La llegada de luz a los fotosistemas desencadena el fenómeno de resonancia en las moléculas de clorofila.

La pérdida de electrones de las clorofilas llamadas centro de reacción (P680 y P700), de acuerdo a los avances de la fotobiología, se debe a que los pigmentos del centro de reacción concentran la energía que es capturada por los otros pigmentos antena de cada fotosistema.

CLAVE **A**

### PREGUNTA N.º 8

La descomposición del agua durante la fotosíntesis se denomina

- A) fotoexcitación.
- B) fotorreducción.
- C) fotólisis del agua.
- D) ciclo de Calvin.
- E) fotofosforilación.

### Resolución

La descomposición del agua durante la fotosíntesis se denomina fotólisis del agua o fotooxidación del agua.

En este proceso se libera oxígeno que puede afectar al PSI (fotoinhibición) o bloquear el ciclo de Calvin (fotorrespiración). El oxígeno liberado puede actuar como aceptor final de electrones en la fase luminosa y bloquear la fotosíntesis.

El proceso también oxigena el ambiente y favorece la regeneración de la ozonósfera.

CLAVE **C**

### PREGUNTA N.º 9

La síntesis de ATP en la fase luminosa de la fotosíntesis se denomina

- A) fotoexcitación.
- B) fotorreducción.
- C) quimiósmosis.
- D) ciclo de Calvin.
- E) fotofosforilación.

#### Resolución

La síntesis de ATP en la fase luminosa de la fotosíntesis fue llamada inicialmente fotofosforilación.

Actualmente, los biólogos generales que analizan sistemáticamente los procesos biológicos (viendo homologías y analogías) la llaman **quimiósmosis**, por ser el mecanismo de difusión de protones de hidrógeno ( $H^+$ ), que hace posible la unión del ADP y el P para formar ATP.

El término **fotofosforilación** se sigue utilizando como equivalente a fase luminosa de la fotosíntesis, lo que se alinea con el concepto de fosforilación oxidativa de las membranas mitocondriales.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 10**

La síntesis de NADPH en la fase luminosa de la fotosíntesis se denomina

- A) fotoexcitación.
- B) fotorreducción.
- C) fotólisis del agua.
- D) ciclo de Calvin.
- E) fotofosforilación.

**Resolución**

La fotorreducción es la síntesis de NADPH durante la fase luminosa de la fotosíntesis. El NADP participa en la fase luminosa como el aceptor final de electrones.

En el proceso participa la enzima NADP reductasa. También se le llama reducción del NADP; toma este nombre porque el NADP gana electrones provenientes del agua.

CLAVE **B**

**NIVEL AVANZADO****PREGUNTA N.º 11**

En la fotofosforilación acíclica se produce

- A) solo ATP.
- B) ribulosa y ATP.
- C) fructosa y glucosa.
- D) ATP y  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ .
- E) ATP, oxígeno y  $\text{NADPH}_2^+$ .

**Resolución**

La biología moderna llama fotofosforilación a toda la fase luminosa de la fotosíntesis.

Un tipo de fase luminosa es la fotofosforilación acíclica, en la que se produce ATP y  $\text{NADPH} + \text{H}^+$ , debido a que participan los dos fotosistemas. Asimismo en este proceso se libera  $\text{O}_2$ .

CLAVE **D**

**PREGUNTA N.º 12**

Los productos de la fotofosforilación cíclica son

- A) ribulosa y ATP.
- B) almidón y ATP.
- C) ATP y NADPH.
- D) solo moléculas de ATP.
- E) ATP, oxígeno y  $\text{NADPH}_2^+$ .

**Resolución**

Los productos de la fotofosforilación cíclica son solo moléculas de ATP. La fotofosforilación cíclica se lleva a cabo en el fotosistema I y no participa el fotosistema II; por ello no libera oxígeno.

La fotofosforilación cíclica opera como consecuencia de la escasez de NADP.

El flujo de electrones en la fotofosforilación cíclica va del PSI a la cadena transportadora de electrones y regresa al PSI.

En la fotofosforilación acíclica participan los dos fotosistemas, además se libera oxígeno y se producen ATP y NADPH.

CLAVE **D**



## PREGUNTAS PROPUESTAS

### NIVEL BÁSICO

- En la fotosíntesis, la energía solar se transforma finalmente en energía
  - eléctrica.
  - mecánica.
  - hidráulica.
  - química útil.
  - química del alimento.
- El órgano fotosintético de las plantas superiores es
  - la raíz.
  - el tallo.
  - la hoja.
  - la flor.
  - el fruto.
- El tejido que realiza la fotosíntesis es el
  - colénquima.
  - esclerénquima.
  - parénquima clorofiliano.
  - xilema.
  - floema.
- La célula fotosintética se caracteriza por presentar abundantes
  - cloroplastos.
  - leucoplastos.
  - cromoplastos.
  - vacuolas.
  - ribosomas.
- Estructura del cloroplasto donde se localizan las enzimas que participan en la fase luminosa.
  - la membrana interna
  - la membrana externa
  - la membrana tilacoidal
  - la matriz acuosa o estroma
  - el espacio intratilacoide
- La molécula donadora de hidrógenos durante la fotosíntesis es
  - el agua.
  - la rubisco.
  - la glucosa.
  - el dióxido de carbono.
  - el monóxido de carbono.
- El objetivo más importante de la fase oscura de la fotosíntesis es
  - realizar la fotólisis del agua.
  - generar glucosa.
  - producir  $\text{NADPH}_2^+$  y ATP.
  - fijar el  $\text{CO}_2$  a la ribulosa bifosfato.
  - transformar almidón y oxígeno.

## NIVEL INTERMEDIO

8. El centro de reacción del PSI es la
- clorofila B.
  - clorofila C.
  - clorofila A2.
  - clorofila P700.
  - clorofila P680.
9. ¿Cuál de las siguientes proposiciones acerca de la fotosíntesis es incorrecta?
- Es discontinua.
  - Fija  $\text{CO}_2$  en las horas de luz.
  - Es una vía del metabolismo energético.
  - Libera  $\text{O}_2$  en la fotofosforilación acíclica.
  - Descompone el agua en la fotofosforilación cíclica.
10. Los órganos fotosintéticos de las plantas fanerógamas son
- los catáfilos.
  - los antófilos.
  - los nomófilos.
  - los gloquídeos.
  - las espinas foliares.
11. La fotólisis del agua se lleva a cabo en
- el PSI.
  - el PSII.
  - el complejo B6-F.
  - la plastoquinona.
  - la plastocianina.
12. En el proceso fotosintético, el compuesto aceptor de  $\text{CO}_2$  se denomina

- ácido fosfoenolpirúvico.
  - fosfogliceraldehído.
  - ácido fosfoglicérico.
  - ribulosa difosfato.
  - adenosín trifosfato.
13. La enzima que participa en el proceso de fijación del  $\text{CO}_2$  atmosférico se denomina
- citocromo B.
  - rubisco.
  - citocromo F.
  - plastoquinona.
  - plastocianina.
14. El aceptor final de electrones en la fase luminosa de la fotosíntesis es
- el  $\text{O}_2$ .
  - el NAD.
  - el NADP.
  - el oxígeno.
  - la clorofila.

## NIVEL AVANZADO

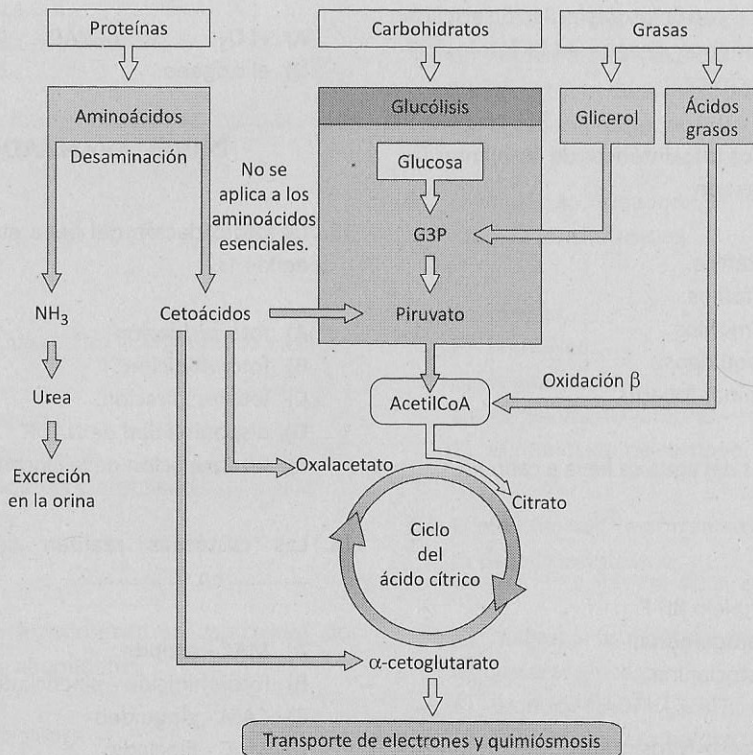
15. La fotooxidación del agua es dependiente de la
- fotorreducción.
  - fotoinhibición.
  - fotorrespiración.
  - disponibilidad de NADP.
  - fotooxidación de la clorofila.
16. Las cactáceas realizan la fotosíntesis ..... en su .....
- MAC - estípites
  - fotoinhibición - plactíclado
  - CAM - gloquídeo
  - MAC - filocladio
  - C4 - cladodio

# RESPIRACIÓN CELULAR

## 1 IMPORTANCIA ENERGÉTICA

Permite la síntesis de energía útil: adenosín trifosfato (ATP) para las diversas actividades celulares (trabajo celular) como el transporte activo (bomba de sodio y potasio), transporte en masa, activación de los ARNt durante la síntesis de proteínas, disyunción cromosómica durante la división celular, conducción del impulso nervioso, contracción muscular, etcétera.

La respiración celular también brinda calor a los organismos, lo cual permite la vida en zonas de clima frío, como las de elevada latitud y altitud geográfica. Los pingüinos en la Antártica y los osos polares en el Ártico no sobrevivirían si no produjeran suficiente calor en su respiración celular.



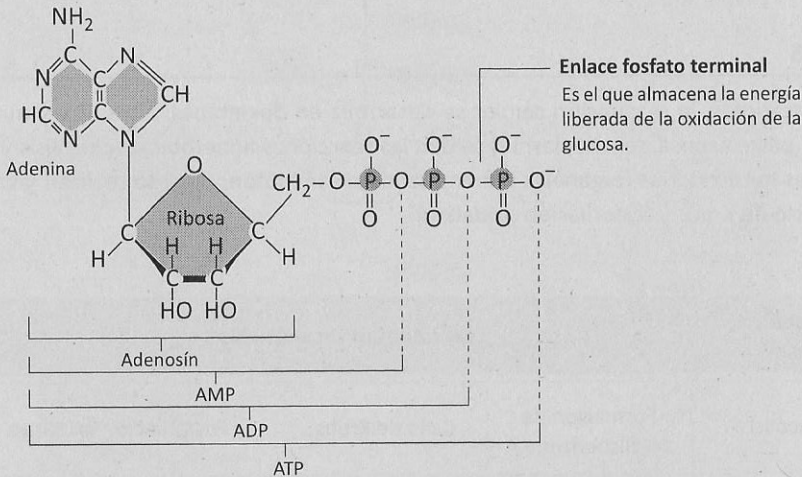
## 2 DEFINICIÓN

Es una secuencia de reacciones mediante las cuales la célula libera la energía de los alimentos y se sintetiza ATP.

## 3 EL ATP

El ATP es la molécula energética utilizada (energía útil) por la célula en el transporte activo, división celular, movimiento y otras funciones, por ello es llamada la “moneda energética de la célula”. Es un nucleósido trifosfatado compuesto de adenina, ribosa y tres fosfatos.

Estructura del ATP

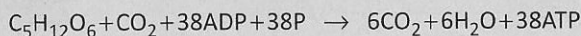


## 4 ECUACIÓN GLOBAL DE LA RESPIRACIÓN AERÓBICA DE LA GLUCOSA

Participan como reactantes la glucosa y el oxígeno. La glucosa es el principal combustible celular y el oxígeno favorece la degradación completa de la glucosa.

Como productos de la reacción, tenemos el dióxido de carbono (que proviene de la oxidación del carbono de la glucosa) y el agua metabólica (que se forma como consecuencia de la reducción del oxígeno).

El proceso libera energía: el 60% es calor (radiación infrarroja) y el 40% adenosín trifosfato (ATP).



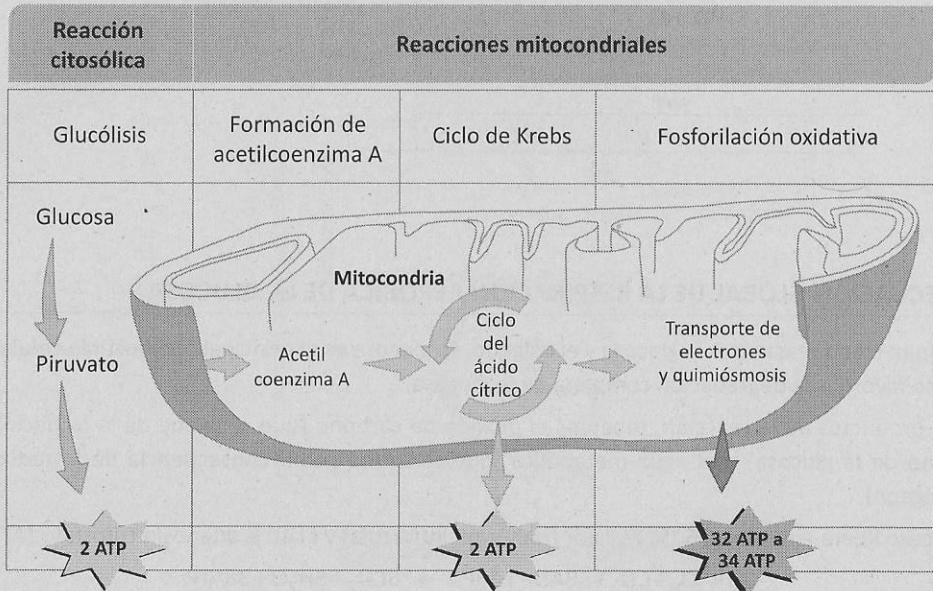
## 5 CARACTERÍSTICAS

La respiración celular es un proceso metabólico que cumple las leyes de la termodinámica. Se trata de una **transducción** energética donde la energía de los alimentos se transforma en la energía del ATP, asimismo se da la transformación de moléculas orgánicas a inorgánicas.

- **Proceso exergónico.** Libera energía de la ruptura de enlaces de los alimentos; libera calor (exotérmico).
- **Proceso oxidativo.** El carbono de la glucosa pierde su enlace con los hidrógenos (electrones y protones) y se une al oxígeno formando dióxido de carbono.
- **Proceso catabólico.** Son reacciones degradativas que se dan dentro de las células.
- **Proceso continuo.** Es constante, se da todo el tiempo, no para.
- **Proceso biológico.** Solo se da dentro de los seres vivos.

## 6 ETAPAS

En células eucariotas, la respiración celular se desarrolla en dos etapas: citosólica y mitocondrial. En el citosol (parte acuosa del citoplasma) se dan las reacciones anaeróbicas (glucólisis y fermentaciones). En las mitocondrias (organelas bitemembranosas semiautónomas) se realizan las reacciones aeróbicas (ciclo de Krebs y fosforilación oxidativa).

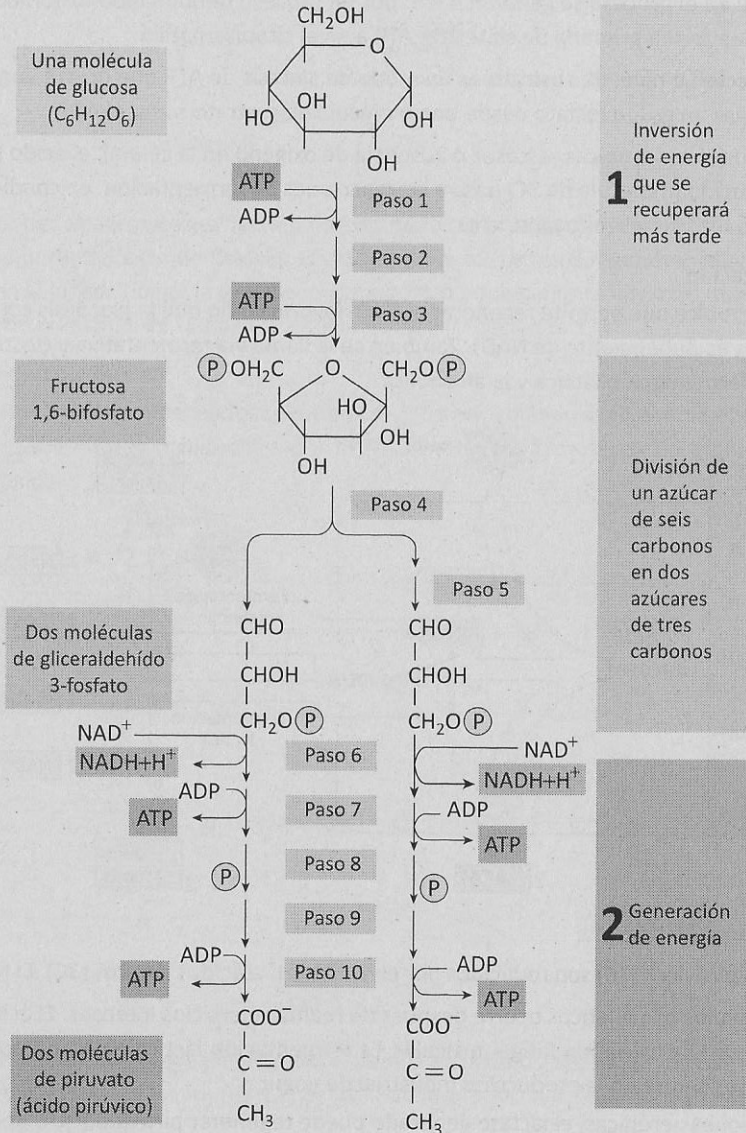


## 6.1. ETAPA CITOSÓLICA

Incluye todas las reacciones donde no participa el oxígeno, es decir, las reacciones anaeróbicas.

### 6.1.1. Glucólisis

Se realiza en la parte soluble o citosol de la matriz citoplasmática donde la glucosa es degradada, obteniéndose como productos finales **2 piruvatos**, **2 NADH+H<sup>+</sup>** y **2 ATP netos**. La glucólisis incluye diez pasos, pero la podemos dividir en dos fases.



### a. En la primera fase hay una inversión de energía

Se gastan 2 ATP para transformar la glucosa (6C) en fructosa difosfato (6C-2P). Este gasto de energía permite "romper" a la fructosa difosfato en dos moléculas de fosfogliceraldehído (2 PGAL).

### b. En la segunda fase se genera energía

Los PGAL son deshidrogenados (pierden hidrógenos) por 2 NAD (oxidados), que se transforman en 2 NADH+H<sup>+</sup> (reducidos).

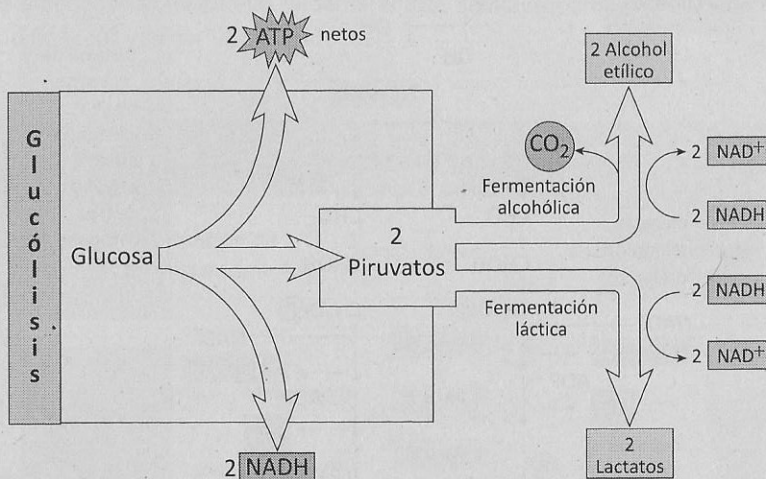
Finalmente en el proceso se generan 4 ATP por un proceso denominado fosforilación a nivel de sustrato, una forma primaria de sintetizar ATP a nivel citoplasmático.

La **fosforilación a nivel de sustrato** es un modo de síntesis de ATP que ocurre cuando una enzima transfiere un grupo fosfato desde una molécula de sustrato hasta el ADP.

En condiciones anaeróbicas (escasez o ausencia de oxígeno en la célula), el ácido pirúvico (piruvato) producido (molécula de 3C) pasa a las reacciones de fermentación, en condiciones aeróbicas va a las reacciones mitocondriales.

#### 6.1.2. Fermentación

Es una vía anaeróbica que permite regenerar el NAD, favoreciendo que la glucólisis continúe (puesto que la glucólisis es dependiente de NAD). También se le llama vía fermentativa y existen dos formas principales: la fermentación láctica y la alcohólica.

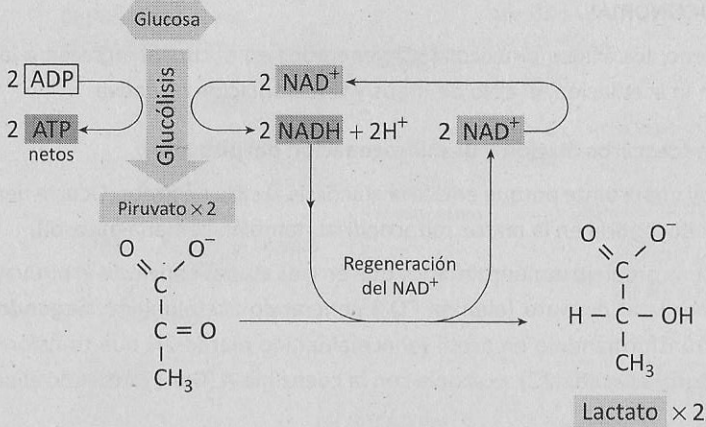


#### a. Fermentación láctica

Los ácidos pirúvicos (3C) son reducidos por el NADH+H<sup>+</sup> a ácidos lácticos (3C). El NADH se oxida.

En los músculos esqueléticos ocurre después de realizar ejercicios intensos. El ácido láctico (lactato) se acumula causando fatiga muscular. La fermentación láctica realizada por las bacterias *Lactobacillus* se usa en la producción industrial de yogur.

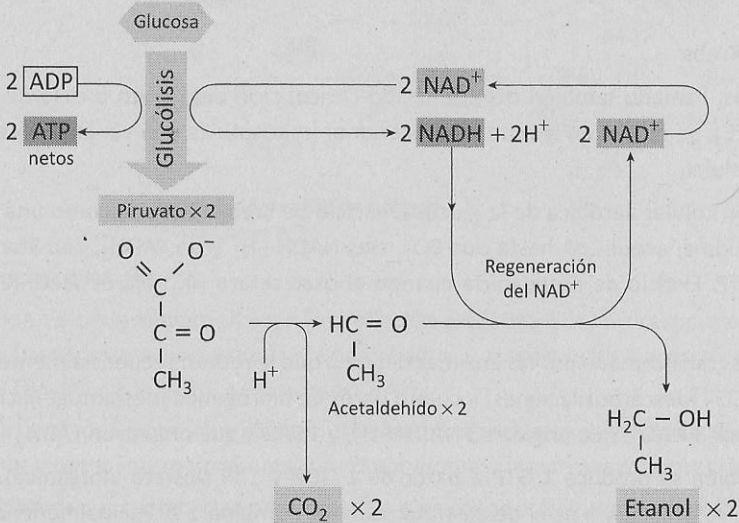
En condiciones aeróbicas, el lactato generado puede regenerar piruvato (ciclo del piruvato).



En condiciones anaeróbicas, el lactato es excretado hacia la sangre, de ahí una parte se orina y otra forma parte del ciclo de Cori. En el ciclo de Cori, los lactatos regeneran glucosa (gluconeogénesis) en el hígado, luego la glucosa es transportada nuevamente hacia los músculos esqueléticos, donde nuevamente se da la glucólisis y la fermentación láctica.

### b. Fermentación alcohólica

Los piruvatos son descarboxilados (pierden CO<sub>2</sub>), transformándose en acetaldehídos; finalmente, los acetaldehídos son reducidos por el NADH+H y transformados en etanol (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH). El NADH se oxida.



Esta fermentación no ocurre en el hombre, pero sí en algunos peces que forman alcohol y luego lo excretan al agua. Las levaduras que se usan en la producción del vino, pan y cerveza realizan fermentación alcohólica.

## 6.2. ETAPA MITOCONDRIAL

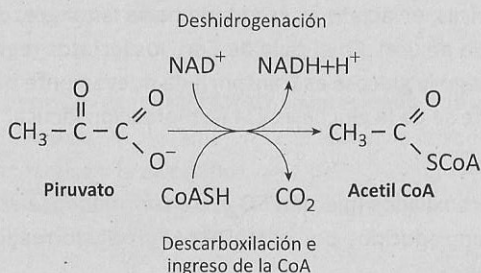
Cuando hay oxígeno, los ácidos pirúvicos (3C) generados en el citosol ingresan a las mitocondrias, donde se realizan la acetilación, el ciclo de Krebs y la fosforilación oxidativa.

### 6.2.1. Acetilación (descarboxilación y deshidrogenación del piruvato)

Es un proceso muy importante porque enlaza la glucólisis al ciclo de Krebs. Ocurre dentro de la cámara interna de la mitocondria en la matriz mitocondrial (también llamada mitosol).

Es catalizado por un complejo multienzimático que en tres etapas convierte el piruvato en acetil CoA.

**Primero:** descarboxila al piruvato (elimina  $\text{CO}_2$ ) generando acetaldehído. **Segundo:** deshidrogena al acetaldehído transformándolo en acetil (el acetaldehído pierde 2H que transforman el  $\text{NAD}^+$  en  $\text{NADH}+\text{H}^+$ ) y **tercero:** el acetil (2C) se acopla con la coenzima A (CoA) formando el acetil CoA.



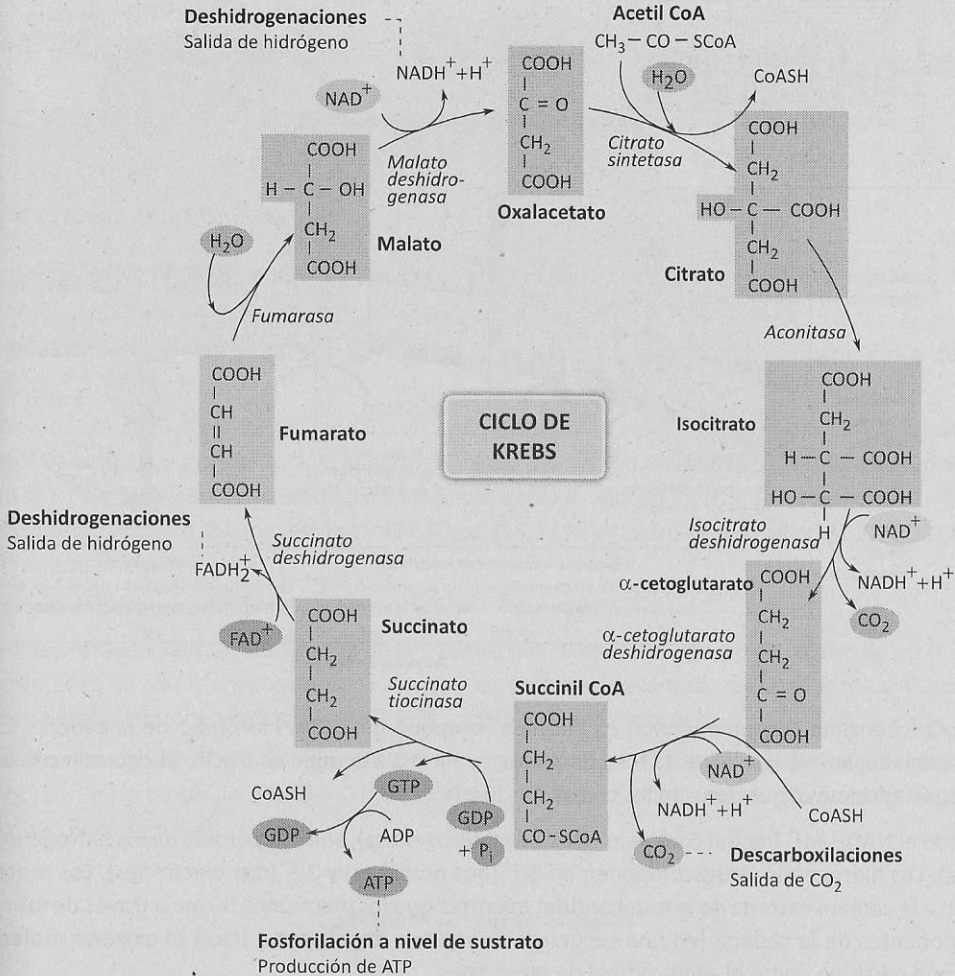
### 6.2.2. Ciclo de Krebs

El ciclo de Krebs, llamado también ciclo del ácido cítrico, ciclo del citrato o ciclo de los ácidos tricarbónicos (ATC), se realiza en la matriz mitocondrial (mitosol). Es una vía anfibólica central en el metabolismo celular.

En la respiración celular aeróbica de la glucosa, el ciclo de Krebs funciona como una vía catabólica en la que se oxida el acetil CoA hasta dos  $\text{CO}_2$ , tres  $\text{NADH}+\text{H}^+$  y un  $\text{FADH}_2^+$ , con liberación de una molécula de GTP. El ciclo de Krebs inicia cuando el oxalacetato (4C) fija el acetil (2C) originando citrato (6C).

El citrato (6C) es transformado por las enzimas del ciclo que le retiran secuencialmente dos carbonos en forma de 2  $\text{CO}_2$  (descarboxilaciones) y cuatro pares de hidrógenos (deshidrogenaciones), los que son retenidos por 3  $\text{NAD}^+$ , que originan 3  $\text{NADH}+\text{H}^+$ , y 1  $\text{FAD}^+$ , que origina un  $\text{FADH}_2^+$ .

En el ciclo también se produce 1 GTP a partir de 1 GDP y 1 Pi (fosfato inorgánico). Luego por el mecanismo de fosforilación a nivel de sustrato, cada GTP origina 1 ATP. Finalmente se regenera la molécula inicial, el oxalacetato, reiniciando el ciclo.

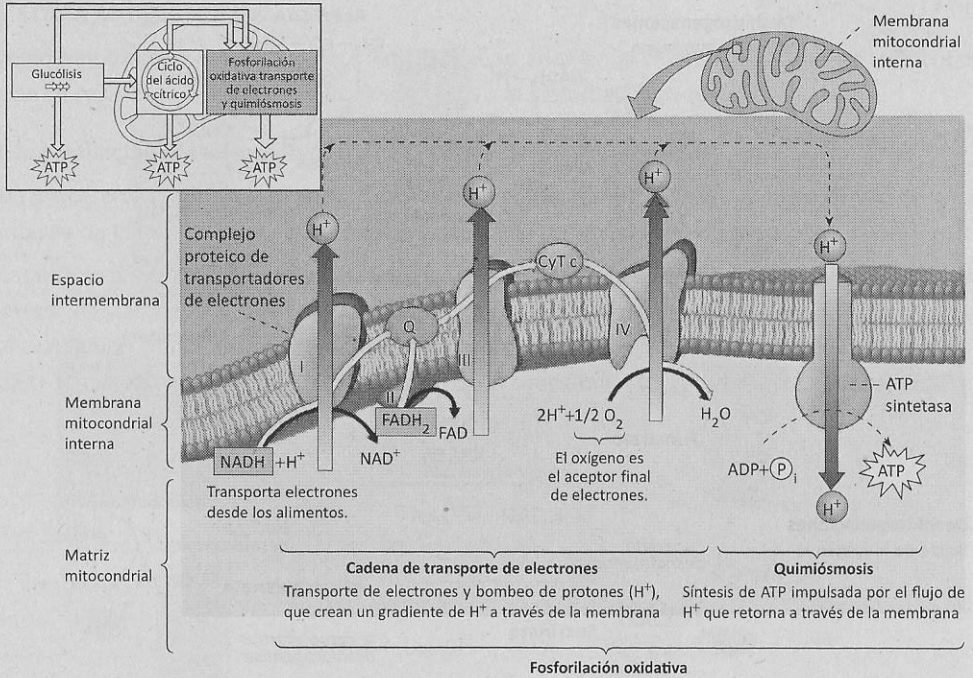


### 6.2.3. Fosforilación oxidativa

Actualmente, los biólogos celulares llaman **fosforilación oxidativa** a dos procesos acoplados: la cadena respiratoria (transporte de electrones) y la quimiósmosis, mediante los cuales por cada NADH + H<sup>+</sup> se generan 3 ATP y por cada FADH<sub>2</sub> se producen 2 ATP.

El proceso ocurre en toda la membrana interna de las mitocondrias incluyendo las diversas modificaciones que la membrana interna presenta, como por ejemplo las crestas mitocondriales.

La **cadena respiratoria** o cadena transportadora de electrones está compuesta de cuatro complejos o proteínas multiméricas: el complejo I (NAD deshidrogenasa), el complejo II (succinato deshidrogenasa), el complejo III (citocromo reductasa) y el complejo IV (citocromo oxidasa); y por dos transportadores de electrones (CoQ y el citocromo C).

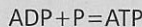


La CoQ (coenzima Q o ubiquinona) es el único componente 100% hidrófobo de la cadena. Es un transportador móvil que conecta los complejos I y III, y los complejos II y III. El citocromo C es un transportador móvil que conecta los complejos III y IV.

Cuando el  $\text{NADH} + \text{H}^+$  llega al complejo I (NAD deshidrogenasa), sufre la pérdida de los hidrógenos (se oxida). Los hidrógenos se descomponen en  $2\text{H}^+$  (dos protones) y  $2\text{e}^-$  (dos electrones). Los protones pasan a la cámara externa de la mitocondria; mientras que los electrones fluyen a través de los otros componentes de la cadena (en una secuencia energética decreciente) hacia el **oxígeno molecular** ( $\text{O}_2$ ) que participa como el aceptor final de electrones.

Cuando el  $\text{FADH}_2$  "llega" al complejo II (SDH: succinato deshidrogenasa), también sufre la pérdida de los hidrógenos (se oxida). Los hidrógenos se descomponen en  $2\text{H}^+$  (dos protones) y  $2\text{e}^-$  (dos electrones). Los protones pasan a la cámara externa de la mitocondria; mientras que los electrones fluyen a través de los otros componentes de la cadena (en una secuencia energética decreciente más corta que la anterior) hacia el oxígeno molecular ( $\text{O}_2$ ), que nuevamente participa como el aceptor final de electrones.

La **quimiósmosis** se da en la partícula F (ATP sintetasa o ATPasa). Los protones acumulados en la cámara externa de la mitocondria se difunden hacia la cámara interna desprendiendo energía, utilizada para fosforilar el ADP y transformarlo en ATP.



### Importante

La UNFV y la UNAC llaman fosforilación oxidativa solo a la unión del ADP+Pi que genera ATP en la partícula F. Estas universidades no usan el término quimiósmosis.

## 7 BALANCE ENERGÉTICO

Una glucosa completamente oxidada en la respiración celular aeróbica proporciona 686 kcal, de los cuales una parte se libera como calor y otra parte se almacena como ATP.

No olvidar que cada ATP almacena 7,3 kcal en su enlace fosfato terminal (fosfoanhídrido o de alta energía).

La mayoría de células producen 36 ATP por cada glucosa. Se trata de las células con la lanzadera glicerol 3 fosfato. De los 686 kcal, 423,2 kcal (62%) se pierde como calor y 262,8 (38%) se almacena en 36 ATP. De otro lado, los cardiocitos y los hepatocitos producen 38 ATP. Son células con la lanzadera aspartato malato. De los 686 kcal, 411,6 kcal (59,56%) se pierde como calor y 277,4 (40,44%) se almacena en 38 ATP.

### ¿A qué se deberá esta diferencia?

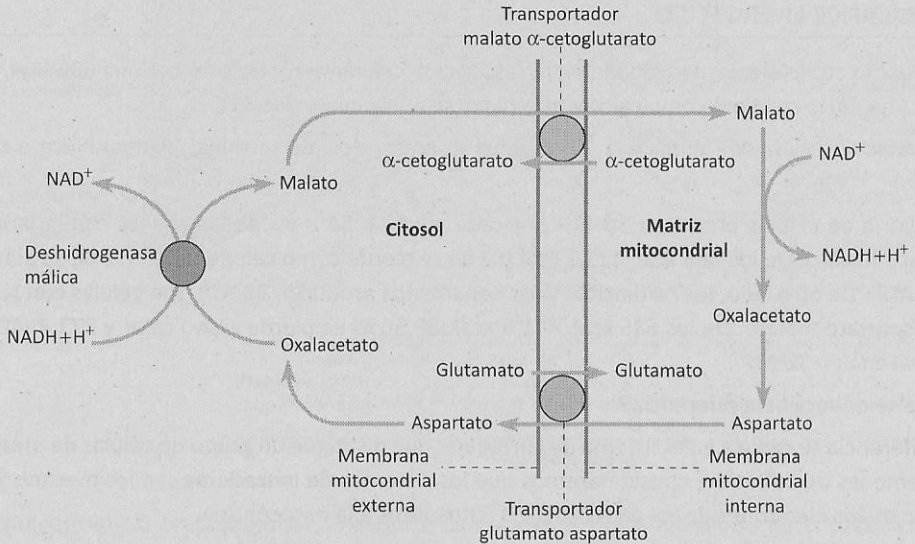
Esta diferencia se explica en el sistema de lanzadera, que distingue un grupo de células de otras. Para los exámenes de admisión, consideraremos que los **sistemas de lanzaderas** son los mecanismos de ingreso de los electrones de los dos  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólicos a la mitocondria.

En la **lanzadera glicerol 3 fosfato**, los electrones van del  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólico al FAD de la matriz mitocondrial. Por lo tanto, de 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólicos se forman 2  $\text{FADH}_2$ , que luego en la fosforilación oxidativa rendirán 4 ATP.



En la **lanzadera aspartato malato**, los electrones van del  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólico al  $\text{NAD}$  de la matriz mitocondrial. Por lo tanto, de 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólicos se forman 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$ , que luego en la fosforilación oxidativa rendirán 6 ATP; he aquí el meollo del asunto, queridos lectores: son 2 ATP más.

**Lanzadera del malato aspartato**



Finalmente sacamos todas las cuentas: 2 ATP netos se ganaron en la glucólisis, 2 ATP de dos ciclos de Krebs y finalmente por fosforilación oxidativa de 32 o 34 ATP (a partir de todos los  $\text{NADH} + \text{H}^+$  y  $\text{FADH}_2$ ).

Para calcular tenemos presente que cada  $\text{NADH} + \text{H}^+$  rinde 3ATP, y cada  $\text{FADH}_2$  rinde 2 ATP.

**Rendimiento energético a partir de una glucosa**

Glucólisis	2 ATP	→	2 ATP
	2 $\text{NADH}_2^+$	→ Lanzadera	4 o 6 ATP
Formación del acetil	1 $\text{NADH}_2^+$	→ 3 ATP	→ (×2)* 6 ATP
Ciclo de Krebs	1 GTP	→ 1 ATP	} (×2)* 24 ATP
	3 $\text{NADH}_2^+$	→ 9 ATP	
	1 $\text{FADH}_2$	→ 2 ATP	
Total			36 o 38 ATP

\* Multiplicamos por 2, porque son 2 procesos de formación de acetil y 2 ciclos de Krebs por cada glucosa.



## PREGUNTAS RESUELTAS



### NIVEL BÁSICO

#### PREGUNTA N.º 1

¿Qué es la respiración celular?

- A) intercambio gaseoso que realiza la célula
- B) reacciones de producción de ácido láctico y/o etanol y dióxido de carbono
- C) reacciones que realizan exclusivamente las mitocondrias
- D) reacciones de producción de ATP en la célula
- E) ingreso de oxígeno y salida de dióxido de carbono de la célula

#### Resolución

La respiración celular no es el intercambio gaseoso que realiza la célula (ingreso de oxígeno y la salida de dióxido de carbono de una célula), sino las reacciones de producción de ATP en la célula a partir de moléculas orgánicas.

La respiración celular puede ser anaeróbica (sin oxígeno) o aeróbica (con oxígeno).

La respiración celular anaeróbica, generalmente, produce 2 ATP netos por cada glucosa; mientras que la respiración aeróbica produce 36 o 38 ATP. Ello se debe a que en la respiración aeróbica se da la degradación completa de la glucosa.

CLAVE **D**

#### PREGUNTA N.º 2

La principal molécula energética que consume la célula es

- A) el ATP.
- B) la glucosa.
- C) la fructosa.
- D) las grasas.
- E) el GTP.

#### Resolución

La glucosa es el principal combustible celular. Se trata de una hexosa (molécula de seis carbonos).

La fructosa es el principal combustible de los espermatozoides.

Otras moléculas combustibles son los ácidos grasos y los aminoácidos.

CLAVE **B**

#### PREGUNTA N.º 3

La degradación de la glucosa en el citosol recibe el nombre de

- A) glucogénesis.
- B) respiración celular.
- C) glucólisis.
- D) gluconeogénesis.
- E) glucogenólisis.

#### Resolución

La degradación de la glucosa en el citosol recibe el nombre de glucólisis, glicólisis o vía de Embden-Meyerhof-Parnas.

Es un proceso anaeróbico (sin la participación del oxígeno) que se conserva en todos los seres vivos tanto aerobios como anaerobios, lo cual constituye una prueba evolutiva aportada por la bioquímica comparada.

CLAVE **C**

#### PREGUNTA N.º 4

Al final de la glucólisis, la célula obtiene netamente ..... de ganancia energética.

- A) 2 ATP      B) 4 ATP      C) 38 ATP  
D) 36 ATP      E) 40 ATP

#### Resolución

Al final de la glucólisis, la célula obtiene netamente **2 ATP** de ganancia energética por cada molécula de glucosa.

En la primera etapa, la célula gasta 2 ATP para poder escindir (romper) a la hexosa en dos.

En la segunda etapa, la célula produce 4 ATP brutos.

Por ello se dice que la glucólisis es una permutación energética, porque se invierten 2 ATP para producir 4 ATP y salir ganando 2 ATP netos.

CLAVE **A**

#### PREGUNTA N.º 5

Los organelos celulares que realizan la respiración celular aeróbica se denominan

- A) ribosomas.  
B) lisosomas.  
C) cloroplastos.  
D) vacuolas.  
E) mitocondrias.

#### Resolución

Las mitocondrias, antiguamente llamadas condriomitos o condriocontos, son los organelos que realizan la respiración celular aeróbica (con oxígeno molecular).

Las mitocondrias consumen  $O_2$  y eliminan  $CO_2$ . Asimismo, incorporan diversas moléculas orgánicas a partir de las cuales realizan la biosíntesis de ATP.

El oxígeno participa a nivel de las crestas mitocondriales como el aceptor final de electrones.

CLAVE **E**

#### PREGUNTA N.º 6

El proceso de la respiración celular en el que se produce la mayor cantidad de ATP se denomina

- A) glucólisis.  
B) el ciclo de Krebs.  
C) fermentación láctica.  
D) fermentación alcohólica.  
E) fosforilación oxidativa.

#### Resolución

La glucólisis proporciona netamente 2 ATP netos. El ciclo de Krebs proporciona 2 ATP.

La fosforilación oxidativa (transporte de electrones acoplada a la quimiosmosis) produce 32 o 34 ATP.

En la fosforilación oxidativa, por cada  $NADH + H^+$  se producen 3 ATP, y por cada  $FADH_2$  se sintetizan 2 ATP.

CLAVE **E**

## NIVEL INTERMEDIO

### PREGUNTA N.º 7

Durante la respiración celular, la molécula que ingresa al ciclo de Krebs es el

- A) ATP.
- B) piruvato.
- C) acetil CoA.
- D) oxígeno.
- E) dióxido de carbono.

#### Resolución

El acetil es un compuesto de 2 carbonos que, para poder ingresar al ciclo de Krebs, necesita unirse a la coenzima A (forma activa de la vitamina B5). El resultado de esta unión se denomina acetil CoA.

En el ciclo de Krebs, el acetil es degradado hasta dióxido de carbono e hidrógenos; asimismo se libera la energía de sus enlaces químicos que permite la síntesis de GTP.

CLAVE **C**

### PREGUNTA N.º 8

La salida de dióxido de carbono de la respiración celular se debe a reacciones de

- A) carboxilación.
- B) fosforilación.
- C) hidrogenación.
- D) descarboxilación.
- E) deshidrogenación.

#### Resolución

En las reacciones de descarboxilación se degrada el grupo carboxilo de la molécula y se libera dióxido de carbono.

En la respiración celular se dan descarboxilaciones en la acetilación y en el ciclo de Krebs.

La mayor cantidad de  $\text{CO}_2$  proviene del ciclo de Krebs.

En las reacciones de deshidrogenación, las moléculas llamadas NAD y FAD quitan hidrógeno, transformándose, respectivamente, en  $\text{NADH} + \text{H}^+$  y  $\text{FADH}_2$ .

CLAVE **D**

### PREGUNTA N.º 9

Si una célula realiza la lanzadera glicerol-fosfato, a partir de una molécula de glucosa obtiene

- A) 2 ATP.
- B) 4 ATP.
- C) 38 ATP.
- D) 36 ATP.
- E) 40 ATP.

#### Resolución

La mayoría de células humanas tiene mitocondrias con el sistema de lanzadera glicerol fosfato.

En este sistema de lanzadera, los hidrógenos de los  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (reducido) ingresan a la mitocondria, donde son capturados por el FAD (oxidado), que se transforma en  $\text{FADH}_2$  (reducido).

Cuando las células poseen esta lanzadera, por cada molécula de glucosa producen 36 ATP netos.

CLAVE **D**

**PREGUNTA N.º 10**

Se observa que si una célula realiza la lanzadera aspartato-malato, a partir de una molécula de glucosa obtiene

- A) 2 ATP.      B) 4 ATP.      C) 38 ATP.  
D) 36 ATP.      E) 40 ATP.

**Resolución**

Los hepatocitos y los cardiocitos tienen mitocondrias con el sistema de lanzadera aspartato-malato. El hígado y el corazón son los órganos que tienen la más alta tasa de respiración celular.

En este sistema de lanzadera, los hidrógenos de los  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (reducido) ingresan a la mitocondria, donde son capturados por otro NAD (oxidado), que se transforma en  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (reducido).

Cuando las células poseen esta lanzadera, por cada molécula de glucosa producen 38 ATP netos.

CLAVE **C**

**NIVEL AVANZADO****PREGUNTA N.º 11**

¿Cuál de los siguientes componentes de la cadena transportadora de electrones es el más abundante?

- A) citocromo  $\text{A}_1$   
B) coenzima Q  
C) citocromo C  
D) NAD deshidrogenasa  
E) complejo citocromo oxidasa

**Resolución**

La coenzima Q o ubiquinona es el componente más abundante de la cadena respiratoria; asimismo, es el único transportador hidrófobo.

La coenzima Q es un transportador móvil que conecta al complejo I con el complejo III, también conecta al complejo II con el complejo III.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 12**

¿Cuál de los siguientes componentes de la cadena respiratoria reduce al oxígeno?

- A) citocromo  $\text{A}_1$   
B) coenzima Q  
C) complejo citocromo reductasa  
D) NAD deshidrogenasa  
E) complejo citocromo oxidasa

**Resolución**

El complejo citocromo oxidasa, llamado también complejo IV, se encarga de ceder electrones al oxígeno ocasionando su reducción.

El complejo citocromo oxidasa está constituido por los citocromos  $\text{A}_1$  y  $\text{A}_3$ .

Estos citocromos ceden los electrones al oxígeno debido a que este gas es más electropositivo que el complejo citocromo oxidasa.

El oxígeno es el último aceptor de electrones durante la respiración celular aeróbica.

CLAVE **E**



## PREGUNTAS PROPUESTAS

### NIVEL BÁSICO

1. La respiración celular es importante porque

- A) consume oxígeno.
- B) permite el crecimiento.
- C) permite la síntesis solo de ATP.
- D) permite la descomposición de la materia orgánica.
- E) permite la obtención de energía útil para los organismos.

2. La glucólisis es un conjunto de reacciones anaerobias en las que las células obtienen 2 ATP netos por cada molécula de glucosa y se realiza en

- A) el citosol.
- B) la mitocondria.
- C) el cloroplasto.
- D) las vacuolas.
- E) el retículo.

3. Son los organelos celulares que realizan el ciclo de Krebs.

- A) ribosomas
- B) lisosomas
- C) cloroplastos
- D) vacuolas
- E) mitocondrias

4. Señale las moléculas que participan en las reacciones de deshidrogenación durante el ciclo de Krebs.

- A) NADP y FAD
- B) NAD y FAD
- C) CoA y FMN
- D) NADPH<sub>2</sub> y FADH<sub>2</sub>
- E) CoA y CoQ

5. Los productos finales de un ciclo de Krebs son

- A) 6 NADH<sub>2</sub>, 2 FADH<sub>2</sub>, 2 GTP y 4 CO<sub>2</sub>.
- B) 1 NADH<sub>2</sub>, 3 FADH<sub>2</sub>, 2 GTP y 1 CO<sub>2</sub>.
- C) 3 NADH<sub>2</sub>, 1 FADH<sub>2</sub>, 1 GTP y 2 CO<sub>2</sub>.
- D) 6 NADPH<sub>2</sub>, 18 ATP y 6 O<sub>2</sub>.
- E) 2 piruvatos, 2 NADH<sub>2</sub> y 4 ATP.

### NIVEL INTERMEDIO

6. Las células que producen 36 ATP netos por molécula de glucosa

- A) carecen de mitocondrias.
- B) no realizan cadena respiratoria.
- C) presentan la lanzadera aspartato malato.
- D) carecen de fosforilación oxidativa.
- E) presentan la lanzadera glicerol fosfato.

7. Indique en qué parte se lleva a cabo la vía Emden-Meyerhof-Parnas en procariontes y eucariontes.
- la mitocondria
  - el cloroplasto
  - el citosol
  - el mitosol
  - el estroma
8. Identifique el organelo que realiza la  $\beta$  oxidación de ácidos grasos de cadena corta.
- lisosomas
  - glicosomas
  - mitocondrias
  - peroxisomas
  - glioxisomas
9. ¿Cuál es el proceso que conecta la glicólisis y el ciclo de los ácidos tricarbónicos?
- la acetilación
  - el ciclo de Cori
  - la quimiósmosis
  - la fermentación láctica
  - la fosforilación oxidativa
11. En la respiración celular, las descarboxilaciones son catalizadas por enzimas cuya coenzima es la
- biotina.
  - niacina.
  - tiamina.
  - riboflavina.
  - cianocobalamina.
12. Durante la fosforilación oxidativa, por cada  $\text{NADH} + \text{H}^+$  se sintetizan ....., y por cada  $\text{FADH}_2$  se producen ..... a nivel de .....
- 2 ATP - 3 ATP - la membrana externa mitocondrial
  - 3 ATP - 2 ATP - los tabiques mitocondriales
  - 1 ATP - 2 GTP - los túbulos mitocondriales
  - 3 GTP - 2 ATP - las placas mitocondriales
  - 3 ATP - 2 GTP - las crestas mitocondriales
13. En la cadena respiratoria, el complejo I se encarga de
- oxidar al  $\text{FADH}_2$ .
  - producir ATP.
  - reducir al  $\text{FADH}_2$ .
  - reducir al  $\text{NADH} + \text{H}^+$ .
  - oxidar al  $\text{NADH} + \text{H}^+$ .

### NIVEL AVANZADO

10. El organelo que produce ATP en los protozoarios flagelados es ..... y el que produce más ATP en las células vegetales es .....
- el glicosoma - el cloroplasto
  - el cinetoplasto - el cloroplasto
  - el cloroplasto - la mitocondria
  - la mitocondria - el acrosoma
  - el hidrogenosoma - el glicosoma
14. En la quimiósmosis, la síntesis de ATP se lleva a cabo en
- la partícula F0.
  - el canal protónico.
  - la termogenina.
  - la partícula CF1.
  - todo el oxisoma.

# CICLO CELULAR

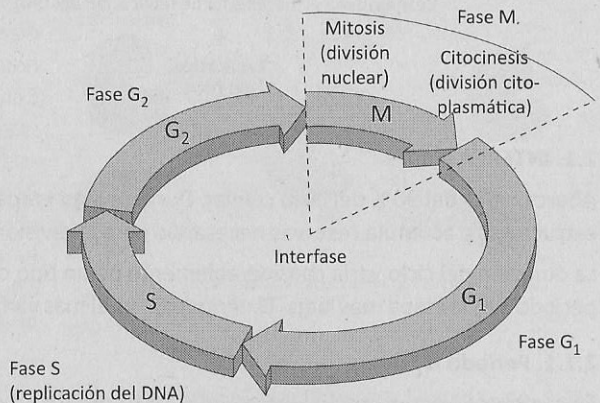
## 1 DEFINICIÓN

Es el ciclo de vida de las células que implica el crecimiento y la división celular. Algunos lo definen como el proceso biológico mediante el cual la célula duplica su contenido y luego se divide en dos células.

## 2 FASES DEL CICLO CELULAR

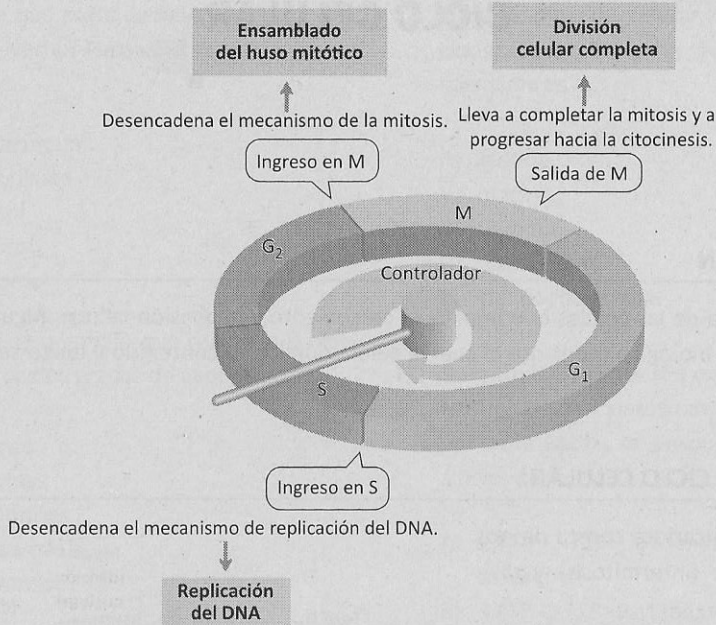
El ciclo celular eucariota consta de dos etapas: interfase (intermitosis) y división celular.

Un sistema de control coordina los procesos del ciclo celular mediante la activación y la desactivación cíclicas de los componentes apropiados de su maquinaria. Es dependiente de un grupo de proteínas cinasas (proteincinasas), cada una de las cuales está formada por una subunidad reguladora denominada ciclina y una subunidad catalítica llamada proteincinasa dependiente de ciclinas (cdk).



Los distintos complejos ciclina-cdk activan diferentes pasos del ciclo celular y pueden interrumpirlo en puntos de control específicos asegurando de que el estadio siguiente no comience antes de que se haya terminado el paso previo.

Complejos de ciclina-cdk	Componentes	Función
FPR (factor promotor de la replicación) o cdk-S	ciclina G <sub>1</sub> y cdk2 (quinasa dependiente de ciclina)	Promueve la duplicación de ADN.
FPM (factor promotor de la mitosis) o cdk-M	ciclina mitótica y cdk2	Promueve el inicio de la mitosis.



## 2.1. INTERFASE

Abarca cerca del 90% del ciclo celular. Durante esta etapa, la célula aumenta de tamaño, duplica sus estructuras y acumula reservas necesarias para la división. Consta de tres fases:  $G_1$ , S y  $G_2$ .

La duración del ciclo varía considerablemente de un tipo celular a otro. En las células embrionarias, el periodo S es la etapa más larga. El periodo  $G_1$  es el más variable; puede durar horas, días, meses o años.

### 2.1.1. Periodo $G_1$

Se caracteriza por el crecimiento celular (incremento en el volumen citoplasmático), el cual se debe a la formación de nuevas organelas y a una intensa síntesis de proteínas estructurales (citoesqueléticas), enzimas y reguladores fisiológicos.

#### a. Crecimiento celular

En la interfase  $G_1$ , la célula aumenta de tamaño y se prepara para duplicar su ADN. Se le llamaba  $G_1$ , del inglés *gap*, que significa 'intervalo o prereplicativo'. Actualmente, la G es acrónimo de Growth.

El crecimiento celular es consecuencia del incremento de la biomasa celular, tanto de la membrana citoplasmática como del citoplasma (con excepción del núcleo).

La membrana citoplasmática crece por la síntesis de proteínas, que se realiza en el RER, y por la síntesis de fosfolípidos y esteroides, que se realiza en el REL. Asimismo, el aparato de Golgi juega un rol importante al liberar vesículas que se fusionan con la membrana plasmática, haciéndola crecer.

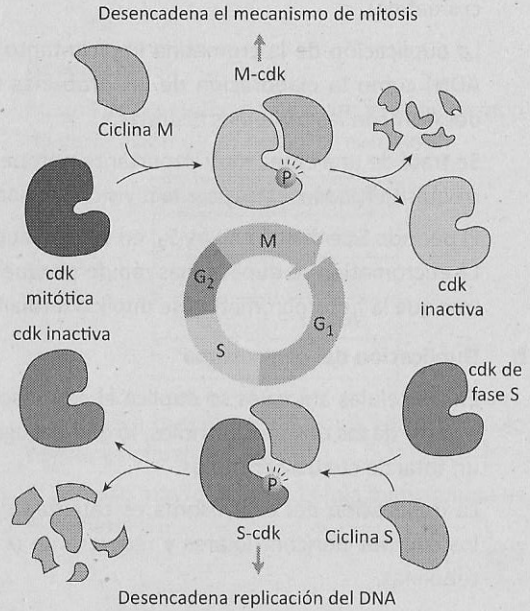
Como consecuencia del incremento de la superficie celular (membrana citoplasmática) y por ende de la permeabilidad celular, ingresan más aminoácidos a la célula, lo que favorece la biosíntesis de proteínas plasmáticas y genera el incremento de la matriz citoplasmática.

Finalmente, otro proceso importante es la duplicación de organelos que contiene su propio ADN: las mitocondrias y los plastidios.

**b. Punto de control G<sub>1</sub>**

En el periodo G<sub>1</sub> existe el punto de control G<sub>1</sub>, de arranque o de comienzo, antiguamente llamado punto de restricción. Es un momento de transición en el que la célula debe tomar la decisión de efectuar una pausa transitoria, o abandonar definitivamente la continuación del ciclo (G<sub>0</sub>) o de cumplir un ciclo celular completo.

Antes del punto de arranque, el ADN pasa por un control de calidad ejercido por una proteína citoplasmática p53 (p de proteína y 53 por su masa molecular en kDa). El gen que codifica esta proteína se llama gen p53 y forma parte de un grupo de genes supresores de tumores. El gen p53 es un factor de transcripción de las proteínas p16 y p21, que bloquean a la cdk2, o sea de efecto opuesto a la ciclina G<sub>1</sub>. Detienen el periodo G<sub>1</sub>, y si se comprueba que el daño es muy peligroso para las células hijas, la proteína p53 genera la muerte celular.



Hay casos en los cuales se repara el ADN dañado. La enzima ADN polimerasa I expulsa del ADN todo nucleótido anómalo e incorpora el desoxirribonucleótido adecuado de acuerdo a la ley de complementariedad de bases: adenina con timina "A=T" y citosina con guanina "C≡G".

Si se logra hacer la reparación, se incrementa la síntesis de ciclina G<sub>1</sub> y con ello la formación del FPR (factor promotor de la replicación), que estimula el paso al siguiente periodo.

**c. El periodo G<sub>0</sub> (estado quiescente)**

Existen células del cuerpo humano que se quedan en la etapa G<sub>1</sub> modificada, llamada G<sub>0</sub>, a las cuales se les llama células quiescentes; por ejemplo, las neuronas y las células musculares.

Se trata de un periodo de crecimiento con diferenciación celular o citodiferenciación, en el cual las células experimentan cambios morfológicos y se especializan para cumplir una función.

En este periodo se desmantela el sistema de control del ciclo celular, no se sintetizan ciclinas ni proteincinasas, por lo cual la célula generalmente no vuelve a dividirse. Algunas como los linfocitos, que están en G<sub>0</sub>, regresan a las etapas del ciclo celular (S, G<sub>2</sub>) y se dividen (M).

### 2.1.2. Periodo S o de síntesis

Durante el cual se duplica el ADN con la finalidad de perpetuar la especie. Asimismo se duplican las histonas y con ello la cromatina. En las células animales también se duplica el centrosoma.

#### a. Duplicación de la cromatina

Es el periodo en el cual se duplica la cromatina o "valor C" de la célula eucariota (la "C" viene de cromatina).

La duplicación de la cromatina implica tanto la replicación del ADN ("S" viene de síntesis del ADN) como la elaboración de las proteínas histonas:  $H_1$ ,  $H_2A$ ,  $H_2B$ ,  $H_3$  y  $H_4$ , y la asociación del ADN con las proteínas histonas.

Se trata de una etapa muy importante porque se duplican los genes (compuestos de ADN), prerequisite fundamental para la división celular.

El periodo S se divide en  $S_1$  y  $S_2$ : en el  $S_1$  se duplica la eucromatina y en el  $S_2$  la heterocromatina. La eucromatina se duplica más rápido porque está descondensada y, por lo tanto, activa; mientras que la heterocromatina se duplica tardíamente por estar condensada.

#### b. Duplicación del centrosoma

En las células animales se duplica el centrosoma a partir de los dos procentríolos, lo que da lugar a un total de cuatro centriolos.

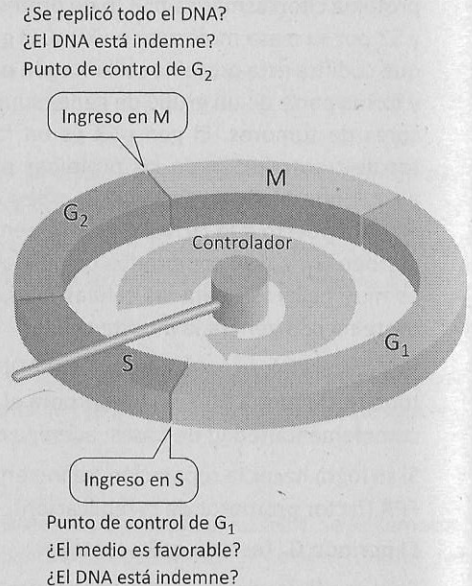
La duplicación del centrosoma es catalizada por los cuerpos pericentriolares y requiere de  $\alpha$  y  $\beta$  tubulinas.

### 2.1.3. Periodo $G_2$

En la interfase  $G_2$  (del inglés *gap*, que significa 'intervalo'), la célula no experimenta cambios en su volumen, tampoco en su forma. Sin embargo, en esta etapa se produce el FPM (factor promotor de la mitosis), que desencadena la división celular. El FPM está compuesto de una enzima proteincinasa *cdc2*, a la que se le suma una proteína llamada ciclina mitótica.

## 2.2. DIVISIÓN

Comprende dos etapas: cariocinesis y citocinesis. La cariocinesis es la división nuclear, mientras que la citocinesis es la división citoplasmática.





# PREGUNTAS RESUELTAS

## NIVEL BÁSICO

### PREGUNTA N.º 1

El ciclo celular es el periodo de vida de la célula. En las células eucariotas se divide en

- A) interfase y metafase.
- B) profase y prerreplicativo.
- C) interfase y división.
- D) intermitosis y telofase.
- E) intercinesis y anafase.

#### Resolución

Las dos etapas del ciclo celular eucariota son la interfase y la división.

La interfase también se denomina intermitosis e incluye  $G_1$  (prerreplicativo), S (síntesis de ADN) y  $G_2$  (posreplicativo). Es la etapa de crecimiento y preparación para la división.

La división (algunos la llaman fase M) es el reparto del contenido celular. Desde el punto de vista estricto, incluye los procesos de mitosis (división del núcleo) y citocinesis (división citoplasmática).

CLAVE **C**

### PREGUNTA N.º 2

¿Cuál es el periodo más corto del ciclo celular?

- A)  $G_2$
- B)  $G_1$
- C)  $G_0$
- D) S
- E) M

#### Resolución

En una célula cultivada de mamífero, de tiempo de generación de 16 horas, se cumple

Periodo	Duración
$G_1$	5 horas
S	7 horas
$G_2$	3 horas
M	1 hora

De manera que el periodo más corto del ciclo celular es el periodo M.

El periodo más largo en la célula mencionada es el periodo  $G_1$ .

CLAVE **E**

### PREGUNTA N.º 3

La ..... se caracteriza por una intensa síntesis proteica, la duplicación de organelos y el aumento del volumen celular.

- A) mitosis
- B) interfase  $G_2$
- C) interfase  $G_1$
- D) interfase  $G_0$
- E) interfase S

#### Resolución

La interfase  $G_1$  o prerreplicativa se caracteriza por una intensa biosíntesis (de proteínas y lípidos), la duplicación de organelos (mitocondrias, plastidios) y, en consecuencia, el aumento del volumen celular.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 4**

En las células animales, el centrosoma es una estructura que se duplica durante la etapa

- A) metafase. B) profase. C) interfase.  
D) telofase. E) anafase.

**Resolución**

Un centrosoma está formado por dos centriolos, y se duplica durante la interfase S a partir de los procentriolos.

El centrosoma es un organelo microtubular o componente del citoesqueleto (presente en las células animales y también en las plantas criptógamas) encargado de organizar el citoesqueleto, que durante la división celular es denominado huso acromático.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 5**

En el ciclo celular eucariota, el ADN nuclear se replica durante la

- A) mitosis. B) interfase  $G_2$ .  
C) interfase  $G_1$ .  
D) interfase  $G_0$ . E) interfase S.

**Resolución**

En el ciclo celular, el ADN se replica en la interfase S.

Período	Evento
$G_1$	crecimiento celular
S	replicación del ADN
$G_2$	síntesis de FPM
M	división celular

En el  $S_1$  se replica el ADN de la eucromatina, y en el  $S_2$ , el ADN de la heterocromatina.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 6**

El proceso más importante de la interfase es

- A) la síntesis de proteínas.  
B) la duplicación de organelos.  
C) la duplicación del ADN.  
D) la duplicación de los centriolos.  
E) el aumento de la biomasa celular.

**Resolución**

La replicación o duplicación del ADN es el evento más importante de la interfase, siendo la interfase el periodo en el que la célula se prepara para la división.

Cuando se duplica, el ADN se forman copias de los genes.

Como proceso clave, cuando la célula tiene los genes duplicados, luego podrá repartirlos en dos células hijas, de manera que las células hijas tengan la misma información genética que la célula progenitora.

CLAVE **C**

**NIVEL INTERMEDIO****PREGUNTA N.º 7**

¿Cuál es el valor C de una célula al final de la interfase S?

- A) 2C B) 3C C) 4C  
D) 1C E) 5C

**Resolución**

El valor C corresponde a la cantidad de filamentos de cromatina que presenta una célula.

Durante el ciclo celular sabemos que la cromatina se duplica en la **interfase S** y se reparte durante la mitosis.

Periodo	Valor C
G <sub>1</sub>	2C
S	2C a 4C
G <sub>2</sub>	4C
M	4C a 2C+2C

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 8**

El factor promotor de la replicación (FPR) se produce durante la

- A) interfase G<sub>1</sub>.
- B) interfase G<sub>0</sub>.
- C) interfase S.
- D) mitosis.
- E) interfase G<sub>2</sub>.

**Resolución**

El ciclo celular tiene un sistema de control. En la interfase G<sub>1</sub> se produce el FPR, y en la interfase G<sub>2</sub> se produce el FPM.

Complejos de ciclina-cdk	Función
FPR (factor promotor de la replicación) o cdk-S	Promueve la duplicación de ADN
FPM (factor promotor de la mitosis) o cdk-M	Promueve el inicio de las mitosis.

CLAVE **A**

**PREGUNTA N.º 9**

El periodo de especialización celular, en el cual la célula se diferencia y sale del ciclo celular, se denomina

- A) G<sub>2</sub>.
- B) S<sub>1</sub>.
- C) G<sub>0</sub>.
- D) S<sub>2</sub>.
- E) M.

**Resolución**

Las células que se especializan para cumplir una función, como las neuronas, los músculos esqueléticos y los linfocitos, se encuentran en el periodo G<sub>1</sub> permanente, pero como se retiran del ciclo celular, se dice que estas células se hallan en G<sub>0</sub>.

Los linfocitos pueden permanecer días o meses en G<sub>0</sub>. Las neuronas y los músculos esqueléticos permanecen años.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 10**

¿En qué fase del ciclo celular el volumen nuclear se hace considerablemente más grande?

- A) S
- B) M
- C) G<sub>2</sub>
- D) G<sub>1</sub>
- E) G<sub>0</sub>

**Resolución**

Si observamos células a través del microscopio, podemos distinguir las diversas etapas del ciclo celular por los cambios citomorfológicos.

Periodo	Citomorfoloía
G <sub>1</sub>	núcleo pequeño
S	volumen nuclear grande
G <sub>2</sub>	volumen nuclear grande
M	huso acromático y cromosomas

El periodo en el cual el núcleo se hace más grande es la interfase S, debido a la duplicación del ADN nuclear.

CLAVE **A**

### PREGUNTA N.º 11

¿Cuál es la fase del ciclo celular en la cual se replica la eucromatina?

- A)  $S_1$                       B) M                      C)  $G_2$   
D)  $G_1$                       E)  $G_0$

#### Resolución

El periodo S es el de síntesis de cromatina. El periodo S se divide en  $S_1$  y  $S_2$ : en el  $S_1$  se duplica la eucromatina, y en el  $S_2$ , la heterocromatina.

La eucromatina se duplica más rápido porque está activa; mientras que la heterocromatina se duplica tardíamente por estar condensada.

CLAVE **A**

## NIVEL AVANZADO

### PREGUNTA N.º 12

En el ciclo celular, el momento de transición en el que la célula define si va a salir del ciclo se denomina

- A) GAP 1.  
B) GAP 2.  
C) fase M.  
D) periodo  $G_0$ .  
E) punto de restricción.

#### Resolución

En el periodo  $G_1$  (GAP 1) o prerreplicativo del ciclo celular, hay un momento en el que la célula define si va a continuar el ciclo o si va a pasar al  $G_0$ . Este periodo es llamado punto de restricción, punto de control  $G_1$ , punto de arranque o punto de comienzo.

CLAVE **E**

### PREGUNTA N.º 13

Una de las proteínas que controlan el ciclo celular es la ....., que detiene el ciclo celular en respuesta a un ADN dañado.

- A) ciclina  
B) p53  
C) FPM  
D) FPR  
E) cdk

#### Resolución

La proteína p53 controla el estado del ADN antes de que la célula ingrese a la fase S.

La proteína p53, cuya masa molecular es de 53 kDa, es generada por el gen p53, el cual es un gen supresor de tumores.

La proteína p53 activa a otros genes que producen las proteínas p16 y p21, que tienen función opuesta a la ciclina  $G_1$  (de la replicación) con lo que se detiene el ciclo hasta que el ADN sea reparado.

CLAVE **B**



## PREGUNTAS PROPUESTAS



### NIVEL BÁSICO

1. ¿Cuál es el periodo de duración más variable del ciclo celular?

- A)  $G_2$       B)  $G_1$       C)  $S_1$   
D)  $S_2$       E) M

2. Cuando las células dejan de proliferar y pasan a la forma quiescente, se dice que se encuentran en el estadio

- A)  $G_2$       B)  $G_1$       C)  $G_0$   
D) S      E) M.

3. ¿En qué etapa del ciclo celular se encuentran las neuronas?

- A)  $G_1$       B)  $G_0$       C) S  
D) M      E)  $G_2$

4. Es la etapa del ciclo celular en la que se da el crecimiento celular.

- A)  $G_1$       B)  $G_0$       C) S  
D) M      E)  $G_2$

5. Indique la etapa del ciclo celular en la que se replica la cromatina.

- A)  $G_2$       B)  $G_1$       C)  $G_0$   
D) S      E) M

6. Señale el evento que caracteriza a la fase  $G_0$  del ciclo celular.

- A) biosíntesis intensa de proteínas  
B) formación del huso acromático  
C) duplicación de la cromatina  
D) diferenciación celular  
E) aumento del volumen citoplasmático

7. En las células animales, los centríolos se duplican durante el

- A) GAP1.  
B) GAP2.  
C) periodo S.  
D) periodo prerreplicativo.  
E) periodo posreplicativo.

### NIVEL INTERMEDIO

8. ¿En qué etapa del ciclo celular se sintetiza el factor promotor de la mitosis (FPM)?

- A) mitosis  
B) interfase  $G_2$   
C) interfase  $G_1$   
D) interfase  $G_0$   
E) interfase S

9. Los organelos semiautónomos de los eucitos se duplican durante el periodo
- A)  $G_2$ .      B)  $G_1$ .      C)  $G_0$ .  
D) S.                      E) M.
10. La heterocromatina facultativa se duplica durante el periodo ..... de la interfase.
- A)  $G_2$       B)  $G_1$       C)  $S_1$   
D)  $S_2$                       E) M
11. La síntesis del FPR se lleva a cabo durante la
- A) mitosis.  
B) interfase  $G_2$ .  
C) interfase  $G_1$ .  
D) interfase  $G_0$ .  
E) interfase S.
14. Las proteínas que regulan la actividad de las proteincinasas durante el ciclo celular se denominan
- A) ciclinas.  
B) histonas.  
C) no histonas.  
D) ADN helicasas.  
E) ADN polimerasas.
15. El crecimiento celular durante el periodo  $G_1$  de un periodo T se debe, principalmente, al incremento de la

### NIVEL AVANZADO

12. Cuando observamos células vegetales interfásicas con una desproporción de la relación núcleo-citoplasma, deducimos que han
- A) producido FPM.  
B) duplicado su ADN.  
C) iniciado la apoptosis.  
D) sintetizado proteínas plasmáticas.  
E) activado sus mecanismos reparadores.
13. ¿En qué etapa del ciclo celular se duplica el ADNcl en las células de las plantas fanerógamas?
- A) duplicación del ADN.  
B) replicación del ADN.  
C) expresión génica.  
D) mutación del ADN.  
E) reparación del ADN.
16. En la ontogenia se observan células que pasan al periodo ....., el que consiste en la muerte celular programada.
- A) T  
B) F  
C)  $S_1$   
D)  $S_2$   
E)  $G_0$

# FLUJO DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA

## 1 INFORMACIÓN GENÉTICA

La molécula que almacena la información genética en los seres vivos es el ADN (ácido desoxirribonucleico).

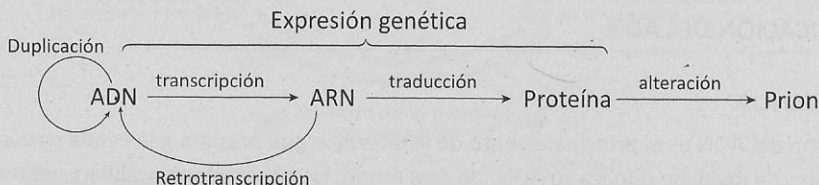
En el ADN encontramos los genes. Los genes son fragmentos de ADN que tienen información para formar una molécula funcional, la que puede ser un péptido o una molécula de ARN.

La información genética es la secuencia de pares de bases nitrogenadas en los genes. El análisis de la información genética le corresponde a un área de la biología molecular: la genómica.

La genómica comparada demuestra que cada especie lleva características propias y que las diversas especies también comparten regiones homólogas, lo que es prueba de la evolución.

## 2 FLUJO DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA

En 1948, Tatum y Beadle plantearon el **dogma central de la biología molecular**. Más adelante sobre la base del modelo de la doble hélice de Watson y Crick, que explica la estructura del ADN, Francis Crick desarrolló la **hipótesis de la colinearidad**. Según esta hipótesis, la molécula que almacena la información de las características biológicas es el ADN, a partir de esta se generan copias de ARN, que en los ribosomas determinan la secuencia de aminoácidos de las proteínas. Por lo tanto, las proteínas tienen su secuencia de aminoácidos determinada por los genes.

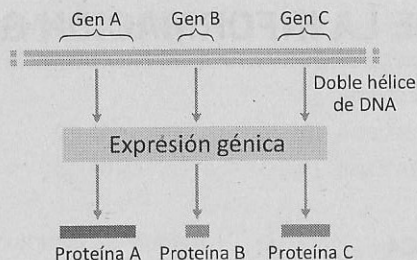


### 2.1. DUPLICACIÓN

Es el proceso mediante el cual a partir de una molécula de ADN se forman dos moléculas de ADN idénticas con la misma información genética. El ADN es la única molécula que se autoduplica en los organismos vivos.

### 2.2. EXPRESIÓN GENÉTICA

Es el proceso mediante el cual la información contenida en el ADN es utilizada para originar alguna molécula funcional. La expresión genética tiene dos etapas: la transcripción y la traducción.



### 2.2.1. Transcripción

Síntesis de ARN (ácido ribonucleico), tomando como molde la información genética del ADN.

### 2.2.2. Traducción

Síntesis de proteínas a partir de la información contenida en la molécula de ARNm (mensajero).

La biología molecular, actualmente, suma otros procesos: la retrotranscripción y la alteración de la conformación de las proteínas.

### 2.3. RETROTRANSCRIPCIÓN

Consiste en la síntesis de ADN tomando como molde el ARN. Se da en los retrovirus, como el VIH/sida.

### 2.4. ALTERACIÓN DE LA CONFORMACIÓN DE LAS PROTEÍNAS

Se han encontrado los priones, proteínas infecciosas que causan enfermedades en ciertos animales y que resultan de la alteración de la conformación espacial de la proteína inicial. El prion puede interactuar con proteínas normales, forzándolas a plegarse de manera anormal. Estas a lo largo del tiempo se van acumulando en el tejido nervioso, generando las enfermedades neurodegenerativas, como el síndrome de las vacas locas o encefalopatía espongiforme bovina.

## 3 DUPLICACIÓN DEL ADN

### 3.1. IMPORTANCIA

La duplicación del ADN es el principal evento de la interfase que prepara a la célula para su división. La célula antes de dividirse duplica su ADN; de este modo, las generaciones celulares mantienen una cantidad constante de ADN.

Es clave en la estabilidad genética del individuo y la especie. Para que se mantengan las especies, existe este proceso en el que la información biológica (que está en el ADN) se replica (autoduplica) para más adelante pasar (verticalmente) a la descendencia.

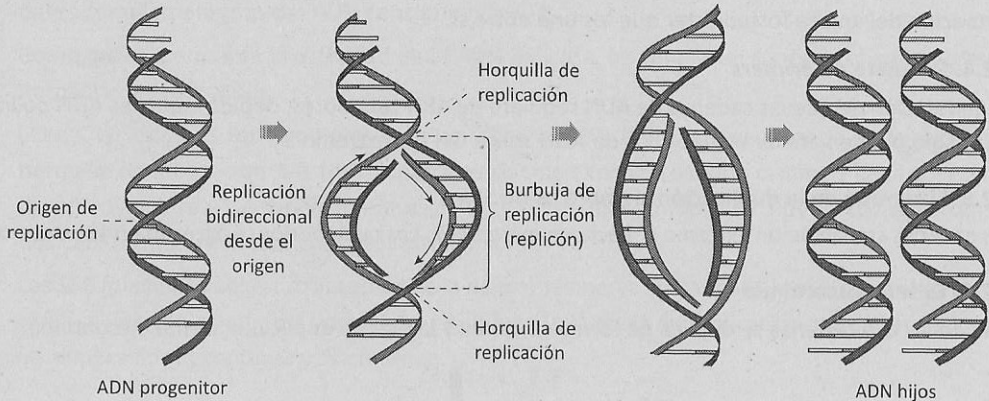
Sin embargo, el proceso de duplicación no es perfecto; pueden darse fallas en las cuales el ADN se altera. Toda alteración del material genético recibe el nombre de mutación.

Las mutaciones son el principal mecanismo que genera nuevos alelos y causa variabilidad en los miembros de una especie y constituye el principal mecanismo genético de la evolución biológica.

### 3.2. CARACTERÍSTICAS

#### 3.2.1. Es semiconservativa

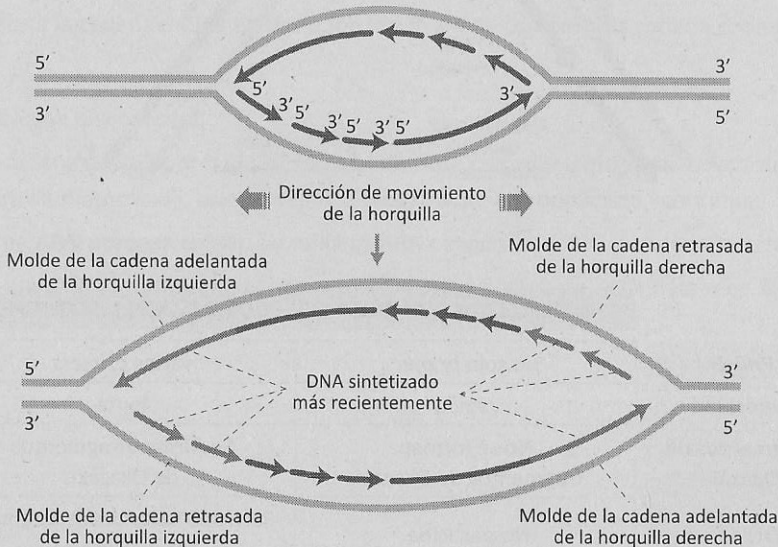
Los ADN hijos conservan una de las cadenas del ADN progenitor. Esto fue planteado por Watson y Crick, y demostrado por Meselson y Stahl.



Modelo semiconservador de la replicación del ADN

#### 3.2.2. Es bidireccional

Cuando se observa la duplicación en el microscopio, se ve una burbuja (procariontes) o varias burbujas de replicación (eucariontes) que crecen bidireccionalmente desde un punto de origen llamado ORI, debido a que las nuevas cadenas sintetizadas son antiparalelas respecto a las cadenas molde (patrón).



### 3.2.3. Las principales enzimas de la duplicación son las ADN polimerasas

Para todos los exámenes de admisión y también sobre la base de los fundamentos actualizados de la duplicación del ADN, destacamos un conjunto de enzimas llamadas **ADN polimerasas**, que incorporan los desoxirribonucleótidos (unidades del ADN) sobre la cadena molde, de acuerdo a la ley de apareamiento de bases (adenina con timina "A=T" y citosina con guanina "C≡G"), y catalizan la formación del enlace fosfodiéster que los une entre sí.

### 3.2.4. Requiere de *primers*

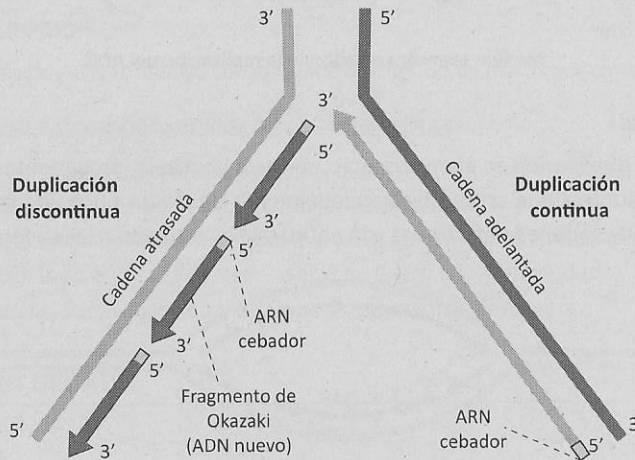
La generación de nuevas cadenas de ADN requiere de ARN cebadores, debido a que las ADN polimerasas solo pueden añadir nucleótidos de ADN sobre OH del extremo 3'.

### 3.2.5. El sentido de la duplicación siempre es de 5' a 3'

Las cadenas crecen de un extremo 5' hacia un extremo 3'. Los nucleótidos se agregan en el extremo 3'.

### 3.2.6. Es semidiscontinua

Una de las dos cadenas se duplica de forma continua y la otra se duplica de forma discontinua.



### 3.3. TIPOS

	DUPLICACIÓN CONTINUA	DUPLICACIÓN DISCONTINUA
<b>Primer</b>	un solo <i>primer</i>	varios <i>primers</i>
<b>Velocidad</b>	rápida	lenta
<b>Fragmentos de Okazaki</b>	No se forman fragmentos de Okazaki.	Se forman fragmentos de Okazaki.
<b>ADN ligasa</b>	No participa.	Participa uniendo los fragmentos de Okazaki.

### 3.4. ETAPAS

#### 3.4.1. Formación de la burbuja de replicación

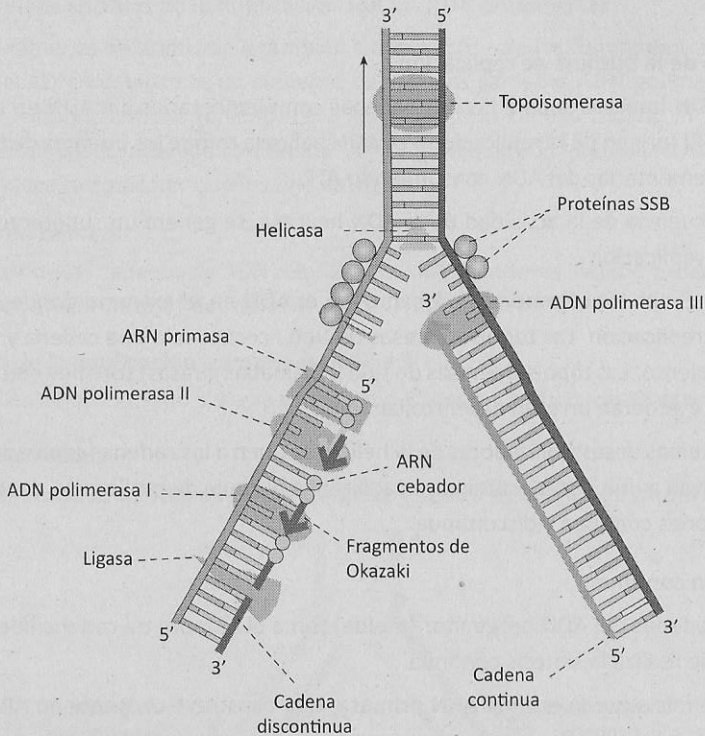
- La enzima **ADN helicasa** separa las dos cadenas complementarias del ADN en un punto al que se le llama ORI (origen de la replicación). La ADN helicasa rompe los puentes de hidrógeno entre bases complementarias del ADN consumiendo ATP.
- Como consecuencia de la actividad de la ADN helicasa, se genera un superenrollamiento en la horquilla de replicación.
- Luego, las enzimas **topoisomerasas** desenrollan el ADN en el extremo donde se encuentra la horquilla de replicación. Las topoisomerasas de tipo I cortan solo una cadena y generan escaso desenrollamiento. Las topoisomerasas de tipo II (llamadas girasas) son muy efectivas, cortan las dos cadenas y generan un gran desenrollamiento.
- Las **SSB** (proteínas desestabilizadoras de la hélice) se unen a las cadenas separadas evitando que estas se vuelvan a unir. Estas proteínas estabilizan la burbuja de replicación quedando lista para las duplicaciones continua y discontinua.

#### 3.4.2. Duplicación continua

- Una de las cadenas del ADN progenitor (molde) toma el nombre de cadena líder o adelantada, y sobre ella se realiza la síntesis continua.
- El proceso lo inicia por la enzima **ARN primasa**, que construye un pequeño ARN llamado ARN cebador o *primer*.
- A continuación, una enzima **ADN polimerasa** va incorporando desoxirribonucleótidos complementarios a la cadena molde en dirección (de 5' a 3') y construye la cadena complementaria de ADN.

#### 3.4.3. Duplicación discontinua

- La otra cadena del ADN progenitor toma el nombre de cadena retrasada o retardada, en ella se da la síntesis discontinua, que se da simultáneamente a la duplicación continua.
- La enzima **ARN primasa** construye muchos ARN cebadores sobre la cadena retrasada.
- Luego, una **ADN polimerasa** construye segmentos cortos de ADN llamados **fragmentos de Okazaki**.



#### 3.4.4. Reparación del ADN

- Los ARN cebadores son retirados por una enzima **nucleasa reparadora**.
- Una ADN polimerasa reparadora alarga los fragmentos de Okazaki.
- Finalmente, una **ADN ligasa** (dependiente de ATP y NADH) une los fragmentos de Okazaki.

## 4 EXPRESIÓN GENÉTICA

Es el proceso mediante el cual la información hereditaria almacenada en el ADN, en los genes, se manifiesta o expresa en forma de proteínas.

### 4.1. IMPORTANCIA

La expresión genética es un proceso indispensable para la vida por la trascendencia que tienen las proteínas en la morfología y fisiología de los organismos vivos.

Las proteínas cumplen varias funciones: estructurales (tubulinas, queratina, colágeno), mecánicas (actina, miosina), de transporte (hemoglobina, hemocianina), de reserva (ovoalbúmina, gliadina), reguladoras (insulina), catalíticas (enzimas), entre otras, que es inconcebible la vida sin ellas.

## 4.2. ETAPAS

### 4.2.1. Transcripción

Es el proceso en el cual la información genética que está almacenada en el ADN es copiada en moléculas de ARN.

Desde el punto de vista amplio, es la síntesis de cualquier tipo de ARN desde el punto de vista estricto es la síntesis de ARNm (mensajero).

La formación del ARN usa como molde una de las dos cadenas del ADN y es acelerada principalmente por la ARN polimerasa, que incorpora y une ribonucleótidos (unidades del ARN).

Este proceso se da en el citoplasma de las células procarióticas debido a que carecen de compartimiento nuclear, en el caso de las células eucarióticas acontece dentro del núcleo (en el nucléolo y el carioplasma).

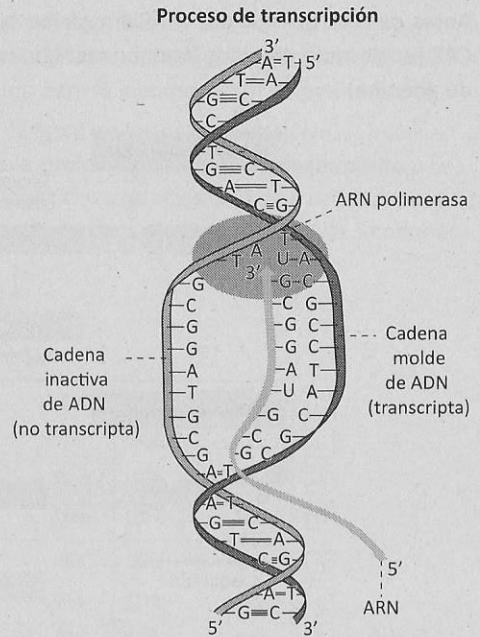
#### Fases de la transcripción

- Iniciación.** La enzima ARN polimerasa (mediante su factor sigma) reconoce un lugar del gen llamado el sitio promotor (caja TATA, TATA box), denominado así por ser rico en timina (T) y adenina (A). En los procariontes se denomina caja Pribnow, y en los eucariontes caja Goldberg-Hogness. Luego, la ARN polimerasa empieza a incorporar ribonucleótidos en sentido de 5' a 3'. El primer nucleótido se conserva trifosfatado y actúa como marcador del inicio de la transcripción.
- Elongación.** Es la etapa en la que crece el ARN. La ARN polimerasa incorpora ribonucleótidos de acuerdo a la ley de complementariedad de bases (adenina con uracilo "A=U" y citosina con guanina "C≡G") y cataliza la formación del enlace fosfodiéster que los une entre sí. En las células procarióticas, conforme se da la elongación de la transcripción, se inicia la traducción en los ribosomas 70 S.
- Terminación.** El proceso culmina en una región específica del ADN rico en guanina y citosina, que es reconocida por el factor rho.

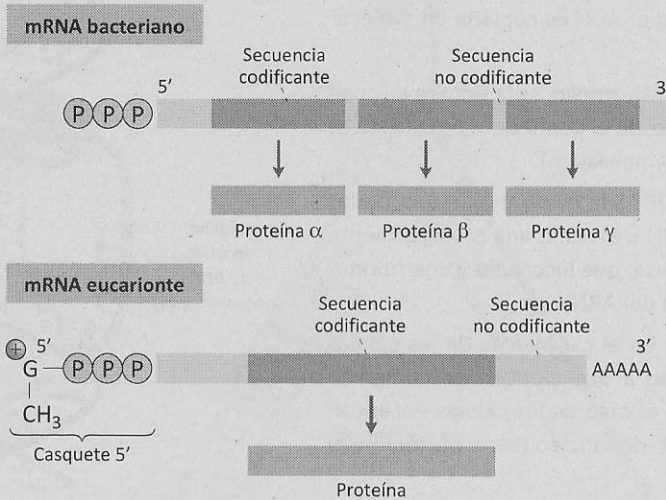
### 4.2.2. Splicing

Es el proceso de maduración del ARNhn (heterogéneo nuclear), que es transformado en ARNm (mensajero). Caracteriza a las células eucariotas.

En el *splicing*, el spliceosome (catalizador compuesto de ARN y proteínas) fragmenta (corta) el ARNhn en exones e intrones, luego une (empalma) los exones, que constituyen el ARNm. Por ello se dice que el *splicing* es un proceso de corte y empalme. De otro lado, los intrones pueden ser eliminados o participar en la regulación genética (microARNs).



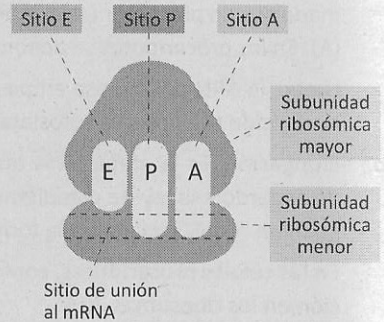
Antes de salir del núcleo, el ARNm recibe sustancias protectoras del mensaje en el extremo 5' un CAP (nucleósido metilado llamado metilguanosa) y en el extremo 3' una cola poliA (de nucleótidos de adenina).



#### 4.2.3. Traducción

Es la síntesis de proteínas realizada en los ribosomas. En este proceso se pasa de una secuencia de bases nitrogenadas (que forman codones) del ARNm a otra secuencia: la secuencia de aminoácidos. Uno de los logros revolucionarios de la biología molecular fue descifrar esta correspondencia, esta especie de cambio de lenguaje (traducción) que está establecida en el código genético.

Los ribosomas tienen sitios que cumplen funciones específicas. El sitio A (aminòcil) recibe aminoácidos, el sitio P (peptidil) es el que lleva el péptido y el sitio E (*exit*) es el de salida de los ARNt.



##### a. Código genético

Es como un diccionario que traduce cada palabra de tres letras del ARNm (codón) por su aminoácido correspondiente.

Un **codón** está constituido por tres bases nitrogenadas del ARNm. Un codón codificante tiene la información para un determinado aminoácido.

El codón que inicia generalmente toda traducción se denomina **codón de inicio**; se trata de la secuencia AUG que codifica para el aminoácido llamado metionina en eucariontes y formilmetionina en procariontes.

El **código genético** está compuesto de 64 codones diferentes, de los cuales 61 son codificantes o codones con sentido y tres son codones de terminación o *stop* (UGA, UAA y/o UAG) no codificantes. Un codón de terminación no tiene información para la incorporación de aminoácidos.

El código genético se caracteriza por ser **universal**, es igual en todos los seres vivos. La universalidad del código genético es la principal prueba de la evolución. También es **degenerado** o redundante porque existen más codones (61) que aminoácidos proteicos (20) y no se **traslapa**; es decir, se lee de una sola forma. Cada nucleótido forma parte de un solo codón y no de 3 codones diferentes.

	U		C		A		G		
U	UUU	Fen	UCU	Ser	UAU	Tir	UGU	Cis	U
	UUC	Fen	UCC	Ser	UAC	Tir	UGC	Cis	C
	UUA	Leu	UCA	Ser	UAA	<b>Stop</b>	UGA	<b>Stop</b>	A
	UUG	Leu	UCG	Ser	UAG	<b>Stop</b>	UGG	Trp	G
C	CUU	Leu	CCU	Fen	CAU	His	CGU	Arg	U
	CUC	Leu	CCC	Pro	CAC	His	CGC	Arg	C
	CUA	Leu	CCA	Pro	CAA	Gln	CGA	Arg	A
	CUG	Leu	CCG	Pro	CAG	Gln	CGG	Arg	G
A	AUU	Ile	ACU	Tre	AAU	Asn	AGU	Ser	U
	AUC	Ile	ACC	Tre	AAC	Asn	AGC	Ser	C
	AUA	Ile	ACA	Tre	AAA	Lis	AGA	Arg	A
	AUG	<b>Met</b>	ACG	Tre	AAG	Lis	AGG	Arg	G
G	GUU	Val	GCU	Ala	GAU	Asp	GGU	Gli	U
	GUC	Val	GCC	Ala	GAC	Asp	GGC	Gli	C
	GUA	Val	GCA	Ala	GAA	Glu	GGA	Gli	A
	GUG	Val	GCG	Ala	GAG	Glu	GGG	Gli	G

*Ejemplo*

¿Qué aminoácido está codificado por el codón UUU?

*Respuesta:*

Fen (fenilalanina)

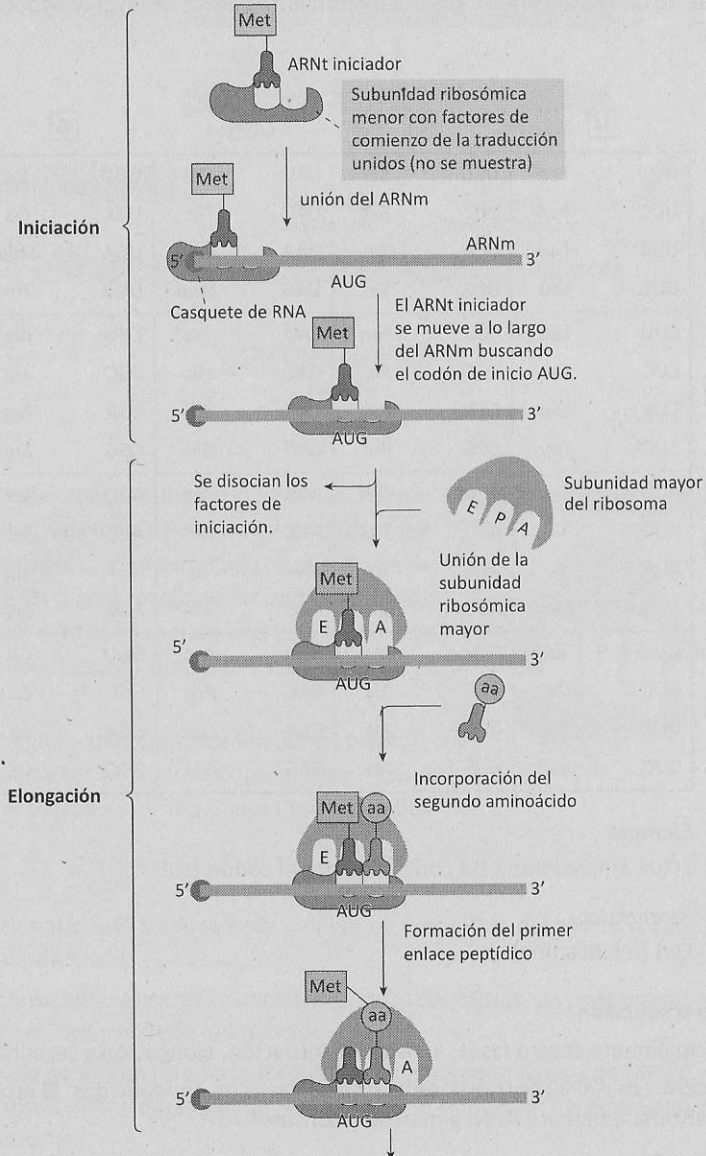
**b. Fases de la traducción**

Tiene principalmente cuatro fases: activación, iniciación, elongación y terminación.

- **Activación.** Los ARNt (de transferencia) se enlazan con aminoácidos. El proceso es catalizado por la enzima aminoacil ARNt sintetasa y consume ATP.

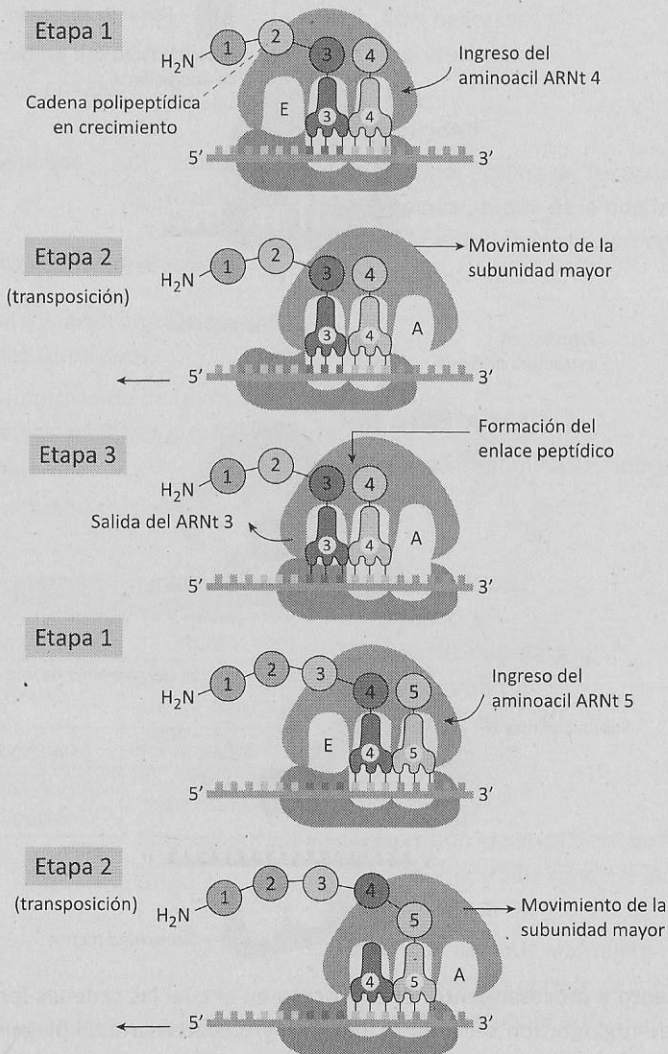
- Iniciación.** Consiste en la formación del complejo de iniciación. El complejo de iniciación está constituido por el ARNm (que lleva la orden al ribosoma), el primer ARNt (que incorpora el primer aminoácido: **formilmetionina** en las bacterias y **metionina** en las células eucarióticas) y el ribosoma.

En la iniciación se da el acoplamiento codón-anticodón. El codón de inicio del ARNm (AUG) se acopla con el anticodón del primer ARNt (UAC).

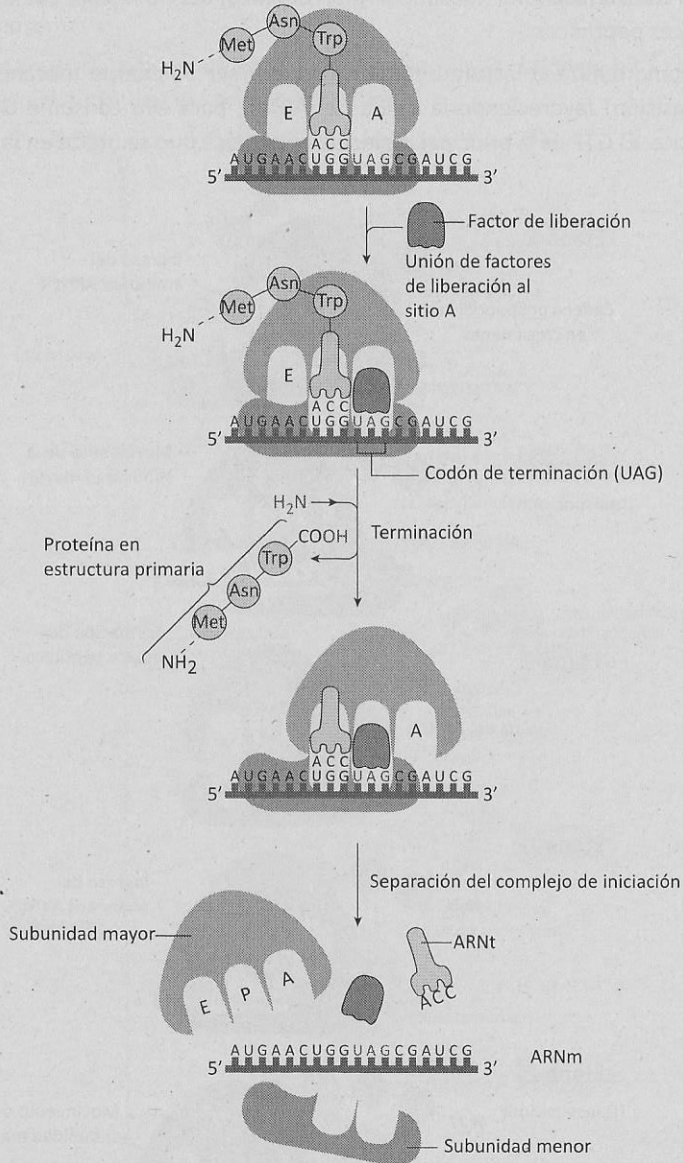


- Elongación.** Es el crecimiento de la cadena peptídica (de aminoácidos). Se da como consecuencia de la llegada de aminoácidos transportados por los ARNt y la acción catalítica de la **peptidil transferasa** (una ribozima o ARN catalítico) del ribosoma, que acelera la formación de enlaces peptídicos.

El ribosoma realiza la lectura del mensaje y por ser un cuerpo mecanoquímico se mueve (transposición) favoreciendo la salida del ARNm, para ello consume **GTP** como molécula energética. El GTP es la principal molécula energética que se utiliza en la traducción.



- **Terminación.** Consiste en la liberación de la proteína formada (en estructura primaria) y la inactivación del ribosoma (la separación de sus dos subunidades).



- **Plegamiento y procesamiento.** Es el proceso en el cual las cadenas formadas adoptan sus niveles de organización secundario, terciario y/o cuaternario. El plegamiento es catalizado por unas proteínas llamadas chaperonas o chaperoninas.

# PREGUNTAS RESUELTAS

## NIVEL BÁSICO

### PREGUNTA N.º 1

Indique la base pirimidina del ADN que está generalmente ausente en el ARN.

- A) adenina    B) guanina    C) citosina  
D) timina        E) uracilo

#### Resolución

El ADN y el ARN son los ácidos nucleicos (AN) presentes en todos los seres vivos.

El ADN almacena la información de las características de los seres vivos; mientras que los ARN expresan esa información.

Existe una serie de diferencias moleculares entre los dos AN.

	ADN	ARN
Azúcar	desoxirribosa	ribosa
Base exclusiva	timina	uracilo, excepto el ARNt
Cadenas	bicatenario	minocatenario
Unidad	desoxirribonucleótido	ribonucleótido

CLAVE **D**

### PREGUNTA N.º 2

¿Cuál es la principal enzima que participa en la síntesis del ADN?

- A) ADN polimerasa  
B) ARN polimerasa  
C) ADN ligasa  
D) ADN helicasa  
E) topoisomerasa II

#### Resolución

La principal enzima de la replicación es la **ADN polimerasa** porque es la que incorpora nucleótidos y cataliza la formación del enlace que los encadena (fosfodiéster).

CLAVE **A**

### PREGUNTA N.º 3

¿Cómo se denomina la síntesis de ARN mensajero?

- A) transcripción  
B) traducción  
C) respiración celular  
D) conjugación  
E) fotosíntesis

#### Resolución

La expresión genética tiene dos etapas: la transcripción y la traducción. En la transcripción se sintetizan los ARN.

La síntesis del ARN mensajero recibe el nombre de transcripción porque se copia de la información contenida en el ADN.

CLAVE **A**

**PREGUNTA N.º 4**

Si la secuencia del ADN: dTACTATACG es transcrita, señale la secuencia de la molécula resultante.

- A) dTACTATACG
- B) rATGATATCG
- C) dAUGAUAUGC
- D) dATGATATCG
- E) rAUGAUAUGC

**Resolución**

De acuerdo a la ley de complementariedad de bases, en el proceso de transcripción se cumple lo siguiente:

- la adenina con el uracilo "A=U"
- la citosina con la guanina "C≡G"

d T A C T A T A C G  
r A U G A U A U G C

Es muy importante tener en cuenta que el ARNm no lleva timina en su composición; por ello, si en la cadena de ADN hay timina, en el ARN habrá adenina.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 5**

La unidad de codificación para un aminoácido determinado durante la síntesis de proteínas se denomina

- A) recón.
- B) codón.
- C) mutón.
- D) codogen.
- E) anticodón.

**Resolución**

Un codón está constituido por tres bases nitrogenadas del ARNm.

Un codón codificante tiene la información para un determinado aminoácido.

El codón es la unidad de codificación para un aminoácido determinado durante la síntesis de proteínas.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 6**

¿Cuáles son los organelos celulares cuya función es la síntesis de proteínas?

- A) los ribosomas
- B) los lisosomas
- C) los cloroplastos
- D) las vacuolas
- E) las mitocondrias

**Resolución**

Los ribosomas son organelos nucleoproteicos no membranosos que realizan la síntesis de proteínas; es decir, traducen la información genética.

Todos los ribosomas son asociaciones supramoleculares nucleoproteicas, compuestas de tres o cuatro moléculas de ARNr (la "r" hace referencia a ribosomal) y un número variable de proteínas globulares llamadas proteínas ribosómicas.

Por ello se denominan ribosomas (el prefijo ribo- indica su alto contenido de ARN y soma significa cuerpo).

En las células procariotas son 70 S, mientras que en las eucariotas son 80 S. Los biólogos celulares partidarios de la teoría del mundo de ARN lo consideran el organelo clave en el origen de la vida.

CLAVE **A**

## NIVEL INTERMEDIO

### PREGUNTA N.º 7

¿Cómo se denomina el punto fijo a partir del cual el ADN comienza a replicarse?

- A) extremo 3'
- B) extremo 5'
- C) caja TATA
- D) sitio ORI
- E) codón

#### Resolución

El punto donde se inicia el proceso de replicación del ADN se denomina sitio ORI, que hace referencia al origen.

El sitio ORI es reconocido por la ADN helicasa, que da inicio a la duplicación del ADN.

En las células procariotas solo hay un ORI; mientras que en las células eucariotas tiene muchos ORI, porque la información genética es abundante.

CLAVE **D**

### PREGUNTA N.º 8

Las pequeñas porciones de ADN nuevo que se forman durante la síntesis discontinua se denominan

- A) *primers*.
- B) ARN cebadores.
- C) fragmentos de Okazaki.
- D) replicones.
- E) horquillas de replicación.

#### Resolución

La duplicación del ADN es semidiscontinua. Una cadena se duplica de forma continua y la otra de forma discontinua.

Durante la duplicación discontinua, la ADN polimerasa construye segmentos cortos de ADN llamados fragmentos de Okazaki.

La duplicación discontinua es llamada retrasada o retardada y se caracteriza además por la formación de muchos *primers* (ARN cebadores) y por la participación de la enzima ADN ligasa, que une los fragmentos de Okazaki.

CLAVE **C**

### PREGUNTA N.º 9

El codón que especifica al primer aminoácido metionina en los eucitos es el

- A) UAA.
- B) UGA.
- C) UAG.
- D) AUG.
- E) TAC.

#### Resolución

El codón de inicio o iniciación tiene la secuencia AUG y codifica para la formilmetionina en las células procarióticas (bacterias) y para la metionina en las células eucarióticas (protozoarios, algas, hongos, plantas y animales).

CLAVE **D**

### PREGUNTA N.º 10

En la síntesis de proteínas, el codón es a ..... como el anticodón es a .....

- A) RNAmi - RNAt
- B) RNAm - RNAt
- C) RNAs - RNAr
- D) RNAs - RNAt
- E) RNAm - RNAr

**Resolución**

En la síntesis de proteínas, el ARNm (mensajero) es la molécula que lleva la información para la síntesis de proteínas del núcleo al ribosoma. Las unidades funcionales del ARNm se denominan codones.

El ARNt (de transferencia) es la molécula que se encarga de transportar los aminoácidos hacia el ribosoma. Presenta un asa llamada anticodón que le permite acoplarse con el codón.

CLAVE **B**

**NIVEL AVANZADO****PREGUNTA N.º 11**

¿Cómo se denomina la parte de los cromosomas que no puede ser duplicada por la ADN polimerasa?

- A) telómero
- B) centrómero
- C) cromómero
- D) constricción primaria
- E) constricción secundaria

**Resolución**

La parte de los cromosomas donde el ADN polimerasa no puede actuar es el telómero.

La duplicación del ADN de los telómeros está a cargo de la enzima telomerasa.

Las otras partes del cromosoma eucariota sí son duplicadas por la ADN polimerasa.

CLAVE **A**

**PREGUNTA N.º 12**

La enzima ..... une el aminoácido al ARNt.

- A) peptidil transferasa
- B) aminoacil ARNt sintetasa
- C) ARNasa
- D) ATP sintetasa
- E) de restricción

**Resolución**

En etapa de la traducción, llamada activación, los ARNt se unen a aminoácidos específicos mediante su extremo aceptor 5'; el proceso es catalizado por la enzima aminoacil ARNt sintetasa. Este proceso consume ATP.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 13**

El sitio de unión del ribosoma al ARN mensajero es

- A) el sitio *exit*.
- B) el sitio peptidil.
- C) el sitio aminoacil.
- D) una parte de la subunidad 40 S.
- E) una parte de la subunidad 60 S.

**Resolución**

El sitio de unión del ribosoma al ARN mensajero es **parte de la subunidad menor**.

En la subunidad mayor se encuentra el sitio que recibe aminoácidos (A), el sitio donde se almacena el péptido (P), el sitio de salida de los ARNt (E) y el sitio peptidil transferasa que cataliza los enlaces peptídicos.

CLAVE **D**



## PREGUNTAS PROPUESTAS

### NIVEL BÁSICO

1. ¿Qué enzima cataliza la agregación de los desoxirribonucleótidos durante la síntesis del ADN?
  - A) la ADN helicasa
  - B) la ADN girasa
  - C) la ADN ligasa
  - D) la topoisomerasa
  - E) la ADN polimerasa
2. En la síntesis discontinua del ADN, a diferencia de la duplicación continua, se forman los
  - A) *primers*.
  - B) replicones.
  - C) primosomas.
  - D) ARN cebadores.
  - E) fragmentos de Okazaki.
3. Durante el proceso de replicación del ADN nuclear
  - A) se sintetizan dos cadenas de RNAt.
  - B) se copia toda la información genética.
  - C) los cromosomas se condensan.
  - D) los cromosomas se dirigen a los polos.
  - E) se sintetiza ADN a partir de ARN.
4. La síntesis de ARNm durante la transcripción y su lectura durante la traducción se dan
  - A) semiconservativamente.
  - B) en sentido 5' a 3'.
  - C) paralelamente.
  - D) en sentido 3' a 5'.
  - E) discontinuamente.
5. ¿Qué enzima cataliza la síntesis de ARN mensajero?
  - A) la ADN ligasa
  - B) la ARN primasa
  - C) la ARN polimerasa
  - D) la ADN helicasa
  - E) la ADN polimerasa
6. La traducción de una molécula de ARNm puede ser realizada por varios ribosomas a la vez, de manera que se constituyen los
  - A) codones.
  - B) anticodones.
  - C) microsomas.
  - D) polirribosomas.
  - E) polirribonucleótidos.

**NIVEL INTERMEDIO**

7. En los eucariontes, se denomina transcripción de la información genética a la síntesis de
- A) ARNm.    B) ARNhn.    C) ARNt.  
D) ARNr.                      E) ADN.
8. Se denomina código genético a la
- A) secuencia de bases presentes en un gen.  
B) totalidad de información almacenada en el genoma.  
C) relación de correspondencia codón-aminoácido.  
D) secuencia de aminoácidos en una proteína.  
E) información almacenada en una molécula de ADN.
9. El ácido nucleico que participa transportando y adaptando los aminoácidos durante la expresión genética es el ....., y el que sale del núcleo con la información para la síntesis de proteínas en los ribosomas es el .....
- A) ARNm - ARNt  
B) ARNr - ARNm  
C) ARNt - ARNm  
D) ARNhn - ARNs  
E) ADN - ARNm
10. ¿Cómo se denomina el catalizador de la polimerización de aminoácidos durante la síntesis de proteínas?
- A) spliceosoma  
B) ARN polimerasa  
C) ADN polimerasa  
D) peptidil transferasa  
E) aminoacil ARNt sintetasa
11. Si el triplete de bases o codogen en el ADN es CTA, indique cuál sería el anticodón correspondiente durante la síntesis de proteínas.
- A) CUA            B) CAT            C) GTA  
D) GUA                      E) CAU

**NIVEL AVANZADO**

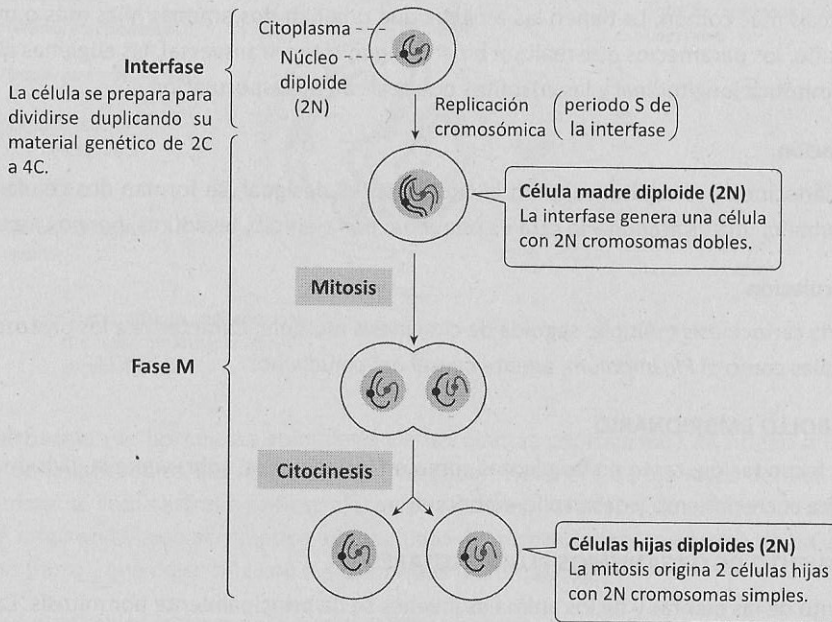
12. ¿Qué molécula energética se consume para activar los ARNt?
- A) ATP            B) GTP            C) CTP  
D) UTP                      E) TTP
13. Señale los codones de terminación o sin sentido de la síntesis proteica.
- A) UAG - UAA - AUU  
B) UAA - UGA - AAA  
C) UGA - UAG - UAA  
D) AUG - UAG - UAA  
E) UGA - UAG - UGG

# MITOSIS

## 1 DEFINICIÓN

Desde el punto de vista amplio (examen de admisión), es un proceso de división celular donde una célula eucariota diploide ( $2N$ ) origina dos células hijas diploides ( $2N$ ); por ello se dice que mantiene la diploidía celular.

En la mitosis, una célula madre reparte equitativamente su ADN duplicado en la interfase en dos células hijas que resultan genéticamente iguales.



Desde el punto de vista estricto, la mitosis es la división del núcleo que genera dos núcleos genéticamente idénticos. Es una etapa de la fase M del ciclo celular.



## 2 IMPORTANCIA

En los organismos unicelulares eucariotas, es un mecanismo de reproducción asexual (continuidad de las especies); mientras que en los pluricelulares, es fundamental en el desarrollo embrionario y organogénesis, así como en el crecimiento, la regeneración de órganos y la reproducción por fragmentación/regeneración.

### 2.1. CONTINUIDAD DE LAS ESPECIES

La mitosis garantiza la continuidad de las especies eucariotas unicelulares: protozoarios, algas unicelulares (fitoplancton) y levaduras, porque es el proceso de reproducción asexual de estos seres vivos. La carioteca no se desintegra durante esta división celular. Existen varias formas.

#### 2.1.1. Bipartición mitótica

Cuando la cariocinesis y la citocinesis son equitativas y generan dos células hijas idénticas en tamaño y número cromosómico. También se le llama fisión binaria, escisión o esciparidad; es el tipo de endomitosis más común. La tienen las amebas que originan dos amebas hijas más o menos del mismo tamaño, los paramecios que realizan bipartición mitótica transversal, las euglenas que hacen bipartición mitótica longitudinal y las crisofitas que realizan auxosporulación.

#### 2.1.2. Gemación

Cuando la cariocinesis es equitativa, pero la citocinesis es desigual, se forman dos células hijas de diferente tamaño, una es grande y la otra es pequeña; por ejemplo, levaduras, hongos ascomicetos.

#### 2.1.3. Esporulación

Cuando se da cariocinesis múltiple, seguida de citocinesis múltiple. Caracteriza a los protozoos esporozoarios, tales como el *Plasmodium*, agente causal del paludismo.

### 2.2. DESARROLLO EMBRIONARIO

Ocurrida la fecundación, tanto en las plantas como en los animales, sobreviene la división mitótica, que garantiza el crecimiento y desarrollo embrionario.

### 2.3. CRECIMIENTO DE ORGANISMOS PLURICELULARES

El crecimiento de las plantas y de los animales jóvenes se da principalmente por mitosis. Las plantas a diferencia de los animales están creciendo todo el tiempo, pues poseen tejidos meristemáticos (*meros 'parte'*) formados por células embrionarias (*stem cell*) en constante mitosis que se ubican en los ápices (puntas) de las raíces y tallos.

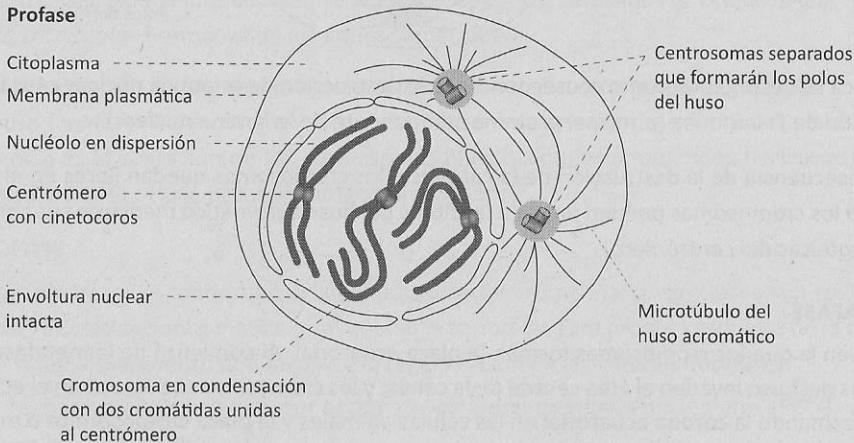
### 3 FASES

Desde un enfoque estricto, la mitosis es solo la división nuclear y, por lo tanto, incluye las etapas de profase, prometafase, metafase, anafase y telofase.

Desde un enfoque amplio, que es el que se maneja en los exámenes de admisión, incluye tanto la división nuclear o cariocinesis (profase, prometafase, metafase, anafase y telofase), como la división citoplasmática o citocinesis.

#### 3.1. PROFASE

Es la primera fase de la mitosis. Los eventos más importantes son la formación de cromosomas dobles (como consecuencia de la condensación de la cromatina), la desorganización del nucléolo y la formación del huso acromático.



Cada centrosoma (de las células animales y de las plantas criptógamas) da origen a un áster, un conjunto de microtúbulos que irradian a su alrededor a manera de los rayos del Sol. Por ello, la mitosis animal se llama **astral o anfiastral** (con dos ásteres). Asimismo, los centrosomas se separan conforme originan el huso acromático, un conjunto de microtúbulos, con forma de balón de fútbol americano (huso), que no se tiñe con los colorantes (acromático).

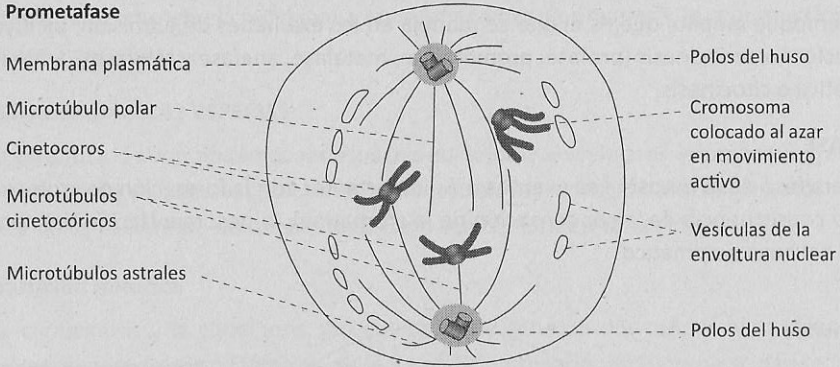
En las células animales se forma el aparato mitótico constituido por dos centrosomas, dos ásteres y el huso acromático.

Las fibras del huso también se forman a partir de los cromosomas, de unas placas proteicas denominadas cinetocoros.

En las células vegetales típicas (de las plantas traqueofitas), el huso lo originan los casquetes polares y no se forman ásteres; por ello, la mitosis vegetal se denomina **anastral** (sin ásteres).

### 3.2. PROMETAFASE

Es una etapa de tránsito entre la profase y la metafase. En esta etapa, la carioteca se desintegra abruptamente y los cromosomas se unen a las fibras del huso acromático.

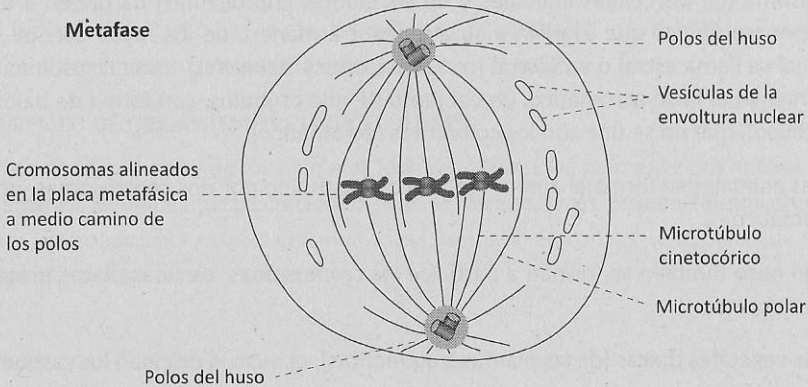


La carioteca se desorganiza como consecuencia de la destrucción de la lámina nuclear causada por la fosforilación de la laminina (principal proteína componente de la lámina nuclear).

Como consecuencia de la destrucción de la carioteca, los cromosomas quedan libres en el citoplasma. Luego los cromosomas pueden unirse a las fibras del huso acromático mediante sus cinetocoros (placas proteicas del centrómero).

### 3.3. METAFASE

Es la fase en la que los cromosomas forman la placa ecuatorial. Al comienzo de la metafase, los microtúbulos del huso invaden el área central de la célula, y los cromosomas se ubican en el ecuador de la célula formando la **corona ecuatorial** en las células animales y la **placa cromosómica** o metafásica en las células vegetales. En los exámenes de admisión se le llama **placa ecuatorial**.

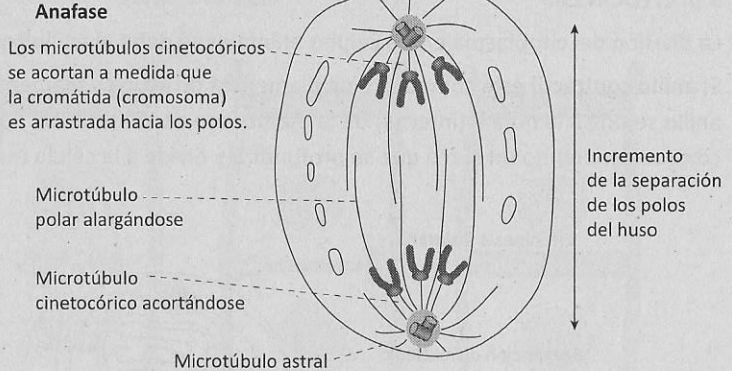


### 3.4. ANAFASE

Se inicia por la ruptura abrupta de la unión de las cromátidas hermanas de cada cromosoma doble, luego se originan cromosomas simples que migran hacia los polos opuestos.

La ruptura de los cromosomas dobles se debe a la activación del **APC** (complejo promotor de la anafase), cuya acción desencadena indirectamente la separación de las **cohesinas** (proteínas), que mantienen unidas las cromátidas hermanas de los cromosomas dobles.

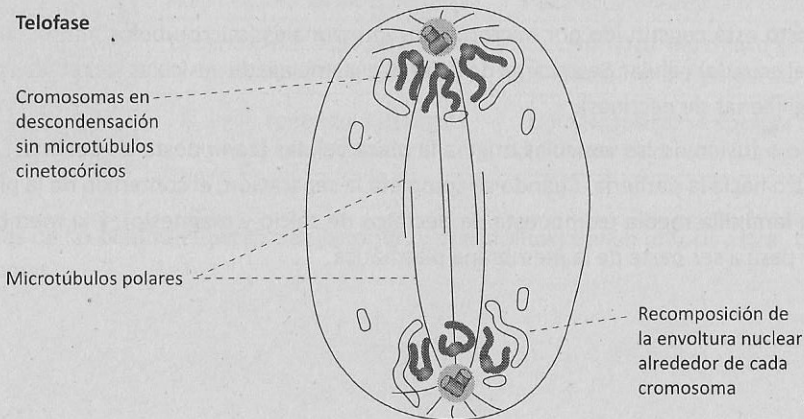
Luego de la formación de cromosomas simples sobreviene el acortamiento de las fibras cromosómicas del huso (anafase A) y el alargamiento de las fibras no cromosómicas del huso (anafase B), cuya consecuencia es la migración de los cromosomas hijos o simples (cromátidas hermanas) hacia los polos opuestos de la célula, proceso llamado disyunción.



### 3.5. TELOFASE

Los cromosomas se descondensan originando fibras de cromatina; luego, estas son rodeadas por sáculos del retículo endoplasmático que regeran la carioteca. Este proceso requiere de la desfosforilación de la laminina, evento que favorece la regeneración de las láminas nucleares.

También reaparecen los nucléolos por acción de los reorganizadores nucleolares (RON), que se encuentran en los cromosomas sat.

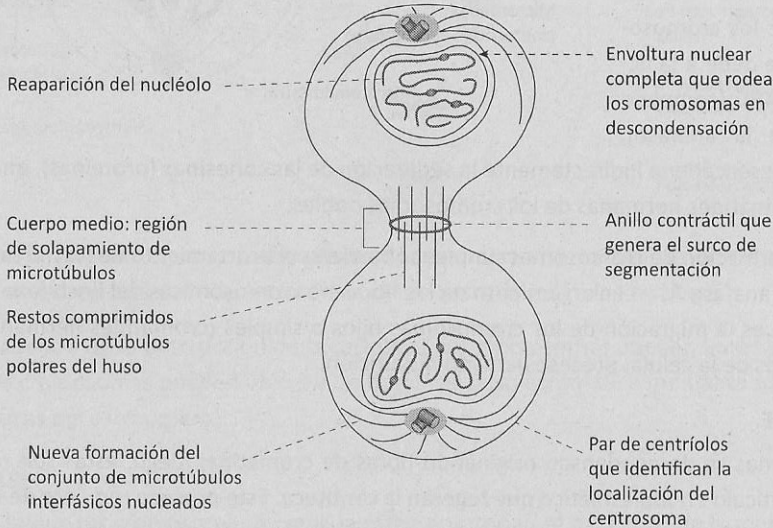


### 3.6. CITOCINESIS

La división del citoplasma en las células animales se debe al anillo contráctil.

El **anillo contráctil** está compuesto de filamentos de actina y filamentos de miosina superpuestos. El anillo se une a la hoja P (interna) de la membrana citoplasmática. Su contracción consume ATP y se contrae generando un surco que se profundiza y divide a la célula madre en dos células hijas.

#### Citocinesis animal

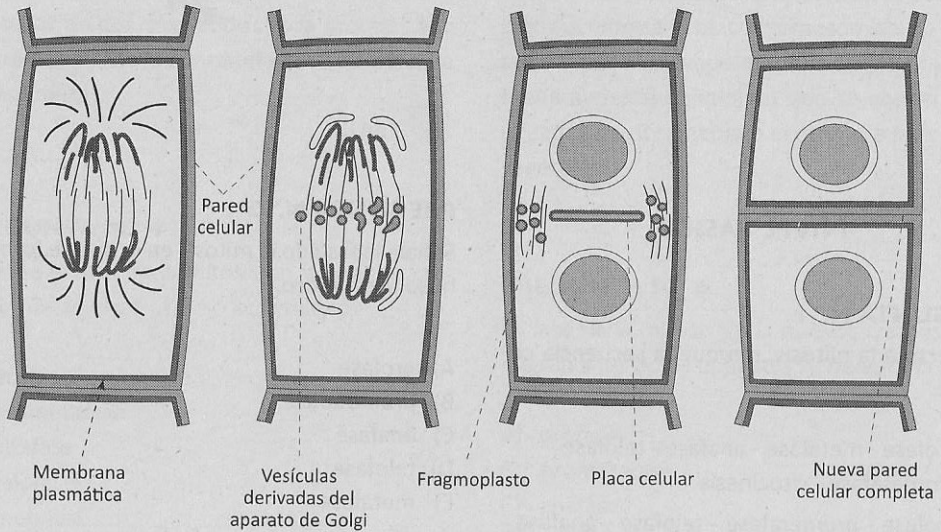


En las células vegetales, la citocinesis está a cargo del fragmoplasto, que se forma en la anafase o en su defecto en la telofase.

El **fragmoplasto** está constituido por microtúbulos interzonales (microtúbulos interpolares) que se localizan en el ecuador celular. Se encarga de guiar el ensamblaje de vesículas secretadas por el complejo de Golgi (llenas de pectinas).

El ensamblaje o fusión de las vesículas origina la **placa celular** (compuesta de pectinas), que crece desde el centro hacia la periferia. Cuando se completa la separación, el contenido de la placa celular pasa a ser la **laminilla media** (compuesta de pectatos de calcio y magnesio), y la membrana de la placa celular pasa a ser parte de la membrana plasmática.

Citocinesis vegetal



	Mitosis animal típica	Mitosis vegetal típica
<b>Cariocinesis</b>	Mitosis astral o anfiastral (con ásteres)	Mitosis anastral (sin ásteres)*
	Los centrosomas originan el huso acromático.	Los casquetes polares originan el huso acromático.
	Con aparato mitótico	Sin aparato mitótico
	Anillo ecuatorial en la metafase	Placa ecuatorial en la metafase
<b>Citocinesis</b>	Es centrípeta, de la periferia de la célula hacia el centro.	Es centrífuga, del centro de la célula hacia la periferia.
	El anillo contráctil estrangula a la célula en dos.	El fragmoplasto se encarga de dirigir la división del citoplasma.

\* Las células de las plantas criptógamas (briofitas y pteridofitas) tienen mitosis astral, pues poseen centrosomas.

## PREGUNTAS RESUELTAS

### NIVEL BÁSICO

#### PREGUNTA N.º 1

Respecto a la mitosis, marque la secuencia correcta.

- A) profase - metafase - anafase - telofase - prometafase - citocinesis
- B) profase - prometafase - telofase - anafase - metafase - citocinesis
- C) prometafase - metafase - profase - telofase - citocinesis - anafase
- D) telofase - anafase - prometafase - metafase - profase - citocinesis
- E) profase - prometafase - metafase - anafase - telofase - citocinesis

#### Resolución

Desde el enfoque de la biología moderna, la mitosis es un proceso de división, que por fines de investigación ha sido dividida en las fases consecutivas siguientes: profase, prometafase, metafase, anafase, telofase y citocinesis.

La investigación de la mitosis es importante porque aporta a la oncología en la lucha contra el cáncer.

Una nemotecnia muy popular en el mundo "pre" es la frase:

Pro - prometo - meto - ana - te - llevaré al - cine

CLAVE **E**

#### PREGUNTA N.º 2

Señale la fase de la mitosis en la que se forma el huso acromático.

- A) profase
- B) prometafase
- C) anafase
- D) telofase
- E) metafase

#### Resolución

La fase de la mitosis en la que se forma el huso acromático es la **profase** o primera fase de la mitosis.

La formación del huso acromático en las células animales está a cargo de los centrosomas (centríolos); mientras que en las células de las plantas típicas es función de los casquetes polares.

CLAVE **A**

#### PREGUNTA N.º 3

Indique la etapa de la mitosis en la que se forman los cromosomas de dos cromátides.

- A) profase
- B) prometafase
- C) anafase
- D) telofase
- E) metafase

**Resolución**

La fase de la mitosis en la que se forman los cromosomas de dos cromátides es la profase; ello ocurre a partir de la cromatina que se condensa (se espiraliza).

CLAVE **A**

**PREGUNTA N.º 4**

¿Cuál es la fase de la mitosis en la cual los cromosomas se unen al huso acromático?

- A) profase
- B) prometafase
- C) anafase
- D) telofase
- E) metafase

**Resolución**

Los cromosomas se unen a las fibras del huso acromático mediante sus cinetocoros (placas proteicas del centrómero) durante la prometafase, que es una fase de transición entre la profase y la metafase.

Los cinetocoros son cuerpos compuestos de tubulinas alfa y beta.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 5**

En la ..... de la mitosis vegetal se forma la placa ecuatorial.

- A) profase
- B) prometafase
- C) anafase
- D) telofase
- E) metafase

**Resolución**

En la **metafase** de la mitosis vegetal se forma la placa ecuatorial o placa cromosómica. Se le llamó así por el elevado número de cromosomas (generalmente poliploide) que se ubican en el ecuador (región media o central) de las células vegetales.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 6**

La fase de la mitosis en la que los cromosomas migran a los polos opuestos se denomina

- A) profase.
- B) prometafase.
- C) anafase.
- D) telofase.
- E) metafase.

**Resolución**

Los cromosomas hijos o simples (cromátides hermanas) migran hacia los polos opuestos de la célula durante la anafase. En la anafase se duplica el número cromosómico a  $4n$ .

Se ha calculado que cada cromosoma migrante consume 10 ATP.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 7**

Durante la mitosis, el nucléolo se desintegra durante la ..... y reaparece en la .....

- A) profase - telofase
- B) prometafase - telofase
- C) anafase - prometafase
- D) telofase - metafase
- E) metafase - interfase

**Resolución**

Durante la mitosis, el nucléolo se desintegra durante la profase y reaparece en la telofase.

La desintegración del nucléolo ocurre por la condensación de la cromatina nucleolar.

La reaparición del nucléolo se debe a la descondensación de la cromatina; por ello a la cromatina nucleolar también se le llama RON o NOR reorganizador del nucléolo.

CLAVE **A**

**NIVEL INTERMEDIO****PREGUNTA N.º 8**

Señale cuál de las siguientes estructuras no forma parte del aparato mitótico.

- A) ásteres
- B) centríolos
- C) centrosomas
- D) huso acromático
- E) placa ecuatorial

**Resolución**

El aparato mitótico caracteriza a la mitosis animal a diferencia de la mitosis vegetal y está constituido por 2 centrosomas (cada centrosoma consta de 2 centríolos), 2 ásteres y el huso acromático.

Las células vegetales carecen de aparato mitótico, los casquetes polares originan el huso acromático.

Por lo tanto, la placa ecuatorial no es componente del aparato mitótico.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 9**

Los cromosomas se unen al huso por medio de

- A) satélites.
- B) telómeros.
- C) cinetocoros.
- D) centrómeros.
- E) constricciones secundarias.

**Resolución**

Los cromosomas se unen al uso por medio de cinetocoros. Los cinetocoros, llamados también placas del centrómero, son cuerpos proteicos ubicados generalmente en la constricción primaria o centrómero de los cromosomas eucariotas llamados nonocéntricos.

En las plantas fanerógamas generalmente se observa como una maraña circular de proteínas. En ciertos insectos homópteros, lepidópteros y en los arácnidos primitivos es difuso u holocéntrico.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 10**

La disyunción de las cromátides hermanas es un evento que ocurre en la

- A) profase.
- B) prometafase.
- C) metafase.
- D) anafase.
- E) telofase.

**Resolución**

La separación de las cromátides hermanas de un cromosoma doble o metafásico se denomina disyunción y ocurre durante la anafase.

Esta separación debe ser equitativa para que las células hijas tengan el mismo número cromosómico que la célula progenitora. Como consecuencia de la separación de las cromátides hermanas se da la duplicación del número cromosómico de  $2n$  a  $4n$ .

Sin embargo, en las plantas ciperáceas (pastos) y juncáceas (juncos) debido a centrómeros holocéntricos se genera mixopoliploidías.

CLAVE **D**

**PREGUNTA N.º 11**

En la división citoplasmática de las células animales participa el ....., que estrangula el citoplasma.

- A) ficoplasto
- B) fragmoplasto
- C) anillo contráctil
- D) cuerpo de Fleming
- E) corpúsculo huso polar

**Resolución**

En los protozoarios y en las células animales, la división del citoplasma se debe a la activación del **anillo contráctil**, que estrangula el citoplasma generando dos células hijas. El anillo contráctil está compuesto de proteínas mecánicas como la actina y la miosina, que se asocian a la cara P de la plasmalema (membrana tráctil).

Consumo ATP, lo que genera el deslizamiento de los microfilamentos de actina sobre los de miosina.

CLAVE **C**

**NIVEL AVANZADO****PREGUNTA N.º 12**

La ruptura de los cromosomas dobles se debe a la activación del

- A) ADN.
- B) ARN.
- C) APC.
- D) RON.
- E) MTOC.

**Resolución**

La ruptura de los cromosomas dobles o metafásicos (de dos cromátides hermanas) se debe a la activación del **APC** (complejo promotor de la anafase), cuya acción desencadena indirectamente la separación de las cohesinas (proteínas), que mantienen unidas a las cromátides hermanas de cada cromosoma doble.

Esta ruptura se da durante la anafase de la mitosis y antecede a los eventos de anafase A y anafase B.

CLAVE **C**

**PREGUNTA N.º 13**

La carioteca se desorganiza durante la prometáfase como consecuencia de la

- A) condensación de la cromatina.
- B) formación del huso acromático.
- C) unión de los cromosomas al huso.
- D) fosforilación de la laminina.
- E) formación de los cromosomas dobles.

**Resolución**

La carioteca se desorganiza como consecuencia de la destrucción de la lámina nuclear causada por la **fosforilación de la laminina** (principal proteína componente de la lámina nuclear).

Este proceso es activado por el FPM (factor promotor de la mitosis).

CLAVE **D**

## PREGUNTAS PROPUESTAS

### NIVEL BÁSICO

- En los organismos unicelulares eucariotas, la mitosis es importante porque es la base de la
  - ovogénesis.
  - gametogénesis animal.
  - reproducción sexual.
  - reproducción asexual.
  - regeneración tisular.
- La formación del aparato mitótico es un evento que ocurre en la
  - profase.
  - prometafase.
  - anafase.
  - telofase.
  - metafase.
- El estudio del cariotipo de un organismo implica el análisis de la
  - profase.
  - prometafase.
  - anafase.
  - telofase.
  - metafase.
- ¿Cuáles son las dos etapas antagónicas de la mitosis?
  - profase y metafase
  - metafase y anafase
  - profase y prometafase
  - profase y telofase
  - prometafase y telofase
- En la citocinesis vegetal, la fusión de vesículas derivadas del aparato de Golgi da origen inmediato
  - al apoplasto.
  - al sacodermo.
  - a la placa celular.
  - a la pared celular.
  - a la laminilla media.
- La etapa de la mitosis en la cual se reparten equitativamente los cromosomas se denomina
  - profase.
  - prometafase.
  - anafase.
  - telofase.
  - metafase.
- Los cromosomas se unen a las fibras del huso acromático por medio de
  - los cinetocoros.
  - los telómeros.
  - los satélites.
  - los cromómeros.
  - las asas de Balbiani.

8. En la citocinesis animal, el anillo contráctil que estrangula el citoplasma está compuesto de

- A) actina y miosina.
- B) cinesinas y nexinas.
- C) colágeno y queratina.
- D) tubulinas y dineínas.
- E) dineínas y cinesinas.

### NIVEL INTERMEDIO

9. Relacione ambas columnas con respecto a la mitosis.

- I. metafase
- II. telofase
- III. prometafase
- IV. anafase

- ( ) disyunción de cromosomas
- ( ) desintegración de la carioteca
- ( ) reorganización del nucléolo
- ( ) formación de la placa ecuatorial

- A) IV, III, I, II
- B) IV, II, III, I
- C) I, III, II, IV
- D) IV, III, II, I
- E) III, IV, II, I

10. Si las células humanas tienen un número cromosómico de  $2n=46$  cromosomas, ¿cuántas cromátides hermanas encontraremos en la anafase?

- A) 46
- B) 23
- C) 92
- D) 115
- E) 138

11. Indique verdadero (V) o falso (F) según corresponda.

- I. Los cromosomas metafásicos tienen dos cromátides hermanas.
- II. Los cromosomas anafásicos llevan una sola cromátide.
- III. La citocinesis animal se da por contracción de un anillo de actina y miosina.
- IV. En la citocinesis vegetal, el aparato de Golgi origina el fragmoplasto.

- A) FFVF
- B) VVVF
- C) VVVV
- D) VFFF
- E) FVFF

### NIVEL AVANZADO

12. Las células madre que se localizan en el *cambium* suberofelodérmico se reproducen activamente por

- A) mitosis anfiastral.
- B) meiosis espórica.
- C) mitosis astral.
- D) meiosis terminal.
- E) mitosis anastral.

13. La duplicación de la estructura cromosómica se da durante la .....; mientras que la duplicación del número cromosómico ocurre en la .....

- A) profase - mitosis intranuclear
- B) metafase - paramitosis
- C) profase - prometafase
- D) intermitosis - anafase
- E) prometafase - endomitosis

# MEIOSIS

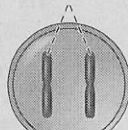
## 1 DEFINICIÓN

Desde el punto de vista amplio, es un tipo especial de división celular en la que se generan cuatro células hijas haploides (N) a partir de una célula madre diploide (2N). En la meiosis (del griego que significa 'disminuir') se reduce el número cromosómico a la mitad.

Desde el punto de vista estricto, es la división reduccional del núcleo celular en un organismo sexuado que origina núcleos hijos con la mitad del número cromosómico del núcleo original del meiocito (célula madre).

### Interfase

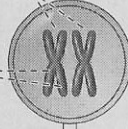
Par de cromosomas homólogos en una célula progenitora diploide



Los cromosomas se replican.

Par de cromosomas homólogos replicados

Cromátides hermanas



Célula diploide con cromosomas replicados (dobles)

### Meiosis I

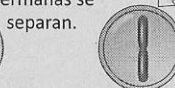
1 Los cromosomas homólogos se separan.



Células haploides con cromosomas replicados (dobles)

### Meiosis II

2 Las cromátides hermanas se separan.



Células haploides con cromosomas no replicados (simples)

## 2 IMPORTANCIA

La meiosis es la base de la reproducción sexual, una de las causas de variabilidad dentro de los miembros de una misma especie (genodiversidad).

De acuerdo a la teoría neodarwinista, es un factor interno de la evolución biológica de los organismos eucariotas (seres con núcleo celular).

### 2.1. EN LOS PROTOZOARIOS

En los paramecios (protozoarios ciliados), la meiosis es parte de dos procesos que causan genodiversidad: la autogamia y la conjugación.

La autogamia es un mecanismo de reorganización nuclear (genética): el micronúcleo ( $2N$ ) de un paramecio realiza meiosis generando cuatro núcleos haploides ( $N$ ), luego dos de ellos degeneran y, finalmente, los dos que quedan se fusionan formando un nuevo micronúcleo diploide ( $N$ ).

La conjugación es un mecanismo parasexual que se da entre dos paramecios: el micronúcleo ( $2N$ ) de cada paramecio realiza meiosis generando cuatro núcleos haploides ( $N$ ), luego dos de ellos degeneran, a continuación los dos paramecios intercambian un micronúcleo haploide a través de su citostoma (boca celular). Finalmente, dentro de cada paramecio, los núcleos haploides (el propio y el del otro) se fusionan generando nuevos núcleos diploides.

### 2.2. ESPOROGÉNESIS

En los hongos (excepto deuteromicetos o *fungi imperfecti*) y en las plantas anfibias (briofitas) y terrestres (traqueofitas), la meiosis permite la formación de esporas sexuales. Por ello a la meiosis vegetal se le llama esporica.

### 2.3. GAMETOGÉNESIS

En los animales, la meiosis es llamada gamética porque es una etapa de la formación de los gametos (gametogénesis animal), también se le llama meiosis terminal porque las células han completado su división y pierden esta capacidad.

## 3 ETAPAS

El proceso de meiosis consta de dos divisiones sucesivas que producen cuatro células sexuales o gametos (en los animales), o esporas sexuales (en las plantas). En las hembras solo una de las cuatro células formadas es funcional, las otras degeneran. En algunos organismos hay una etapa intermedia denominada intercinesis.

### 3.1. MEIOSIS I

La primera división meiótica es una división reductiva que produce dos células haploides ( $N$ ) a partir de una sola célula diploide ( $2N$ ), por ello se le llama meiosis reduccional.

### 3.1.1. Profase I

Es la fase más compleja de la meiosis. En el hombre, la meiosis puede durar 24 días y solo la profase I dura de 13 a 14 días. Esta fase compleja presenta cinco periodos.

#### a. Leptonema o leptoteno (leptos=delgado; nema=filamento)

Los filamentos delgados de cromatina empiezan a condensarse (se superenrollan) generando engrosamientos denominados cromómeros. Luego se transforman en cromosomas.

Generalmente, los cromosomas se polarizan adhiriéndose mediante sus telómeros (extremos) a una región de la envoltura nuclear (próxima a los centrosomas) adoptando la forma de un ramillete de flores denominado **bouquet**.

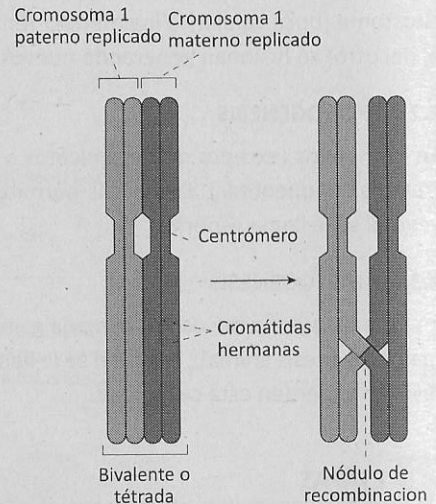
#### b. Zigonema o zigoteno (zigo=adjunto, unión)

Los cromosomas homólogos hacen **sinapsis**; es decir, se aparean, colocándose uno al lado del otro. Entre los cromosomas apareados se forma una estructura llamada complejo sinaptonémico. El **complejo sinaptonémico** es un armazón de proteínas fibrosas con apariencia de escalera que estabiliza el apareamiento de los cromosomas homólogos.

#### c. Paquinema o paquíteno (paqui=grueso)

Los cromosomas homólogos están tan unidos que parecería que la célula presenta un único juego de cromosomas; sin embargo, cada unidad es un **bivalente** (por estar formado por dos cromosomas) o **tétrada** (por constar de cuatro cromátides). Los cromosomas homólogos forman **nódulos de recombinación**, a través de los cuales realizan el *crossing over* (recombinación genética o entrecruzamiento).

El **crossing over** es un proceso de intercambio de pequeños segmentos de cromatina (genes). Es importante porque es una de las causas de la variabilidad de los gametos y, por ende, de las poblaciones con reproducción sexual.



#### d. Diplonema o diploteno (diplo=doble)

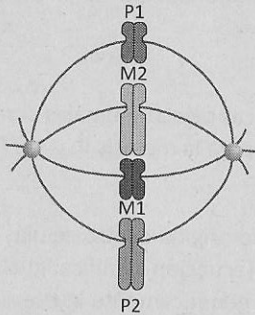
Los cromosomas apareados empiezan a separarse manteniendo puntos de unión con forma de cruz llamados quiasmas (*khiasma* 'cruz').

#### e. Diacinesis (dia = a través de, cinesis=movimiento)

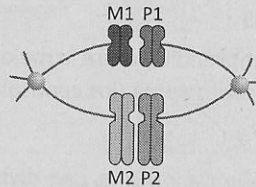
El número de quiasmas se reduce hasta que solo queden los quiasmas terminales que mantienen unidos a los cromosomas hasta el final de la metafase I.

### 3.1.2. Metafase I

Las parejas de cromosomas homólogos se desplazan hacia el centro de la célula y se alinean en esa región de la célula formando la doble placa ecuatorial o placa ecuatorial de tétradas.



Placa metafásica en la mitosis: los cromosomas homólogos actúan en forma independiente.

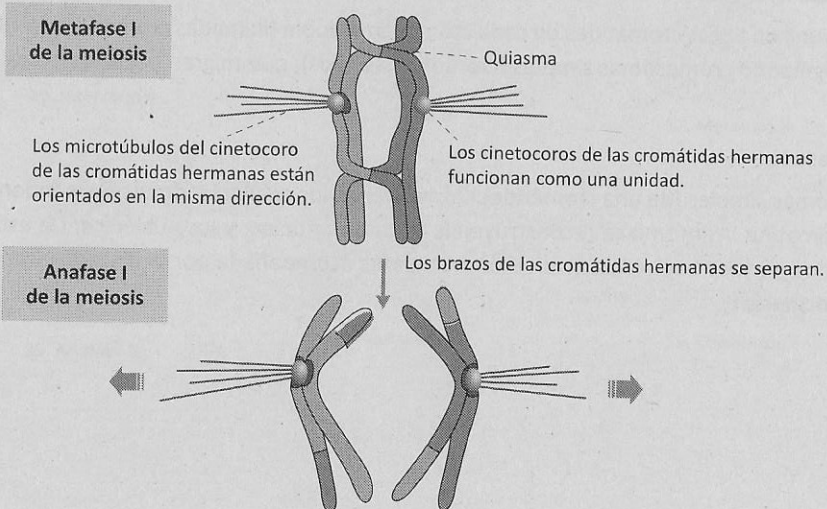


Placa metafásica en la meiosis: los cromosomas homólogos están apareados.

### 3.1.3. Anafase I

Se lleva a cabo la **disyunción I** (disyunción significa separación), en la cual los cromosomas homólogos se separan y migran hacia los polos celulares opuestos. Esta migración se debe al acortamiento de las fibras del huso.

La disyunción no es perfecta, en ocasiones los cromosomas homólogos no se separan, fenómeno llamado **no disyunción**. La no disyunción es más frecuente en la mujer (10% de gametos) que en el varón, y es una de las causas de abortos espontáneos así como del nacimiento de niños afectados por el síndrome de Down (la aneuploidía de mayor recurrencia).





#### **3.1.4. Telofase I**

Los cromosomas llegan a los polos opuestos, luego se descondensan transformándose nuevamente en cromatina. Más adelante se reorganizan tanto la carioteca como los nucléolos. De esta manera se forman dos núcleos haploides. La división nuclear es acompañada por la división citoplasmática llamada citocinesis I.

#### **3.2. INTERCINESIS**

Es un proceso comprendido entre la meiosis I y la meiosis II. Las células animales aumentan su tamaño y duplican su centrosoma (los centríolos), preparándose para la meiosis II.

#### **3.3. MEIOSIS II**

La segunda división meiótica es una división ecuacional que origina cuatro células haploides (N) a partir de dos células haploides (N). Se le llama ecuacional (ecuación significa igualdad) porque las células que hacen la meiosis II y las células hijas finales son genéticamente iguales, es decir, haploides (N).

Para muchos biólogos celulares, la meiosis II es como una mitosis, porque en esta división no hay recombinación genética.

##### **3.3.1. Profase II**

Se desorganiza la envoltura nuclear y los nucléolos, la cromatina se condensa formando los cromosomas dobles (que constan de dos cromátides unidos a nivel de sus centrómeros).

##### **3.3.2. Metafase II**

Los cromosomas dobles se unen a las fibras del huso acromático mediante sus cinetocoros y se alinean en la región central de la célula formando una placa ecuatorial.

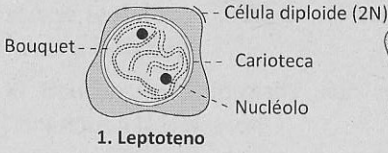
##### **3.3.3. Anafase II**

Se da la disyunción II. Las cromátides de cada cromosoma doble (llamadas cromátides hermanas) se separan, originando cromosomas simples (cromosomas hijos), que migran hacia los polos opuestos de la célula.

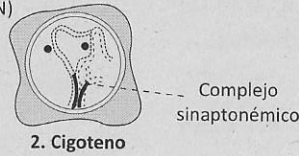
##### **3.3.4. Telofase II**

Los cromosomas simples (de una cromátide) llegan a los polos celulares, donde descondensan regenerando cromatina. Asimismo se reconstruyen la envoltura nuclear y los nucléolos. De esta manera se forman dos núcleos haploides. La división nuclear es acompañada por la división citoplasmática llamada **citocinesis II**.

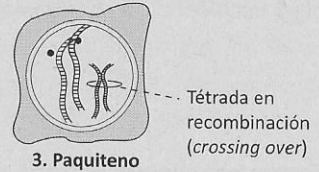
**Etapas de la meiosis animal**



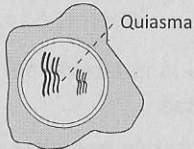
**1. Leptoteno**



**2. Cigoteno**



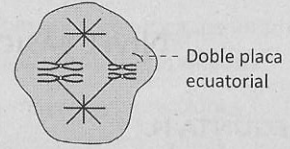
**3. Paquiteno**



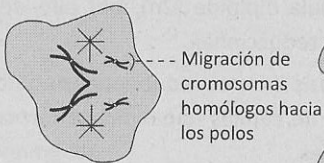
**4. Diploteno**



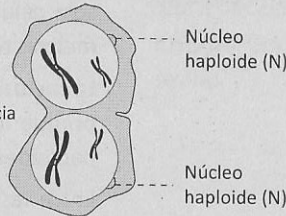
**5. Diacinesis**



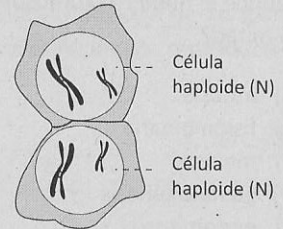
**6. Metafase I**



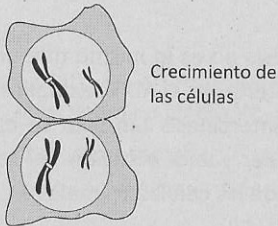
**7. Anafase I**



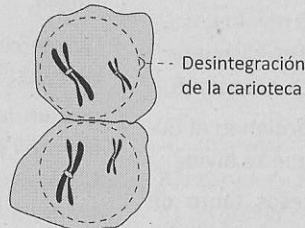
**8. Telofase I**



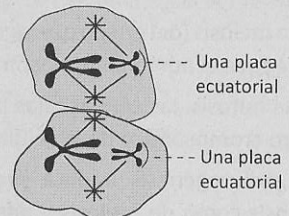
**9. Citocinesis I**



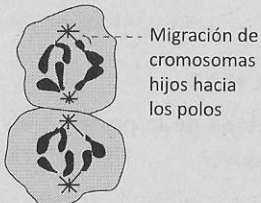
**10. Intercinesis**



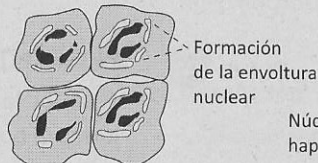
**11. Profase II**



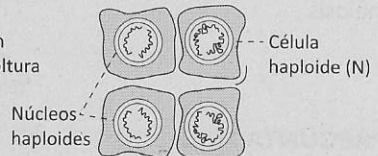
**12. Metafase II**



**13. Anafase II**



**14. Telofase II**



**15. Citocinesis II**

# PREGUNTAS RESUELTAS

## NIVEL BÁSICO

### PREGUNTA N.º 1

¿Cuál es el tipo de división celular en el que se reduce el número cromosómico de la especie a la mitad?

- A) mitosis
- B) fisión binaria
- C) meiosis
- D) gametogénesis
- E) endomitosis

#### Resolución

En la meiosis (del griego que significa 'disminuir') se reduce el número cromosómico a la mitad.

En la mitosis, las células hijas mantienen el número cromosómico de la célula que se divide.

La gametogénesis implica procesos tanto de mitosis como de meiosis y diferenciación celular; por ello, gametogénesis no es lo mismo que meiosis.

CLAVE **C**

### PREGUNTA N.º 2

¿En qué etapa de la meiosis se reduce el número cromosómico a la mitad?

- A) interfase
- B) meiosis I
- C) meiosis II
- E) intermitosis
- D) intercinesis

#### Resolución

En la meiosis I se da la reducción del número cromosómico a la mitad.

La meiosis I es una división reductiva que produce dos células haploides ( $n$ ) a partir de una sola célula diploide ( $2n$ ); por ello, se le llama meiosis reductiva.

La meiosis II no es reductiva sino ecuacional, porque de células haploides se forman células haploides.

Entre las dos divisiones a veces se encuentra una etapa intermedia a la que se le llama intercinesis.

La intercinesis no es lo mismo que una interfase. En las interfases, el ADN se duplica; mientras que en la intercinesis tan solo se da el crecimiento celular y la duplicación del centrosoma (en el caso de las células animales).

CLAVE **B**

### PREGUNTA N.º 3

¿Cuál es la etapa de la profase I en la que se forma el bouquet?

- A) leptonema
- B) zigonema
- C) paquinema
- D) diplonema
- E) diacinesis

**Resolución**

El bouquet (cuerpo con forma de ramo de flores) se forma en la profase I, estadio de leptotema o leptoteno.

El bouquet está formado por cromosomas adheridos a la carioteca.

Los cromosomas se adhieren a la carioteca mediante sus telómeros.

CLAVE **A**

**PREGUNTA N.º 4**

La sinapsis entre los cromosomas homólogos ocurre en

- A) el leptotema.
- B) el zigotema.
- C) el paquinema.
- D) el diplonema.
- E) la diacinesis.

**Resolución**

La sinapsis entre los cromosomas homólogos ocurre en el zigotema o cigoteno.

La sinapsis de cromosomas es el apareamiento de cromosomas homólogos, que llevan genes alelos, de la misma especie. Entre los cromosomas apareados se forma una estructura llamada complejo sinaptonémico.

CLAVE **B**

**PREGUNTA N.º 5**

El *crossing over* es importante porque

- A) permite el crecimiento.
- B) favorece la regeneración celular.
- C) es el mecanismo de reproducción en los unicelulares.

- D) en los pluricelulares permite reparar los tejidos.
- E) es la causa principal de la variabilidad de los gametos.

**Resolución**

El *crossing over*, llamado también entrecruzamiento o recombinación genética, es un proceso que diferencia la mitosis de la meiosis.

Mientras que la mitosis genera clones (células idénticas), la meiosis genera células variables por el *crossing over*, lo cual es importante porque es la causa de la variabilidad de los gametos y por ende de las especies con reproducción sexual.

CLAVE **E**

**PREGUNTA N.º 6**

La migración de cromosomas hacia polos opuestos se denomina

- A) disyunción.
- B) conjunción.
- C) *crossing over*.
- D) fagocitosis.
- E) pinocitosis.

**Resolución**

La disyunción (disyunción significa separación) es el proceso de migración de los cromosomas hacia los polos celulares opuestos.

Esta migración se debe al acortamiento de las fibras del huso.

CLAVE **A**

## NIVEL INTERMEDIO

### PREGUNTA N.º 7

Si las células somáticas de las gallinas tienen 78 cromosomas, señale cuántos cromosomas tendrá un óvulo de gallina.

- A) 78                      B) 39                      C) 18  
D) 9                        E) 3

#### Resolución

Si las células somáticas de las gallinas tienen 78 cromosomas (2n), entonces la ovogonia (célula madre del óvulo) tendrá también 78 cromosomas (2n).

De otro lado, el óvulo de gallina tendrá 39 cromosomas simples (n) debido a la reducción del número cromosómico a la mitad.

CLAVE **B**

### PREGUNTA N.º 8

El *crossing over* se realiza durante la profase I, estadio de

- A) leptoteno.                      B) zigoteno.  
C) paquiteno.  
D) dictioteno.                      E) diacinesis.

#### Resolución

El *crossing over* se realiza durante la profase I, estadio de paquiteno (paquinema).

Durante la profase II, al no haber pares de cromosomas no ocurre *crossing over*.

CLAVE **C**

### PREGUNTA N.º 9

La placa ecuatorial de tétradas se observa durante la

- A) metafase.                      B) citocinesis.  
C) metafase I.  
D) profase I.                      E) metafase II.

#### Resolución

La placa ecuatorial de tétradas se observa durante la metafase I.

Esto se debe a que los cromosomas homólogos al final de la profase I se mantenían unidos por medio de sus quiasmas terminales.

CLAVE **C**

### PREGUNTA N.º 10

Indique en qué etapa de la meiosis se da la migración de los cromosomas hijos hacia los polos opuestos.

- A) anafase I  
B) anafase II  
C) metafase I  
D) metafase II  
E) telofase II

#### Resolución

En la anafase II se da la disyunción II. Las cromátides de cada cromosoma doble (llamadas cromátides hermanas) se separan, originando cromosomas simples o cromosomas hijos, que migran hacia los polos opuestos de la célula.

CLAVE **B**

## NIVEL AVANZADO

### PREGUNTA N.º 11

En la microsporogénesis vegetal, la meiosis da lugar a

- A) la célula del tubo.
- B) las microsporas.
- C) los granos de polen.
- D) la célula vegetativa.
- E) la célula generativa.

#### Resolución

Se le llama microsporogénesis al proceso de formación de gametos masculinos en las plantas angiospermas (con flores típicas).

En la microsporogénesis a partir de la célula madre de la microspora o microsporocito ( $2n$ ) se forman cuatro microsporas ( $n$ ). Luego mediante la mitosis se formará el polen.

CLAVE **B**

### PREGUNTA N.º 12

Es el requisito más importante para que tenga lugar el entrecruzamiento.

- A) la mutación del ADN
- B) el proceso de fecundación
- C) el evento de ovulación
- D) la traducción de la información genética
- E) el apareamiento de cromosomas homólogos

#### Resolución

El apareamiento de cromosomas homólogos es el requisito más importante para que tenga lugar el entrecruzamiento y con ello la meiosis.

Las mulas que son organismos híbridos interespecíficos son estériles porque carecen de cromosomas homólogos, ya que tienen cromosomas de burros y de yeguas, que son especies distintas.

CLAVE **E**

### PREGUNTA N.º 13

Cada individuo es único, de genoma personalizado (exclusivo) debido

- A) a la clonación.
- B) al *crossing over*.
- C) a la no disyunción.
- D) a la mitosis.
- E) a la duplicación del ADN.

#### Resolución

Cada uno de nosotros somos únicos como consecuencia del *crossing over*.

Pero el hombre no es solo bios (biológico) sino un ser biopsicosocial. Tenemos diferencias psíquicas, culturales y políticas que debemos aprender a respetar.

Los estudios aportados por la biología molecular han demostrado, además, que nuestra distancia génica (diferencias en el ADN) es mínima, que no existen razas humanas.

Tratemos de hacer de nuestras discrepancias y diferencias el motor del desarrollo social, puesto que todos somos *Homo sapiens sapiens* nos merecemos las mismas oportunidades.

CLAVE **B**



## PREGUNTAS PROPUESTAS



### NIVEL BÁSICO

1. La meiosis, a diferencia de la mitosis,
  - A) reduce el número a la cuarta parte.
  - B) duplica el número cromosómico.
  - C) mantiene el número cromosómico.
  - D) se presenta en células somáticas.
  - E) reduce el número cromosómico a la mitad.
2. La importancia biológica de la meiosis radica en
  - A) producir clones celulares.
  - B) permitir la uniformidad genética.
  - C) permitir regenerar tejidos vegetales.
  - D) favorecer el crecimiento de los seres sexuados.
  - E) generar variabilidad genética.
3. Proceso de la meiosis en el cual las cromátidas se desplazan hacia los polos opuestos.
  - A) sinapsis
  - B) disyunción I
  - C) disyunción II
  - D) entrecruzamiento
  - E) recombinación genética
4. El paquiteno suele ser una etapa muy larga. Puede durar días e inclusive semanas y durante este lapso
  - A) se observa el bouquet.
  - B) se observan los quiasmas.
  - C) se da la recombinación genética.
  - D) los cromosomas hacen disyunción.
  - E) se forma el complejo sinaptonémico.
5. ¿En qué etapa de la profase I se observan los quiasmas?
  - A) leptonema
  - B) zigonema
  - C) paquinema
  - D) diplonema
  - E) diplonema y diacinesis

### NIVEL INTERMEDIO

6. La formación del huso acromático durante la mitosis y la meiosis vegetal es función
  - A) de los centríolos.
  - B) del fragmoplasto.
  - C) de los casquetes polares.
  - D) del corpúsculo huso polar.
  - E) de los corpúsculos pericentriolares.

7. Si las células humanas tienen un número cromosómico de  $2n=46$  cromosomas, ¿cuántas cromátides hermanas encontraremos en la anafase II?
- A) 46            B) 92            C) 23  
D) 69            E) 184
11. Los hongos que no hacen meiosis y, por lo tanto, carecen de reproducción sexual se clasifican como
- A) ascomicetos.  
B) basidiomicetos.  
C) deuteromicetos.  
D) zigomicetos.  
E) ficomicetos.

### NIVEL AVANZADO

8. La meiosis en los animales de sexo masculino culmina en
- A) la espermatíde.  
B) el espermatozoide.  
C) la espermatogonia.  
D) el espermatozito primario.  
E) el espermatozito secundario.
9. La estructura que participa en el apareamiento de los cromosomas sexuales X y Y a nivel del RPA se denomina
- A) quiasma.  
B) bouquet.  
C) tétrada.  
D) bivalente.  
E) complejo sinaptonémico.
10. Las células que realizan meiosis en los organismos con reproducción sexual se denominan
- A) germinativas.  
B) somáticas.  
C) gametos.  
D) sexuales.  
E) corporales.
12. La meiosis a diferencia de la mitosis origina células con un valor de cromatina de
- A) 1C.  
B) 2C.  
C) 3C.  
D) 4C.  
E) 8C
13. Señale el animal que forma espermatozoides pero no realiza meiosis.
- A) el oso de anteojos  
B) el zángano  
C) la hiena  
D) el topo  
E) la ballena
14. Señale la planta que ha perdido la meiosis masculina.
- A) el plátano  
B) el chocho  
C) el ichu  
D) el huarango  
E) la puya de Raimondi

# Claves

## CÉLULA EUCARIOTA

NIVEL BÁSICO	1-9
NIVEL INTERMEDIO	10-12
NIVEL AVANZADO	13-14

1 D	4 C	7 B	10 C	13 C
2 D	5 D	8 B	11 C	14 E
3 C	6 C	9 C	12 D	

## TRANSPORTE A TRAVÉS DE LA MEMBRANA

NIVEL BÁSICO	1-5
NIVEL INTERMEDIO	6-10
NIVEL AVANZADO	11-15

1 D	4 C	7 B	10 C	13 C
2 D	5 D	8 B	11 C	14 E
3 C	6 C	9 C	12 D	

## FOTOSÍNTESIS

NIVEL BÁSICO	1-7
NIVEL INTERMEDIO	8-14
NIVEL AVANZADO	15-16

1 E	4 A	7 B	10 C	13 B
2 C	5 C	8 D	11 B	14 C
3 C	6 A	9 E	12 D	15 E
				16 D

## RESPIRACIÓN CELULAR

NIVEL BÁSICO	1-5
NIVEL INTERMEDIO	6-9
NIVEL AVANZADO	10-14

1 E	4 B	7 C	10 B	13 E
2 A	5 C	8 C	11 C	14 D
3 E	6 E	9 A	12 B	

### CICLO CELULAR

1 B	4 A	7 C	10 D	13 C
2 C	5 D	8 B	11 C	14 A
3 B	6 D	9 B	12 B	15 C
				16 B

NIVEL BÁSICO	1-7
NIVEL INTERMEDIO	8-11
NIVEL AVANZADO	12-16

### FLUJO DE LA INFORMACIÓN GENÉTICA

1 E	4 B	7 B	10 D	13 C
2 E	5 C	8 C	11 A	
3 B	6 D	9 C	12 A	

NIVEL BÁSICO	1-6
NIVEL INTERMEDIO	7-11
NIVEL AVANZADO	12-13

### MITOSIS

1 D	4 D	7 A	10 C	13 D
2 A	5 C	8 A	11 B	
3 E	6 C	9 D	12 E	

NIVEL BÁSICO	1-8
NIVEL INTERMEDIO	9-11
NIVEL AVANZADO	12-13

### MEIOSIS

1 E	4 C	7 A	10 A	13 B
2 E	5 E	8 A	11 C	14 A
3 C	6 C	9 E	12 A	

NIVEL BÁSICO	1-5
NIVEL INTERMEDIO	6-7
NIVEL AVANZADO	8-14



# BIBLIOGRAFÍA

- ALBERTS, Bray; HOPKIN, Johnson; LEWIS, Raff y Walter ROBERTS. *Introducción a la biología celular*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana, 2006.
- ANDREO, Carlos y Rubén VALLEJOS. *Fotosíntesis*. Washington D.C.: Secretaría General de la OEA, 1984.
- ASIMOV, Isaac. *Fotosíntesis*. Madrid: Ediciones Orbis, S.A., 1985.
- BASILE, Renato. *A vida da célula*. Washington D.C.: Secretaría General de la OEA, 1968.
- BERKALOFF, Andre. *Biología y fisiología celular*. Barcelona: Editorial Omega, 1981.
- BOHINSKI, Robert. *Bioquímica*. Wilmington: Addison-Wesley Iberoamericana, S.A., 1991.
- CHARLOTTE, J. Avers. *Biología celular*. México: Editorial Iberoamericana, 1992.
- GARCÍA, Roberto. *¿Qué es la diferenciación celular?* Washington D.C.: Secretaría General de la OEA, 1983.
- JACOB, MONOD, CALVIN, TATUM, BRACHET y PRIGOGINE. *Biología molecular*. Selecciones de la Recherche. Madrid: Ediciones Orbis, S.A., 1986.
- KARP, Gerald. *Biología celular*. México: Editorial McGraw-Hill Interamericana, 1996.
- KORDON, Claude. *El lenguaje de las células*. Madrid: Alianza Editorial, 1994.
- LEHNINGER, Albert. *Bioquímica, las bases moleculares de la estructura y función celular*. Barcelona: Ediciones Omega, S.A., 1987.
- MURRAY, Robert. *Bioquímica de Harper*. México: Editorial El Manual Moderno, 1992.
- PANIAGUA, Ricardo. *Citología e histología animal y vegetal*. Madrid: Editorial McGraw-Hill Interamericana, 1997.
- ROBERTIS, E.; HIB, J. y R. PONZIO. *Biología celular y molecular*. Buenos Aires: Editorial El Ateneo, 2001.
- SADAVA, D.; HELLER, G.; ORINAS, G.; PURVES, W. y D. HILLIS. *Vida. La ciencia de la biología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana, 2008.
- SHEELER, Phillip. *Biología celular*. México: Editorial Limusa, 1993.
- STRYER, Lubert. *Bioquímica*. Madrid: Editorial Reverte, S.A., 1995.
- SWANSON, Carl P. *La célula*. México: Editorial Uteha, 1979.
- VILLAVICENCIO, Marino. *Bioquímica*. Lima: Concytec, 1994.