



## CARACTERÍSTICAS DE LOS SERES VIVOS

La biología es la ciencia que se ocupa del estudio de los seres vivos. Pero ¿Qué son los seres vivos? Para definir que es un ser vivo se debe tener en cuenta que todos ellos poseen una serie de características en común y que les son propias. Estas características son:

- **Organización específica:** La teoría celular establece que todos los organismos están formados por células.
- **Metabolismo:** representa la suma de todas las reacciones químicas esenciales para la nutrición, el crecimiento y la reparación de las células, así como para la conversión de la energía en formas utilizables. En el momento que estas reacciones se suspenden se dice que el organismo está muerto.
- **Homeostasis:** son los mecanismos que permiten al organismo mantener un estado de equilibrio a través de la regulación y control de las reacciones metabólicas. En este sentido el organismo vivo puede regular su medio interno en respuesta a estímulos externos y/o internos.
- **Crecimiento:** se define como el incremento de la cantidad de materia viva en el organismo. Por lo tanto, el crecimiento, aunque a veces imperceptible, es un aumento en la masa celular, como resultado del incremento de tamaño de las células individuales, del incremento en el número de células o de ambos.
- **Movimiento:** El movimiento puede ser obvio como en el caso de los animales (locomoción) o menos evidente, como por ejemplo el flujo sanguíneo en animales o el flujo de agua y productos fotosintéticos en las plantas.
- **Irritabilidad:** los seres vivos reaccionan a los estímulos, que son cambios físicos y químicos en su ambiente externo o interno. En los animales esta característica es más obvia que en las plantas, pero todos los organismos tienen la capacidad de reaccionar a los estímulos. Los estímulos pueden ser de distinto tipo, cambio de color, dirección e intensidad de la luz, temperatura, composición química del suelo.
- **Reproducción:** “toda la vida proviene exclusivamente de los seres vivos preexistentes”. Los sistemas vivos son capaces de producir otros sistemas similares a

ellos, dotados de esa misma capacidad. La reproducción conlleva un sistema de transmisión de la información: la herencia. Sin esta capacidad, no podrían persistir en el tiempo, generación tras generación. Existen dos mecanismos de reproducción, asexual y sexual. Esta última involucra a más de un individuo y por lo tanto es la fuente de la variación genética sobre la cual actúan los procesos vitales de la evolución y la adaptación.

- **Adaptación:** son los rasgos que incrementan la capacidad de sobrevivir en un ambiente determinado. Dichas adaptaciones pueden ser estructurales, fisiológicas o de conducta, o una combinación de ellas. La adaptación trae cambios en la especie más que en el individuo en particular. Por ello la mayor parte de las adaptaciones se dan durante períodos prolongados de tiempo y en ellas intervienen varias generaciones. Las adaptaciones son consecuencia de la evolución.

## **ORGANIZACIÓN DE LA VIDA**

La primera característica que define a un ser vivo es su organización específica: la célula. Sin embargo, dentro de cada célula o de cada organismo pueden identificarse algunos otros niveles. Por otra parte, cada célula o cada organismo, puede presentar interacciones con otras células u otros organismos, respectivamente. En estos casos, es posible detectar jerarquías de complejidad cada vez mayores (Figura 1).

Los niveles de organización comienzan desde el **nivel químico**, el cual es el más simple. Este nivel abarca las partículas básicas de toda la materia, los **átomos**, y sus combinaciones, las **moléculas**. Un átomo es la unidad más pequeña de un elemento químico que aún conserva las propiedades características de dicho elemento. Los átomos se combinan por medios químicos, y dan lugar a moléculas.

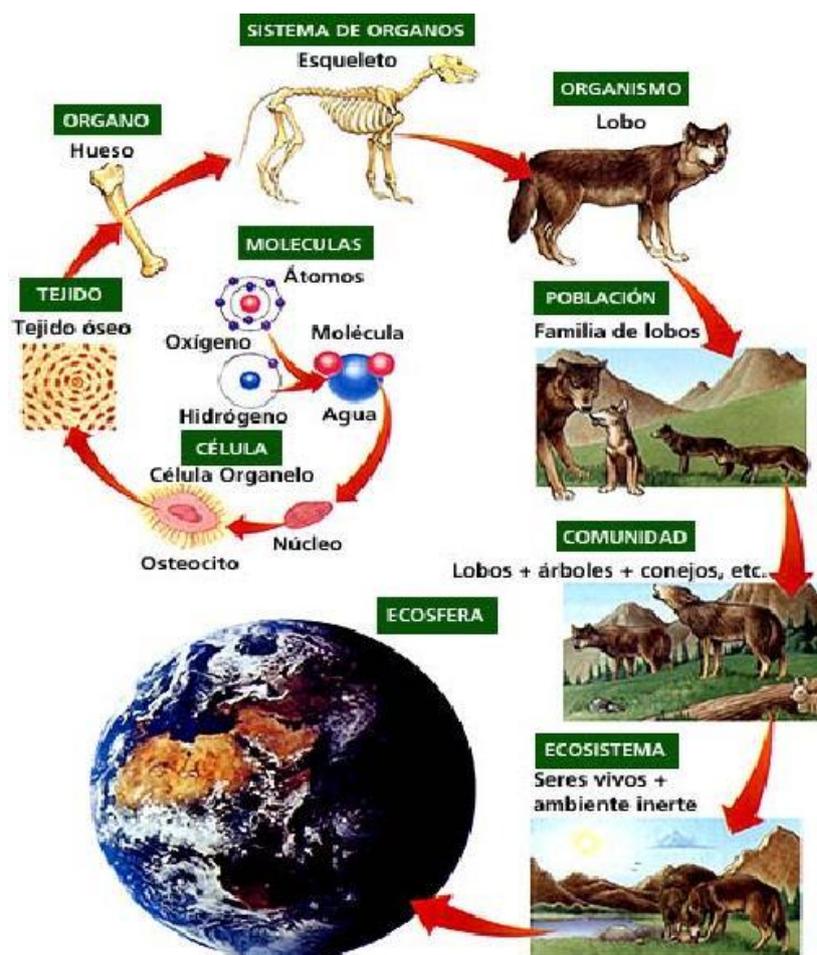
A **nivel celular**, las moléculas se asocian entre sí para formar estructuras más complejas y especializadas a las que se denomina **orgánulos**. Los orgánulos están incluidos dentro de una estructura denominada **célula** (unidad básica de la vida).

En los organismos pluricelulares, las células se agrupan para formar **tejidos** (conjunto de células similares con una función común). Los tejidos a su vez están organizados de forma tal en estructuras funcionales llamadas **órganos**. Cada tipo de funciones biológicas es realizado por un conjunto coordinado de tejidos y órganos, llamado aparato o **sistema orgánico**. El conjunto de sistemas orgánicos integra el **organismo** pluricelular.

Los organismos interactúan entre sí y originan los **niveles de organización ecológica**. Todos los miembros de la misma especie que habitan dentro de un área geográfica forman una **población**. El ambiente que esa población ocupa es su hábitat. Las poblaciones de organismos que viven en una región determinada y que interactúan entre sí constituyen una **comunidad**. Una comunidad junto con el medio abiótico, se denomina **ecosistema**.

Un ecosistema autosuficiente contiene tres tipos de organismos: productores, consumidores y descomponedores. Los **productores** son organismos autótrofos que producen su propio alimento (ej. plantas). Los **consumidores**, son organismos heterótrofos que se alimentan de otros organismos para satisfacer sus propias necesidades (ej. animales). Los **descomponedores** obtienen sus nutrientes y energía de desechos orgánicos y de organismos muertos liberando sus nutrientes (ej. Bacterias y hongos).

El último sistema de organización es el conjunto de todos los ecosistemas del planeta, la **biosfera**.



**Figura 1.** Niveles de organización biológica.

## CLASIFICACIÓN DE LOS ORGANISMOS VIVOS

La clasificación de los seres vivos se remonta a 300 años a.C. con Aristóteles, quién diferenciaba a todas las entidades de la naturaleza dicotómicamente, por ejemplo ser vivo o no vivo, animal o no. Durante el transcurso de las generaciones, la clasificación de los organismos vivos se ha ido modificando con el avance de la ciencia. Aún hoy la clasificación es tema de debate y el sistema de clasificación actual no es aceptado por toda la comunidad científica mundial.

En el Tabla 1 se muestra los diferentes sistemas de clasificación durante el siglo pasado hasta llegar al sistema de clasificación actual, el cual incluye tres Dominios. El Dominio es el nivel superior dentro de los niveles de jerarquía. Se reconocen tres Dominios: **Bacteria**, **Archaea** y **Eukarya**, clasificación de los seres vivos que se basa en el orden de ramificación de los linajes durante la historia evolutiva.

**Tabla 1.** Sistemas de clasificación de los seres vivos en diferentes años.

1969	1977	1990
5 Reinos	6 Reinos	3 Dominios
Animal	Animal	
Vegetal	Vegetal	
Hongo	Hongo	Eukarya
Protista	Protista	
	Eubacteria	Bacteria
Monera	Archaeobacteria	Archaea

Los organismos en los Dominios Archaea y Bacteria son procariontes: células únicas que carecen de núcleo y de otros compartimientos internos. Archaea y Bacteria difieren en las reacciones químicas que les permiten funcionar y en los productos que producen. Estos Dominios se separaron en linajes evolutivos distintos tempranamente durante la evolución de la vida.

Los organismos pertenecientes al Dominio **Bacteria**, son muy pequeños, libres o agregados, presentan gran variedad de estructuras y metabolismos. Incluyen organismos que pueden vivir a altas temperaturas y anaerobios. Este Dominio se divide en varios Grupos: entre ellos Bacterias gram positivas, Proteobacterias y las Cianobacterias (bacterias con clorofila, ej. *Anabaena* sp.).

Los organismos pertenecientes al Dominio **Archaea**, también son muy pequeños. Poseen adaptaciones que les permiten habitar ambientes con condiciones extremas como en grietas volcánicas, pantanos, lagos muy salados (Mar Muerto). Pueden tolerar temperaturas superiores a 100 °C o inferiores a 0 °C, en ambientes muy salinos o con pH extremos. Pueden ser anaerobias o aerobias. Este Dominio presenta varios Grupos, cuyos nombres no son objeto de este estudio.

Los miembros del Dominio **Eukarya** tienen células eucariontes que contienen núcleo y compartimentos celulares complejos llamados orgánulos. Pueden ser autótrofos, heterótrofos o ambas a la vez. La reproducción puede ser tanto sexual como asexual. Poseen citoesqueleto, membranas internas y ADN lineal. Este Dominio, que incluye a la mayor parte de los organismos vivos, se divide en 4 Grupos: Protistas, Fungi, Animalia y Plantae.

Los **Protistas** son organismos unicelulares, que pueden vivir en colonias. Dentro de este Grupo se encuentran las algas y otros organismos acuáticos y parásitos menos conocidos. Poseen diversas formas de nutrición: fotosíntesis, absorción, ingestión y combinación de éstos. Su reproducción puede ser sexual o asexual.

El Grupo **Fungi** (Hongos) incluye a los mohos, las levaduras y otros organismos similares. Generalmente son organismos multicelulares, heterótrofos (sin pigmentos ni orgánulos fotosintéticos). Necesitan fuentes de energía sintetizadas por otros organismos, las cuales absorben del medio que los rodea. Pueden ser parásitos, simbioses, o descomponedores de la materia orgánica. Presentan reproducción asexual o sexual. Algunas especies de hongos son perjudiciales para el Hombre, otras son esenciales para la producción de queso, pan o vino. También hay especies comestibles como los champiñones y otras que son fuente de antibióticos y medicamentos.

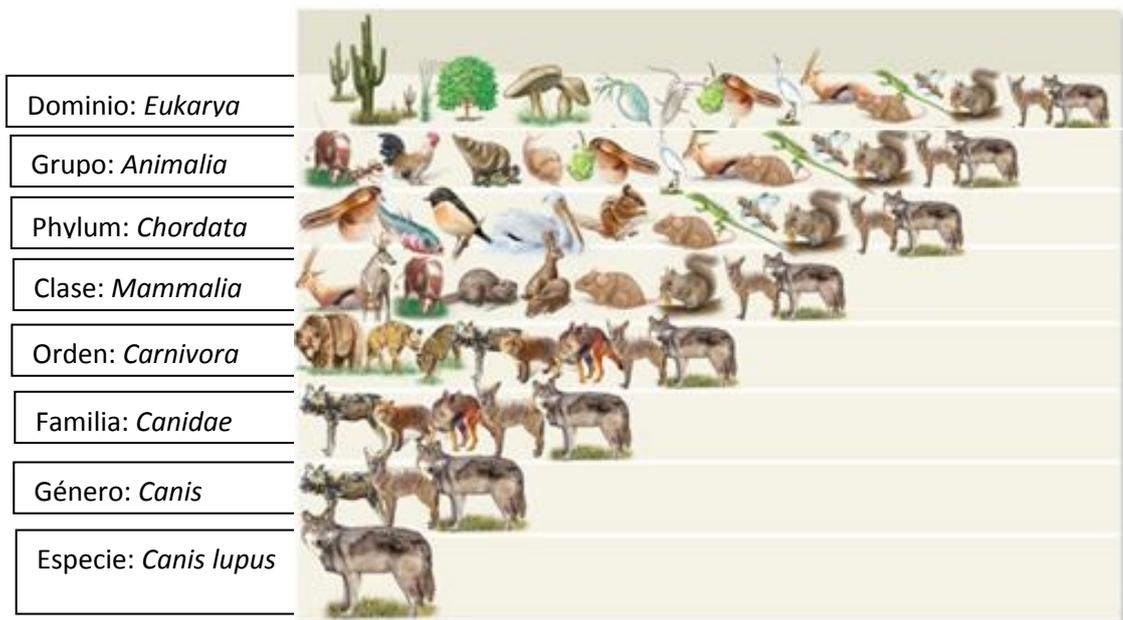
El Grupo **Animalia**, incluye organismos multicelulares y heterótrofos. Obtienen energía de la ingesta de alimentos. El glucógeno es su sustancia de reserva de energía. Poseen reproducción sexual principalmente y también asexual. Han desarrollado diferentes sistemas: muscular, nervioso, endócrino, digestivo, esquelético, circulatorio, tegumentario, respiratorio, excretor, reproductor. Ejemplos: esponjas, medusas, anémonas de mar, insectos, moluscos, crustáceos, anfibios, peces, reptiles, aves y mamíferos.

El Grupo **Plantae** incluye a organismos multicelulares, más raramente unicelulares. Las células presentan pared celular rígida y clorofila a y b en cloroplastos. El almidón es su sustancia de reserva de energía. Modo principal de alimentación: fotosíntesis (puede haber

absorción). Presentan diferenciación en órganos. Reproducción sexual y asexual. Pueden poseer semillas o no. Pueden ser arbustivas o no y tener o no flores. Ejemplos: helechos, briofitas, coníferas, plantas con flores.

Dentro de cada Grupo y en orden descendiente en la jerarquía, podemos decir que todos los animales pertenecen al Dominio *Eukarya*, por poseer células eucariotas y permanecen reunidos en el Grupo *Animalia* porque presentan las características que definen a un animal. Sin embargo, presentarán muchas diferencias entre sí, por lo que son divididos en categorías de menor jerarquía, que son los *Phyla*. Dentro de cada uno de ellos la semejanza entre individuos será mayor que lo observado en el Grupo, pero los integrantes seguirán presentando diferencias y serán agrupados en *Clases* y así sucesivamente hasta llegar a *Género*, donde estarán reunidas especies diferentes, pero que presentan gran parecido morfológico, fisiológico, genético y bioquímico. Finalmente se llega a la categoría básica que es la *Especie*.

En la Figura 2 se muestra las diferentes categorías taxonómicas animales dentro del Dominio *Eukarya*. Como puede observarse, las categorías taxonómicas se hacen cada vez más estrechas debido a que agrupan menor cantidad de especies, que comparten mayor cantidad de homologías (similitudes).



**Figura 2.** Organización jerárquica del Dominio *Eukarya*, Grupo *Animalia*.



¿Qué le sugieren las letras A y B del esquema?

---



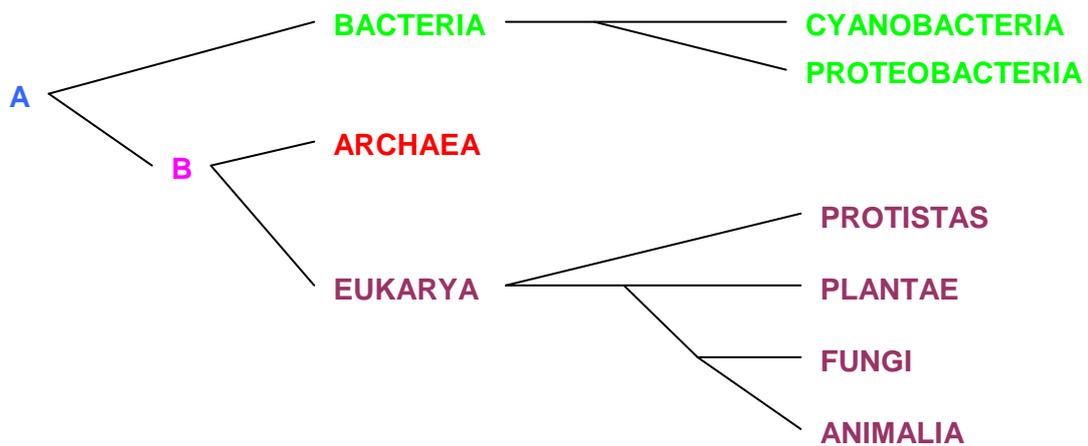
---

¿Qué Dominios están más íntimamente relacionados? ¿Por qué?

---



---



Complete el siguiente cuadro resumiendo las principales características de cada división y ubique los siguientes organismos: helecho, lechuga, levadura, champignon, *Escherichia coli*, *Anabaena* sp., caracol, *Salmonella* sp., palmera, alga roja, *Penicillium* sp., trigo.

División	Tipo de célula (procarionta/eucarionta)	Organización celular (unicelular/pluricelular)	Nutrición (autótrofo/heterótrofo)	Ejemplo
Archaea				
Bacteria				
Protista				
Fungi				
Animalia				
Plantae				

4. Relacione mediante flechas los conceptos con la categoría taxonómica correspondiente.

Incluye varios géneros	Filo
Incluye varios filos	Familia
Incluye varias especies	Clase
Incluye varias familias	Grupo
Incluye varios órdenes	Género
Incluye varias clases	Orden



## **ENLACES QUÍMICOS**

Los enlaces químicos son las fuerzas que mantienen unidos a los átomos. Cuando los átomos se enlazan entre sí, ceden, aceptan o comparten electrones. Son los electrones de valencia (último orbital) quienes determinan de qué forma se unirá un átomo con otro y las características del enlace.

### **Regla del octeto**

El último grupo de la tabla periódica VIII A (18), que forma la familia de los gases nobles, son los elementos más estables de la tabla periódica. Esto se debe a que tienen 8 electrones en su capa más externa, excepto el Helio que tiene sólo 2, siendo esta su configuración estable. El resto de los elementos de la tabla periódica al combinarse unos con otros, aceptan, ceden o comparten electrones con la finalidad de tener 8 electrones en su nivel más externo, excepto el Hidrógeno (que es estable con 2 electrones en su último nivel), a esto es lo que se conoce como la regla del octeto.

### **TIPOS DE ENLACES**

- Intramoleculares
  - ✓ Iónico
  - ✓ Covalente
- Intermoleculares:
  - ✓ Fuerzas de Van de Waals
  - ✓ Enlaces puentes de hidrógeno
  - ✓ Interacción hidrófoba

## 1. FUERZAS INTRAMOLECULARES

Son los enlaces que mantienen unidos a los átomos dentro de una molécula.

### 1.1. ENLACE COVALENTE

Se forma cuando dos átomos alcanzan sus números electrónicos estables en las capas más externas por **compartir** uno, dos o tres pares de electrones, formándose enlaces sencillos, dobles o triples, respectivamente.

Este tipo de enlace se da entre elementos no metales, debido a su alta electronegatividad. Pero, ¿Qué es la electronegatividad? es una medida de la tendencia que muestra un átomo a atraer hacia sí los electrones. La electronegatividad aumenta en los periodos de izquierda a derecha y en los grupos de abajo hacia arriba.

**Ejemplo 1:** Cl<sub>2</sub>, cloro molecular, formado por dos átomos de cloro. Como es un no metal, sus átomos se unen por enlaces covalentes. El cloro es un elemento del grupo VII A, por lo tanto, posee 7 electrones de valencia. El átomo de cloro sólo necesita un electrón para completar su octeto. Al unirse con otro átomo de cloro ambos comparten su electrón desapareado y se forma un **enlace covalente sencillo** entre ellos. Este enlace se representa mediante una línea entre los dos átomos, formado por dos electrones. Estos electrones se comparten por igual por ambos átomos.



**Ejemplo 2:** O<sub>2</sub>, la molécula de oxígeno también es diatómica. Al oxígeno le hacen falta dos electrones para completar su octeto. Cada oxígeno dispone de 6 electrones, con los cuales ambos deben tener al final ocho electrones. La molécula queda formada por un **enlace covalente doble**, 2 pares de electrones compartidos, y se representa gráficamente por medio de dos líneas entre los átomos.



**Ejemplo 3:** N<sub>2</sub>, el nitrógeno, otra molécula diatómica, está ubicado en el grupo VA, por lo tanto cada nitrógeno aporta 5 electrones, le faltan 3 electrones a cada uno para completar el octeto, por lo tanto, cada uno de ellos compartirán 3 pares de electrones formándose un **triple enlace**, representándolo gráficamente mediante 3 líneas entre los átomos.

**Completar** con la fórmula de Lewis y la desarrollada.

## Existen dos tipos de enlace covalente: polar y no polar

Según la electronegatividad podemos obtener dos tipos de enlaces covalentes: **enlace covalente polar y enlace covalente no polar**. La diferencia en los valores de electronegatividad determina la polaridad de un enlace.

- **Enlace covalente no polar o apolar:** cuando se enlazan dos átomos con la misma electronegatividad o distinta electronegatividad pero con una diferencia menor a 0,4, el enlace es covalente no polar, ya que los electrones son atraídos por igual por ambos átomos. No se forman polos con carga opuesta.
- **Enlace covalente polar:** cuando se enlazan dos átomos distintos y la diferencia de electronegatividad es entre 0,5 y 1,7. En este tipo de enlace los electrones se comparten de manera desigual, lo cual da por resultado que un extremo de la molécula (polo) sea parcialmente positivo y el otro, parcialmente negativo. Esto se indica con la letra griega delta ( $\delta$ ).

**Ejemplo:** HCl, la diferencia de electronegatividad entre el hidrógeno y el cloro es de 0,9, es una molécula polar. El átomo más electronegativo, que en éste caso es el cloro, adquiere la carga parcial negativa, y el menos electronegativo, que es el hidrógeno, adquiere la carga parcial positiva.



## Propiedades de los compuestos covalentes

- Los compuestos covalentes pueden presentarse en cualquier estado de la materia: sólido, líquido o gaseoso.
- Sus disoluciones no conducen la corriente eléctrica.
- En términos generales, tienen bajos puntos de fusión y de ebullición.
- Son aislantes del calor y la electricidad.
- Son enlaces **muy fuertes**, lo que significa que se requiere mucha energía para romperlos. Así, las moléculas biológicas, la mayoría de las cuales se encuentran unidas mediante enlaces covalente, son estables, como lo son sus estructuras tridimensionales y los espacios que ocupan.

### 1.2. ENLACE IÓNICO

Por lo general, los enlaces iónicos están formados por átomos que tienen solo uno o dos electrones en su orbital externo incompleto o a los que solo les falta adquirir uno o dos electrones para completar su orbital externo. Para estos átomos, en general es más fácil

completar su orbital externo cediendo electrones a otro átomo o aceptando electrones de otro átomo respectivamente, que compartiéndolos. Por ello, se producen entre un elemento muy electronegativo y otro de muy baja electronegatividad (no metal y metal, respectivamente), donde la diferencia de electronegatividad es mayor a 1,7. Los metales ceden electrones formando cationes y los no metales aceptan electrones formando aniones, como tienen cargas opuestas se mantienen unidos entre sí.

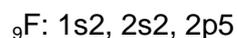
Los enlaces iónicos son un tipo de **atracción electrostática**: una fuerza de atracción que se produce entre dos átomos de cargas opuestas.

### Formación de enlaces iónicos

**Ejemplo:** NaF. Para explicar la formación del enlace escribimos la configuración electrónica de cada átomo:

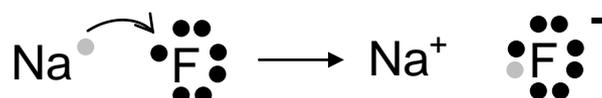


Electrones de valencia (del nivel 3) = 1



Electrones de valencia (del nivel 2) = 5 + 2 = 7

Si el sodio pierde el electrón de valencia, su último nivel sería el 2, y en éste tiene 8 electrones de valencia, formándose un catión (ión positivo)  $\text{Na}^{+1}$ . El flúor con 7 electrones de valencia, solo necesita un electrón para completar su octeto, si acepta el electrón que cede el sodio se forma un anión (ion negativo)  $\text{F}^{-1}$ . Esta transferencia de electrones entre el sodio y el flúor, permite que ambos elementos tengan 8 electrones en su nivel más externo.



### Propiedades de los compuestos iónicos

- en los sólidos, los enlaces iónicos son fuertes porque los iones se encuentran cercanos entre sí. Sin embargo, cuando los iones se dispersan en agua, la distancia entre ellos puede ser grande; las fuerzas de atracción se reduce en gran medida. En las condiciones de las células vivas, una atracción iónica suele tener una fuerza menor que un décimo de la fuerza de enlace covalente no polar.
- los iones pueden interactuar con moléculas polares, dado que ambos llevan cargas eléctricas. Una interacción de éste tipo es la que resulta cuando una sal se disuelve en agua. Las moléculas de agua rodean a los iones individuales y los separan. Los aniones atraen al polo positivo de las moléculas de agua; el polo negativo de las

moléculas de agua, por el contrario, se orienta hacia los cationes. Por lo tanto, son solubles en solventes polares como el agua.

- Tienen altos puntos de fusión y ebullición.
- En disolución acuosa, son buenos conductores de la corriente eléctrica.

## **2. FUERZAS INTERMOLECULARES**

Son las fuerzas que unen a las moléculas, aunque también se pueden dar entre partes de una misma molécula grande. Son mucho más débiles que las fuerzas intramoleculares.

### **2.1. PUENTES DE HIDRÓGENO**

Los enlaces o puentes de hidrógeno son atracciones electrostáticas entre un hidrógeno que lleva una carga parcial positiva y otro átomo (F, O, Cl o N) que tenga una carga parcial negativa de otra molécula o de otra parte de una misma molécula grande (como ocurre en proteínas y ácidos nucleicos). Por lo tanto, se da entre moléculas polares con cargas parciales. Estas cargas parciales de signos contrarios se producen como consecuencia de la electronegatividad relativa de los átomos unidos covalentemente.

Un puente de hidrógeno es más débil que la mayoría de los enlaces iónicos porque está formado por cargas parciales. Sin embargo, cuando se forman muchos puentes de hidrógeno, tienen fuerza considerable e influyen en gran medida sobre la estructura y las propiedades de las sustancias.

### **2.2. FUERZAS DE VAN DER WAALS**

Es la interacción entre moléculas no polares (hidrófobas). Estas son moléculas sin carga, por ello, se pensaría que no pueden interactuar con otras moléculas. Sin embargo, experimentan momentáneamente un reordenamiento de electrones que ocasiona moléculas con cargas momentáneas, lo que permite la unión a otras moléculas que les ha ocurrido lo mismo. Requiere que ambos átomos estén muy cercanos uno de otro.

Son enlaces electrostáticos breves y débiles, pero en gran cantidad producen gran atracción. Son muy importantes en la determinación de la estructura proteica debido fundamentalmente al gran número de interacciones que pueden existir en moléculas tan grandes y, generalmente, tan estrechamente empaçadas.

### **2.3. INTERACCIÓN HIDRÓFOBA**

Es la interacción entre moléculas no polares en presencia de sustancias polares (generalmente: agua). Realmente, es el agua el que tiende a comprimirlas entre sí hasta que se unen.

Son las que se establecen entre los fosfolípidos en las membranas biológicas y las que hacen que los aminoácidos hidrofóbicos se apiñen en el interior de las proteínas globulares. En la tabla 1 se muestra la fuerza de los distintos tipos de enlaces.

**Tabla 1.** Enlaces entre átomos y fuerzas intermoleculares. Interacciones y fuerza del enlace.

<b>Nombre</b>	<b>Bases de la interacción</b>	<b>Energía de enlace (Kcal/mol)</b>
Enlace covalente	Pares electrónicos compartidos	50-110
Enlace iónico	Atracción de cargas opuestas	3-7
Puente de hidrógeno	Átomo de H compartido	3-7
Interacción hidrófoba	Interacción de sustancias no polares en presencia de sustancias polares	1-2
Interacción de Van der Waals	Interacción de electrones de sustancias no polares	1



## MACROMOLÉCULAS

La química de los organismos vivos es la química de los compuestos que contienen carbono o sea, los compuestos orgánicos. Una característica general de todos los compuestos orgánicos es que liberan energía cuando se oxidan.

Entre los tipos principales de moléculas orgánicas importantes en los sistemas vivos están los **carbohidratos**, los **lípidos**, las **proteínas** y los **ácidos nucleicos**. Todas estas moléculas contienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Además, las proteínas contienen nitrógeno y azufre, y los ácidos nucleicos, así como algunos lípidos, contienen nitrógeno y fósforo.

El carbono es singularmente adecuado para este papel central, por el hecho de que es el átomo más liviano capaz de formar múltiples enlaces covalentes. Un átomo de carbono puede formar cuatro enlaces covalentes con cuatro átomos diferentes como máximo y así crear una gran variedad de cadenas fuertes y estables y de compuestos con forma de anillo o lineales.

Las moléculas orgánicas derivan sus configuraciones tridimensionales primordialmente de sus esqueletos de carbono. Sin embargo, muchas de sus propiedades específicas dependen de **grupos funcionales**. Estos son grupos de átomos unidos al esqueleto de carbono, reemplazando a uno o más de los hidrógenos que estarían presentes en un hidrocarburo.

### 1. HIDRATOS DE CARBONO

Los hidratos de carbono son moléculas que contienen cadenas hidrocarbonadas y grupos hidroxilo (OH). Estas macromoléculas tienen dos papeles bioquímicos principales:

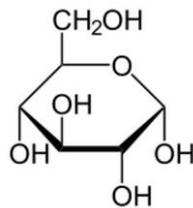
- Son la fuente de energía que puede liberarse en forma utilizable por los tejidos corporales.
- Son los esqueletos de carbono que pueden reacomodarse y formar nuevas moléculas esenciales para las estructuras y las funciones biológicas.

Hay cuatro categorías de hidratos de carbono de importancia biológica:

- **Monosacáridos:** son los azúcares simples. Los monosacáridos son los monómeros a partir de los cuales se construyen los hidratos de carbono de mayor tamaño. Se diferencian por el número de carbonos de la cadena principal en:
  - ✓ triosas: monosacáridos de 3C. Ejemplo: el gliceraldehído.
  - ✓ tetrosas: monosacáridos de 4C.
  - ✓ pentosas: monosacáridos de 5C. Ejemplo: azúcar ribosa y desoxirribosa.
  - ✓ hexosas: monosacáridos de 6C. Ejemplo: glucosa (Figura 1), fructosa, manosa y galactosa.

**Glucosa. La fuente de energía de los organismos vivos**

Las plantas producen monosacáridos mediante la fotosíntesis y los animales los adquieren en forma directa o indirecta a partir de las plantas. Todas las células vivas contienen el monosacárido glucosa, la que emplean como fuente de energía, degradándola mediante una serie de reacciones que liberan la energía almacenada y producen agua y dióxido de carbono. La glucosa existe en dos formas: como cadena lineal y en forma anular. La forma anular predomina en más del 99% de las circunstancias biológicas porque es más estable en condiciones fisiológicas. Hay dos versiones de la forma anular, llamadas: glucosa alfa y glucosa beta, que difieren solo en la orientación del -H y -OH unido al carbono 1. Las formas alfa y beta se interconvierten y existe equilibrio cuando están disueltas en agua.



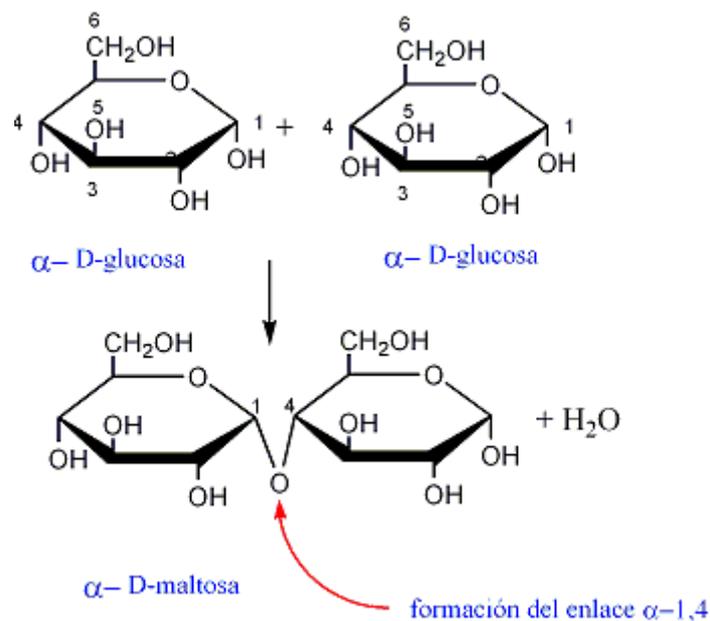
**Figura 1.** Molécula de glucosa  $\alpha$  (cada vértice del hexágono representa un átomo de carbono)

- **Disacáridos:** consisten en dos monosacáridos unidos por enlaces covalentes. Ejemplo: sacarosa.
- **Oligosacáridos:** constituidos por 3-20 monosacáridos. Tienen grupos funcionales adicionales que les confieren propiedades especiales. Los oligosacáridos suelen unirse en forma covalente a proteínas y lípidos de la superficie externa de la célula formando glucoproteínas y glucolípidos, respectivamente, donde cumplen funciones como señales de reconocimiento.

- **Polisacáridos:** son polímeros compuestos por cientos o miles de monosacáridos. Ejemplo: almidón, glucógeno y celulosa.

### 1.1. Enlaces glucosídicos

Los disacáridos, oligosacáridos y polisacáridos están contruidos por monosacáridos ligados en forma covalente por las reacciones de condensación que forman las uniones glucosídicas. La misma se produce entre el grupo  $-OH$  de un azúcar del C1 y un grupo  $-OH$  del C4 de otro azúcar (Figura 2).



**Figura 2.** Enlace glucosídico entre dos moléculas de glucosa para formar el disacárido maltosa.

Cuando las moléculas de glucosa forman una unión glucosídica, el enlace puede ser: alfa o beta, dependiendo de si la molécula que une su carbono 1 es una alfa o una beta glucosa, la otra molécula de glucosa que interviene en el enlace lo hace mediante el carbono 4. Por lo tanto, existen dos tipos de uniones entre glucosas: alfa 1-4 y beta 1-4.

- Enlace alfa 1-4: Cuando el  $-OH$  del C1 que forma el enlace glucosídico está dirigido hacia abajo.
- Enlace beta 1-4: Cuando el  $-OH$  del C1 que forma el enlace glucosídico está dirigido hacia arriba. Este enlace es más estable químicamente.

### 1.2. Algunos polisacáridos almacenan energía en vegetales y animales

La glucosa es el hidrato de carbono principal a través del cual, tanto vegetales como animales, obtienen energía. Pero, si la glucosa se necesita en realidad como combustible, ¿Por qué no se almacena glucosa en las células? La razón es que 1000 moléculas de

glucosa ejercerían 1000 veces la presión osmótica de una molécula grande polimerizada con monómeros de glucosa. Si no fuese por los polisacáridos, muchos organismos gastarían una cantidad enorme de tiempo y energía en expulsar el agua del interior de sus células. Los dos polisacáridos que almacenan energía en las células son el almidón y el glucógeno.

### **1.2.1. Almidón**

Comprende una familia de moléculas grandes de una estructura muy semejante. Es un polisacárido de la glucosa con uniones alfa 1-4 de glucosa, que se distinguen por la cantidad de ramificaciones en sus carbonos 1 y 6. Algunos almidones vegetales, como la amilasa, no están ramificados; otros están moderadamente ramificados, como la amilopectina vegetal. Independientemente de su estructura, el almidón tiene la función de almacenamiento de energía en los vegetales. Las moléculas que integran esta familia de hidratos de carbono son hidrofílicas, cuando se elimina el agua de su entorno, el almidón no ramificado tiende a formar puentes de hidrógeno entre las cadenas de los polisacáridos, que entonces se agregan.

### **1.2.2. Glucógeno**

Al igual que el almidón, el glucógeno es un polímero con uniones alfa 1-4 de glucosa altamente ramificado. El glucógeno almacena energía en el hígado y los músculos de los animales.

### **1.3. La celulosa, el polisacárido estructural de los vegetales**

La celulosa es el componente predominante de las paredes de las células vegetales y es, por mucho, el compuesto orgánico más abundante de la Tierra. La celulosa es un polímero lineal y es químicamente más estable a raíz de sus uniones beta glucosídicas. Así, la celulosa resulta un excelente material estructural que puede soportar condiciones adversas del ambiente sin modificarse. La ultraestructura de la pared celular será vista en detalle en la unidad de célula.

## **2. LÍPIDOS**

Los lípidos son sustancias orgánicas insolubles en solventes polares como el agua, pero que se disuelven fácilmente en solventes orgánicos no polares, tales como el cloroformo, el éter y el benceno, esto se debe a su composición química: **cadena hidrocarbonada unida por enlaces covalentes no polares.**

### **2.1. Funciones de los lípidos**

Hay diferentes tipos de lípidos que cumplen diversas funciones en los organismos vivos.

- las grasas y aceites almacenan de energía.
- los fosfolípidos, glucolípidos y ceras son moléculas estructurales (membranas biológicas).

- los carotenoides capturan energía lumínica.
- los esteroides y ácidos grasos modificados desempeñan funciones de regulación.
- la grasa de los animales actúa como aislante térmico.
- la cubierta de lípidos alrededor de los nervios proporciona aislamiento eléctrico.
- el aceite o la cera en la superficie de la piel, de los pelajes y de las plumas repelen el agua. Las ceras en los vegetales forman una película en hojas y frutos que disminuyen la desecación.

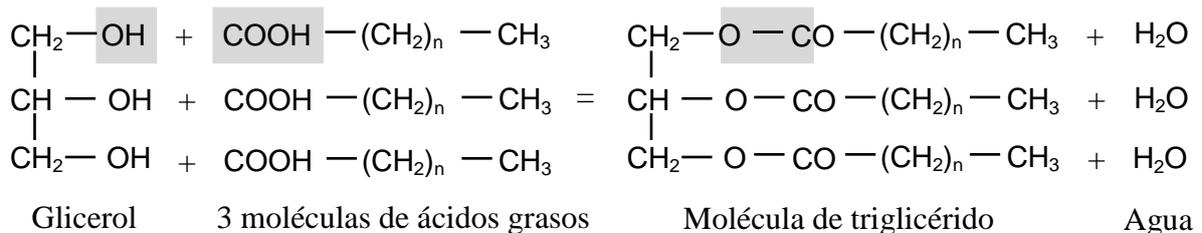
## 2.2. Grasas y aceites

Las grasas y aceites desde el punto de vista químico son triglicéridos, la única diferencia es su comportamiento a temperatura ambiente (20 °C), las grasas se mantienen sólidas y los aceites, líquidos.

Los triglicéridos están formados por tres moléculas de **ácidos grasos** y una molécula de **glicerol**. Las largas cadenas hidrocarbonadas que componen los ácidos grasos terminan en grupos carboxilo (-COOH) y el glicerol es una molécula pequeña con tres grupos hidroxilo (-OH), es un alcohol. Cuando el grupo carboxilo del ácido graso se une al grupo hidroxilo del glicerol se forma un enlace covalente llamado **enlace éster** y una molécula de agua (Figura 3).

Los tres ácidos grasos del triglicérido no necesariamente tienen la misma longitud o estructura en la cadena de hidrocarburos:

- en los ácidos grasos saturados, todos los enlaces entre los átomos de carbono en la cadena hidrocarbonada son enlaces simples, no hay dobles ligaduras. Estas moléculas de ácido grasos son relativamente rígidas y rectas y están empaquetadas en forma estrecha, produciendo sólidos como la manteca o el cebo.
- en los ácidos grasos insaturados, la cadena hidrocarbonada contiene uno o más enlaces dobles entre los átomos de C contiguos, que generan pliegues en la molécula. Algunos ácidos grasos tienen más de un enlace doble y múltiples pliegues (ácidos grasos poliinsaturados) los que impiden que se empaqueten en forma estrecha.



**Figura 3.** Estructura de la molécula de glicerol, de los ácidos grasos y formación de un triglicérido mediante una reacción de condensación (formación de agua) denominada unión éster.

Los pliegues de los ácidos grasos determinan la fluidez y el punto de fusión de un lípido.

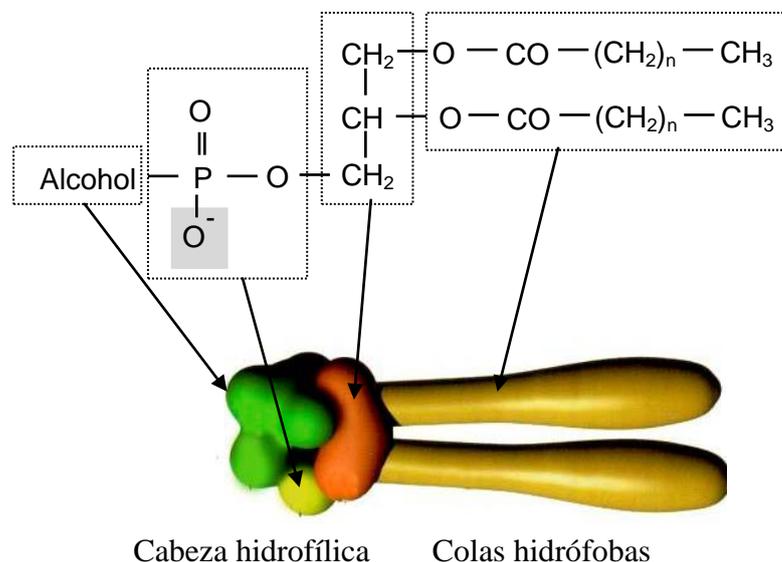
Los triglicéridos de las grasas animales tienden a tener muchos ácidos grasos saturados de cadena larga, empaquetados estrechamente; estas grasas son casi siempre sólidas a temperatura ambiente y tienen un elevado punto de fusión.

Los triglicéridos de las plantas, tienden a tener ácidos grasos cortos o insaturados. A raíz de sus pliegues estos ácidos grasos rara vez se encuentran estrechamente empaquetados y tienen un bajo punto de fusión y suelen ser líquidos a temperatura ambiente.

### 2.3. Fosfolípidos

Al igual que los triglicéridos, los fosfolípidos contienen ácidos grasos unidos al glicerol por enlace éster. Sin embargo, en este caso el **glicerol** se une a dos **ácidos grasos** y a un **grupo fosfato** (Figura 4). El grupo funcional fosfato tiene carga eléctrica negativa, de modo que esta porción de la molécula es **hidrofílica**, por lo que atrae moléculas de agua. No obstante, los dos ácidos grasos son **hidrofóbicos**, de manera que tienden a agregarse alejados del agua.

En ambientes acuosos los fosfolípidos se alinean de forma tal que las “colas” no polares hidrófobas se empaquetan estrechamente y las “cabezas” que contienen a los fosfatos enfrentan el exterior donde interactúan con el agua. Así, los fosfolípidos forman una bicapa: una hoja del grosor de dos moléculas en la cual el agua se encuentra excluida de la parte central. Como se verá más adelante, todas las membranas biológicas tienen este tipo de estructura de bicapa fosfolipídica.



**Figura 4.** Estructura de la molécula de fosfolípido y su representación tridimensional.

## 2.4. Glucolípidos

Los glucolípidos ("lípidos con azúcar"), están formados por dos **ácidos grasos**, un **glicerol** y una **cadena de carbohidrato corta** unida al tercer carbono del glicerol.

Al igual que la cabeza de fosfato de un fosfolípido, la cabeza de carbohidrato de un glucolípidos es **hidrofílica**, y las colas de ácidos grasos son, por supuesto, **hidrofóbicas**. En solución acuosa, los glucolípidos se comportan del mismo modo que los fosfolípidos. También son componentes importantes de las membranas celulares en las que cumplen funciones de reconocimiento celular, por ello solo se encuentran en la parte externa de las mismas.

## 2.5. No todos los lípidos son triglicéridos

Existe una variedad de clases de lípidos que no están basadas en la estructura glicerol-ácido graso. Sin embargo, se clasifican como lípidos puesto que están constituidos principalmente por carbono e hidrógeno y son no polares.

### 2.5.1. Ceras

Las ceras son producidas por diversos organismos y cumplen diferentes funciones. Son producidas, por ejemplo, por las abejas para construir sus panales. También forman cubiertas protectoras, lubricantes e impermeabilizantes sobre la piel, el pelaje y las plumas y sobre los exoesqueletos de algunos animales. En las plantas terrestres se encuentran sobre las hojas y frutos. Las ceras protegen las superficies de la pérdida de agua y aíslan del frío a los tejidos internos.

Todas las ceras tienen la misma estructura básica: están formadas por un enlace éster entre un ácido graso de cadena larga saturada y un alcohol de cadena larga saturada.

### 2.5.2. Colesterol

El colesterol pertenece a un grupo importante de compuestos conocidos como esteroides. Los esteroides son una familia de compuestos orgánicos cuyos múltiples anillos comparten carbonos. La molécula de colesterol está formada por cuatro anillos de carbono y una cadena hidrocarbonada.

El colesterol se encuentra en las membranas celulares (excepto en las células bacterianas); aproximadamente el 25% (en peso seco) de la membrana de un glóbulo rojo es colesterol. Su presencia da rigidez a las membranas y evita su congelamiento a muy bajas temperaturas. También es un componente principal de la vaina de mielina, la membrana lipídica que envuelve a las fibras nerviosas de conducción rápida, acelerando el

impulso nervioso y es el material de partida para fabricar testosterona y otras hormonas esteroideas, así como las sales biliares que ayudan a degradar la grasa de la dieta.

El colesterol es sintetizado en el hígado a partir de ácidos grasos saturados y también se obtiene en la dieta, principalmente en la carne, el queso y las yemas de huevo.

### 2.5.3. Carotenoides

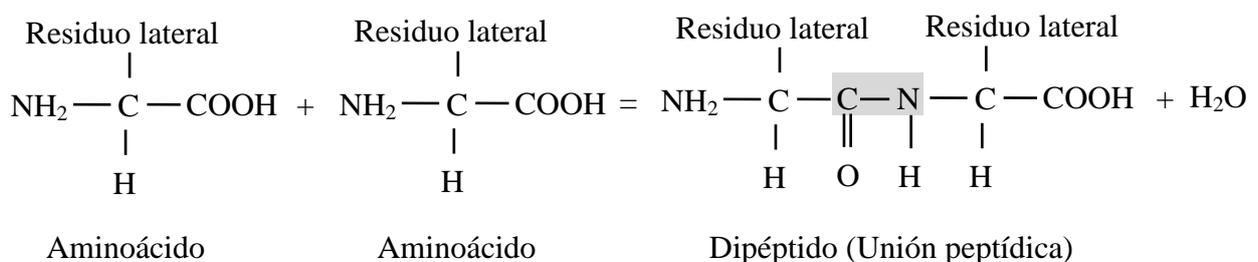
Los carotenoides son una familia de pigmentos que absorben luz y están presentes en plantas y animales. Son cadenas hidrocarbonadas donde se alternan enlaces simples con dobles.

El betacaroteno es uno de los pigmentos que atrapan la energía luminosa en las hojas durante la fotosíntesis. En los seres humanos, una molécula de betacaroteno puede degradarse a dos moléculas de vitamina A a partir de la cual se sintetiza el pigmento rodopsina, que se requiere para la visión. Los carotenoides son los responsables de los colores de las zanahorias, los tomates, las calabazas y la yema de huevo.

## 3. PROTEÍNAS

Las proteínas tienen como monómero a los **aminoácidos**. Los aminoácidos tienen una estructura básica idéntica. Cada aminoácido contiene un átomo central de carbono que forma cuatro enlaces con: un **grupo amino** (-NH<sub>2</sub>), un **grupo carboxilo** (-COOH), un **átomo de hidrógeno** y un **grupo lateral R** (que es diferente en los distintos aminoácidos) (Figura 5). Así, existen 20 aminoácidos diferentes que difieren en sus grupos laterales. Los grupos laterales pueden ser:

- **no polares**: sin diferencia de carga entre distintas zonas del grupo. Los aminoácidos con éstos R son hidrofóbicos.
- **polares sin carga**: son polares pero con cargas balanceadas de modo tal que el grupo lateral en conjunto es neutro. Los aminoácidos con éstos R son hidrófilos.
- **polares con carga negativa o positiva**: ácidos o básicos respectivamente. Los aminoácidos con éstos R son hidrófilos.



**Figura 5.** Estructura de moléculas de aminoácidos y formación de un dipéptido mediante una reacción de condensación (formación de agua) denominada unión peptídica.

A partir de estos relativamente pocos aminoácidos, se puede sintetizar una inmensa variedad de diferentes tipos de proteínas, cada una de las cuales cumple una función altamente específica en los sistemas vivos.

### *3.1. Los aminoácidos se unen entre sí por medio de enlaces peptídicos*

Un enlace peptídico es un **enlace covalente** formado por condensación. Los polipéptidos son polímeros de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos, en los que el **grupo amino** de un aminoácido se une al **grupo carboxilo** de su vecino (Figura 5).

El enlace peptídico tiene dos características importantes en la estructura tridimensional de las proteínas:

- En el espacio, el enlace C-N es relativamente rígido y esto limita el plegamiento de la cadena polipeptídica.
- El oxígeno unido al carbono (C=O) del grupo carboxilo lleva una carga ligeramente negativa, mientras que el hidrógeno unido al nitrógeno (N-H) del grupo amino es ligeramente positivo. Esta asimetría de cargas favorece la formación de puentes de hidrógeno dentro de la molécula proteica y con otras moléculas, y contribuye tanto a la estructura como a la función de muchas proteínas.

Las proteínas (polipéptidos funcionales) presentan cuatro niveles de organización estructural, denominados: primario, secundario, terciario y cuaternario.

### *3.2. Estructura primaria*

La **secuencia de aminoácidos** se conoce como **estructura primaria** de la proteína y de acuerdo con esa secuencia, la molécula puede adoptar una entre varias formas porque determina de qué manera la proteína puede girar, plegarse y adoptar así una estructura estable específica que la distingue de cualquier otra proteína. La estructura primaria está determinada por enlaces covalentes, los enlaces peptídicos.

### *3.3. Estructura secundaria*

La **estructura secundaria** de una proteína consiste en patrones espaciales repetidos y regulares en diferentes regiones de una cadena polipeptídica. Hay dos tipos básicos de estructuras secundarias, ambas determinadas por puentes de hidrógeno entre los grupos C=O y N-H de diferentes aminoácidos de la misma cadena polipeptídica, la estructura **alfa hélice** y la estructura de **hoja beta plegada** (Figura 6).

### 3.3.1. Estructura alfa hélice

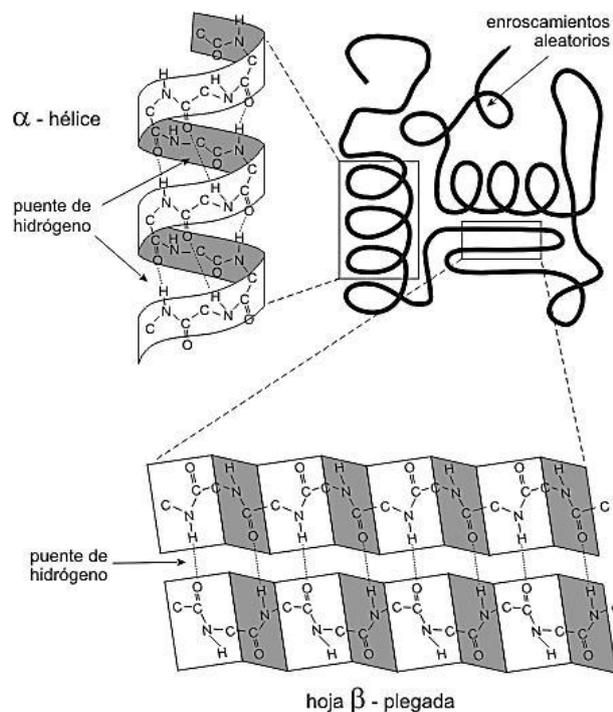
En la estructura alfa hélice la cadena polipeptídica se enrolla alrededor de un cilindro imaginario debido a la formación de puentes de hidrógeno entre los átomos de oxígeno del grupo carbonilo (C=O) de un aminoácido y el átomo de hidrógeno del grupo amino de otro aminoácido situado a cuatro aminoácidos de distancia en la cadena polipeptídica. Cuando se reitera este patrón de puentes de hidrógeno en un segmento de la cadena, la espiral se estabiliza. La presencia de aminoácidos con grandes grupos R que distorsionan la espiral o impiden la formación de puentes de hidrógeno necesarios, evitará que se forme una alfa hélice.

### 3.3.2. Estructura hoja beta plegada

En la estructura de hoja beta plegada el esqueleto peptídico se encuentra extendido en "zig-zag" en lugar de ser una hélice porque las cadenas laterales de los aminoácidos se sitúan de forma alternante a la derecha y a la izquierda del esqueleto de la cadena polipeptídica. La estructura se estabiliza también mediante enlaces por puentes de hidrógeno entre los grupos C=O y N-H de planos peptídicos pertenecientes a diferentes segmentos de la cadena polipeptídica.

Una hoja beta plegada puede formarse entre cadenas polipeptídicas diferentes o entre distintas regiones de una misma cadena polipeptídica que se repliega sobre sí misma.

Muchas proteínas contienen regiones tanto de alfa hélice como de hoja plegada en la misma cadena polipeptídica (Figura 6).



**Figura 6.** Estructura secundaria de una proteína: alfa hélice y hoja beta plegada.

### 3.4. Estructura terciaria

La estructura terciaria se refiere a la **configuración tridimensional** de la cadena polipeptídica. Es consecuencia, de la formación de nuevos plegamientos en las estructuras alfa hélice y beta plegada. Las interacciones entre las cadenas laterales de los aminoácidos son las que determinan la estructura terciaria. Estas son: las fuerzas de Van der Waals, enlaces iónicos, puentes de hidrógeno y puentes disulfuro. Según la estructura adoptada, se generan proteínas fibrosas o globulares.

#### 3.4.1. Proteínas fibrosas

Las proteínas con estructura fibrosa se forman a partir de las cadenas polipeptídicas con estructura secundaria alfa hélice. Las moléculas largas entran en interacción con otras largas cadenas de polipéptidos, similares o idénticas, para formar cables o láminas. El colágeno y la queratina son proteínas fibrosas que desempeñan diversos papeles estructurales.

#### 3.4.2. Proteínas globulares

Las proteínas globulares se pueden formar a partir de cadenas polipeptídicas alfa hélice o beta plegada. En éstas proteínas la cadena polipeptídica se pliega en una forma compacta parecida a un balón de superficie irregular.

Los microtúbulos, que son componentes celulares importantes, están compuestos por unidades repetidas de proteínas globulares, asociadas helicoidalmente en un tubo hueco. Otras proteínas globulares tienen funciones de regulación, de transporte y de protección.

### 3.5. Estructura cuaternaria

Cuando la proteína consta de **varias cadenas polipeptídicas** o **subunidades**, se dice que tiene **estructura cuaternaria**. Las interacciones hidrófobas, las fuerzas de Van der Waals, los puentes de hidrógeno y los enlaces iónicos contribuyen a mantener las subunidades juntas.

Un ejemplo es la hemoglobina, la molécula transportadora de oxígeno de la sangre, compuesta de cuatro cadenas polipeptídicas (dos pares de cadenas), cada una unida a un grupo que contiene hierro (hemo). La sustitución de un determinado aminoácido por otro en uno de los pares de cadenas altera la superficie de la molécula, produciendo una enfermedad grave, en ocasiones fatal, conocida como anemia falciforme.

Puede concluirse que las estructuras, secundaria, terciaria y cuaternaria, dependen de la estructura primaria.

### 3.6. Especificidad de las proteínas

La especificidad biológica de la función de una proteína depende de dos propiedades generales: su forma y las características químicas de sus grupos superficiales expuestos

- forma: cuando una molécula pequeña colisiona con una proteína mucho más grande se une a ella solo si hay una “adecuación” general entre sus dos formas tridimensionales.
- química: los grupos funcionales de la superficie de una proteína promueven interacciones químicas con otras sustancias. Estos grupos son las cadenas laterales de los aminoácidos expuestos y, por lo tanto, son una propiedad de la estructura primaria de la proteína.

### 3.7. Funciones de las proteínas

- Función plástica: las proteínas forman el esqueleto celular y participan en la construcción de órganos y tejidos.
- Función catalizadora: las enzimas, cuya función es la de intervenir en diferentes reacciones químicas.
- Función transportadora: Son capaces de unirse y transportar diferentes moléculas, a través de la sangre, otros líquidos corporales y las membranas biológicas.
- Función defensiva: proteínas que viajan en el torrente circulatorio, los anticuerpos, que son producidos por los linfocitos y se encargan de combatir los agentes extraños que penetran en nuestro organismo.
- Función contráctil: las proteínas contráctiles (actina y miosina), facilitan el movimiento de las células constituyendo miofibrillas que son responsables de la contracción de los músculos.
- Función energética: si en la sangre existen niveles bajos de glucosa y ácidos grasos, se degradarán las proteínas para obtener energía, a razón de 4 Kcal/g.
- Función organoléptica: algunos aminoácidos libres presentes en los alimentos contribuyen al aroma y sabor de los mismos.

## 4. ÁCIDOS NUCLEICOS

Los ácidos nucleicos son polímeros especializados en el almacenamiento, el uso y la transmisión de la información genética. Hay dos tipos de ácidos nucleicos:

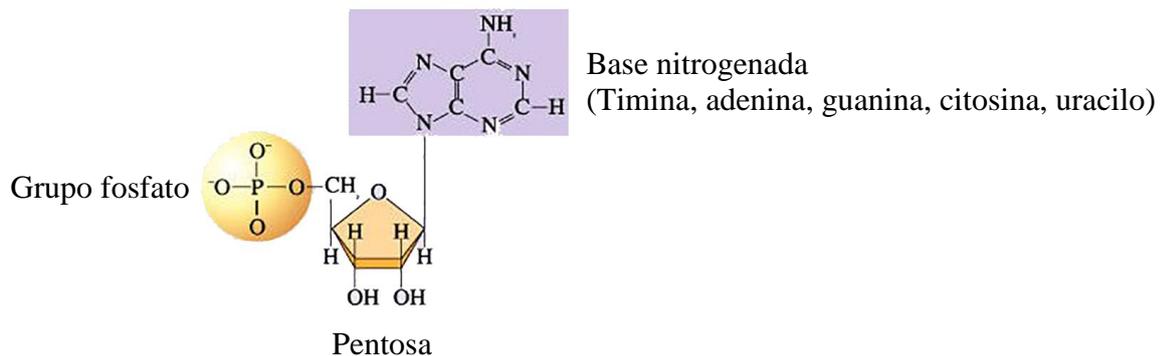
- **ácido desoxirribonucleico: ADN**
- **ácido ribonucleico: ARN**

El ADN es una macromolécula que codifica la información hereditaria y le transmite de una generación a la otra. A través de un intermediario de ARN, la información almacenada

en el ADN especifica las secuencias de aminoácidos de las proteínas. La información fluye del ADN al ARN y de éste a la proteína que será sintetizada y que finalmente desempeñan las funciones vitales.

#### 4.1. Los nucleótidos

Los **nucleótidos** son los monómeros de los ácidos nucleicos. Un **nucleótido** está formado por tres subunidades: un **grupo fosfato**, una **pentosa** (azúcar de cinco carbonos) y una **base nitrogenada** (Figura 7).



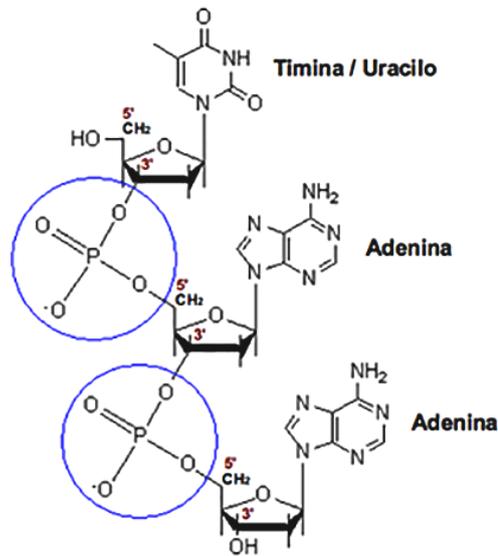
**Figura 7.** Estructura química de un nucleótido

El azúcar presente en el ácido nucleico puede ser: azúcar **desoxirribosa** (ADN) o azúcar **ribosa** (ARN). En la ribosa, el carbono 2 lleva un átomo de hidrógeno por encima del plano del anillo y un grupo hidroxilo por debajo del plano; en la desoxirribosa, el grupo hidroxilo del carbono 2 está reemplazado por un átomo de hidrógeno.

Las bases nitrogenadas pueden presentar dos formas químicas: una estructura anular simple, llamada **pirimidina** o una estructura de anillos fusionados, llamada **purina**. Entre las bases nitrogenadas pirimidínicas se encuentran: citosina, timina y uracilo. Entre las bases nitrogenadas purínicas están la adenina y la guanina.

#### 4.2. Enlace fosfodiéster

Las uniones fosfodiéster permiten la unión de los nucleótidos. Se producen entre el azúcar de un nucleótido y el fosfato del siguiente. En estas uniones el carbono 3' de la pentosa de un nucleótido se une con el carbono 5' de la pentosa del nucleótido adyacente a través del grupo fosfato de este último (Figura 8). En consecuencia, el eje del ácido nucleico está constituido por las pentosas y los fosfatos, y las bases nitrogenadas surgen de las pentosas. El extremo de la molécula que contiene la pentosa con el C5' libre se llama extremo 5', y el que posee la pentosa con el C3' libre, extremo 3'.



**Figura 8.** Unión fosfodiéster entre el grupo el carbono 3' de la pentosa del nucleótido con el carbono 5' de la pentosa del nucleótido adyacente mediante el grupo fosfato de este último.

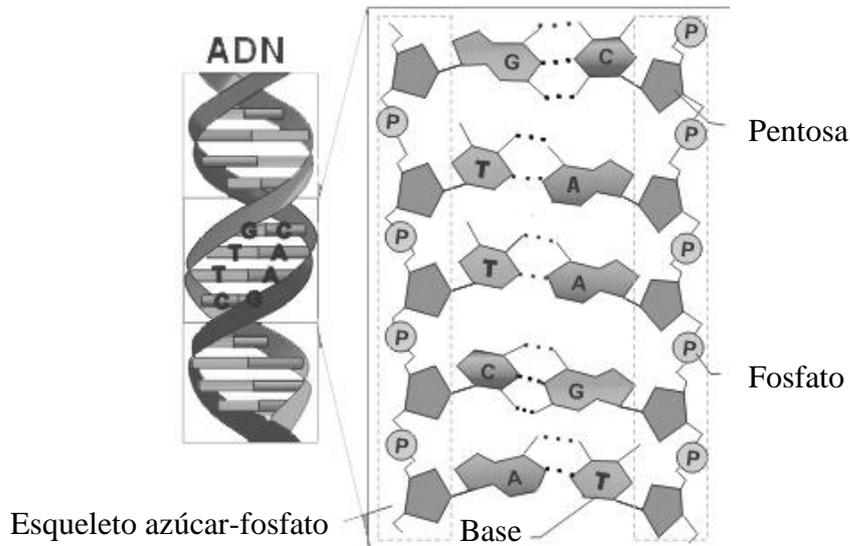
El ADN presenta una **doble hélice** y cada una está constituida por nucleótidos con:

- azúcar: desoxirribosa.
- bases nitrogenadas: adenina, timina, citosina y guanina.
- grupo fosfato.

La molécula de ADN está formada por dos cadenas de ácidos nucleicos helicoidales con giro a la derecha, que componen una doble hélice en torno de un mismo eje central. Las dos cadenas son antiparalelas, lo cual significa que sus uniones 3'-5'- fosfodiéster siguen sentidos contrarios. Las bases están situadas en el lado interior de la doble hélice. Cada vuelta completa de la doble hélice comprende 10,5 pares de nucleótidos (Figura 9).

Ambas cadenas se hallan unidas entre sí mediante puentes de hidrógeno establecidos entre los pares de bases. Puesto que entre las pentosas de las cadenas opuestas existe una distancia fija, pueden establecerse dentro de la estructura solamente ciertos pares de bases. Los únicos pares posibles son: A-T, T-A, C-G y G-C. Entre A y T se forman dos puentes de hidrógeno, y entre las C y G, tres, en consecuencia, el par C-G es más estable (Figura 9). La doble estructura helicoidal se mantiene estabilizada gracias a los puentes de hidrógeno y a las interacciones hidrofóbicas existentes entre las bases de cada cadena.

Si bien en las distintas moléculas de ADN las secuencias de las bases a lo largo de las cadenas varían considerablemente, en una misma molécula de ADN las secuencias de las dos cadenas son complementarias. Debido a esta propiedad, al separarse las cadenas durante la duplicación del ADN, cada cadena individual sirve como molde para la síntesis de una nueva cadena complementaria. De este modo se generan dos moléculas hijas de ADN con la misma constitución molecular que poseía la progenitora.



**Figura 9.** Estructura de la molécula de ADN. Doble hélice y unión entre las bases nitrogenadas entre ambas hebras.

El ARN presenta una **hebra simple** y está constituida por nucleótidos con:

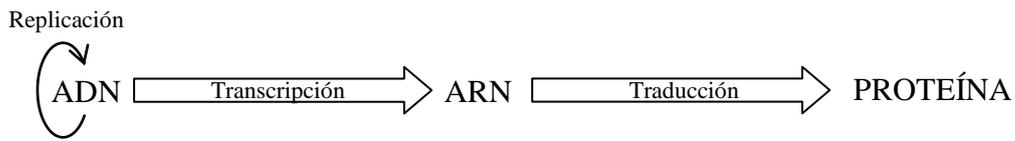
- azúcar: ribosa.
- bases nitrogenadas: adenina, uracilo, citosina y guanina.
- grupo fosfato.

Existen tres clases de ARN: ARN mensajero (ARNm), ARN ribosómico (ARNr) y ARN de transferencia (ARNt). Los tres intervienen en la síntesis proteica.

Aun cuando cada molécula de ARN tiene una sola cadena de nucleótidos, eso no significa que se encuentre siempre como una estructura lineal simple. En las moléculas de ARN suelen existir tramos con bases complementarias, lo que da lugar a puentes de hidrógeno entre varias regiones otorgándoles formas variables a las cadenas de ARN.

#### 4.3. El dogma central de la biología molecular

Cuando la célula necesita una determinada proteína, la secuencia de aminoácidos de la proteína (estructura primaria) está determinada por una secuencia de nucleótidos de un fragmento del ADN (gen). Esta secuencia de nucleótidos del ADN debe pasar su información a una molécula de ARN (copia de la información). Después, estas copias de ARN que llevan la información de segmentos cortos del ADN contenidas en el núcleo, se trasladan al citosol para dirigir la síntesis proteica. En consecuencia, la información genética de las células fluye del ADN al ARN, y de éste a la proteína. Todas las células, de las bacterias a los seres humanos, expresan su información genética de este modo, un principio tan fundamental que ha sido denominado “el dogma central de la biología molecular” (Figura 10).



**Figura 10.** Dogma central de la biología molecular

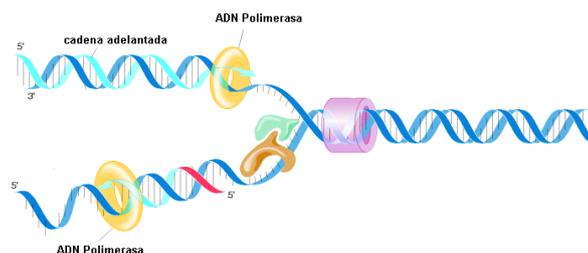
#### 4.3.1. Replicación del ADN

La replicación del ADN es un proceso que ocurre sólo una vez en cada generación celular. Por lo tanto, las dos células “hijas” provenientes de la división celular contienen una copia idéntica del ADN de la célula madre que le dio origen.

Watson y Crick propusieron un mecanismo de replicación semiconservativa en base al modelo estructural del ADN planteado, según el cual la doble hélice del ADN se abre por el medio gracias a la acción de la ADN polimerasa y las bases apareadas se separan a nivel de los puentes de hidrógeno. El inicio de la replicación, tanto en procariontas como en eucariotas, se produce en una secuencia específica de nucleótidos denominada origen de replicación.

A medida que se separan, las dos cadenas actúan como moldes o guías, cada una dirigiendo la síntesis de una nueva cadena complementaria a lo largo de toda su extensión (Figura 11). La complementariedad de las bases sólo permite dos tipos de apareamientos T-A y G-C; las bases se van agregando una a una y la selección de cuál base entra en un sitio específico de la cadena en formación, queda determinada por la base presente en la cadena molde con la que se va a aparear. Los desoxirribonucleótidos se van uniendo por enlaces fosfodiéster. De esta manera, cada cadena molde forma una copia de su cadena complementaria original y se producen dos réplicas exactas de la molécula. Este modelo brindó una respuesta de cómo la información hereditaria se duplica y pasa de generación en generación.

Este mecanismo se denomina replicación semiconservativa porque la doble hélice progenitora se replica dando lugar a dos dobles hélices hijas, cada una de las cuales está formada por una cadena progenitora (cadena vieja) y una cadena “hija” (sintetizada *de novo*).



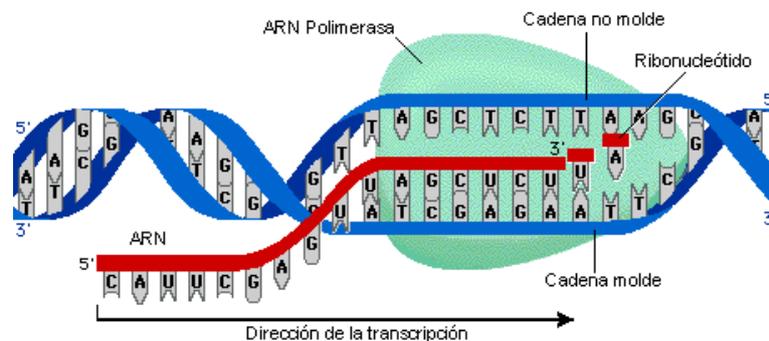
**Figura 11.** Proceso de replicación de ADN.

### 4.3.2. Transcripción

La transcripción es la síntesis de ARN a partir de un molde de ADN. Mediante este proceso se forman los tres tipos de ARN: mensajero, ribosómico y de transferencia. El ARN ribosómico se produce en el nucléolo y los otros dos, en el nucleoplasma. La enzima que lleva a cabo el proceso es la ARN polimerasa.

En cada evento de transcripción, se transcribe solo una de las dos cadenas del ADN. Una vez unida la ARN polimerasa, abre y desenrolla la doble hélice de manera que queden expuestos algunos desoxirribonucleótidos (Figura 12). La enzima va añadiendo ribonucleótidos, moviéndose a lo largo de la hebra de ADN que se utiliza como patrón, desenrollando la hélice y exponiendo así nuevas regiones para transcribir, hasta que se encuentra con otras secuencias específicas del ADN, llamadas terminadoras, que señalan la detención de la síntesis de ARN. Los ribonucleótidos se van uniendo por enlaces fosfodiéster. Cuando se ha copiado toda la hebra al final del proceso, las instrucciones genéticas copiadas o transcriptas al ARN están listas para salir al citoplasma. La cadena de ARN queda libre y el ADN se cierra de nuevo por apareamiento de sus cadenas complementarias. Esta etapa, se denomina terminación de la transcripción.

Es importante señalar que el ARN, tiene una secuencia complementaria a la cadena molde de ADN, que es igual a la otra cadena del ADN, salvo el remplazo de timina (T) por uracilo (U).



**Figura 12.** Proceso de transcripción.

### 4.3.3. Traducción

La traducción implica pasar la información contenida en el “idioma” de los ácidos nucleicos al “idioma” de las proteínas.

La traducción es la síntesis de proteínas a partir de la información contenida en el ARN. Este proceso complejo involucra a los tres tipos de ARN. El ARNm es el que lleva el mensaje a ser leído para determinar la secuencia de aminoácidos que llevará la proteína (obreros de una fábrica). El ARNr es el que constituye, junto a algunas proteínas, los ribosomas y es el sitio físico en el cual se irá sintetizando el polipéptido (edificio de la

fábrica). El ARNt es el encargado de “traer” los aminoácidos (materia prima de la fábrica) libres en el citosol hasta el lugar de síntesis, los ribosomas.

En el ribosoma (formado por el ARNr y proteínas), el ARNm se traduce en una proteína, para lo cual se requiere también la intervención del ARNt. El trabajo del ARNt consiste en tomar a los aminoácidos del citosol y conducirlos al ribosoma en el orden marcado por los nucleótidos del ARNm, que son los moldes del sistema.

El ARNm pasa desde el núcleo al citosol a través de los poros de la membrana nuclear. Una vez en el citosol la molécula de ARNm se dirige y se asocia entre medio de las dos subunidades del ribosoma (ARNr y proteínas). Luego de estos procesos debe ocurrir la síntesis de la proteína en base a la información contenida en el ARNm.

Existen 4 bases en el ARN: C, G, U y A y existen 20 aminoácidos. Entonces, ¿cómo hace la célula para poder traducir desde un idioma con menor cantidad de letras a uno con mayor cantidad? Esto se logra a través del **código genético** (Figura 13), compuesto por combinaciones de tres nucleótidos consecutivos en el ARNm (tripletes). Los distintos tripletes se relacionan específicamente con los 20 tipos de aminoácidos usados en la síntesis de proteínas. A este grupo de tres nucleótidos se los denomina **codón**.

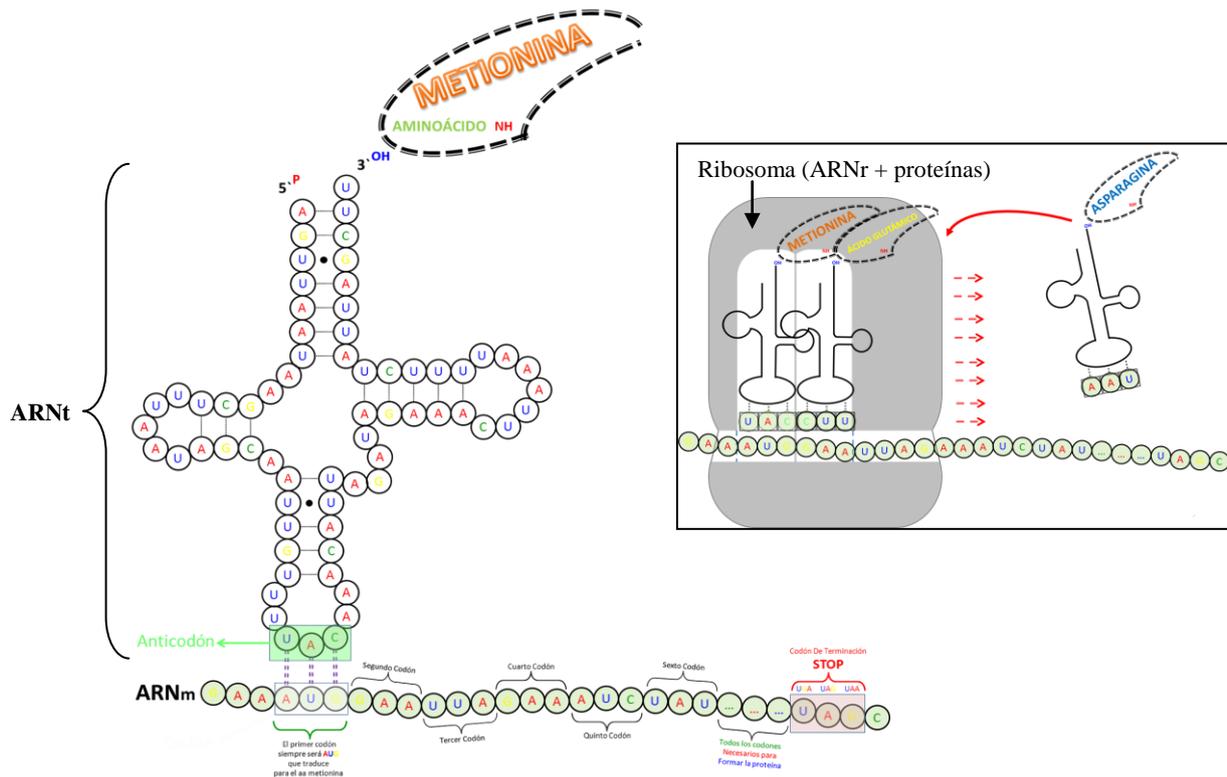
		Segunda base					
		U	C	A	G		
P r i m e r a b a s e	U	Phe UUU	Ser UCU	Tyr UAU	Cys UGU	U C A G	T e r c e r a b a s e
		Phe UUC	Ser UCC	Tyr UAC	Cys UGC		
		Leu UUA	Ser UCA	<b>Stop UAA</b>	<b>Stop UGA</b>		
		Leu UUG	Ser UCG	<b>Stop UAG</b>	Trp UGG		
	C	Leu CUU	Pro CCU	His CAU	Arg CGU		
		Leu CUC	Pro CCC	His CAC	Arg CGC		
		Leu CUA	Pro CCA	Gln CAA	Arg CGA		
		Leu CUG	Pro CCG	Gln CAG	Arg CGG		
	A	Ile AUU	Thr ACU	Asn AAU	Ser AGU		
		Ile AUC	Thr ACC	Asn AAC	Ser AGC		
		Ile AUA	Thr ACA	Lys AAA	Arg AGA		
		<b>Met AUG</b>	Thr ACG	Lys AAG	Arg AGG		
G	Val GUU	Ala GCU	Asp GAU	Gly GGU			
	Val GUC	Ala GCC	Asp GAC	Gly GGC			
	Val GUA	Ala GCA	Glu GAA	Gly GGA			
	Val GUG	Ala GCG	Glu GAG	Gly GGG			

**Figura 13.** Código genético. Aminoácidos y su respectivo codón.

Los 31 tipos diferentes de ARNt actúan como intermediarios entre los codones del ARNm y los aminoácidos. Cada ARNt tiene un dominio que se liga específicamente a uno de los 20 aminoácidos y otro que lo hace, específicamente también, con el codón apropiado. Este último dominio consta de una combinación de tres nucleótidos, el anticodón, complementario al codón. La función principal de los ARNt es la de alinear a los aminoácidos siguiendo el orden marcado por los codones del ARNm. Esta alineación y aproximación de los aminoácidos hace que se vayan formando las uniones peptídicas entre ellos, para ir

conformando el polipéptido que finalmente se convertirá en una proteína funcional (Figura 14).

El proceso termina cuando en el ARNm aparece el codón de terminación. Este codón no es reconocido por ningún tipo de ARNt e indica al ribosoma que termine la traducción. La cadena polipeptídica es terminada y liberada. El ribosoma libera al ARNm y se disocia y la cadena polipeptídica (futura proteína) puede tener distintos destinos: núcleo, citosol o los orgánulos.



**Figura 14.** Proceso de traducción. Apareamiento temporal de bases del codón del ARNm y anticodón del ARNt para iniciar la formación del polipéptido con el aminoácido metionina. En el recuadro se observa la continuación del proceso donde se van añadiendo nuevos aminoácidos al polipéptido.

#### 4.4. Otros nucleótidos de importancia biológica

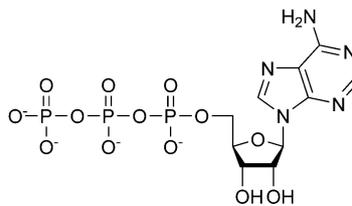
##### 4.4.1. El ATP

La combinación de una base nitrogenada con una pentosa constituye un nucleósido. Por ejemplo la adenosina es un **nucleósido** (adenina + ribosa). Si a esta adenosina se le agrega un grupo fosfato forma la adenosina monofosfato (AMP), si se agregan dos grupos fosfato forma la adenosina difosfato (ADP) y si se le agregan tres grupos fosfato forma la adenosina trifosfato (**ATP**) que son ejemplos de **nucleótidos** (Figura 15).

Los nucleótidos, además de su papel en la formación de los ácidos nucleicos, tienen una función independiente y vital para la vida celular: por ejemplo el ATP es utilizado para

depositar y transferir energía química. Las dos uniones fosfato terminales de la molécula de ATP contienen gran cantidad de energía. Cuando estas uniones son hidrolizadas, su energía contenida puede ser utilizada para otras funciones de la célula. La unión fosfato de alta energía permite que la célula acumule gran cantidad de ella en un espacio reducido y que la mantenga lista para usarla en el momento que sea necesaria. Alrededor de unas 7 Kcalorías de energía se liberan por cada mol de ATP hidrolizado. La reacción puede ocurrir en sentido contrario si se aportan las 7 Kcalorías por mol necesarias.

La energía contenida en los glúcidos de reserva como el almidón y el glucógeno, y en los lípidos, viene a ser como el dinero depositado a plazo fijo; no es asequible fácilmente. La energía de la glucosa es como el dinero en una cuenta corriente, accesible, pero no tanto como para realizar todas las operaciones cotidianas. La energía en los nucleótidos modificados, en cambio, es como el dinero de bolsillo, disponible en cantidades convenientes y es aceptado en forma generalizada.



**Figura 15.** Estructura de la molécula de adenosina trifosfato (ATP).

#### 4.4.2. *Transportadores de electrones*

Estas moléculas participan en reacciones de óxido-reducción y suelen ser parte de reacciones acopladas en las células. Estos transportadores activados están especializados en transportar electrones y átomos de hidrógeno de alta energía que se desprenden de otras reacciones. Los más importantes de éstos transportadores son: **NAD<sup>+</sup>**: nicotinamida adenina dinucleótido y el **NADP<sup>+</sup>**: nicotinamida adenina dinucleótido fosfato, éstas son sus formas oxidadas, es decir, sin energía. Cuando ambos recogen “paquetes de energía” en forma de dos electrones de alta energía más un protón (H<sup>+</sup>), se transforman en NADH (nicotinamida adenina dinucleótido reducido) y NADPH (nicotinamida adenina dinucleótido fosfato reducido), respectivamente. Estos liberan su energía en aquellas reacciones que la necesitan, actúan como agentes reductores.

También existen otras moléculas transportadoras activadas, el **FAD<sup>+</sup>**: flavina adenina dinucleótido, ésta es su forma oxidada, sin energía, cuando se carga de electrones y protones se obtiene la forma reducida: FADH<sub>2</sub>. Es un importante transportador en la respiración celular.

1. ¿Qué es una macromolécula? ¿con que otros nombres se las conoce?

---

---

2. ¿Cuáles son las macromoléculas?

- 
- 
- 
- 

3. ¿Cuál es el tipo de enlace principal en las macromoléculas? ¿Cuál es su importancia?

---

---

4. Existen otros tipos de enlaces. Mencione cuales son esos tipos de enlace y en que macromoléculas se encuentran. ¿Qué importancia tienen?

- 
- 
- 
- 

---

---

---

5. ¿Qué es un monómero? Y ¿un polímero?

---

---

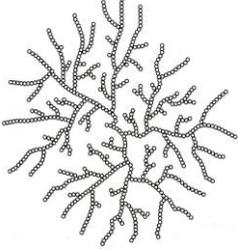
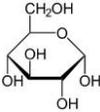
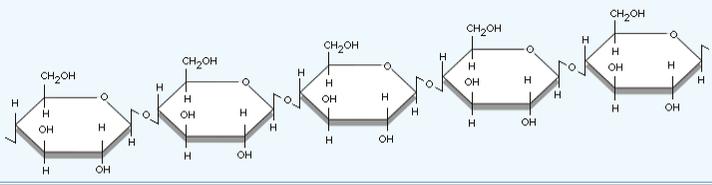
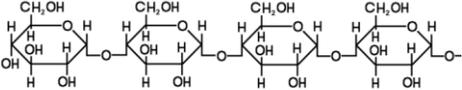
6. Esquematice el monómero de cada macromolécula indicando el nombre del monómero y de la macromolécula correspondiente.

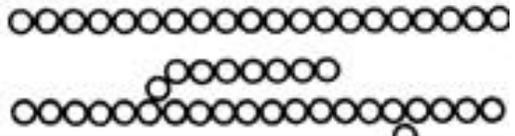
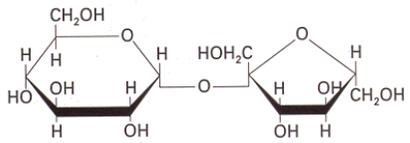

7. Esquematice la unión de dos monómeros para cada macromolécula indicando los sitios donde ocurre el enlace. Mencione en cada caso como se denomina el enlace.


## Hidratos de Carbono (Glúcidos)

Los hidratos de carbono son polímeros constituidos por C, H y O (a veces poseen N, S o P). El nombre de Glúcido deriva de la palabra glucosa que proviene del griego *glykys* que significa dulce.

Complete el siguiente cuadro donde se presentan ejemplos de las cuatro categorías de hidratos de carbono.

	Nombre	Función/importancia	Ubicación	Tipo de enlace
				
				
				
				

## Lípidos

Los Lípidos son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por C e H y generalmente también O; pero en porcentajes mucho más bajos. Además, pueden contener también P, N y S.

1. ¿Qué tipo de moléculas tienen en común los triglicéridos, fosfolípidos y glucolípidos?

---

2. Mencione en qué organismos se encuentran cada uno de ellos.

---

---

---

3. Las membranas biológicas están constituidas por dos de los tres tipos de lípidos mencionados en el inciso 1. ¿Cuáles son?

- 
- 

4. ¿Qué disposición adoptan los fosfolípidos en un medio acuoso, que es el que se presenta intra y extracelularmente? ¿Por qué?

---

---

---

5. Los organismos almacenan energía de distintas formas. Mencione las moléculas que reservan energía, en orden creciente de capacidad de reserva. Diferencie su respuesta en organismos vegetales y en animales.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## Proteínas y ácidos nucleicos

El dogma central de la biología molecular describe el proceso por el cual la información genética contenida en el ácido nucleico ADN lleva a la producción de proteínas.

1. Dada la siguiente secuencia de la cadena molde de ADN:

TACGTGGCAATTGGCCCACTATTTGTGATAGAAGACATC

Indique la secuencia de aminoácidos que tendrá el polipéptido traducido.

---

---

¿Cual es la estructura de dicha secuencia?

---

---

¿Puede decirse que este polipéptido con esta estructura es una proteína? Justifique su respuesta.

---

---

2. Además del ADN del inciso 1 ¿Qué otras macromoléculas intervienen en la síntesis del polipéptido? ¿Dónde se encuentran y cual es la función de cada uno?

---

---

3. Indique cual es la secuencia complementaria de la cadena molde de ADN del inciso 1. ¿Qué tipo y cantidad de enlaces se forman entre las bases nitrogenadas de ambas cadenas? Y ¿Qué tipo de enlace dentro de cada cadena? Esquematice los primeros tres nucleótidos de cada cadena de la doble hebra del ADN.

---

---

---

---

---

---

---

---

5. El ADN posee tres funciones: almacenamiento, uso y transmisión de la información genética. Esta última función permite que la información genética de una célula progenitora se transmita a sus células hijas luego de la división celular. ¿Qué proceso debe ocurrir antes de la división celular para que la célula cumpla esta función?

---

---



## LA CÉLULA

Las **células animales y vegetales** se encuentran dentro del tipo de organización celular eucariota. Éstas se caracterizan por tener su material genético (ADN) dentro de un núcleo rodeado de una membrana biológica. También poseen diversos orgánulos, compartimentos limitados por membranas biológicas, los cuales llevan a cabo diferentes funciones. Otra de las características distintivas de este tipo de organización celular es el citoesqueleto: conjunto de filamentos proteicos que le proporcionan una compleja estructura interna.

En una célula eucariótica podemos distinguir tres partes fundamentales: **membrana citoplasmática**, **citoplasma** y **núcleo**. Además, las células vegetales tienen una gruesa pared de celulosa, por fuera de la membrana citoplasmática, la **pared celular** (Figura 1).

La **membrana citoplasmática** es una capa continua que rodea a la célula y la separa del medio externo. El **citoplasma** es la parte de la célula que está comprendida entre la membrana citoplasmática y la membrana nuclear. Está formado por un medio acuoso, el **citosol**, en el cual se encuentran inmersos los **ribosomas** y los **orgánulos**. Los ribosomas son partículas compuestas por ARN ribosómico y proteínas. Los orgánulos son estructuras o subcompartimentos rodeados por membranas biológicas especializados en llevar a cabo una función particular. Algunos de los orgánulos más importantes de las células animales son: retículo endoplasmático (RE), complejo o aparato de Golgi, vacuolas (pequeñas o ausentes), vesículas (peroxisomas y lisosomas) y mitocondrias (Figura 2). Existen algunos orgánulos exclusivos de las células vegetales: plástidos (cloroplastos, cromoplastos y leucoplastos: amiloplastos) y glioxisomas (vesículas provenientes del aparato de Golgi) (Figura 1). Además, la célula vegetal se caracteriza por poseer una vacuola grande que cumple funciones particulares. El **núcleo** suele ocupar una posición central, aunque en las células vegetales suele estar desplazado hacia un lado y contiene la mayor parte del ADN celular o sea la información genética.

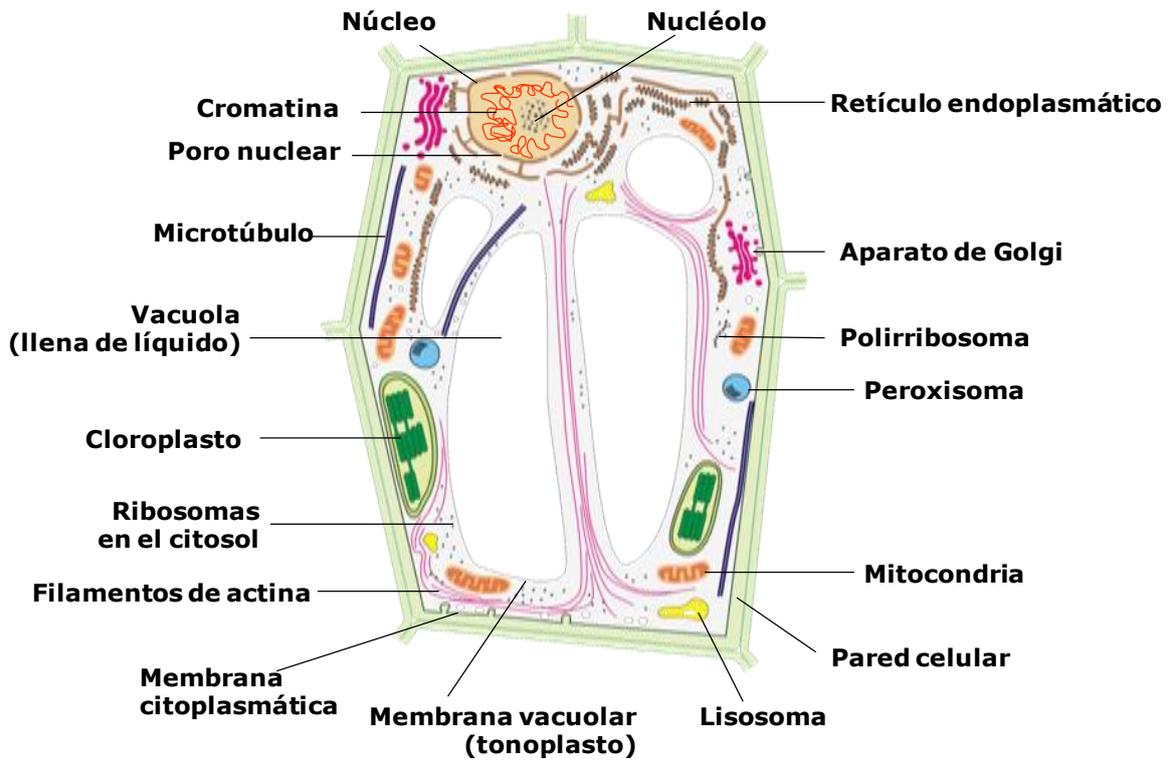


Figura 1. Esquema de una célula vegetal.

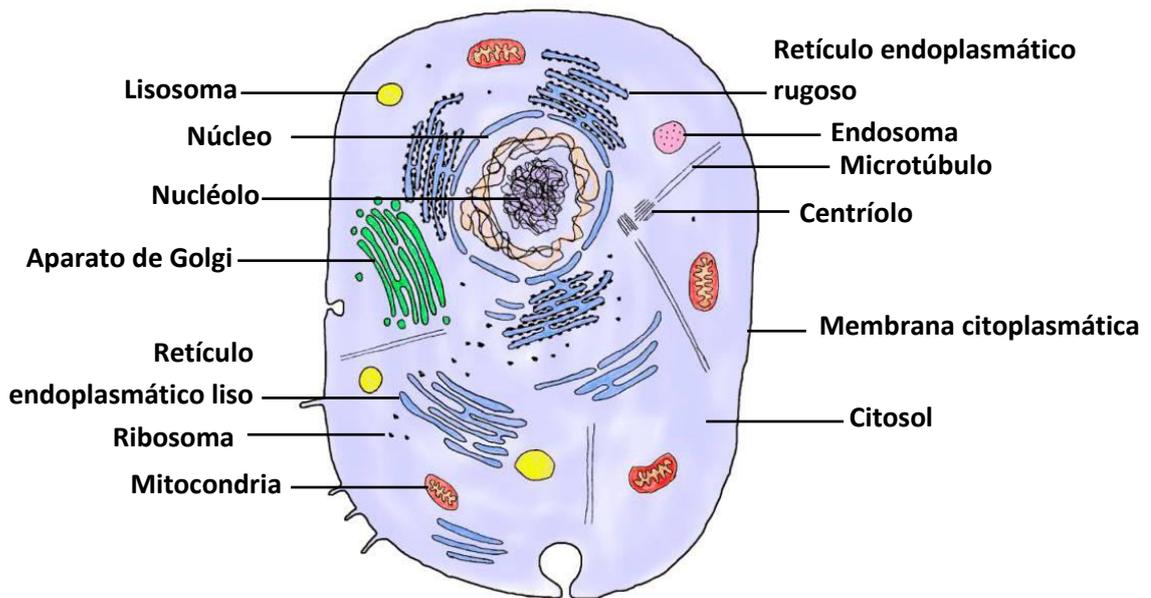


Figura 2. Esquema de una célula animal.

## **LAS MEMBRANAS BIOLÓGICAS: LA MEMBRANA CITOPLASMÁTICA**

Para que las células puedan llevar a cabo las reacciones químicas necesarias para la vida, deben mantener un medio interno adecuado y compartimentalizado. Esto se logra a través de la presencia de membranas biológicas, las cuales tienen la misma estructura y composición como se verá más adelante (la bicapa lipídica).

La membrana biológica que rodea a la célula se denomina **membrana citoplasmática**. Esta membrana no se limita a encerrar el variado contenido de la célula, si no que actúa eficazmente, controlando la entrada y salida de materia a la célula. Así, permite el paso de los nutrientes y de otros compuestos necesarios hacia el interior de la célula, mientras que las moléculas que no son necesarias permanecen en el exterior o son desechadas desde el interior.

Todas las membranas biológicas, ya sea la membrana citoplasmática o las membranas internas que rodean a los orgánulos de las células eucarióticas, tienen una estructura general común: están formadas por una **bicapa lipídica** asociada de diversas formas a **proteínas** particulares (Figura 3). Los tres tipos principales de lípidos de membrana son: los fosfolípidos, los más abundantes; los glucolípidos y el colesterol. Dichos lípidos son anfipáticos, es decir tienen un extremo hidrofílico y otro hidrofóbico; por ello en un medio acuoso forman espontáneamente bicapas con los extremos hidrofílicos hacia afuera de la bicapa y las colas hidrofóbicas hacia el interior de la bicapa.

Estas bicapas tienen la propiedad de ser fluidas, por eso decimos que la membrana citoplasmática tiene una estructura de mosaico fluido. La fluidez es una de las características más importantes de las membranas y depende de varios factores:

- La temperatura, la fluidez aumenta al aumentar la temperatura.
- La naturaleza de los lípidos, la presencia de lípidos insaturados y de cadena corta favorecen el aumento de fluidez.
- La presencia de colesterol endurece las membranas, reduciendo su fluidez y permeabilidad.

Otra propiedad de las bicapas lipídicas es que, debido a su interior hidrofóbico son muy impermeables a los iones y a la mayor parte de las moléculas polares.

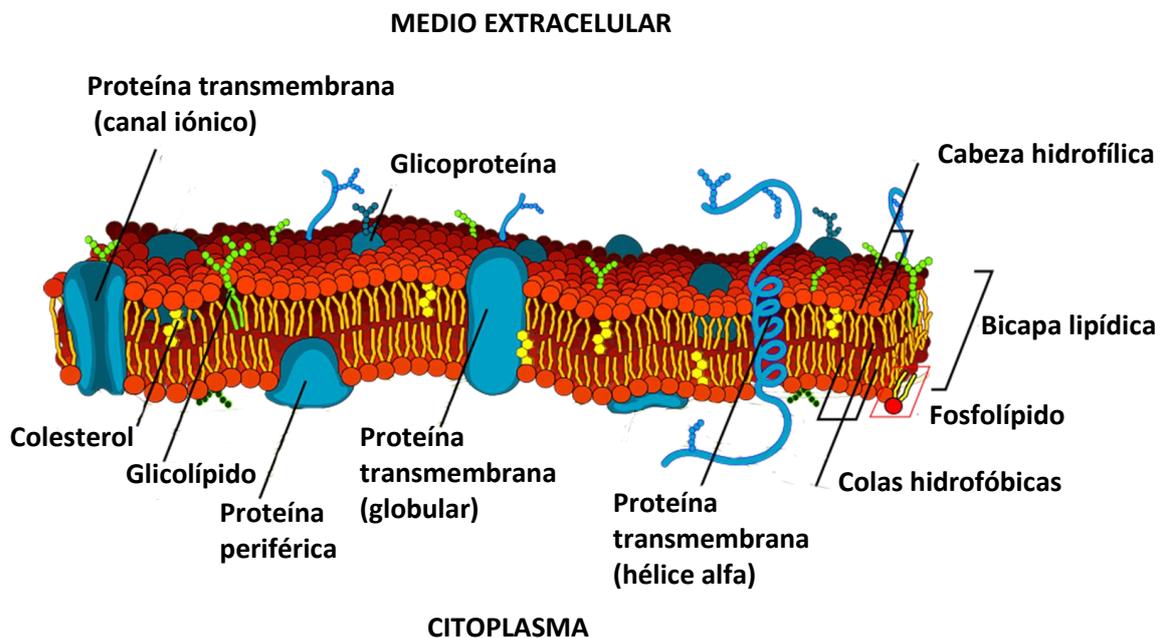
Las moléculas que atraviesan la bicapa son:

- Moléculas no polares que se disuelven fácilmente en la bicapa.
- Moléculas polares de tamaño muy reducido, como por ejemplo el agua.

Las proteínas de la membrana se pueden asociar a la bicapa lipídica de las siguientes formas: muchas proteínas de membrana atraviesan la bicapa de un extremo a otro,

denominándose por ello **proteínas transmembrana**. Estas proteínas tienen una parte central hidrofóbica, que interactúa con la región hidrocarbonada de la bicapa y dos extremos hidrofílicos que interactúan con el exterior e interior de la célula. Existen otras proteínas que se encuentran en la superficie de la bicapa, ya sea en la cara externa o interna de la membrana. Entre ellas se encuentran las **glicoproteínas**, así como también hay **glicolípidos**.

Las principales funciones de la membrana son: separar a la célula de su entorno, separar a los orgánulos del citosol, controlar el intercambio de sustancias entre la célula (u orgánulos) y el medio y reconocer ciertas sustancias.



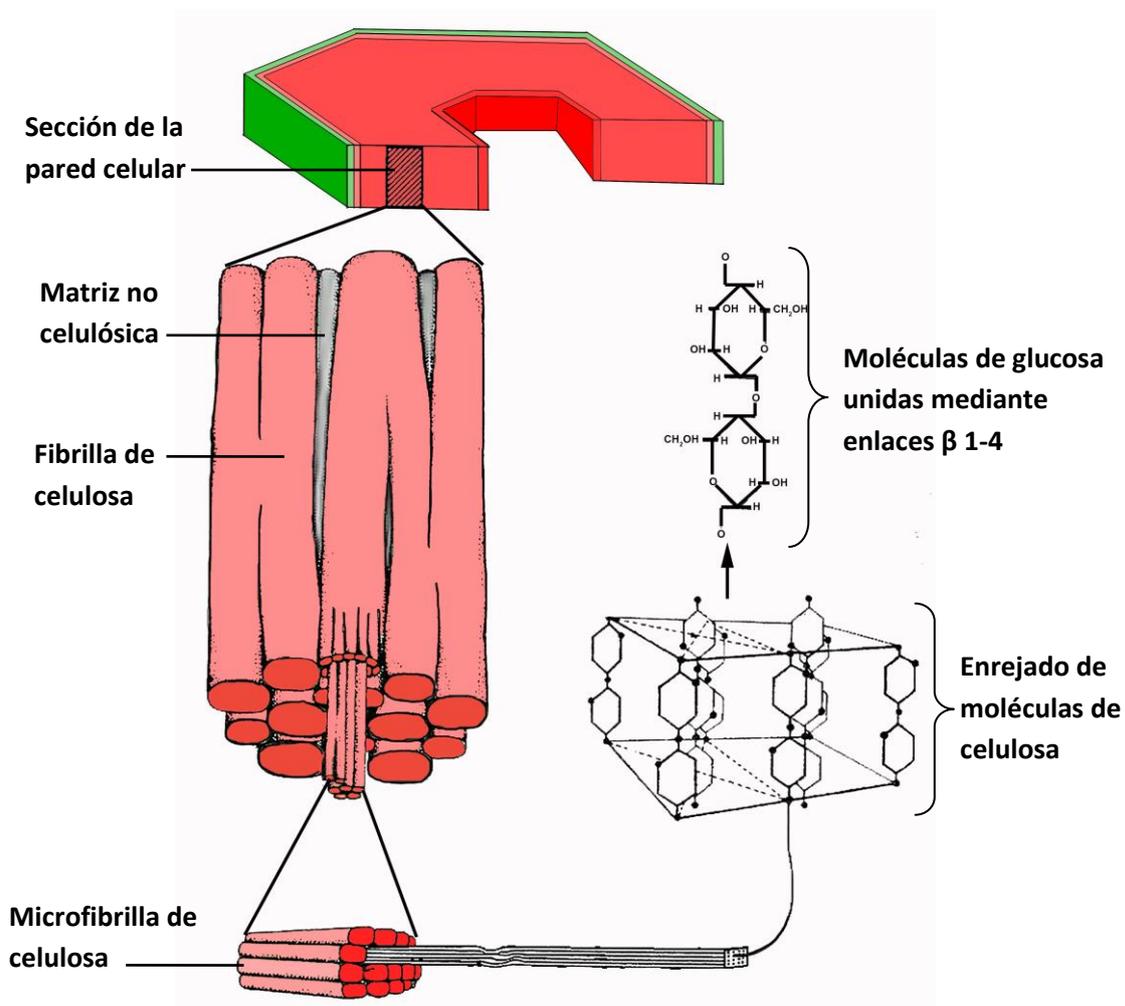
**Figura 3.** Esquema de una membrana biológica (modelo de mosaico fluido)

### LA PARED CELULAR

La pared celular le brinda estructura a las células vegetales y sirve de sostén mecánico a los órganos de la planta, especialmente las paredes fuertes y rígidas. Además, participa en otras actividades de la planta como son la absorción, la transpiración, el transporte y la secreción.

La pared celular es una gruesa cubierta situada sobre la superficie externa de la membrana citoplasmática. La misma está formada por **fibras de celulosa** asociada con otros **polisacáridos**, **hemicelulosa** y **sustancias pecticas**. Otras sustancias orgánicas pueden estar presentes, como la cutina, en las células epidérmicas, o suberina, en las células del súber (tejido de protección secundario).

La celulosa es un **polisacárido** lineal, largo y recto formado por moléculas de **glucosa** unidas mediante **uniones  $\beta$  1-4** (unión glucosídica fuerte) (Figura 4). En la Figura 4 se observa la estructura detallada (ultraestructura) de la pared celular. La pared celular esta formada por un **marco celulósico** y una **matriz no celulósica**. El marco celulósico está formado por **fibrillas de celulosa** (también llamadas macrofibrillas de celulosa) interpenetrado por la matriz no celulósica. Cada fibrilla está formada por un conjunto de **microfibrillas de celulosa** y cada microfibrilla por un conjunto de **cadena de celulosa** unidas por puentes de hidrógeno formando un enrejado especial.



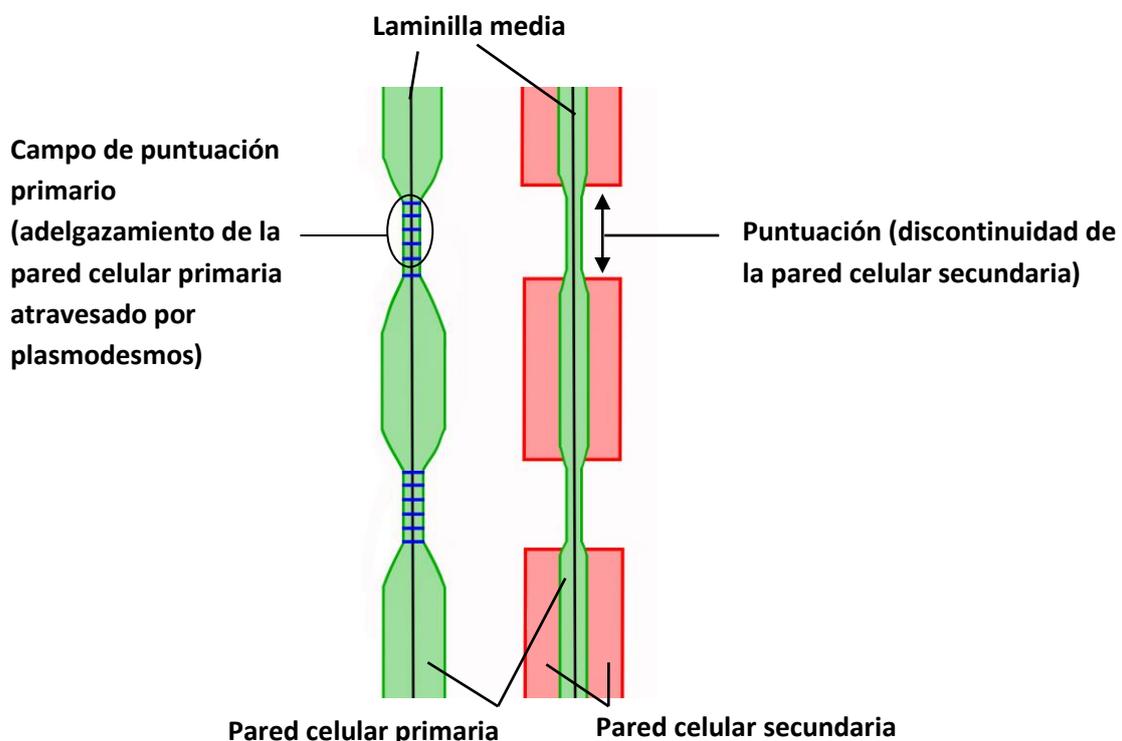
**Figura 4.** Ultraestructura de la pared celular de una célula vegetal.

El método de crecimiento de la pared celular, la cantidad de crecimiento y la disposición de las microfibrillas en los incrementos sucesivos de la pared celular producen una estratificación de la misma. Cada célula forma su propia pared de afuera hacia adentro de modo que la capa más vieja de una pared se encuentra en la posición mas externa de la

célula y la más nueva se encuentra más próxima a la membrana citoplasmática. Las primeras capas que se forman constituyen la **pared celular primaria**. En algunos tipos celulares se depositan capas adicionales y forman la **pared celular secundaria** (contiene alta proporción de celulosa, lignina y/o suberina). La zona en que se unen las paredes primarias de dos células contiguas se denomina **laminilla media** (sustancia de naturaleza péctica que a menudo se lignifica).

El paso de sustancias a través de la pared celular está favorecido por la presencia de modificaciones de la pared celular. Las **paredes secundarias** muestran discontinuidades características llamadas **puntuaciones** (Figura 5). Las puntuaciones son el resultado de la deposición diferencial de la pared celular secundaria (no se deposita pared celular secundaria en el sitio correspondiente a la puntuación). Generalmente cada puntuación se opone con otra puntuación de la célula vecina formando un par de puntuaciones. En el medio del par de puntuaciones quedan las paredes celulares primarias y la laminilla media de las células involucradas.

Las paredes primarias presentan depresiones denominadas **campos de puntuaciones primarias**, que es un lugar delgado de la pared celular que es atravesado por **plasmodesmos** (Figura 5). Los plasmodesmos son conexiones citoplasmáticas que atraviesan la pared celular entre células contiguas.



**Figura 5.** Modificaciones de la pared celular. Campos de puntuación primaria y puntuaciones.

## EL CITOPLASMA

Como fue mencionado previamente el citoplasma se define como la parte de la célula que está comprendida entre la membrana citoplasmática y la membrana nuclear. Por lo tanto, el citoplasma está formado por un medio acuoso que se denomina **citosol**, en el cual se encuentran inmersos los **orgánulos** y los **ribosomas**. Los orgánulos son una de las características básicas de las células eucarióticas y se diferencian gracias a un complejo sistema de membranas biológicas internas, que los delimitan. Cada orgánulo tiene una función específica que permite a la célula realizar simultáneamente numerosas reacciones químicas específicas e incompatibles y, al mismo tiempo, transportar los productos de dichas reacciones a sus lugares de destino.

A continuación estudiaremos los principales orgánulos de la célula eucariota.

## 1) ORGÁNULOS QUE PROCESAN INFORMACIÓN

### 1.1) El núcleo

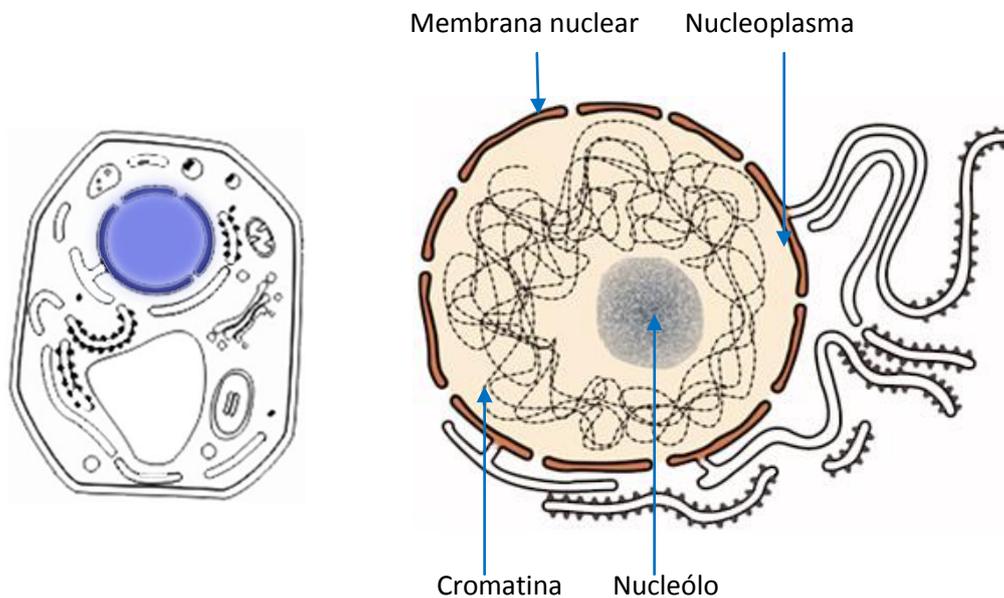
Una célula contiene una serie de instrucciones destinadas a asegurar su funcionamiento y su reproducción. Estas instrucciones están contenidas en genes, constituidos por porciones de ADN y localizados en los cromosomas. En los organismos eucariotas los cromosomas están protegidos por una membrana biológica que delimita el núcleo de la célula.

En el núcleo tienen lugar procesos tan importantes como la **replicación del ADN** y la **transcripción del ARN**. La replicación del ADN es un proceso, gracias al cual, cuando una célula se divide se obtienen dos células hijas con idéntica información y control que la célula madre. Además, también sirve para la formación de células encargadas en la reproducción de las especies.

El núcleo es una estructura constante en la célula eucariótica y su constitución varía a lo largo de la vida de la célula, distinguiéndose dos períodos: período de división y período de interfase. Durante el primer período la célula se divide para originar células hijas, y durante el segundo el ADN se transcribe y la célula realiza su actividad normal o se replica para prepararse para la división. En esta etapa de estudio vamos a referirnos al núcleo durante la interfase.

La forma del núcleo es muy variable aunque generalmente predomina la esférica. El tamaño es variable, aunque existe una relación entre el tamaño del núcleo y el tamaño de la célula. Su posición normalmente suele ser central, aunque en las células vegetales suele estar desplazado, debido al tamaño de las vacuolas. En general las células suelen tener un solo núcleo, aunque hay células que tienen varios núcleos.

En el núcleo interfásico se puede distinguir los siguientes componentes: **membrana nuclear, nucleoplasma, cromatina y nucleólo** (Figura 6).



**Figura 6.** Esquema de la célula y de la ultraestructura del núcleo.

- ✓ **Membrana nuclear.** Está formada por dos membranas, externa e interna, con la misma estructura que la membrana citoplasmática. Debajo de la membrana interna se encuentra una capa de proteínas fibrilares denominada lámina nuclear. La membrana nuclear presenta poros que permiten el paso de sustancias del núcleo al citoplasma y viceversa. La lámina nuclear induce la aparición y desaparición de la envoltura nuclear y es fundamental para la constitución de los cromosomas a partir de la cromatina.
- ✓ **Nucleoplasma.** Es un gel formado fundamentalmente por proteínas, la mayoría enzimas implicadas en la duplicación del ADN y la transcripción. En el nucleoplasma se encuentra inmersa la cromatina.
- ✓ **Cromatina.** Se le llama así por teñirse fuertemente por ciertos colorantes. Está formada por ADN asociado a proteínas. Las proteínas de la cromatina son de dos tipos, histonas y no histonas. Por otro lado, en el núcleo eucariótico hay varias moléculas de ADN, cuyo número varía según las especies; cada molécula de ADN, con sus proteínas asociadas, constituye un cromosoma.

Las moléculas de ADN son muy largas, ya que miden varios centímetros de longitud, pero han de caber en un núcleo de unos micrómetros de diámetro. Por eso se encuentran extraordinariamente compactadas, formando la cromatina, la cual está formada por unidades repetitivas denominadas nucleosoma, unidas por ADN. Cada nucleosoma está formado por ocho moléculas de histonas, que forman un núcleo alrededor del cual la molécula de ADN da 1,75 vueltas (166 pares de bases), y mantenido por una histona; dando lugar a una fibra de cromatina de 10 nm de diámetro (modelo de collar de perlas).

La estructura de collar de perlas se puede plegar en una nueva estructura llamada estructura helicoidal, dando lugar a una fibra cromatínica de 30 nm de diámetro (modelo de solenoides).

Durante la división celular la fibra de cromatina se pliega mucho más, para dar lugar a los cromosomas.

Se distingue dos tipos de cromatina:

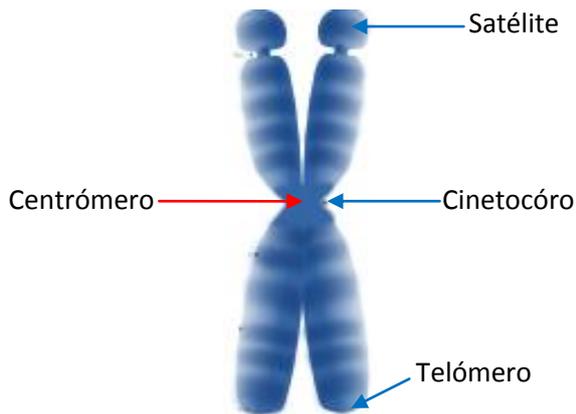
- La eucromatina cuya mayor parte está en forma de solenoides y otra parte en forma de collar de perlas.
- La heterocromatina, o cromatina altamente condensada que recuerda la cromatina de las células en fase de cromosomas.

### ***Cromosomas***

Cuando la célula va a dividirse la cromatina se condensa mucho. El último nivel de compactación representa el cromosoma, en el que el ADN ha sido condensado unas 10.000 veces. A lo largo de este proceso, los cromosomas se acortan y engruesan, con lo cual se hacen visibles al microscopio óptico. Su forma varía de unos a otros dentro de la misma especie y de una especie a otra.

En un **cromosoma** pueden distinguirse las siguientes partes (Figura 7):

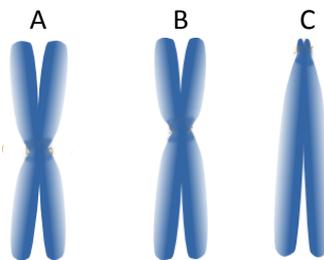
- **Centrómero**, estrechamiento que divide al cromosoma en dos partes, que pueden ser iguales o desiguales, denominadas brazos.
- **Cinetócoro**, estructura del centrómero a la que se pueden unir los microtúbulos.
- **Telómero**, los extremos del cromosoma.
- **Satélite**, es una zona del cromosoma con aspecto redondeado que se une a una constricción secundaria de tamaño variable. Algunas de estas constricciones secundarias contienen el organizador nucleolar (nor). Se trata de una zona del cromosoma en la que están los genes que codifican los ARN ribosómicos.



**Figura 7.** Estructura de un cromosoma (duplicado)

Según la posición del Centrómero se distinguen los siguientes tipos de cromosomas:

- *Metacéntricos* cuando el centrómero está más o menos centrado, con lo que los brazos del cromosoma son aproximadamente iguales (Figura 8 A).
- *Submetacéntricos* si la posición del centrómero hace que los brazos sean desiguales (Figura 8 B).
- *Telocéntricos* en los que el centrómero está tan cerca de uno de los telómeros que prácticamente sólo existe un brazo (Figura 8 C).



**Figura 8.** Tipos de cromosomas. A) Metacéntrico B) Submetacéntrico C) Telocéntrico.

Respecto al número de cromosomas de las células, podemos hacer las siguientes generalizaciones:

- Las células de los organismos de la misma especie tienen el mismo número de cromosomas y éstos tienen una forma y un tamaño característicos.
- Normalmente el número de cromosomas de las células de los animales y vegetales es par, pues cada célula tiene dos copias de un mismo cromosoma (cromosomas homólogos); estas células se denominan diploides. Las células que tienen una sola copia se denominan haploides.

- ✓ **Nucléolo.** en él se concentran los genes ribosómicos, es decir aquellos que codifican el ARN ribosómico. El ADN correspondiente a estos genes contiene una región denominada organizador nucleolar (nor), que permite la reunión de todos los genes ribosómicos aunque estén dispersos en varias cromosomas.

En el nucléolo se encuentra además del ADN, las proteínas ribosómicas que se unen con ARN ribosómico dando lugar a las partículas precursoras de los ribosomas. Estas partículas salen al citoplasma por los poros del núcleo y tras su maduración se transforman en ribosomas.

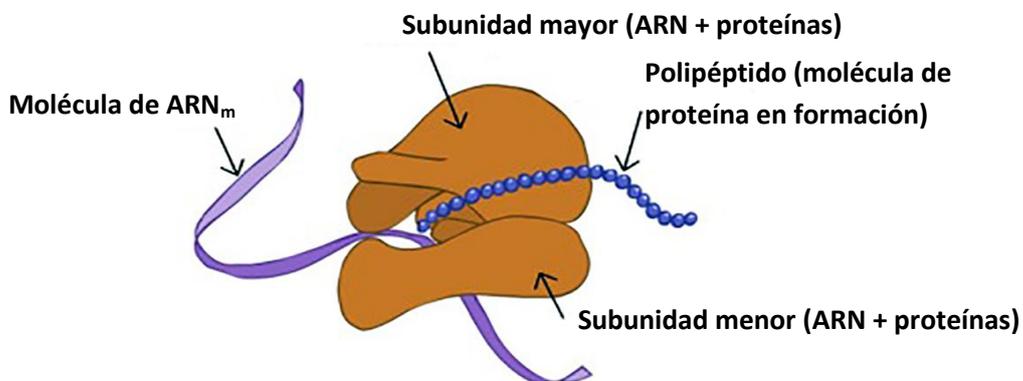
## 1.2. Ribosomas

Si bien por definición no son orgánulos debido a que no se encuentran rodeados por una membrana biológica, los mismos son partículas del citoplasma que realizan funciones particulares. Los ribosomas están formados por dos subunidades, una más pequeña y la otra de mayor tamaño (Figura 10). Cada subunidad está formada por moléculas de ARN asociadas a proteínas.

Los ribosomas pueden encontrarse libres en el citoplasma o unidos a la cara externa de la membrana del retículo endoplasmático (RE). También se encuentran ribosomas en el interior de las mitocondrias y de los cloroplastos.

Los ribosomas unidos al RE sintetizan las proteínas del RE, aparato de Golgi, membrana citoplasmática y las destinadas a ser secretadas por la célula. En los ribosomas libres se sintetizan otras proteínas con diversas funciones.

La formación de los ribosomas comprende la síntesis del ARN ribosómico, que tiene lugar en el nucléolo, y el ensamblaje de ARN ribosómico con las correspondientes proteínas que fueron sintetizadas en el citoplasma y entraron en el núcleo por los poros nucleares. A continuación de este ensamblaje, se constituyen las dos subunidades de los ribosomas, que luego salen al citoplasma por los poros.



**Figura 10.** Ultraestructura de un ribosoma durante la síntesis de una proteína.

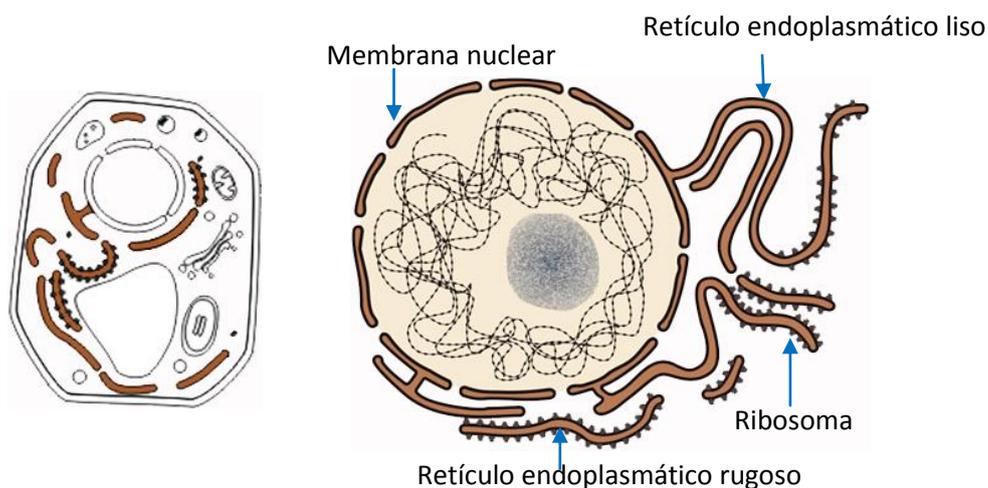
## 2. SISTEMA DE ENDOMEMBRANAS

El sistema de endomembranas es un sistema de orgánulos interrelacionados entre sí en forma directa o a través de vesículas. Las vesículas transportadoras brotan de la membrana de uno de los orgánulos, donante, viaja por el citosol para alcanzar a otro orgánulo, receptor, fusionándose con su membrana. Por lo tanto la membrana de la vesícula pasa a formar parte de la membrana del orgánulo receptor y el contenido de la vesícula pasa al interior del orgánulo receptor.

El sistema de endomembranas está formado por los siguientes orgánulos: Retículo endoplasmático, aparato o complejo de Golgi, endosomas, lisosomas, y vacuola (en las células vegetales).

### 2.1. Retículo endoplasmático

El retículo endoplasmático (RE) está formado por una serie de tubos aplastados que recorren el citoplasma y que aparecen como una prolongación de la membrana nuclear (Figura 11).



**Figura 11.** Esquema de la célula y retículos endoplasmáticos liso y rugoso.

La membrana del RE puede tener ribosomas adheridos a la parte externa, o no tenerlos; lo que permite distinguir dos tipos de RE: el **RE rugoso** que posee ribosomas adheridos a su membrana, y el **RE liso** que no los posee (Figura 11).

El RE rugoso está recubierto exteriormente por ribosomas dedicados a la síntesis de proteínas y se encuentra muy desarrollado en las células secretoras. Las principales funciones del RE rugoso son:

- ✓ **Síntesis de proteínas.** Los ribosomas unidos a las membranas del RE se dedican a la síntesis de proteínas que son simultáneamente trasladadas al interior del RE.

Estas proteínas son de dos tipos:

**1) Proteínas transmembrana**, que son llevadas a la membrana del RE manteniéndose en ella.

**2) Proteínas solubles** en agua, que son llevadas al interior del RE.

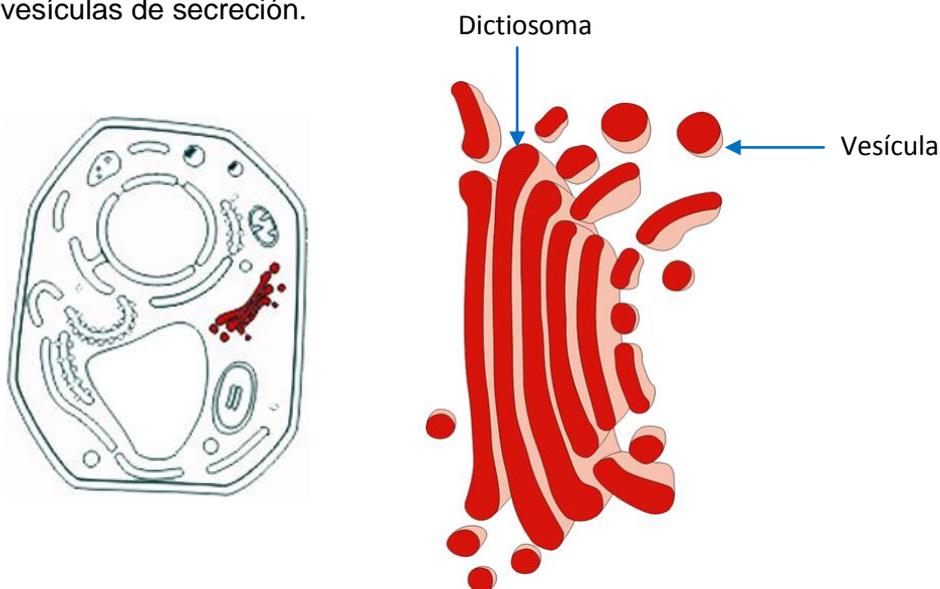
- ✓ **Glicosilación de proteínas.** Es una de las funciones más importantes del RE rugoso y del aparato de Golgi, consiste en la incorporación de hidratos de carbono a las proteínas. La mayoría de las proteínas sintetizadas en el RE rugoso son glicosiladas.

Por otra parte, las funciones del RE liso son:

- ✓ **Síntesis de triglicéridos, fosfolípidos y colesterol** necesarios para la formación de nuevas membranas celulares.
- ✓ **Interviene en procesos de detoxificación**, transformando sustancias tóxicas liposolubles (tales como pesticidas, cancerígenos) en sustancias hidrosolubles que pueden ser eliminadas por la célula.
- ✓ **Hidrólisis del glucógeno** en células animales.

## 2.2. El aparato de Golgi

Este orgánulo es denominado así porque fue descrito por primera vez por Camilo Golgi en 1898. El mismo está formado por uno o más grupos de cisternas aplanadas y apiladas llamadas **dictiosomas** (Figura 12). Cada dictiosoma contiene normalmente entre cuatro a seis cisternas rodeadas de pequeñas vesículas. En un dictiosoma se distinguen dos caras diferentes: una cara de entrada y otra de salida. La cara de entrada está relacionada con el RE del que salen vesículas (vesículas de transición) que se dirigen a dicha cara; de la cara de salida surgen diferentes vesículas de transporte que se dirigen a sus destinos finales como las vesículas de secreción.



**Figura 12.** Esquema de la célula y del aparato de Golgi.

El aparato de Golgi desempeña las siguientes funciones:

- ✓ **Procesos de secreción y reciclaje de la membrana plasmática.** Las proteínas destinadas a ser secretadas al exterior son sintetizadas en el RE y posteriormente llevadas al aparato de Golgi, de donde salen en vesículas de secreción. Dichas vesículas se fusionan con la membrana plasmática a la vez que vierten su contenido al exterior por exocitosis. Durante la exocitosis la membrana de la vesícula secretora se fusiona con la membrana plasmática. Esto permite reponer los componentes de la membrana que se pierden en la endocitosis, lo que constituye un reciclaje de la membrana plasmática.
- ✓ **Glicosidación.** En el aparato de Golgi tiene lugar la glicosilación tanto de las proteínas como de los lípidos.
- ✓ **Formación de vacuolas** en las células vegetales.
- ✓ **Síntesis de celulosa y otros polisacáridos** principales constituyentes de la pared celular.

### **2.3. Endosomas y lisosomas**

Los endosomas son orgánulos localizados funcionalmente entre el aparato de Golgi y la membrana citoplasmática. Los endosomas, son vesículas de formas y dimensiones variadas, aunque generalmente son pequeños.

Los endosomas reciben vesículas provenientes del aparato de Golgi (las cuales generalmente llevan enzimas hidrolíticas) y vesículas provenientes de la membrana citoplasmática (las cuales llevan macromoléculas provenientes del exterior). Una vez que el endosoma se une a ambas vesículas, a partir de estos se forma el lisosoma.

Los lisosomas son los responsables de digerir los materiales ingresados por endocitosis y también de digerir elementos de la propia célula. La forma y la composición de los lisosomas son muy variables, dependiendo de la combinación de enzimas hidrolíticas que contienen.

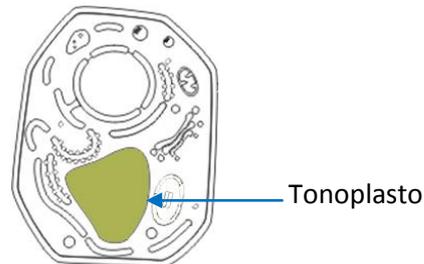
### **2.4. Vacuolas**

Una vacuola es una vesícula grande rodeada de una membrana llamada tonoplasto (Figura 13). Son orgánulos típicos de las células vegetales, su número es variable, puede haber una gran vacuola o varias de diferente tamaño. Se origina por fusión de vesículas procedentes del aparato de Golgi.

Las vacuolas realizan varias funciones:

- ✓ **Almacenan sustancias nutritivas**, como por ejemplo el almacenamiento de proteínas de reserva de muchas semillas; o **productos de desechos tóxicos**.

- ✓ **Almacenan pigmentos** como los que les dan color a los pétalos de las flores.
- ✓ **Acumulan agua** que se utiliza para regular el volumen y la turgencia de la célula. El aumento de tamaño de las células vegetales se debe, en gran parte, a la acumulación de agua en sus vacuolas lo que supone un sistema muy económico para el crecimiento de las células vegetales.
- ✓ **Funcionan como lisosomas**, ya que contienen enzimas hidrolíticas.



**Figura 13.** Esquema de la célula y de su vacuola.

### 3. ORGÁNULOS QUE PROCESAN ENERGIA

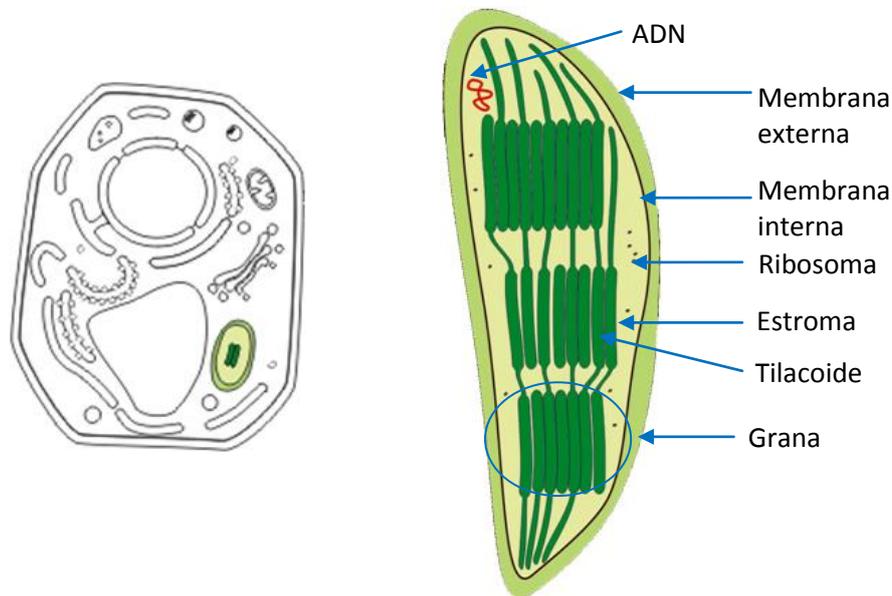
#### 3.1. Plástidos

Son orgánulos característicos y exclusivos de las células vegetales. Los plastos se dividen en varios tipos, entre ellos están:

- ✓ **Cromoplastos**, plastos de color amarillo o anaranjado, contienen pigmentos que son los responsables del color de algunos frutos, por ejemplo en el tomate.
- ✓ **Leucoplastos**, plastos de color blanco que no se encuentran en las partes verdes de la planta y sirven para el almacenamiento de almidón (amiloplastos), proteínas (proteoplastos) o de aceites (oleoplastos). Así por ejemplo, los leucoplastos en las células del tubérculo de papa.
- ✓ **Cloroplastos** (Figura 14), son plastos verdes ya que contienen clorofila, entre otros pigmentos fotosintéticos y por lo tanto, es en estos orgánulos donde se realiza la fotosíntesis. Es por esta razón que los cloroplastos son, dentro de los plástidos, uno de los orgánulos más importantes para la vida de las plantas.

Son orgánulos muy variables en cuanto número, forma y tamaño. Sin embargo, su ultraestructura presenta una doble membrana (externa e interna) y entre ellas un espacio intermembranoso. El interior se rellena por un gel llamado estroma donde se encuentra ADN y ribosomas. Inmersos en el estroma existen unos sacos aplanados llamados tilacoides. Los tilacoides pueden extenderse por todo el estroma o apilarse formando paquetes llamados grana interconectados por membranas. En la membrana de los tilacoides se ubica la clorofila con los sistemas

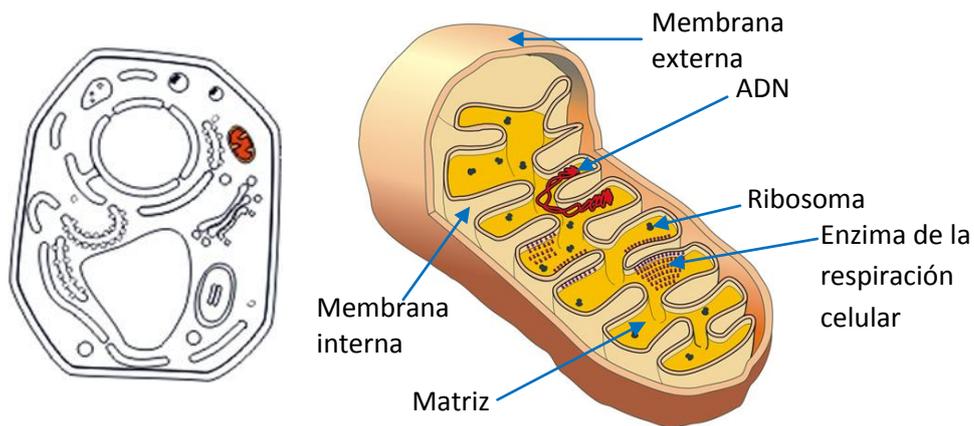
enzimáticos que captan la energía del sol y actúan en el transporte de electrones para formar ATP.



**Figura 14.** Esquema de la célula y de la ultraestructura del cloroplasto.

### 3.2. Mitocondrias

Son orgánulos muy pequeños y numerosos de las células. Presentan forma de bastones alargados y se originan a partir de otras mitocondrias preexistentes. En su ultraestructura (Figura 15), se observa una membrana externa y una membrana interna, ambas similares a la membrana citoplasmática. La membrana interna se prolonga hacia el interior en una especie de láminas llamadas crestas mitocondriales. Entre ambas membranas hay un espacio llamado espacio intermembrana y dentro de la mitocondria, entre las crestas, está la matriz mitocondrial. En la membrana interna existen proteínas responsables de los procesos de respiración celular. El interior de la matriz mitocondrial es una solución de proteínas, lípidos, ARN, ADN y ribosomas de pequeño tamaño. La función principal de las mitocondrias es la respiración celular con la cual se obtiene la energía necesaria para llevar a cabo distintos procesos metabólicos de la célula.



**Figura 15.** Esquema de la célula y de la ultraestructura de la mitocondria.

## 5. CITOESQUELETO

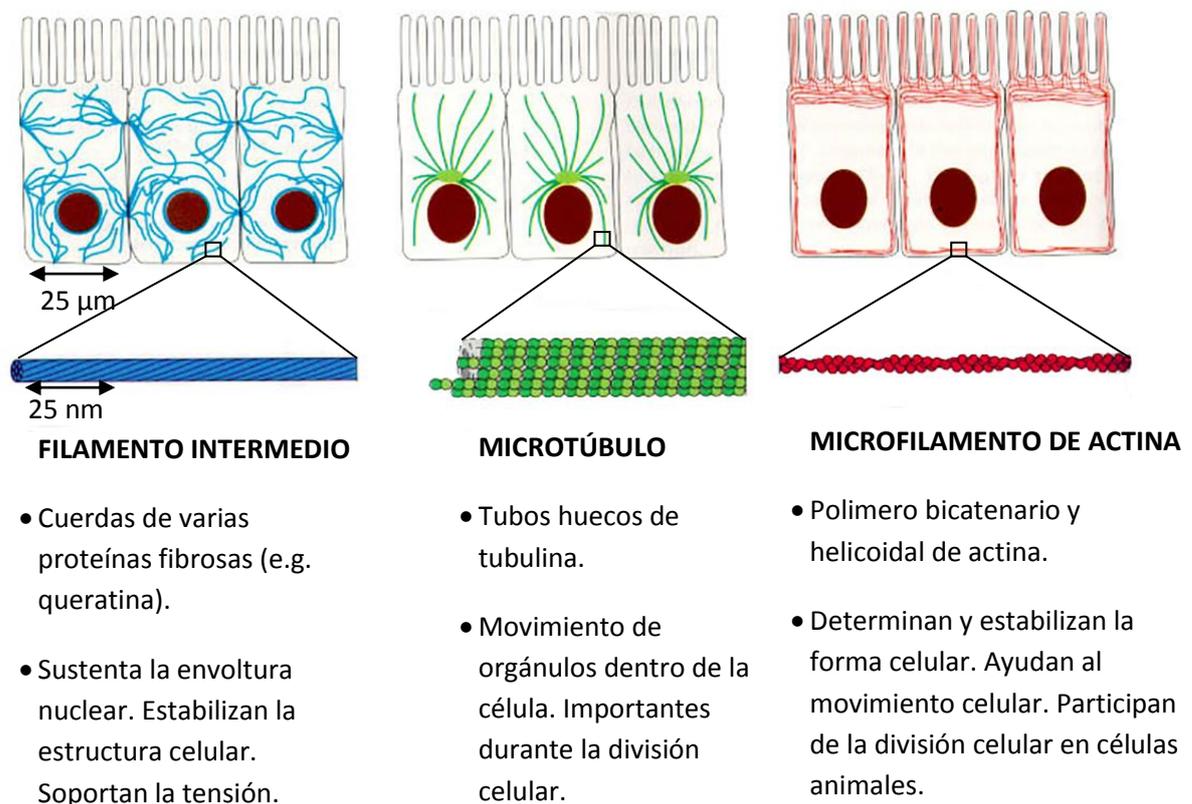
Además de los numerosos orgánulos previamente descritos, el citoplasma de la célula eucariota contiene un conjunto de fibras largas y delgadas denominadas citoesqueleto. Entre las funciones del citoesqueleto se destacan: el sostenimiento de la célula y de su forma, movimiento celular, posicionamiento de los orgánulos dentro de la célula, actúan como pistas o soporte para proteínas motoras, que mueven los orgánulos dentro de la célula.

El citoesqueleto está formado por tres tipos de filamentos: **microfilamentos**, **filamentos intermedios** y **microtúbulos** cada uno formado por subunidades proteicas distintas y con propiedades mecánicas diferentes (Figura 16).

Los **microfilamentos** son polimeros helicoidales, bicatenarios de la proteína actina. Generalmente se ubican en la corteza de la célula, inmediatamente por debajo de la membrana citoplasmática. Los microfilamentos determinan y estabilizan la forma de la célula, recubren el interior de las microvellosidades celulares, forman el anillo contráctil durante la división celular en células animales y ayudan al movimiento de toda la célula o de sus partes.

Los **filamentos intermedios** se asemejan a cuerdas y están constituidos por un conjunto numeroso y heterogéneo de proteínas fibrosas de la familia de la queratina. Sus funciones principales son estabilizar la estructura celular y otorgar resistencia a las células contra la tensión provocada por el estiramiento. Los filamentos intermedios se encuentran en la mayoría de las células animales y forman una red que rodea al núcleo y se extiende hacia la periferia para abarcar la totalidad del citoplasma. También existen filamentos intermedios dentro del núcleo formando la lámina nuclear, la cual sustenta y refuerza la envoltura nuclear en las células eucariotas.

Los **microtúbulos** son pequeños cilindros huecos, largos y rectos que se forman a partir de unas proteínas globulares denominadas tubulinas. Forman una compleja red bajo la membrana citoplasmática y alrededor del núcleo celular. Uno de los extremos de los microtúbulos suele estar unido a un solo centro organizador de microtúbulos, denominado centrosoma. Los microtúbulos se extienden hacia la periferia para formar un sistema de guías intracelulares a través de las cuales se desplazan vesículas, orgánulos y otros componentes. Los microtúbulos son los responsables de anclar los orgánulos asociados a membranas dentro de la célula y guiar el transporte intracelular. La función organizativa de los microtúbulos depende de su asociación con proteínas accesorias, sobre todo de las proteínas motoras responsables de la propulsión de los orgánulos a lo largo de los carriles del citoesqueleto. Los microtúbulos tienen la capacidad de desensamblarse con rapidez en un sitio y ensamblarse de nuevo en otro. Este proceso es fundamental durante la división celular cuando se forma el huso mitótico a través del reensamble de las proteínas de los microtúbulos.



**Figura 16.** Los filamentos proteicos del citoesqueleto.

1. ¿Qué es una célula?

---

2. ¿Por qué son tan pequeñas?

---

3. ¿A que hace referencia cuando se habla de la estructura y la ultraestructura de la célula y/o sus orgánulos? Defina y ejemplifique en forma gráfica cada caso.

---

---

4. ¿Qué instrumento se utiliza para observar la estructura y cual para observar la ultraestructura de una célula?

---

---

5. ¿Qué tipos de organizaciones celulares existen? Realice un cuadro con las principales diferencias.

6. ¿Qué es un orgánulo?

---

---

7. Cada uno de los orgánulos y la propia célula están rodeados por una membrana biológica, la membrana que separa la célula de su ambiente es la **Membrana Plasmática**.

7.1. ¿Cómo es la ultraestructura de la Membrana Plasmática? Describa cada uno de sus componentes y su organización.

---

---

---

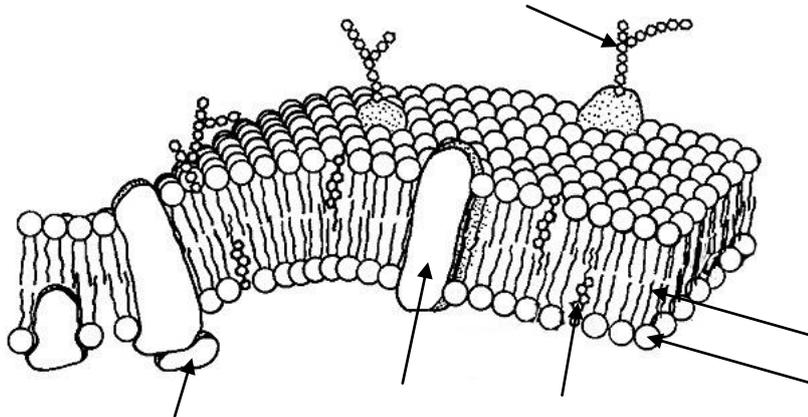
---

7.2. ¿Cuáles son sus funciones?

---

---

7.3. Rotule el siguiente dibujo correspondiente a la ultraestructura de la Membrana Plasmática.



8. La **Pared Celular** es una estructura extracelular, ya que está por fuera de la Membrana Plasmática, que solo poseen las células vegetales.

8.1. ¿Cuáles son sus funciones?

---

---

8.2. ¿Cuáles son las tres capas que constituyen la Pared Celular? Enumere y determine de cada una: orden de aparición, ubicación, composición química, función

---

---

---

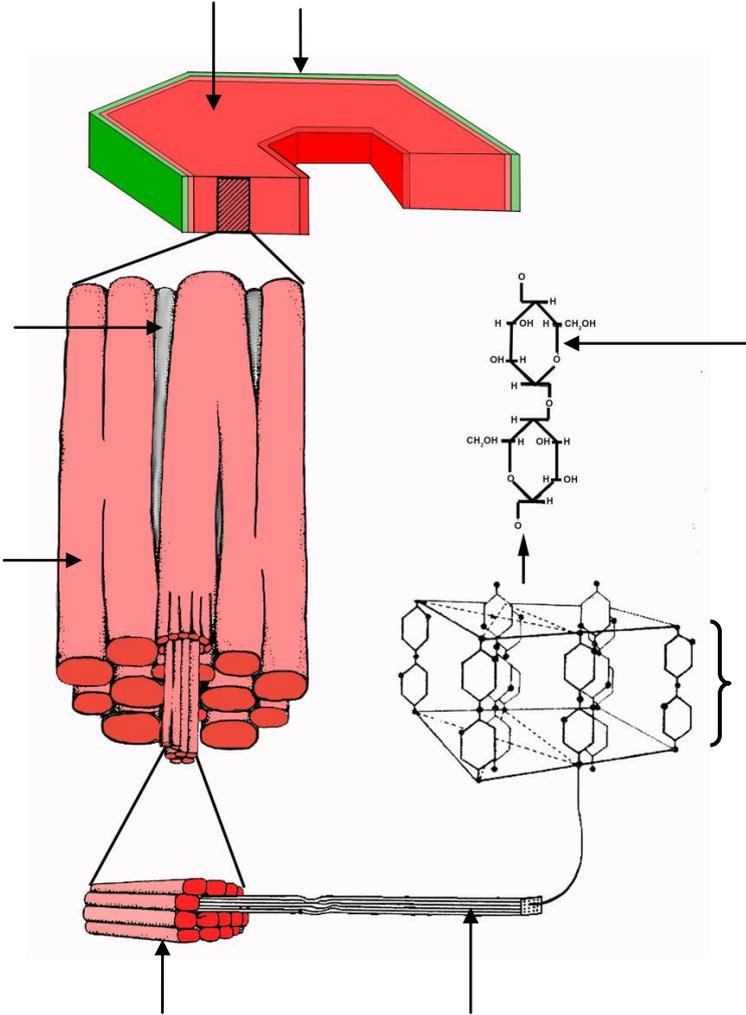
---

8.3. ¿Siempre están todas presentes?

---

---

8.4. ¿Cómo es la ultraestructura de la Pared Celular? Descríbala ayudándose con el siguiente dibujo y rotúlelo.



---

---

---

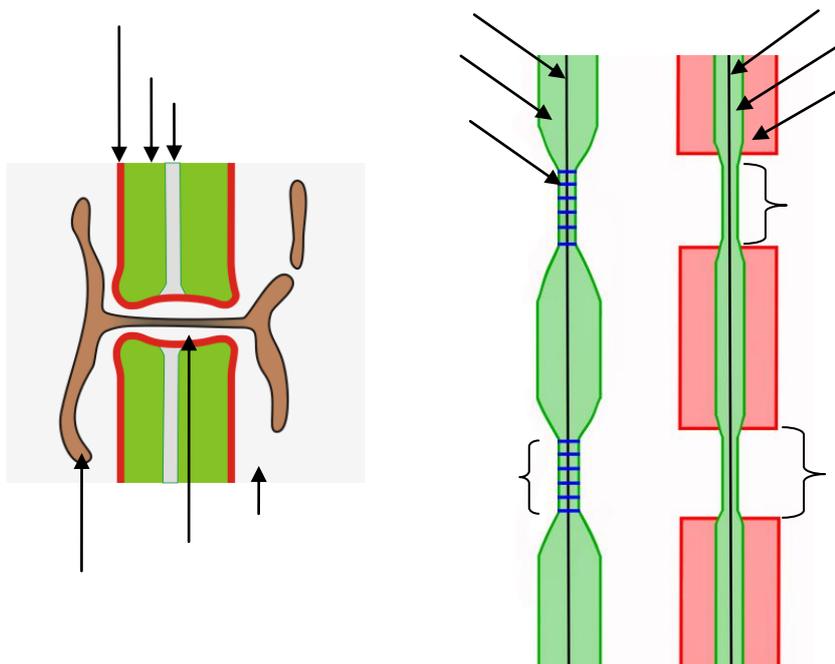
---

---

---

**8.5.** La principal función de la Pared Celular es brindar estructura. Sin embargo, posee varias modificaciones que le permiten cumplir otras funciones. Complete el cuadro que se presenta a continuación resumiendo cada una de las modificaciones y rotule los dibujos siguientes.

Nombre de la modificación	Descripción	En que pared se encuentra?	Función
Cutícula			
Plasmodesmo			
Campo de puntuación			
Puntuación			



**9.** Para una mejor comprensión del funcionamiento celular se agrupan los orgánulos según función:

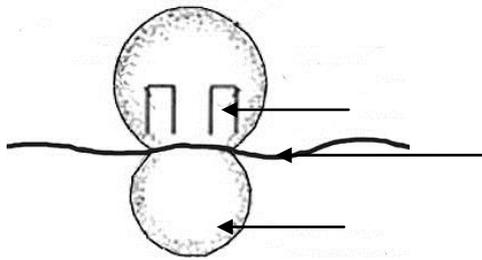
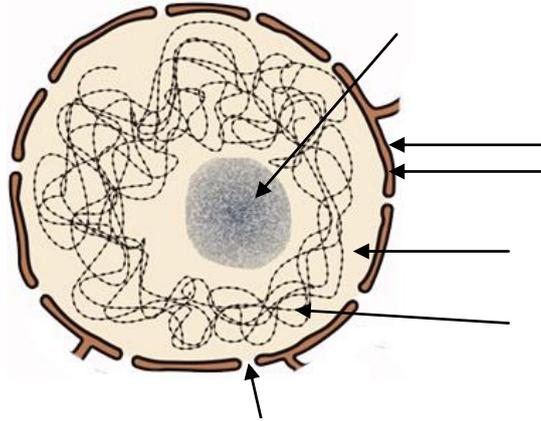
- ✓ Orgánulos que procesan información: núcleo y ribosomas.
- ✓ Orgánulos del Sistema de Endomembranas: envoltura nuclear, retículos endoplasmáticos, aparato de Golgi y vesículas.
- ✓ Orgánulos que transforman la energía: cloroplastos y mitocondrias.

**Orgánulos que procesan información:** Núcleo y ribosomas. Los seres vivos analizan las señales internas, las señales ambientales y las instrucciones almacenadas para responder a las condiciones cambiantes y así mantener su medio interno en equilibrio (homeostasis).

A continuación se presenta la ultraestructura de cada orgánulo.

9.1. Indique a que orgánulo y rotulelo.

9.2. Liste las funciones de cada orgánulo.



---

---

---

---

---

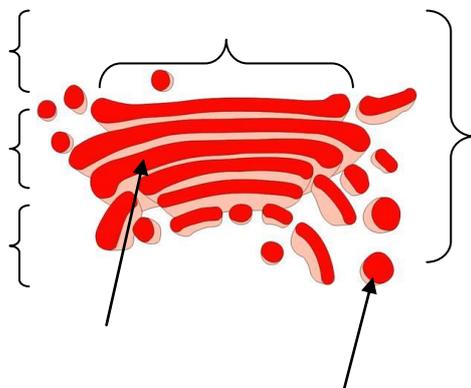
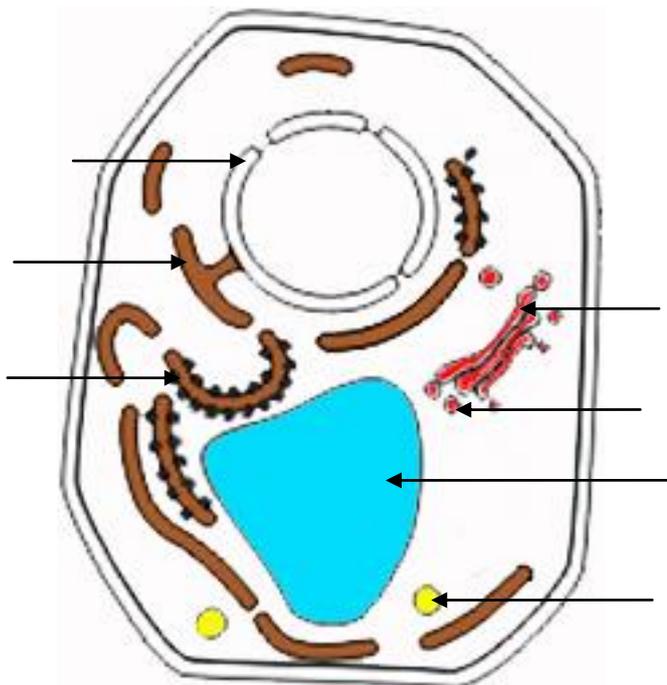
**Orgánulos del Sistema de Endomembranas:** Conjunto de membranas que delimitan túbulos, vesículas y sacos aplanados intercomunicados, formando una compleja red que atraviesa el citoplasma. Estas membranas presentan continuidad estructural y funcional con la membrana nuclear. En conjunto producen la síntesis y procesamiento de proteínas y lípidos, el transporte intracelular y extracelular.

9.3. ¿Qué orgánulos o parte de orgánulos constituyen este sistema?

---

---

9.4. Rotule los siguientes dibujos.



**Orgánulos que transforman la energía:** los seres vivos utilizan energía para realizar trabajo metabólico: crecimiento, reproducción, movimiento, entre otros. Dicha energía proviene principalmente del sol, la cual es transformada en energía química en los cloroplastos. La energía almacenada en los enlaces químicos de los productos de la fotosíntesis es transformada en la mitocondria a una forma de energía utilizable por la célula.

9.5. Rotule la ultraestructura de los siguientes orgánulos.



9.6. ¿Qué proceso ocurre en cada uno de ellos?

---



---

9.7. ¿Los organismos procariotas presentan cloroplastos? y ¿mitocondrias? ¿realizan la fotosíntesis? ¿pueden realizar el proceso de respiración celular?

---



---

Además de los orgánulos delimitados por membranas, el citoplasma eucarionte posee un conjunto de fibras largas y delgadas que conforman el **citoesqueleto**.

9.8. ¿Cuáles son sus funciones?

9.9. El citoesqueleto está conformado por los microfilamentos, los filamentos intermedios y los microtúbulos. Complete el siguiente cuadro indicando la composición química y función de cada constituyente.

Constituyente	Composición química	Función



## CÓMO ENTRAN Y SALEN SUSTANCIAS DE LA CÉLULA

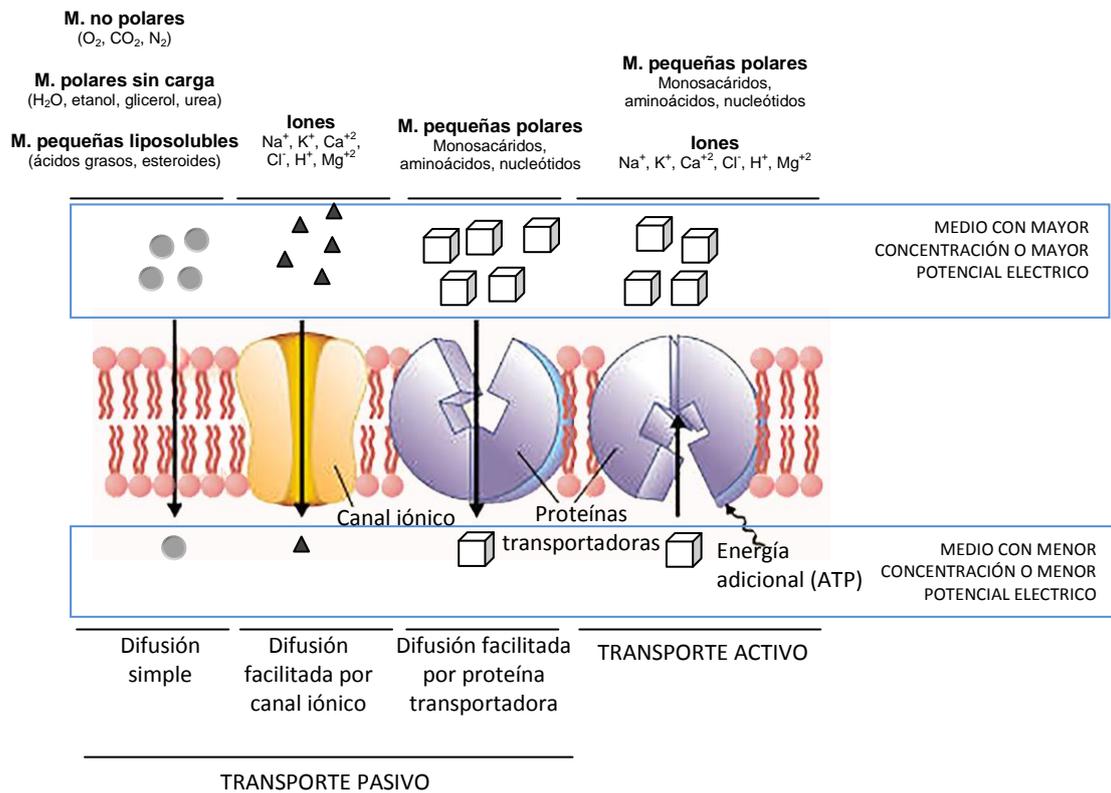
Las células vivas mantienen una composición interna particular que les permite llevar a cabo sus funciones. Para ello intercambian iones y moléculas con el medio circundante y la membrana citoplasmática actúa como una barrera que controla el tránsito hacia el interior y el exterior de la célula.

Los iones inorgánicos,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}^+$  (protones),  $\text{Mg}^{+2}$ , son los más abundantes en el entorno celular y sus desplazamientos a través de las membranas celulares desempeñan una función central en numerosos procesos biológicos. Algunas moléculas también son fundamentales en los diversos procesos biológicos. Éstas pueden ser pequeñas o las denominadas macromoléculas. Entre las moléculas pequeñas se puede mencionar a:  $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , glicerol, etanol, monosacáridos (glucosa), aminoácidos, ácidos grasos, nucleósido, esteroides, entre otras. Las macromoléculas involucran a: polisacáridos, ácidos nucleicos, proteínas y algunos lípidos.

Tanto los iones como las moléculas pequeñas presentan ciertas propiedades (serán analizadas en cada tipo de transporte) que determinan el mecanismo por el cual atraviesan la membrana citoplasmática.

### 1. TRANSPORTE DE IONES Y MOLÉCULAS PEQUEÑAS

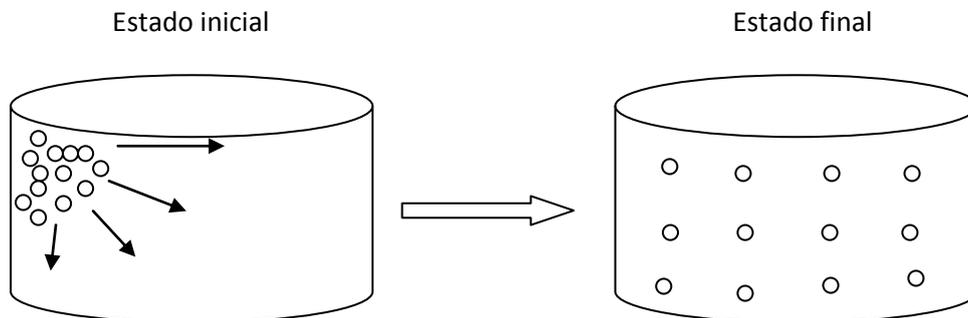
Según el tipo de ion o molécula el pasaje a través de la membrana biológica se produce sin gasto de energía extra (la energía proviene de la propia sustancia y de su concentración) o por mecanismos que requieren de ella. Cuando el proceso no consume energía adicional el proceso se denomina transporte pasivo, mientras que el proceso dependiente de energía adicional (consume ATP) transporte activo. El transporte pasivo puede tener lugar a través de la bicapa lipídica o a través de proteínas de la membrana. En cambio, el transporte activo solo puede darse a través de las proteínas (Figura 1).



**Figura 1.** Tipos de transporte de iones y moléculas pequeñas por las membranas biológicas. M: Moléculas.

### 1.1. TRANSPORTE PASIVO

Cuando las moléculas sin carga entran en contacto con un solvente tienden a dispersarse en forma progresiva por todo el solvente hasta quedar uniformemente distribuidas. El movimiento del soluto, llamado difusión, se realiza desde el sitio de mayor concentración hasta los sitios de menor concentración, con una velocidad proporcional a la diferencia entre las concentraciones. Esta diferencia se denomina gradiente de concentración.



**Figura 2.** Difusión de partículas (iones/moléculas) en un solvente (acuoso u oleoso).

Por otra parte, los iones o las moléculas que poseen carga eléctrica que entran en contacto con un solvente se distribuyen homogéneamente en éste según el gradiente de

concentración y el gradiente de voltaje o el potencial eléctrico. La suma de los gradientes de concentración y de voltaje se conoce como gradiente electroquímico.

En las células estos procesos ocurren con la intervención de las membranas biológicas (bicapa lipídica con proteínas). Cuando el transporte tiene lugar a través de la bicapa lipídica de la membrana se denomina **difusión simple** y cuando tiene lugar a través de proteínas de la membrana se denomina **difusión facilitada** (Figura 1).

Ambos procesos de difusión son más eficientes cuando el área superficial es mayor con relación al volumen, cuando la distancia implicada es corta y cuando el gradiente de concentración o electroquímico es pronunciado.

### **1.1.1. DIFUSIÓN SIMPLE**

Este tipo de transporte involucra moléculas que atraviesan la bicapa fosfolipídica de la membrana a favor del gradiente de concentración. Las moléculas que pueden atravesar la membrana a través de su región lipídica son aquellas hidrófobas o liposolubles como se detalla a continuación:

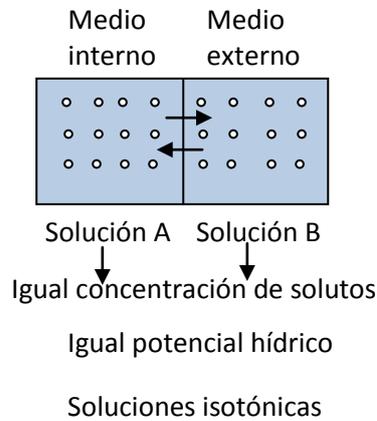
- **moléculas no polares pequeñas** como el oxígeno molecular ( $O_2$ , 32 daltons) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ , 44 daltons), se disuelven con rapidez en la bicapa fosfolipídica y difunden con facilidad a través de ella.
- **moléculas polares sin carga** (con una distribución irregular de la carga eléctrica) también difunden con rapidez si su tamaño es lo suficientemente pequeño como por ejemplo el agua (18 daltons), el etanol (46 daltons), el glicerol y la urea.
- **moléculas lipídicas pequeñas** como los ácidos grasos y los esteroides.

La velocidad de difusión varía según el tamaño y la liposolubilidad de la molécula. En general, cuanto menor sea el tamaño de la molécula y mayor su liposolubilidad, más hidrófoba o no polar, mayor será su velocidad de difusión a través de la membrana.

### **OSMOSIS -UN TIPO ESPECIAL DE DIFUSIÓN SIMPLE-**

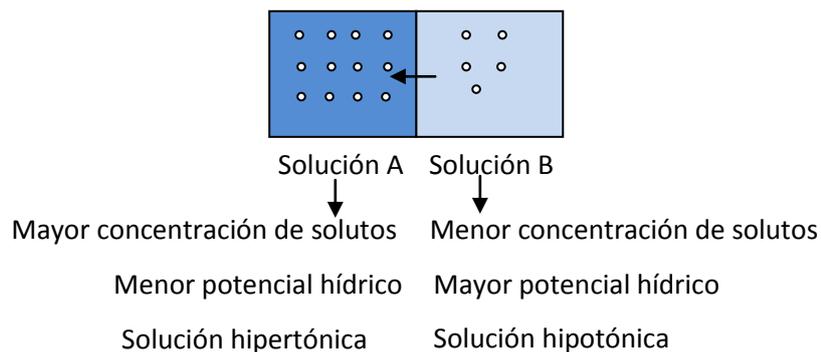
La ósmosis es la difusión del agua (molécula polar pequeña) a través de la bicapa lipídica. Se produce la transferencia neta de agua de una solución que tiene un potencial hídrico mayor a una solución que tiene un potencial hídrico menor. De acuerdo a ello existen tres tipos de soluciones:

- **Isotónicas:** soluciones que tienen el mismo número de partículas disueltas por unidad de volumen y, por lo tanto, el mismo potencial hídrico. No hay movimiento neto de agua a través de una membrana que separe dos soluciones isotónicas, a menos, que se ejerza presión sobre uno de sus lados (Figura 3).



**Figura 3.** Soluciones isotónicas.

- **Hipotónicas:** soluciones con menor concentración de soluto y, por lo tanto, mayor potencial hídrico con respecto al medio externo. Por lo tanto, el agua tiende a salir desde una solución hipotónica (Figura 4).
- **Hipertónicas:** soluciones con mayor concentración de soluto y, por consiguiente, menor potencial hídrico respecto al medio externo. El agua tiende a ingresar desde el medio circundante (Figura 4).



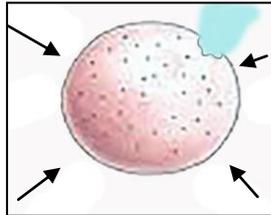
**Figura 4.** Soluciones hipertónica e hipotónica.

Como puede observarse, la difusión del agua depende solamente de la concentración de solutos (moléculas o iones) y no del tipo de solutos disueltos en la solución.

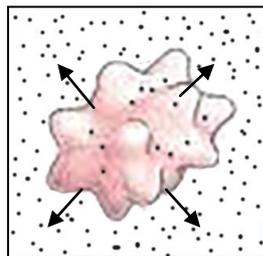
El proceso de ósmosis es común tanto en las células animales como vegetales, las que se encuentran rodeadas por un medio acuoso que puede tener diferentes concentraciones de

solutos disueltos. A continuación analizaremos que le sucede a las células animales y vegetales en las diferentes soluciones.

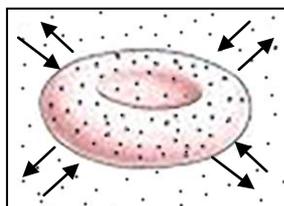
**Células animales en una solución hipotónica:** el contenido celular es hipertónico respecto a su medio circundante y por lo tanto el agua ingresa desde el medio al interior celular. Como la célula animal no posee pared celular, el ingreso de agua adicional causa la ruptura de la célula.



**Células animales en una solución hipertónica:** el contenido celular es hipotónico respecto a su medio circundante y por lo tanto el agua egresa desde el interior celular al medio externo. La célula pierde agua y se pliega y se contrae.

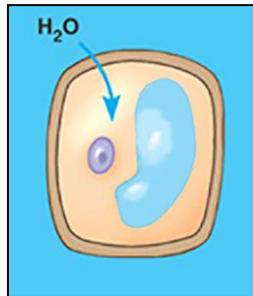


**Células animales en una solución isotónica:** el ingreso y egreso de agua en la célula se equilibra. Estado ideal para mantener su forma y sus características constantes.

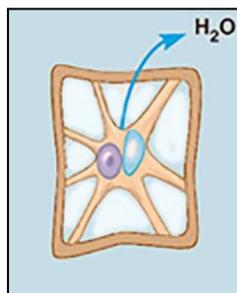


**Células vegetales en una solución hipotónica:** el contenido celular es hipertónico respecto a su medio circundante y por lo tanto el agua ingresa desde el medio al interior celular, principalmente a la vacuola. Esto produce una presión interna contra la pared celular que evita el ingreso adicional de agua. Esta presión intracelular se denomina presión de

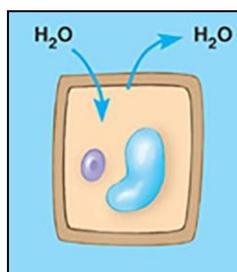
turgencia que mantiene erguidas a las plantas y es la fuerza que impulsa el agrandamiento de las células vegetales.



**Células vegetales en una solución hipertónica:** el contenido celular es hipotónico respecto a su medio circundante y por lo tanto el agua egresa desde el interior celular al medio externo. El cuerpo celular se contrae y se separa la membrana citoplasmática de la pared celular (plasmolisis).



**Células vegetales en una solución isotónica:** el ingreso y egreso de agua en la célula se equilibra (equilibrio dinámico). La célula estará poco turgente.



### **1.1.2. DIFUSIÓN FACILITADA: TRANSPORTE MEDIADO POR PROTEINAS**

Como vimos anteriormente las membranas celulares permiten el paso del agua y de algunas moléculas mediante difusión simple. Para que las células puedan incorporar nutrientes y eliminar desechos es necesario que las membranas permitan el paso de muchas otras moléculas, como iones, monosacáridos (glucosa), aminoácidos, nucleótidos y diversos metabolitos celulares. Estos iones y moléculas polares (hidrofílicas), por más

pequeñas que sean, difunden por la bicapa con excesiva lentitud y por ese motivo requieren proteínas de transporte especializadas para poder atravesarla en forma eficaz, proceso denominado **difusión facilitada**.

La difusión facilitada es el transporte de **moléculas pequeñas polares** (de mayor tamaño de aquellas transportadas por difusión simple: monosacáridos, nucleótidos y aminoácidos), o los pequeños **iones** ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{H}^+$  (protones),  $\text{Mg}^{+2}$ ) a través de las proteínas de la membrana (proteínas de transporte) y a favor del gradiente electroquímico. Se pueden distinguir dos tipos principales de proteínas de transporte: las proteínas formadoras de canales (canales iónicos) y las proteínas transportadoras o "carrier" o permeasas.

Las **proteínas formadoras de canales** son proteínas que atraviesan la membrana biológica (transmembrana) y forman poros hidrofílicos (el poro se reviste de aminoácidos polares y agua). A través de estos poros (canales) se produce el pasaje exclusivo de iones (canales iónicos). El tipo de ión que pasa por cada proteína depende de su tamaño y de su carga. Los canales iónicos se encuentran generalmente cerrados e impiden el pasaje de iones por el poro. Los canales pueden abrirse por un intervalo de tiempo breve como respuesta a distintos tipos de estímulos, permitiendo el pasaje de solo un ión específico a través de la membrana. Durante el intervalo de tiempo en que el canal se encuentra abierto, los iones difunden rápidamente a favor de su gradiente electroquímico. Esta característica de los canales iónicos es fundamental en la transmisión de señales eléctricas –impulso nervioso- en el sistema nervioso.

Las **proteínas transportadoras o "carrier" o permeasas**: se encuentran en todas las membranas biológicas y son altamente específicas para cada molécula que transportan. Estas proteínas modifican temporalmente su configuración (terciaria o, en algunos casos, cuaternaria) cuando entran en contacto con la molécula específica y permiten el pasaje de dicha molécula hacia el otro lado de la membrana. Las proteínas "carrier" son muy similares a las enzimas debido a que son también altamente selectivas en cuanto a las moléculas con las que interactúan y no se alteran permanentemente por esas interacciones.

Existen tres tipos de proteínas carrier: uniporte, simporte y antiporte. En el sistema de transporte más simple, conocido como **uniporte**, una molécula en particular se mueve directamente a través de la membrana en una dirección. En el tipo de co-transporte conocido como **simporte** dos solutos diferentes se mueven a través de la membrana, simultáneamente y en el mismo sentido. Frecuentemente, un gradiente de concentración, que involucra a uno de los solutos transportados, impulsa el transporte del otro. Por ejemplo, un gradiente de concentración de iones  $\text{Na}^+$  frecuentemente impulsa el co-transporte de moléculas de glucosa. En otro tipo de sistema de co-transporte, conocido como **antiporte**,

dos solutos diferentes se mueven a través de la membrana, simultánea o secuencialmente en sentidos opuestos.

La glucosa, es una molécula hidrofílica que entra en la mayoría de las células por difusión facilitada a través de sistema de tipo uniporte. Dado que la glucosa se degrada rápidamente cuando entra en una célula, se mantiene un marcado gradiente de concentración entre el interior y el exterior. Sin embargo, cuando en el medio circundante hay una concentración mayor de glucosa, la velocidad de entrada no se incrementa más allá de cierto punto. Este límite de velocidad de entrada es el resultado del número limitado de moléculas de la proteína de transporte específica de la glucosa que existe en la membrana celular. Esto representa una desventaja de la difusión facilitada por proteínas.

Un tipo especial de proteínas transportadoras son las acuaporinas. Éstas son proteínas transportadoras específicas para moléculas de agua. Se encuentran en aquellas membranas biológicas de las células que necesitan un transporte de agua mayor que el logrado por ósmosis. Se pueden encontrar tanto en células animales como vegetales.

## **1.2. TRANSPORTE ACTIVO**

Este tipo de transporte involucra a proteínas transportadoras que pueden trasladar moléculas pequeñas polares e iones desde un lugar de menor concentración o potencial eléctrico hacia un lugar de mayor concentración o potencial eléctrico (contra el gradiente de concentración o eléctrico). Este proceso requiere del aporte de energía adicional que puede provenir de dos vías, clasificando al transporte activo en dos tipos: el **primario** y el **secundario**.

### **1.2.1. TRANSPORTE ACTIVO PRIMARIO**

En este tipo de transporte, la energía adicional proviene de la hidrólisis (ruptura) de la molécula de ATP, rica en energía. La energía liberada por la hidrólisis del ATP impulsa el desplazamiento de iones específicos en contra de un gradiente de concentración. El ejemplo más representativo es la **bomba de Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>** que actúa como una proteína antiporte en todas las células animales. Normalmente la concentración de iones K<sup>+</sup> en el interior de una neurona es mayor respecto al medio extracelular y la concentración de iones Na<sup>+</sup> es mayor en el medio extracelular respecto al interior de la neurona. Esto se logra gracias a la presencia de una proteína antiporte de la membrana, la bomba de Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>. Ésta hidroliza una molécula de ATP para su fosforilación que induce un cambio en su forma, lo cual permite la liberación de 3 iones Na<sup>+</sup> hacia el exterior. Luego existe una desfosforilación que permite el ingreso de dos iones K<sup>+</sup> para mantener el desbalance de ambos iones dentro y fuera de la célula.

### 1.2.2. TRANSPORTE ACTIVO SECUNDARIO

En este tipo la energía no proviene de la hidrólisis del ATP en forma directa, sino que la energía proviene de un gradiente de concentración iónica establecido por el transporte activo primario. El transporte se logra utilizando energía que proviene del transporte de los iones que atraviesen la membrana ahora a favor de su gradiente de concentración. Por ejemplo, una vez que la bomba de  $\text{Na}^+\text{-K}^+$  establece un gradiente de concentración de iones  $\text{Na}^+$ , la difusión pasiva de algunos iones  $\text{Na}^+$  hacia el interior celular aporta energía para el transporte activo secundario de glucosa hacia la célula a través de una proteína tipo simporte. Por lo tanto, el transporte activo secundario ayuda a captar aminoácidos y azúcares utilizando ambos tipos de proteínas de transporte acoplado: antiportes y simporte.

## 2. TRANSPORTE DE MACROMOLÉCULAS

Las macromoléculas, como las proteínas, los polisacáridos, los ácidos nucleicos y algunos lípidos, son demasiado grandes y tienen demasiada carga o polaridad para atravesar las membranas biológicas. Por ello, la célula utiliza vesículas para transportar las macromoléculas hacia su interior (endocitosis) o para expulsarlas hacia el exterior (exocitosis).

### 2.1. ENDOCITOSIS

Grupo de procesos que llevan macromoléculas, partículas grandes e, incluso, pequeñas células hacia el interior de la célula eucarionte. El material que se incorporará induce una invaginación de la membrana, produciéndose una vesícula que encierra a la sustancia. Esta vesícula es liberada en el citoplasma. Existen dos tipos de endocitosis: pinocitosis, y fagocitosis.

- A. La **pinocitosis** (“bebida celular”), comprende el ingreso de líquidos junto con las macromoléculas y los solutos disueltos en ellos. Esto se logra mediante invaginaciones de la membrana celular que atrapan al líquido extracelular y sus contenidos, formando vesículas que son liberadas en el citosol. La pinocitosis puede ser inespecífica o regulada mediante receptores. En este último caso la célula incorpora aquellas sustancias necesarias para su funcionamiento. Las sustancias que serán transportadas al interior de la célula deben primero acoplarse a las moléculas receptoras específicas. Los receptores se encuentran concentrados en zonas particulares de la membrana citoplasmática (depresiones) o se agrupan después de haberse unido a las moléculas que serán transportadas. Cuando las depresiones están llenas de receptores con sus moléculas específicas unidas, se

ahuecan y se cierran formando una vesícula. Dada su especificidad para macromoléculas particulares, la endocitosis mediada por receptores es un proceso rápido y eficiente de captación de sustancias que pueden estar en bajas concentraciones en el exterior de la célula.

- B. En la **fagocitosis (“ingestión celular”)**, el contacto entre la membrana plasmática y una partícula sólida induce la formación de prolongaciones celulares que envuelven la partícula, englobándola en una vesícula, llamada vacuola alimenticia o fagosoma. La fagocitosis tiene lugar en unos pocos tipos de células, macrófagos y leucocitos. En las células eucariotas este tipo de endocitosis es utilizado por el organismo como medio de defensa o de limpieza, al eliminar parásitos pequeños, bacterias, células perjudiciales, dañadas o muertas, restos celulares y todo tipo de partículas extrañas al organismo.

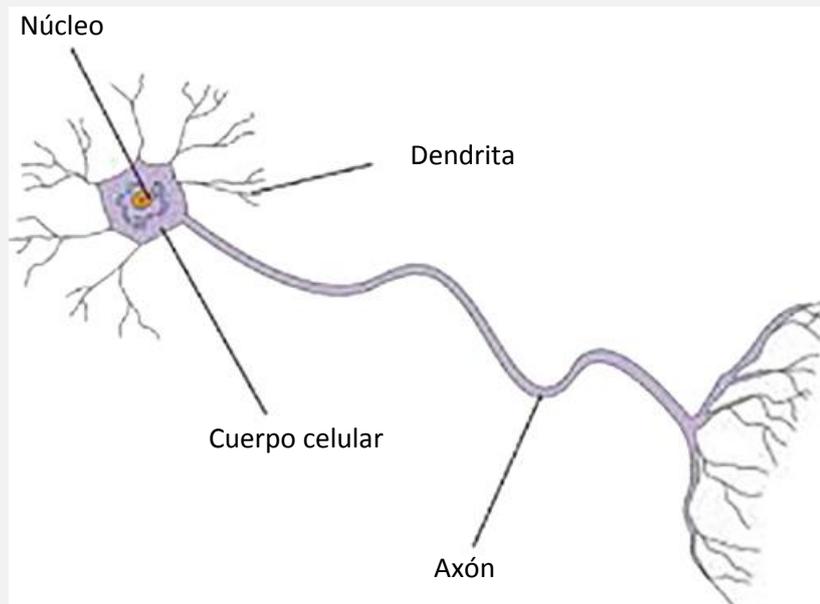
## **2.2. EXOCITOSIS**

Es un proceso por el cual las sustancias empaquetadas en vesículas son secretadas de la célula. Vesículas con material se mueven desde los complejos de Golgi a la superficie de la célula. Cuando una vesícula alcanza la superficie celular, su membrana se fusiona con la membrana citoplasmática y expulsa su contenido al exterior. No solo se secretan materiales indigeribles, sino también se pueden secretar muchas sustancias que son esenciales para la vida del organismo, como enzimas digestivas del páncreas, neurotransmisores de las neuronas y materiales para la construcción de la pared celular vegetal.

Con el objetivo de integrar los diferentes tipos de transporte, se analizarán dos procesos vitales fundamentales: el impulso nervioso y la digestión celular.

### EL IMPULSO NERVIOSO

Los tejidos que conforman el sistema nervioso están formados por células especializadas denominadas **neuronas**. Típicamente una neurona está formada por un *cuerpo celular*, que contiene al núcleo y a la mayoría de la maquinaria metabólica de la célula; *dendritas* que suelen ser extensiones citoplasmáticas numerosas, cortas y filiformes que reciben los estímulos de otras células y un *axón* que es una formación larga que puede atravesar grandes distancias. Las neuronas son las encargadas de recibir un estímulo, transmitirlo, procesarlo y dar una respuesta a dicho estímulo. Para que el estímulo haga este recorrido la neurona debe transmitir un *impulso nervioso* a través del axón y transferirlo a la neurona siguiente a través de una comunicación denominada *sinapsis*.



En estado de reposo existe un ligero exceso de iones con cargas negativas en el interior de la neurona y un ligero exceso de iones con cargas positivas en el medio externo, potencial de reposo. Este desequilibrio de iones se logra gracias a la presencia de proteínas de membrana. La membrana integral conocida como la bomba de sodio-potasio, bombea 3 iones  $\text{Na}^+$  hacia afuera del axón y 2 iones  $\text{K}^+$  hacia adentro con consumo de ATP. Por otra parte, en la membrana existen proteínas de canal, una para el  $\text{K}^+$  y otra para el  $\text{Na}^+$ . En estado de reposo la primera permanece abierta y la segunda cerrada. Los iones  $\text{K}^+$  tienden a ingresar al interior de la neurona atraídos por las cargas negativas de algunos aniones allí presentes. En consecuencia, en estado de reposo hay un

pequeño exceso de carga negativa dentro del axón y un exceso de cargas positivas fuera y se dice que la membrana del axón está polarizada.

El **impulso nervioso** consiste en el cambio de polaridad momentánea a lo largo del axón de la neurona (potencial de acción a lo largo de la membrana del axón). El potencial de acción es la inversión de la polaridad dentro y fuera del axón respecto del estado de reposo. Cuando la neurona recibe un estímulo los canales de  $\text{Na}^+$  (cerrados en estado de reposo) se abren y se produce un ingreso de iones  $\text{Na}^+$  que entran rápidamente moviéndose a favor de su gradiente de concentración. Esta afluencia de iones cargados positivamente invierte momentáneamente la polaridad de la membrana, de modo que se hace más positiva en el lado interno que en el lado externo, produciendo el potencial de acción. Este proceso dura medio milisegundo y luego los canales de  $\text{Na}^+$  se cierran y se restablece el potencial de reposo porque salen iones  $\text{K}^+$ . Posteriormente la bomba de sodio-potasio restablece las concentraciones de  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  a sus niveles originales. Esta inversión transitoria de la polaridad se propaga a lo largo del axón y en un solo sentido debido a que los canales de  $\text{Na}^+$  que se han abierto y cerrado tienen un período refractario en el cual no se vuelven a abrir.

¿Qué sucede cuando el impulso nervioso llega al final del axón? Se activan otros mecanismos de transporte. Una vez que el impulso alcanza el extremo del axón, debe comunicarse con la neurona siguiente a través de una unión de naturaleza química denominada sinapsis. En estas uniones la neurona que transmite la información está separada espacialmente de la neurona que recibe la información por un espacio conocido como hendidura sináptica. La información del estímulo se transmite de una neurona a otra en la hendidura sináptica por medio de moléculas conocidas como neurotransmisores. Los neurotransmisores sintetizados por la neurona son empaquetados y almacenados en vesículas sinápticas en la región terminal del axón (procesos que involucran al núcleo, al retículo endoplasmático, al aparato de Golgi). Cuando el potencial de acción llega a la región terminal del axón se abren proteínas de canal que transportan iones calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ). El ingreso de iones  $\text{Ca}^{2+}$  desencadena una serie de reacciones que finalizan con la fusión de las vesículas sinápticas a la membrana del axón, vertiendo su contenido a la hendidura sináptica mediante **exocitosis**. Los neurotransmisores pasan por la hendidura sináptica hasta alcanzar receptores de membrana en la célula postsináptica, desencadenando una serie de acontecimientos que puede o no disparar un impulso nervioso en la célula postsináptica. Una vez realizada la acción de los neurotransmisores, éstos son removidos o degradados enzimáticamente. Luego los productos de degradación y las membranas de las vesículas pueden entrar nuevamente al axón por **endocitosis** y ser reutilizados para formar nuevos neurotransmisores y vesículas.

## DIGESTION CELULAR

Una célula eucariota se encuentra continuamente captando líquidos, como también moléculas grandes, pequeñas y algunas partículas (restos celulares, bacterias, etc). Todos ellos dentro de la célula deber recibir un tratamiento especial para ser degradados a moléculas que serán metabolizadas.

En el proceso de digestión celular intervienen varios orgánulos que interaccionan para llevar adelante este proceso dinámico, fundamentalmente el sistema de endomembranas.

Para que cualquier sustancia sea degradada, se requiere de la presencia de enzimas hidrolíticas (polipéptidos que catalizan la degradación de la sustancia). La información para la síntesis de dichas enzimas se encuentra almacenada en determinados fragmentos del ADN del núcleo (genes). Estos genes deben ser transcritos en la forma de ARNm el cual pasa a través de los poros de la membrana nuclear hasta el citosol. Este ARNm es traducido al polipéptido correspondiente mediante la actividad de los ribosomas. Estos ribosomas pueden estar libres en el citosol o estar adheridos al retículo endoplasmático (rugoso) (RER). En este caso los polipéptidos sintetizados pasan hacia el lumen del RER donde pueden sufrir alguna modificación.

Los pasos siguientes involucran mecanismos a través de los cuales estos polipéptidos sintetizados y almacenados en el RER deben madurar y llegar a los lugares donde ejercerán su función. Para ello ocurre un tipo particular de transporte, el **transporte vesicular**. Los polipéptidos son empaquetados (rodeados por fragmentos de membrana del RER) en vesículas y son llevados al aparato de Golgi donde pueden ser transformados en polipéptidos funcionales: enzimas. Dentro del aparato de Golgi van pasando por los diferentes dictiosomas desde la cara *cis* a la cara *trans* mediante vesículas que emergen de cada uno de ellos. Desde la cara *trans* del aparato de Golgi emergen las vesículas que contienen las enzimas hidrolíticas listas para ser utilizadas.

Estas vesículas pueden viajar por el citosol hasta alcanzar la membrana citoplasmática con la cual se fusionan liberando su contenido al medio extracelular (**exocitosis**) o pueden permanecer en el citosol para participar de procesos de degradación intracelular. En este último caso la vesícula se fusiona con un endosoma (endosoma secundario) donde descarga su contenido (enzimas hidrolíticas). La membrana de este endosoma presenta una **bomba de protones** (proteína de canal iónico dependiente de ATP), que cuando se activa transporta H<sup>+</sup> desde el citosol al interior del endosoma en contra del gradiente de concentración, generando un pH de 6 (el pH del citosol es de 7.2).

Las sustancias extracelulares son captadas por la célula mediante alguno de los procesos de **endocitosis**. Las sustancias extracelulares son empaquetadas en vesículas que son liberadas al citosol para luego fusionarse con un endosoma primario. Desde este

endosoma primario se desprenden dos tipos de vesículas, las vesículas recicladoras, que se vuelven a unir a la membrana citoplasmática, y las vesículas que llevan las sustancias extracelulares, las cuales se unirán con el endosoma secundario (mencionado anteriormente). La fusión de la vesícula con la sustancia extracelular y el endosoma secundario da origen al lisosoma. En el lisosoma la actividad de las bombas de protones hacen descender el pH a 5, pH al cual se activan las enzimas hidrolíticas. Las sustancias extracelulares son digeridas hasta sus monómeros, los cuales atraviesan la membrana del lisosoma, a través de las proteínas transmembrana. Los monómeros pueden ser degradados, para obtener energía, o reciclados, para construir moléculas necesarias para la célula.

De esta manera puede observarse que el proceso de degradación celular activa varios mecanismos de transporte: transporte vesicular, endocitosis, exocitosis, transporte activo de iones y transporte de moléculas pequeñas a través de proteínas transportadoras.

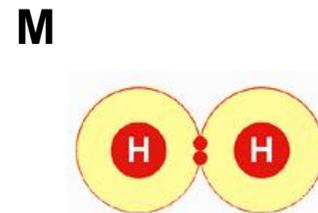
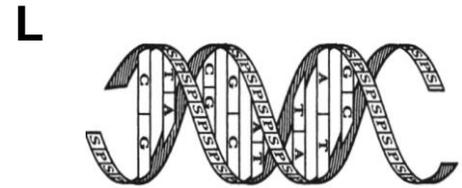
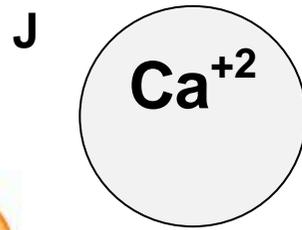
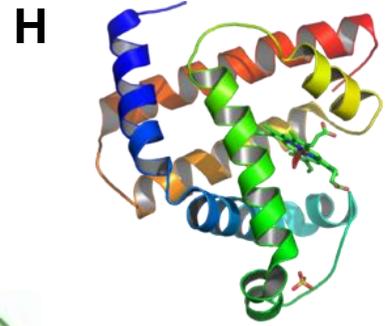
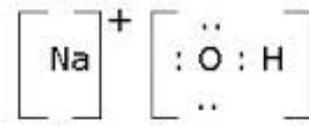
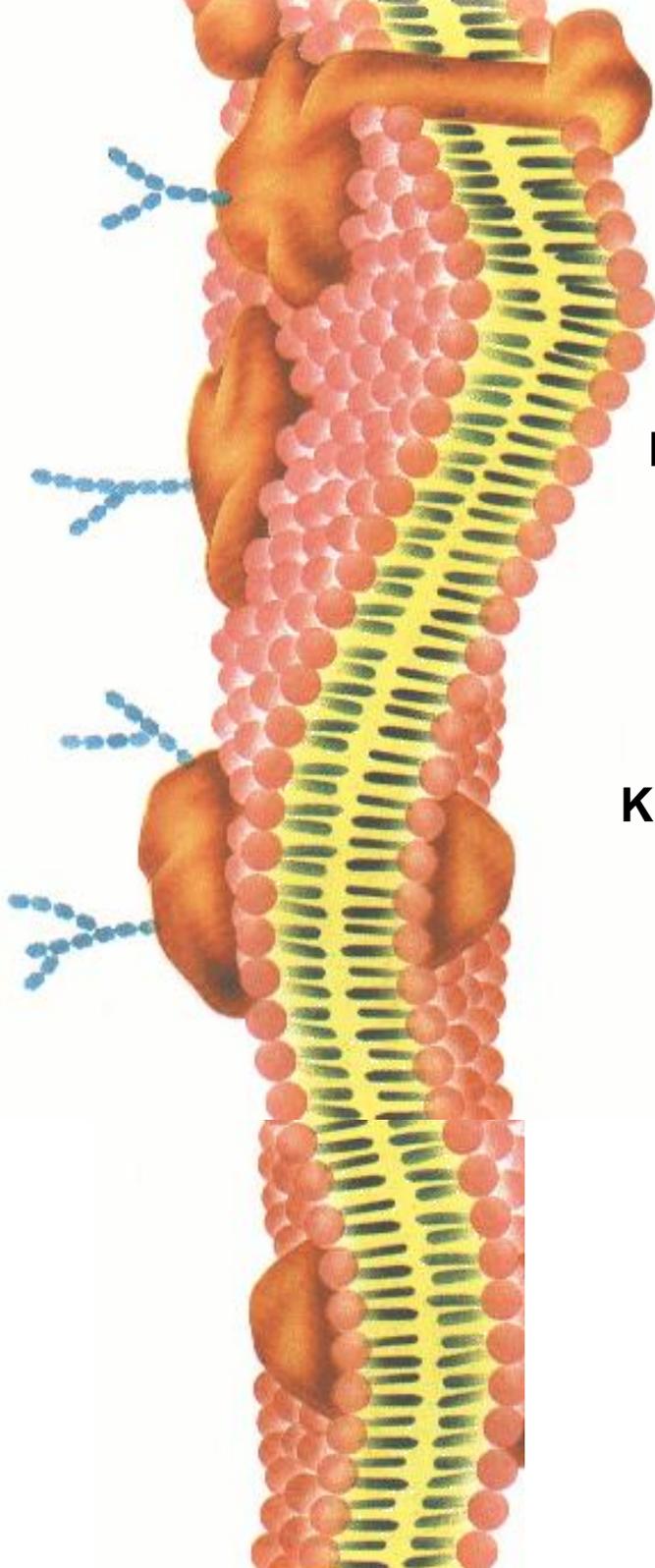
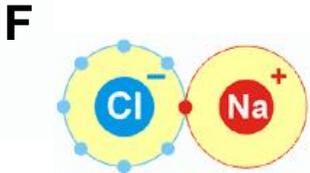
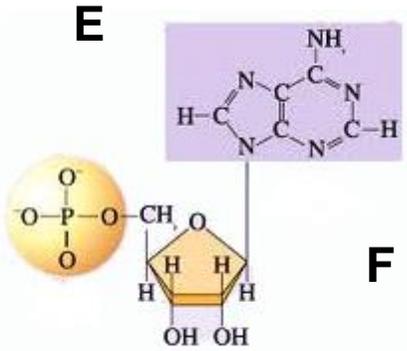
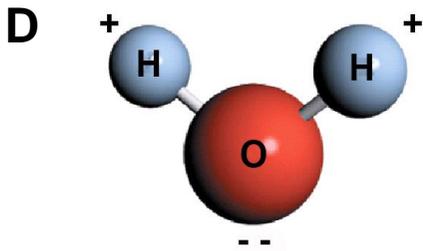
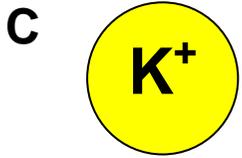
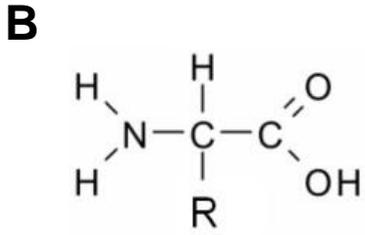
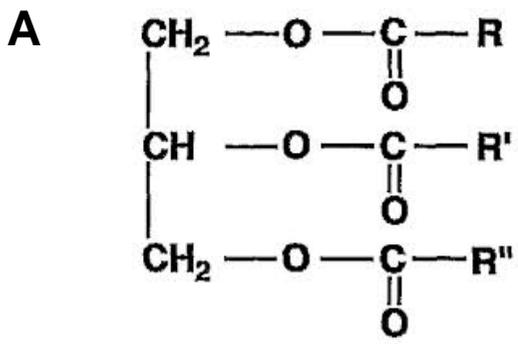
1. En la página siguiente se presenta un dibujo de la membrana citoplasmática, el exterior e interior celular y una serie de iones y moléculas que deben ingresar o egresar de la célula. Cada uno de los iones y moléculas se determinan con letras desde la “A” a la “M”.

1.1. Indique con flechas por que parte de la membrana citoplasmática será transportando cada ión o molécula.

1.2. Complete el siguiente cuadro, colocando en la celda la palabra correcta:

Ión/molécula	Pequeña/ macromolécula	Polar / no polar	Hidrofóbica / hidrofílica	Nombre del transporte a favor del gradiente de concentraci ón	Nombre del transporte en contra del gradiente de concentración	Endocitosis	Exocitosis
A							
B							
C							
D							
E							
F							
G							
H							
I							
J							
K							
L							
M							

Medio extracelular



Citoplasma





## GLUCÓLISIS Y RESPIRACIÓN CELULAR

La oxidación de la glucosa es una fuente principal de energía en la mayoría de las células. Cuando la glucosa se degrada en una serie de pequeños pasos por medio de enzimas, una proporción significativa de la energía contenida en la molécula vuelve a “empaquetarse” en los enlaces fosfato de las moléculas de ATP.

La primera fase en la degradación de la glucosa es la **glucólisis**, que se efectúa en el citoplasma de la célula. La segunda fase es la **respiración celular**, que requiere oxígeno y, en las células eucariotas, tiene lugar en las **mitocondrias**. La respiración comprende **oxidación del piruvato**, el **ciclo de Krebs** y el **transporte terminal de electrones** acoplado al proceso de fosforilación oxidativa. Todos estos procesos están íntimamente relacionados.

En condiciones anaeróbicas (sin presencia de O<sub>2</sub>), luego de la glucólisis ocurre el proceso de **fermentación**, mediante el cual se transforma al ácido pirúvico, producido por la glucólisis, en etanol o en ácido láctico.

La actividad de la glucólisis y la respiración celular están reguladas de acuerdo con las necesidades energéticas de la célula. Hasta ahora nos hemos referido a la degradación de la molécula de glucosa, pero otras moléculas alimenticias, que incluyen a las grasas, los polisacáridos y las proteínas, pueden ser también degradadas a compuestos que pueden ingresar en alguno de los pasos en las vías centrales (glucólisis y ciclo de Krebs).

### 1. GLUCÓLISIS

La glucólisis es un proceso que ocurre en el citoplasma celular, en el cual una molécula de glucosa (6 carbonos) se escinde en dos moléculas de 3 carbonos de piruvato (ácido pirúvico). Este proceso da como resultado un rendimiento neto de dos moléculas de ATP (a partir de ADP y fosfato inorgánico) y dos moléculas de NADH (a partir de NAD<sup>+</sup>).

En la glucólisis se pueden establecer dos fases:

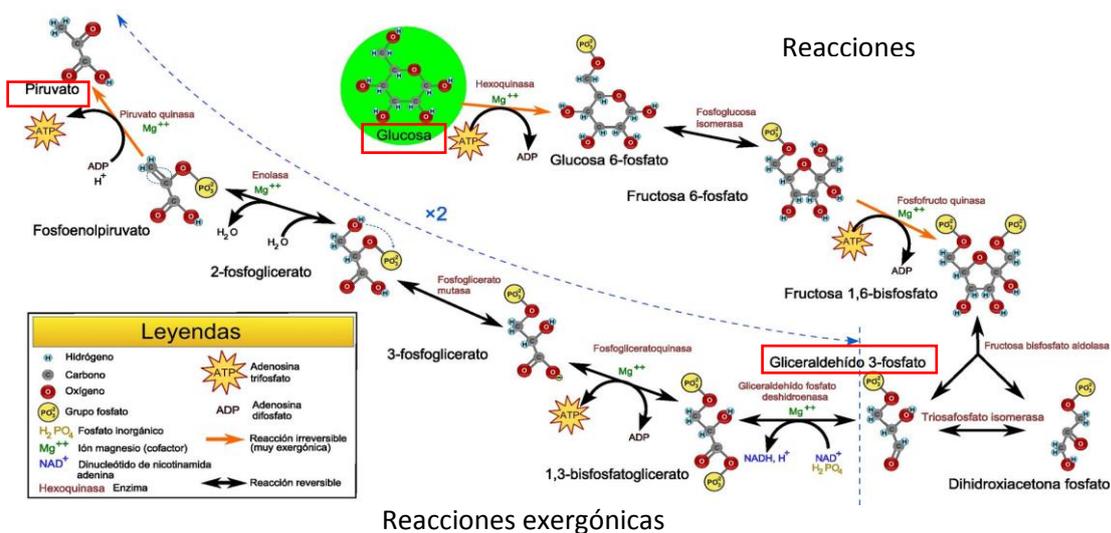
- Primera fase: En esta fase se consumen 2 moléculas de ATP (reacción endérgica) para transformar 1 moléculas de glucosa (hexosa) en dos triosas (dihidroxiacetona-3-

fosfato y gliceraldehído-3-fosfato) (Figura 1). La dihidroxiacetona-3-fosfato se interconvertirá en gliceraldehído-3-fosfato, de manera que al final de la primera fase habrá dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato.

- Segunda fase: En esta fase se liberan 4 moléculas de ATP y 2 moléculas NADH (reacción exérgica) a partir de la conversión de 2 moléculas gliceraldehído-3-fosfato en 2 moléculas de piruvato (Figura 1).

De esta forma, una molécula de glucosa (6 C) se convierte en dos moléculas de piruvato (3 C). La ganancia neta, la energía recuperada, es dos moléculas de ATP y dos moléculas de NADH por molécula de glucosa.

La serie de reacciones que constituyen la glucólisis se lleva a cabo virtualmente en todas las células vivas, desde las células procariontas hasta las células eucariotas de nuestros propios cuerpos. Las dos moléculas de piruvato que son liberadas de la glucólisis contienen todavía una gran parte de la energía de la molécula de glucosa la cual puede ser aprovechada por la célula.

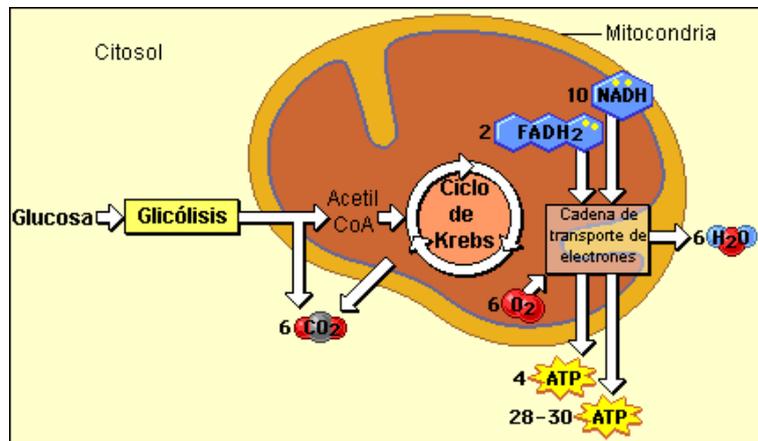


**Figura 1.** La glucólisis, la degradación de la glucosa a piruvato en el citosol de la célula.

## 2. RESPIRACIÓN CELULAR

La respiración se desarrolla en la mitocondria en tres etapas: la **oxidación del piruvato**, el **ciclo de Krebs** (también conocido como ciclo del ácido cítrico o ciclo del ácido tricarbóxico) y la **fosforilación oxidativa** (Figura 2). En el curso de la respiración celular, las moléculas de tres carbonos de piruvato producido por la glucólisis son degradadas a grupos acetilo de dos carbonos, que luego entran al ciclo de Krebs. En una serie de reacciones en el ciclo de Krebs, el grupo acetilo (2 C) es oxidado completamente a dióxido de carbono. En el curso de la oxidación de cada grupo acetilo se reducen cuatro aceptores

de electrones (tres  $\text{NAD}^+$  y un  $\text{FAD}^+$ ) y se forma otra molécula de ATP. Finalmente los transportadores de electrones reducidos se reoxidan y generan gran producción de ATP por quimiósmosis.



**Figura 2.** La respiración ocurre en la mitocondria.

### 2.1. OXIDACIÓN DEL PIRUVATO

El piruvato se difunde hacia la matriz mitocondrial, donde tienen lugar una serie de reacciones acopladas (Figura 3):

- el piruvato es oxidado a un grupo acetilo de dos carbonos (acetato) y se libera  $\text{CO}_2$ .
- parte de la energía de ésta oxidación es captada para la reducción del  $\text{NAD}^+$  a  $\text{NADH} + \text{H}^+$ .
- algo de la energía restante es almacenada temporalmente por la combinación del grupo acetilo con Co enzima A (CoA) formando acetil coenzima A (acetil CoA).

La formación de acetil CoA es una reacción de múltiples pasos catalizada por el complejo piruvato deshidrogenasa, un enorme complejo multienzimático que se encuentra unido a la membrana interna de la mitocondria.

### 2.2. CICLO DE KREBS

El ciclo de Krebs es la vía común final de oxidación del ácido pirúvico, ácidos grasos y las cadenas de carbono de los aminoácidos. El mismo ocurre en la matriz mitocondrial.

La primera reacción del ciclo ocurre cuando el acetil coA transfiere su grupo acetilo (de 2 carbonos) al compuesto de 4 carbonos (oxaloacetato) para producir un compuesto de 6 carbonos (ácido cítrico) (de ahí el nombre de ciclo de ácido cítrico).

El ácido cítrico inicia una serie de pasos durante los cuales la molécula original se reordena y continúa oxidándose. Las reacciones de oxidación están acopladas a la

reducción de otras moléculas: de  $\text{NAD}^+$  a  $\text{NADH}$  y de  $\text{FAD}^+$  a  $\text{FADH}_2$ . Parte de la energía de uno de los pasos del ciclo produce la fosforilación a nivel del sustrato para formar ATP. Además, ocurren dos carboxilaciones y como resultado de esta serie de reacciones vuelve a obtenerse una molécula inicial de 4 carbonos: el oxaloacetato (para reiniciar el ciclo).

El proceso completo puede describirse como un ciclo de oxaloacetato a oxaloacetato, donde dos átomos de carbono se adicionan como acetilo y dos átomos de carbono (pero no los mismos) se pierden como  $\text{CO}_2$ .

A modo de resumen: en el ciclo de Krebs se producen una molécula de ATP, tres moléculas de  $\text{NADH}$  y una molécula de  $\text{FADH}_2$  que representan la producción de energía de este ciclo. Se necesitan dos vueltas del ciclo para completar la oxidación de una molécula de glucosa. Así, el rendimiento energético total del ciclo de Krebs para una molécula de glucosa es dos moléculas de ATP, seis moléculas de  $\text{NADH}$  y dos moléculas de  $\text{FADH}_2$ .

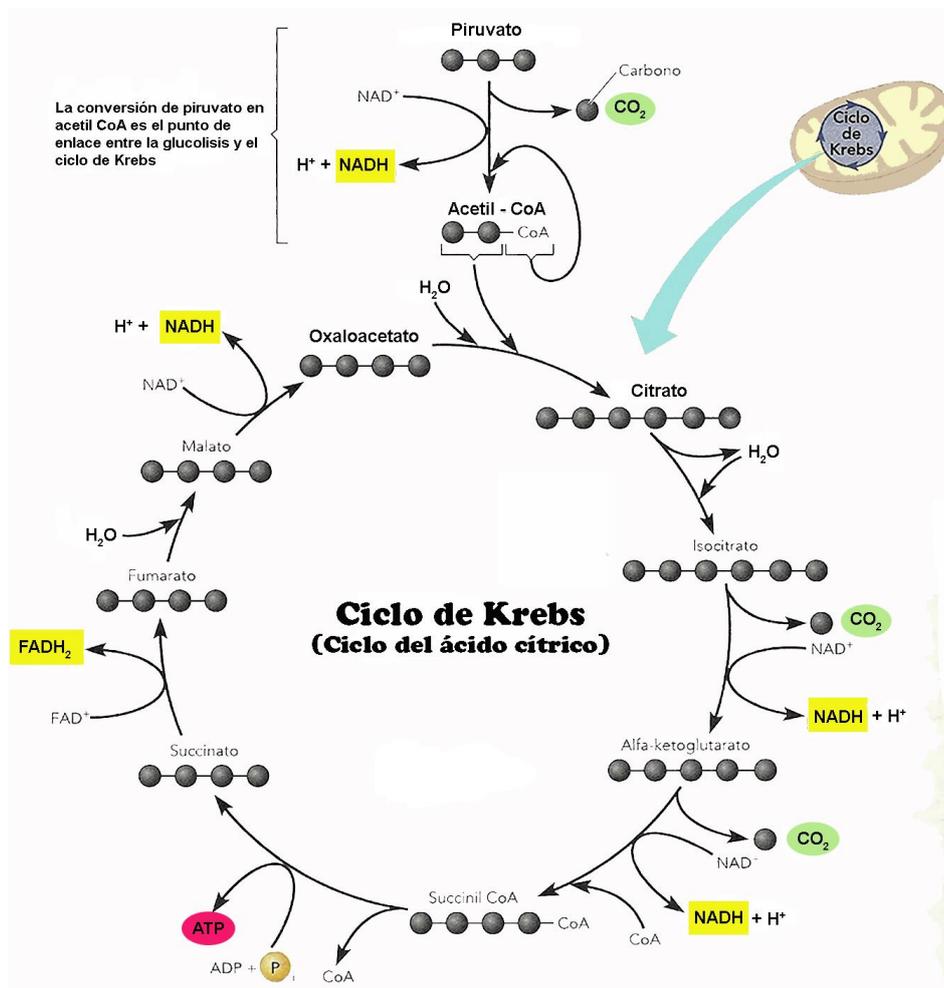
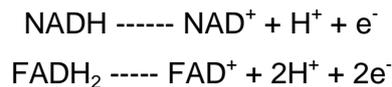


Figura 3. Oxidación del piruvato y ciclo de Krebs.

### 2.3. FOSFORILACIÓN OXIDATIVA

El piruvato fue completamente oxidado a CO<sub>2</sub> por la piruvato deshidrogenasa y por el ciclo de Krebs. Para que el ciclo se reinicie, las moléculas iniciales deben estar nuevamente en su sitio. Debido a que los transportadores de electrones fueron reducidos durante la glucólisis y la respiración celular, éstos no están disponibles para aceptar los electrones provenientes de las reacciones de oxidación hasta que sean reoxidados:



En ambientes aerobios, el O<sub>2</sub> es el que aceptará los electrones de los transportadores reducidos y permitirá su reoxidación. El resultado final de estos procesos de oxido-reducción es la producción de energía en la forma de ATP que se da en dos etapas dentro de la fosforilación oxidativa: la cadena transportadora de electrones y la quimiosmosis (Figura 4).

#### 2.3.1.LA CADENA TRANSPORTADORA DE ELECTRONES

Los electrones del NADH y FADH<sub>2</sub> pasan a través de una serie de transportadores de electrones asociados con la membrana interna de la mitocondria.

La cadena transportadora de electrones contiene (Figura 4):

- cuatro grandes complejos proteicos (I, II, III y IV) que contienen transportadores de electrones y enzimas asociadas con proteínas integrales de la membrana interna mitocondrial en las eucariotas. Tres de ellas son proteínas transmembrana.
- el citocromo c: es una pequeña proteína periférica que yace en el espacio intermembrana. Está unida laxamente a la membrana mitocondrial interna.
- un componente no proteico: la ubiquinona (Q) es una molécula no polar (lipídica) pequeña que se mueve libremente dentro del interior hidrófobo de la bicapa fosfolipídica de la membrana mitocondrial interna.

El NADH + H<sup>+</sup> cede sus electrones al primer complejo proteico (I), llamado NADH-Q Reductasa, que a su vez los transfiere a Q. El segundo complejo (II), succinato deshidrogenasa, le cede electrones a Q provenientes del FADH<sub>2</sub>. Estos electrones entran a la cadena después de los del NADH (Figura 4).

El tercer complejo (III), citocromo c reductasa, recibe electrones de Q y los transfiere al citocromo c. El cuarto complejo (IV), citocromo c oxidasa, recibe electrones del citocromo c y

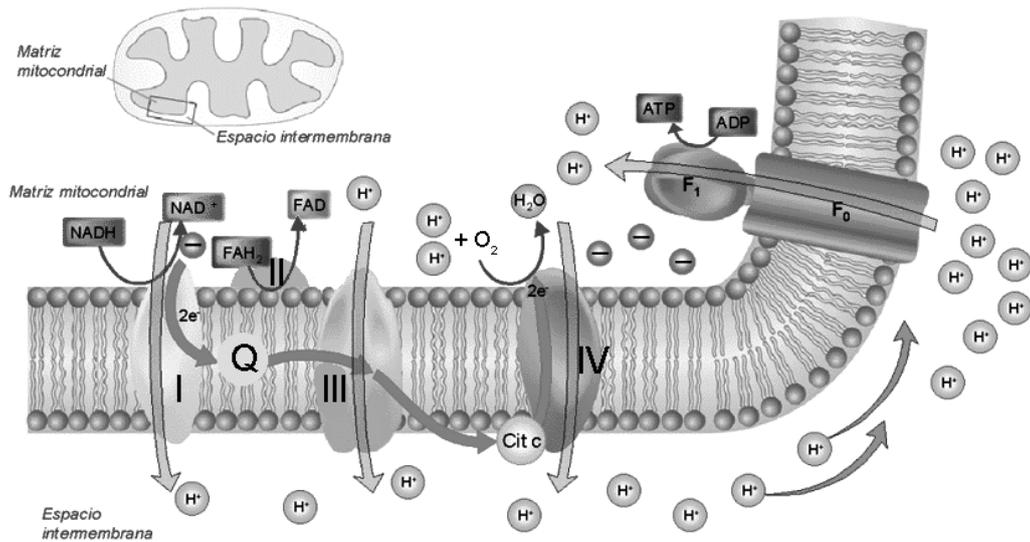
los transfiere al oxígeno molecular, que se combina con protones (iones hidrógeno) en solución, y forman agua. Los transportadores de electrones ahora sin energía (oxidados) están listos para actuar en la glucólisis y la respiración celular (Figura 4).

El flujo de electrones a lo largo de la cadena transportadora de electrones determina el transporte activo de protones ( $H^+$ ), contra el gradiente de concentración, a través de la membrana interna de la mitocondria, fuera de la matriz, creando un gradiente de concentración de protones.

### 2.3.2. QUIMIÓSMOSIS

El funcionamiento de la cadena de transportadores de electrones determina el transporte activo de protones ( $H^+$ ), contra el gradiente de concentración, a través de la membrana interna de la mitocondria, desde la matriz mitocondrial hacia el espacio intermembrana. Esto ocurre porque los transportadores de electrones contenidos en los tres grandes complejos proteicos transmembrana (I, III y IV) están dispuestos de manera que los protones son tomados de un lado de la membrana (en la matriz mitocondrial) y transportados, junto con los electrones, hacia el otro lado (el espacio intermembrana). Por lo tanto, los complejos proteicos transmembrana de la cadena transportadora de electrones actúan como bombas de protones. Debido a la carga positiva de los protones, éste bombeo no solo crea una diferencia de concentración de protones, sino también una diferencia de cargas eléctricas a ambos lados de la membrana interna mitocondrial, haciendo la matriz mitocondrial más negativa que el espacio intermembrana. Juntos, el gradiente de concentración de protones y la diferencia de cargas constituyen una fuente de energía potencial llamada fuerza protón-motriz. Esta fuerza tiende a dirigir los protones de regreso a través de la membrana. Los protones no pueden cruzar la bicapa fosfolipídica hidrófoba de la membrana interna mitocondrial por difusión simple. Sin embargo, pueden difundirse a través de la membrana pasando por un canal de protones específico, llamado ATP sintasa, que acopla el movimiento de protones a la síntesis de ATP a partir de ADP y  $P_i$ . Este acoplamiento de fuerza protón-motriz y síntesis de ATP se denomina quimiósmosis (Figura 4).

El rendimiento bruto total de ATP para una molécula de glucosa, procesada a través de glucólisis y respiración celular, es de 32. Sin embargo, podrían sustraerse 2 ATP de ese rendimiento ya que en algunas células animales, la membrana interna mitocondrial es impermeable al NADH, y por cada NADH producido en la glucólisis, que viaja hacia la matriz mitocondrial, se debe pagar un “peaje” de un ATP.



**Figura 4.** Fosforilación oxidativa: cadena transportadora de electrones y quimiósmosis.

### 3. FERMENTACIÓN

En anaerobiosis (ausencia de oxígeno) el piruvato no sigue la vía de la respiración celular, sino que ocurre la **fermentación**. Esta ocurre en el citosol y utiliza el NADH + H<sup>+</sup> producido en la glucólisis para reducir al piruvato, es decir, como aceptor final de electrones, permitiendo la regeneración de NAD<sup>+</sup>.

Los organismos procariontes son conocidos por utilizar numerosas vías de fermentación diferentes. Sin embargo, las más conocidas son dos vías cortas de fermentación encontradas en muchas células diferentes: la **fermentación ácido-láctica**, cuyo producto final es el ácido láctico o lactato, y la **fermentación alcohólica**, cuyo producto final es el alcohol etílico.

La fermentación ácido-láctica tiene lugar en muchos microorganismos y también puede ocurrir en algunas células musculares, sobre todo durante la actividad intensa.

La fermentación alcohólica tiene lugar en ciertas levaduras y algunas células vegetales en condiciones anaeróbicas. Este proceso requiere dos enzimas que metabolizan el piruvato. En primer lugar, el CO<sub>2</sub> es eliminado del piruvato y se produce el compuesto acetaldehído. En segundo lugar, el acetaldehído es reducido por el NADH + H<sup>+</sup>, lo que produce NAD<sup>+</sup> y alcohol etílico (etanol). Las bebidas alcohólicas están elaboradas por la fermentación anaeróbica de células de levadura usando glucosa de fuentes vegetales, como uvas (vino) y cebada (cerveza).

La fermentación permite que la glucólisis produzca pequeñas cantidades de ATP mediante la fosforilación a nivel de sustrato. La producción neta de dos ATP por molécula de

glucosa es una cantidad mínima de energía útil, por lo que no debería sorprender que la mayoría de los organismos que viven en un medio anaeróbico sean pequeños microorganismos con un crecimiento relativamente lento.

La energía neta total producida por la glucólisis seguida de la vía fermentativa es de dos moléculas de ATP por molécula de glucosa oxidada.

#### **4. REGULACIÓN DE LA GLUCÓLISIS Y LA RESPIRACIÓN**

Los procesos de oxidación de la glucosa y la respiración aeróbica están finamente regulados de modo que la célula disponga siempre de cantidades adecuadas de ATP. La regulación se lleva a cabo mediante el control de enzimas que participan en pasos claves de esta vía metabólica.

La glucólisis está sincronizada con las necesidades energéticas de la célula; a través de un mecanismo de retroalimentación, algunas enzimas son inhibidas por altas concentraciones de ATP. El ATP, por otra parte, es un inhibidor del primer paso enzimático del ciclo de Krebs (citrato sintetasa). Por lo tanto, altas concentraciones de ATP bloquean el proceso oxidativo del acetil CoA que lleva a la producción de NADH y FADH<sub>2</sub>. A su vez, la reacción enzimática que lleva a la formación del acetil CoA, sustrato del ciclo de Krebs, está regulada negativamente por la concentración del producto.

Los electrones continuarán fluyendo a lo largo de la cadena de transporte de electrones, suministrando energía para crear y mantener el gradiente de protones, solamente si se dispone de ADP para convertirse en ATP. Así, la fosforilación oxidativa está regulada por el suministro y la demanda. Cuando los requerimientos energéticos de la célula disminuyen, se usan menos moléculas de ATP, hay menos moléculas de ADP disponibles y el flujo electrónico disminuye.

#### **5. OTRAS VÍAS CATABÓLICAS Y ANABÓLICAS**

La mayoría de los organismos no se alimentan directamente de glucosa. ¿Cómo extraen energía de las grasas o de las proteínas? La respuesta radica en el hecho que el ciclo de Krebs es un gran centro de comunicaciones para el metabolismo de energía. Otros alimentos son degradados y convertidos a moléculas que pueden entrar en esta vía central. Dado que muchas de estas sustancias, como las proteínas y los lípidos, pueden degradarse y entrar en la vía central, se puede suponer que es posible el proceso inverso, o sea, que los distintos intermediarios de la glucólisis y del ciclo de Krebs pueden servir como precursores para la biosíntesis de las propias moléculas de la célula. Sin embargo, las vías biosintéticas, aunque son semejantes a las catabólicas, se diferencian de ellas. Hay enzimas diferentes

que controlan los pasos y hay varios pasos críticos del anabolismo que difieren de los procesos catabólicos.

Para que ocurran las reacciones de las vías catabólica y anabólica debe haber un suministro constante de moléculas orgánicas que puedan ser degradadas para producir energía y deben estar presentes moléculas que serán los ladrillos de construcción. Sin el suministro de estas moléculas, las vías metabólicas dejan de funcionar y la vida del organismo finaliza.

Las células heterótrofas dependen de fuentes externas, específicamente de células autótrofas, para obtener las moléculas orgánicas que son esenciales para la vida. Las células autótrofas, por el contrario, son capaces de sintetizar monosacáridos a partir de moléculas inorgánicas simples y de una fuente externa de energía.

Luego, estos monosacáridos se utilizan no sólo para suministrar energía, sino también como monómeros de construcción para la variedad de moléculas orgánicas que se sintetizan en las vías anabólicas. Las células autótrofas más importantes, sin lugar a dudas, son las células fotosintéticas de las algas y las plantas que capturan la energía de la luz solar y la utilizan para sintetizar las moléculas de monosacáridos de las cuales depende la vida en este planeta.

1. La siguiente ecuación representa la versión abreviada del proceso de.....cuyo objetivo es la obtención de.....a través de.....donde hay transferencia de electrones que son aceptados por el aceptor final que en condiciones aeróbicas es.....



1.1. Explique cómo es la molécula de ATP, donde se almacena la energía y cuál es su importancia.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

1.2. Mencione cuales son las moléculas transportadoras de electrones encargadas de llevar los electrones hasta la cadena transportadora de electrones.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

2. En todos los organismos vivos la primera etapa de la oxidación de la glucosa se denomina:.....

Complete el siguiente cuadro

Lugar	
Sustrato/s	
¿Se requiere O <sub>2</sub> ?	
¿Se produce CO <sub>2</sub> o H <sub>2</sub> O?	
¿Consume ATP?	
¿Produce ATP?	
Transportador de electrones oxidado	
Transportador de electrones reducido	
Producto final	

El producto final de la etapa anterior en un medio **aerobio** es el sustrato de la siguiente etapa denominada.....

Complete el siguiente cuadro

Lugar	
Sustrato/s	
¿Se requiere O <sub>2</sub> ?	
¿Se produce CO <sub>2</sub> o H <sub>2</sub> O?	
¿Consume ATP?	
¿Produce ATP?	
Transportador de electrones oxidado	
Transportador de electrones reducido	
Producto final	

El producto final de la etapa anterior es el sustrato de la siguiente etapa denominada.....

Complete el siguiente cuadro

Lugar	
Sustrato/s	
¿Se requiere O <sub>2</sub> ?	
¿Se produce CO <sub>2</sub> o H <sub>2</sub> O?	
¿Consume ATP?	
¿Produce ATP?	
Transportador de electrones oxidado	
Transportador de electrones reducido	
Producto final	

En la siguiente etapa denominada..... se producen reacciones de oxido-reducción donde se transfieren electrones y energía provenientes de todos los transportadores de electrones reducidos. Esta etapa se divide en dos procesos que se producen simultáneamente denominadas .....y ..... donde el aceptor final de electrones es.....

Lugar	
Transportadores de electrones al inicio	
Transportadores de electrones al final	
¿Se requiere O <sub>2</sub> ?	
¿Se produce CO <sub>2</sub> o H <sub>2</sub> O?	
¿Consume ATP?	
¿Produce ATP?	
Producto final	

3. Explique brevemente como a partir de los electrones transportados se producen las moléculas de ATP.

---



---



---

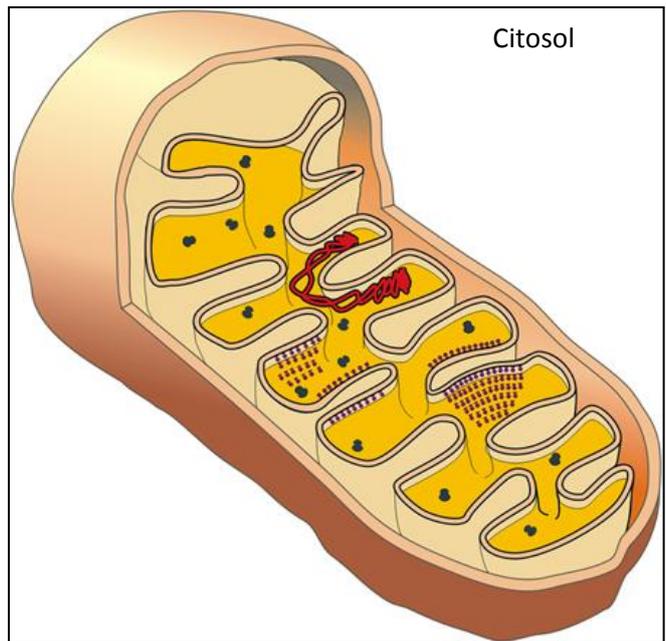
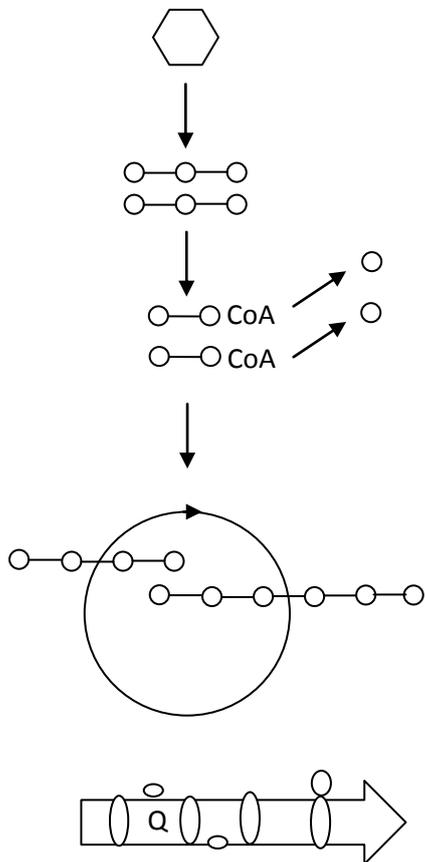


---



---

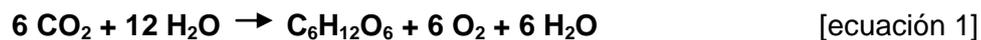
4. Complete los nombres de las moléculas del siguiente esquema que resume los procesos de glucólisis y respiración celular. Indique los sitios donde se produce ATP y NADH y  $FADH_2$  y donde se libera  $CO_2$ . Indique con flechas en que parte de la célula y de la ultraestructura de la mitocondria ocurre cada proceso.





## FOTOSÍNTESIS

La vida sobre la Tierra depende de la luz, la cual llega a la superficie terrestre en la forma de energía lumínica. Ésta es capturada por los organismos fotosintéticos quienes la usan para formar carbohidratos a partir del dióxido de carbono y del agua, con la liberación de oxígeno, en una serie compleja de reacciones (ecuación 1). En la fotosíntesis, la energía lumínica se convierte en energía química y el carbono se fija en compuestos orgánicos. La ecuación generalizada para este proceso es:



En las plantas terrestres el agua necesaria para la fotosíntesis proviene principalmente del suelo y debe viajar desde las raíces hacia las hojas. El dióxido de carbono proviene de la atmósfera y es captado por las plantas a través de pequeñas aperturas de las hojas denominadas estomas. A través de estas aperturas también se libera agua, en la forma de vapor, y oxígeno. Las plantas pueden producir energía química, almacenada en los azúcares sintetizados, gracias a la presencia de diferentes pigmentos (clorofila principalmente) que se encuentran en los cloroplastos, los cuales capturan la energía lumínica (Figura 1).

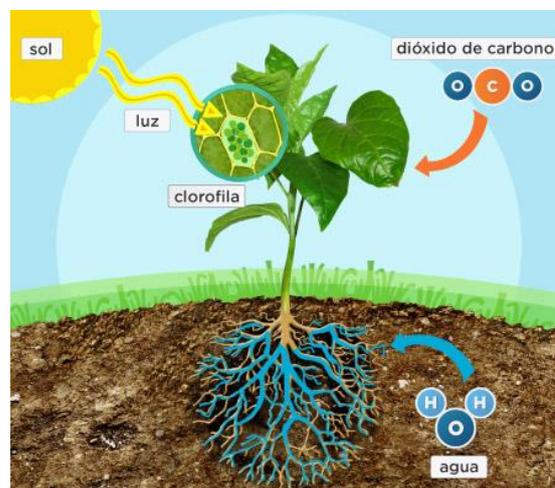


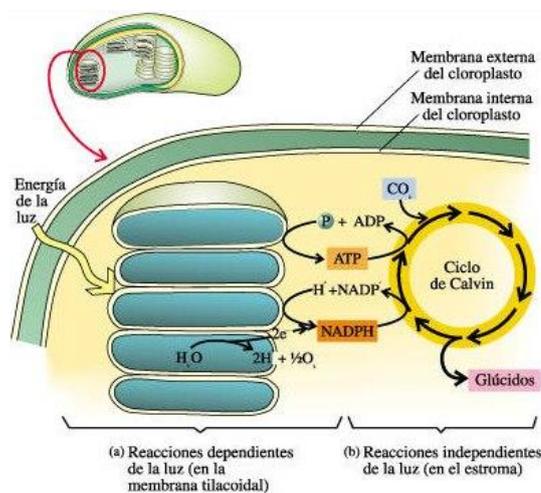
Figura 1. El proceso de fotosíntesis en las plantas terrestres.

## La fotosíntesis involucra dos vías

La fotosíntesis no consiste en una única reacción, sino que tiene lugar a través de diferentes reacciones divididas en dos fases (Figura 2).

1. **Reacciones de la fase luminosa:** denominada de esta forma porque son **impulsadas por la energía** de la luz. Esta vía metabólica convierte la energía luminosa en energía química en la forma de **ATP** y un transportador de electrones reducido: **NADPH + H<sup>+</sup>**. En esta fase se consume H<sub>2</sub>O y se libera O<sub>2</sub>.
2. **Reacciones independientes de la luz:** estas reacciones ocurren en presencia de luz pero no la utilizan directamente, sino que **utilizan el ATP** y el **NADPH + H<sup>+</sup>** de la fase luminosa y **CO<sub>2</sub>** para **producir monosacáridos** (azúcares). La vía por la que se reduce el CO<sub>2</sub> es el **Ciclo de Calvin**, aunque no es la única.

Como se mencionó oportunamente, las reacciones independientes de la luz suelen llamarse reacciones oscuras, dado que no requieren en forma directa la energía solar. Sin embargo, tanto las reacciones dependientes como las independientes de la luz cesan en la oscuridad porque la síntesis de ATP y la reducción de NADP<sup>+</sup> requieren luz.



**Figura 2.** Reacciones de la fotosíntesis en el cloroplasto de las células vegetales.

### 1. Reacciones de la fase luminosa

Antes de analizar las reacciones en particular es necesario comprender conceptos básicos de la luz, del proceso de absorción de la luz y los pigmentos.

La luz es una forma de radiación electromagnética. Se presenta en pequeños “paquetes” separados denominados **fonones** y se comporta como si se propagara en ondas. La cantidad de energía contenida en un único fotón resulta inversamente proporcional a su

longitud de onda: a menor longitud de onda, mayor es la energía de los fotones. Para ser activo en un proceso biológico, un fotón debe ser absorbido por una molécula receptora y debe tener suficiente energía para realizar el trabajo químico requerido.

Cuando un fotón encuentra una molécula, pueden suceder tres cosas:

- El fotón puede **rebotar** en la molécula (se dice que el fotón es dispersado o reflejado).
- El fotón puede **atravesar** la molécula (se dice que es transmitido).
- El fotón puede ser **absorbido** por la molécula.

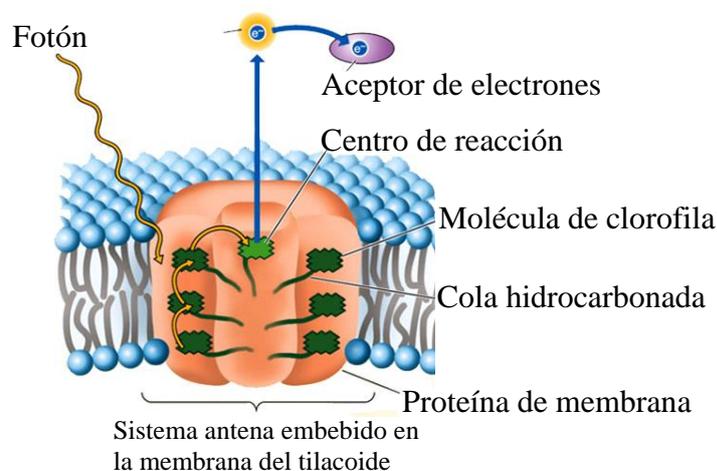
Ninguno de los dos primeros resultados provoca una modificación en la molécula. En cambio, en el caso de la absorción, el fotón desaparece debido a que la molécula adquiere su energía. Así, la molécula se eleva de un estado fundamental (de baja energía) a un estado excitado (de alta energía). El incremento de energía tiene lugar en uno de los electrones dentro de la molécula, el cual pasa hacia un orbital más alejado del núcleo. En consecuencia, el electrón es ahora retenido con menos fuerza por la molécula, lo cual la hace químicamente más activa. Las plantas presentan en sus tejidos este tipo de moléculas las cuales son necesarias para absorber la energía lumínica. Estas moléculas son denominadas en forma conjunta **pigmentos**.

Un **pigmento** es cualquier sustancia que absorbe luz. Algunos pigmentos absorben luz de todas las longitudes de onda y, por lo tanto, parecen negros. Otros solamente absorben ciertas longitudes de onda, transmitiendo o reflejando las longitudes de onda que no absorben. Los pigmentos que intervienen en la fotosíntesis de las plantas, protistas y bacterias incluyen las **clorofilas**, los **carotenoides** y las **ficobilinas**, cada uno de ellos absorbe diferentes longitudes de onda.

Con respecto a las clorofilas, hay varios tipos diferentes que varían ligeramente en su estructura molecular. En las plantas, la clorofila "a" es el pigmento involucrado directamente en la transformación de la energía lumínica en energía química. La mayoría de las células fotosintéticas también contienen un segundo tipo de clorofila, en las plantas es la clorofila "b". La estructura de la molécula de clorofila tiene dos partes: un anillo de porfirina que contiene magnesio y una cadena hidrocarbonada hidrófoba. La cadena hidrocarbonada permite el anclaje de la molécula a las proteínas integrales localizadas en las membranas de los tilacoides del cloroplasto. Por su parte, el anillo es el encargado de absorber la luz. Las clorofilas absorben longitudes de onda del azul y del rojo, que se hallan próximas a ambos extremos del espectro visible. Por lo tanto, si sólo la clorofila resultara activa en la fotosíntesis, gran parte del espectro visible resultaría inútil. Sin embargo, todos los organismos fotosintéticos cuentan con pigmentos accesorios que absorben fotones con valores intermedios de energía entre las longitudes de onda rojo y azul y, a continuación

transfieren una porción de esa energía a las clorofilas. Entre éstos pigmentos están los carotenoides, como el beta-caroteno, que absorbe fotones en las longitudes de onda del azul y azul-verdoso y es de color amarillo intenso. En las hojas verdes su color está enmascarado por las clorofilas, que son más abundantes. Sin embargo, en algunos tejidos, como los del tomate maduro, predominan los colores reflejados por los carotenoides. Lo mismo ocurre en las células foliares cuando dejan de sintetizar clorofila en el otoño. Las ficobilinas, que se encuentran en las algas rojas y en las cianobacterias, absorben varias longitudes de onda en el amarillo, el verde amarillento y el naranja.

Los pigmentos en los organismos fotosintéticos se hallan dispuestos en **sistemas antena** que absorben energía (Figura 3). En estos sistemas, los pigmentos están empaquetados entre sí y unidos a las proteínas de las membranas de los tilacoides de manera que la energía de excitación de un fotón puede trasladarse desde una molécula de pigmento hacia otra. La energía de excitación se traslada desde los pigmentos que absorben longitudes de onda más cortas (de mayor energía) hacia aquellos que absorben longitudes de onda más largas (de menor energía). Así, la excitación culmina en una molécula de pigmento de sistema antena que absorbe las longitudes de onda más largas: ésta molécula constituye el **centro de reacción** del sistema antena (Figura 3).



**Figura 3.** Sistema antena en la membrana del tilacoide del cloroplasto.

El centro de reacción es el que convierte la energía de la luz absorbida en energía química. Es allí donde una molécula de pigmento absorbe suficiente energía de tal modo que cede su electrón excitado (químicamente se oxida) y adquiere carga positiva. En las plantas, la molécula de pigmento en el centro de reacción es siempre la molécula de clorofila a.

La clorofila desempeña dos papeles vitales en la fotosíntesis:

- absorbe la energía de la luz y la transforma en energía química.

- transfiere electrones hacia otras moléculas.

La fotosíntesis libera energía química al utilizar la molécula excitada de clorofila en el centro de reacción como un agente reductor (dador de electrones) para reducir un aceptor estable de electrones. El estado fundamental de la clorofila (simbolizado como Cl) no tiene capacidad reductora, mientras que la clorofila excitada (simbolizado como Cl\*) es un buen agente reductor, ya que al recibir el fotón uno de los electrones se agita en un orbital alejado del núcleo. Este electrón al estar unido con poca fuerza el átomo, puede ser transferido en una reacción de oxido-reducción a un agente oxidante (aceptor de electrones). Así se desencadena un transporte de electrones que puede ser:

- **transporte no cíclico de electrones:** produce ATP y NADPH + H<sup>+</sup> (coenzima reducida estable rica en energía, su forma oxidada es NADP<sup>+</sup>).
- **transporte cíclico de electrones:** produce únicamente ATP.

### **1.1. El transporte no cíclico de electrones, el modelo Z**

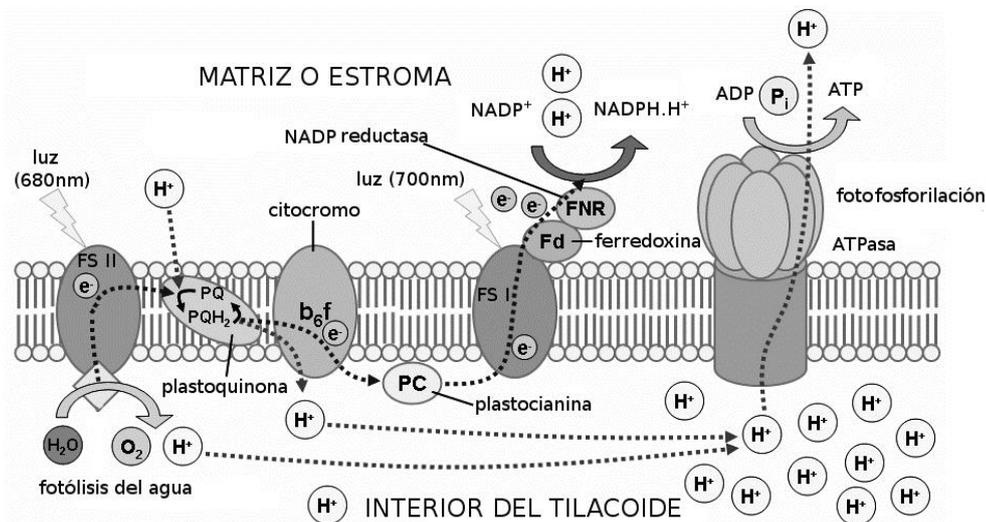
En este tipo de transporte de electrones se produce energía química (ATP), NADPH + H<sup>+</sup> y O<sub>2</sub>.

Para todo ello intervienen dos fotosistemas (complejos multiproteicos con sus correspondientes sistemas antena): el I y el II. El fotosistema I tiene como centro de reacción a la molécula de clorofila a llamada *P700* y es donde la energía luminosa reduce NADP<sup>+</sup> en NADPH + H<sup>+</sup>. El fotosistema II tiene como centro de reacción a otra molécula de clorofila a llamada *P680* y es donde la energía luminosa oxida moléculas de agua y produce: electrones, H<sup>+</sup> y O<sub>2</sub> libre que difunde hacia el exterior y permitirá la producción de ATP. Para mantener el transporte no cíclico de electrones en funcionamiento, ambos fotosistemas deben absorber luz en forma constante.

En el transporte no cíclico de electrones el fotosistema II aparece antes que el fotosistema I. Ayudándose con la Figura 4 trate de seguir el camino de los electrones durante su transporte y vea como ocurren cada uno de los puntos siguientes.

- a) En el fotosistema II el sistema antena absorbe fotones y excita su centro de reacción, la *P680*, cediendo sus electrones.
- b) En este momento la clorofila presenta un “hoyo de electrones” el cual es ocupado por electrones provenientes de la oxidación del agua (que proviene de la absorción desde el suelo), reduciendo nuevamente a la *P680*, dejándola preparada para la absorción de un nuevo fotón. La oxidación del agua produce 4 electrones, 4 H<sup>+</sup> y una molécula de O<sub>2</sub>.

- c) Los electrones cedidos en el punto a) se transfieren al aceptor primario de electrones (Plastoquinona: el primer transportador en la cadena transportadora de electrones) y de este al complejo b-f. En este pasaje de electrones se produce el pasaje de  $H^+$  hacia el interior del tilacoide, en contra del gradiente de concentración (se acumulan  $H^+$  provenientes de este pasaje y de la hidrólisis del  $H_2O$  del punto b).
- d) Los electrones llegan al fotosistema I
- e) En el fotosistema I ocurre la excitación de los pigmentos en el sistema antena hasta llegar a la clorofila a P700 la cual cede un electrón. Estos electrones son reemplazados por los electrones que llegan del punto anterior (Fotosistema II).
- f) Los electrones del fotosistema I son transferidos a la ferredoxina, y de esta pasan a la NADP reductasa donde parte de su energía es utilizada para reducir  $NADP$  a  $NADPH + H^+$ .
- g) El último paso involucra el transporte pasivo de  $H^+$  desde el lugar más concentrado (espacio tilacoide) al lugar de menor concentración (estroma del tilacoide) a través de una proteína integral de la membrana, la ATP sintasa. El pasaje de los protones por esta proteína impulsa la síntesis de ATP a partir de  $ADP + P_i$ , proceso denominado **fotofoforilación**.



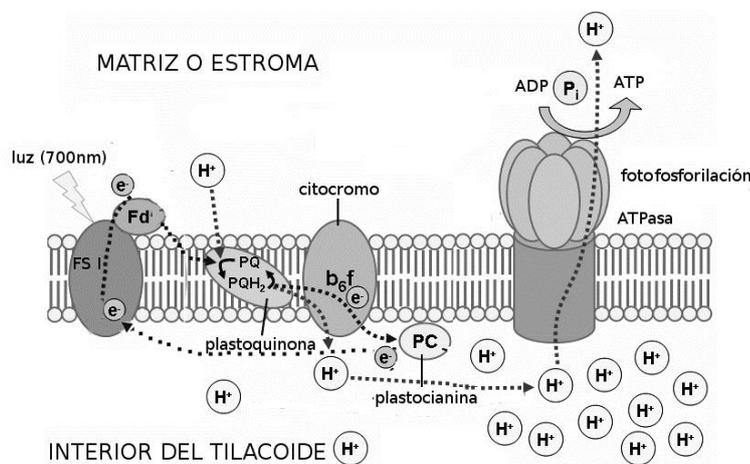
**Figura 4.** Transporte **no cíclico** de electrones durante la fase luminosa de la fotosíntesis.

### 1.2. El transporte cíclico de electrones

En este proceso solo se produce ATP debido a dos factores. Por un lado la fase oscura requiere más ATP que  $NADPH + H^+$  y por el otro lado en el cloroplasto la concentración de  $NADPH + H^+$  es mayor a la de  $NADP^+$ .

Este transporte se denomina cíclico debido a que un electrón trasladado de una molécula de clorofila excitada al comienzo se recicla a la misma molécula de clorofila al final de la cadena de reacciones. En este tipo de transporte solo interviene el fotosistema I.

Como se observa en la Figura 5, la clorofila del centro de reacción, *P700* del fotosistema I absorbe un fotón y se excita, perdiendo electrones que los tomará la ferredoxina. Ésta se reduce y transporta los electrones a través de la cadena transportadora de electrones, generando un gradiente de  $H^+$  que impulsa la producción de ATP por fotofosforilación. Los electrones vuelven al centro de reacción del fotosistema I reduciéndolo para poder comenzar el ciclo nuevamente. En este sistema los electrones siempre son reciclados, por eso se denomina transporte cíclico de electrones.



**Figura 5.** Transporte **cíclico** de electrones durante la fase luminosa de la fotosíntesis.

## 2. Reacciones independientes de la luz: fijación de carbono

Como se vio anteriormente, las reacciones lumínicas de la fotosíntesis generan ATP y  $NADPH + H^+$  en el estroma del cloroplasto. Sin embargo, la membrana interna del cloroplasto es impermeable a estos dos compuestos, por lo tanto no pueden ser exportados directamente al citosol. El poder reductor y la energía ( $NADPH$  y  $ATP$ ) necesarios para el resto de la célula, se utilizan dentro del estroma del cloroplasto para producir azúcares que pueden exportarse al citosol. Esta producción de azúcares, que sucede durante la etapa independiente de la luz se denomina **Ciclo de Calvin** (Figura 2).

El objetivo del ciclo es la fijación fotosintética del carbono, en la que un átomo de carbono inorgánico (como  $CO_2$ ) se transforma en un átomo de carbono orgánico. En cada "vuelta" completa del ciclo, ingresa en él una molécula de  $CO_2$ .

Para la formación de un monosacárido de 6 carbonos (hexosa) se requieren 6 ciclos que se dividen en (Figura 6):

- a. **Fijación del Carbono:** se combinan 6 moléculas de  $\text{CO}_2$  atmosférico con 6 moléculas de un derivado de un azúcar de **5 carbonos**: la ribulosa 1,5 bifosfato (RuBP), más agua y producen 12 moléculas de 3- fosfoglicerato, un compuesto de **tres carbonos**. Esta reacción es catalizada por una enzima de gran tamaño: la **Ribulosa 1,5 bifosfato carboxilasa** o **Rubisco**. Como esta enzima actúa a una velocidad extremadamente lenta en comparación con otras enzimas, la planta necesita muchas moléculas de Rubisco, por ello, a menudo representa más del 50% del total de proteínas del cloroplasto, y se considera que es la proteína más abundante de la Tierra.
- b. **Reducción:** Las 12 moléculas de 3-fosfoglicerato se reducen a 12 moléculas de **gliceraldehído fosfato** (molécula de 3 carbonos). Durante este proceso se utiliza el poder reductor del **NADPH** y se requiere de energía en la forma de **ATP** que provienen de la fase lumínica previa. Se generan **NADP** y **ADP +  $\text{P}_i$** .
- c. **Regeneración de ribulosa:** De estas 12 moléculas, 2 moléculas de gliceraldehído fosfato representan la ganancia neta del ciclo de Calvin, formando hexosas u otros monosacáridos. Estas moléculas son el punto de partida de numerosas reacciones que pueden implicar, por ejemplo, la síntesis de glúcidos, aminoácidos y ácidos grasos. Las otras 10 moléculas de gliceraldehído fosfato se combinan y se regeneran para formar 6 moléculas RuBP(5C) para reiniciar al ciclo (paso 1). Para que esto ocurra se requiere nuevamente de energía bajo la forma de ATP, el cual proviene de la fase lumínica. Se generan **ADP +  $\text{P}_i$** .

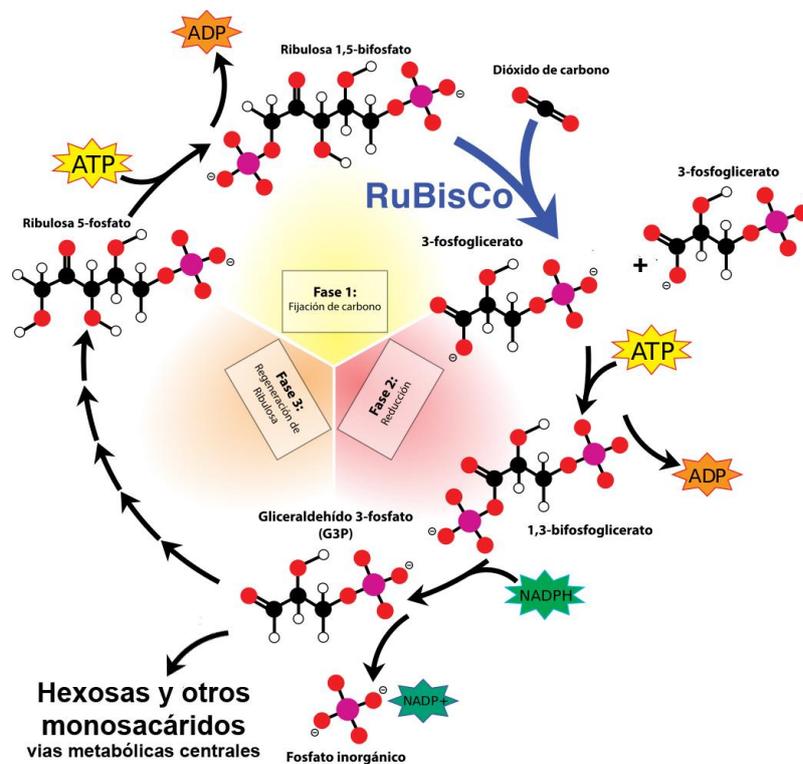


Figura 6. Ciclo de Calvin - Benson de fijación del  $\text{CO}_2$ .

Como pudo observarse durante la fase independiente de la luz se requiere más ATP que NADPH, por ello durante la fase lumínica hay más generación de energía, ATP (que proviene del transporte cíclico y no cíclico) que poder reductor, NADPH (que proviene solo del transporte no cíclico).

### **3. Los productos de la fotosíntesis**

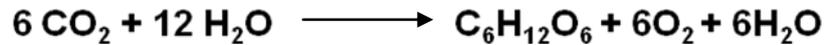
El gliceraldehído fosfato, el azúcar de tres carbonos producido por el ciclo de Calvin, puede parecer acaso una recompensa insignificante frente a toda la actividad enzimática de la célula y por nuestro propio esfuerzo intelectual por entenderlo. Sin embargo, esta molécula y las que derivan de ella suministran la fuente energética para virtualmente todos los sistemas vivos y el esqueleto de carbono básico a partir del cual puede sintetizarse la gran diversidad de moléculas orgánicas. El carbono se ha fijado, o sea, fue transferido del mundo inorgánico al orgánico. Las moléculas de gliceraldehído fosfato pueden fluir en una variedad de vías metabólicas distintas, dependiendo de las actividades y requerimientos de la célula.

Durante los períodos de excesiva actividad fotosintética, el gliceraldehído fosfato es retenido en el cloroplasto, donde se convierte sobre todo en almidón en el estroma, éste es un polisacárido de reserva y se almacena en forma de granos voluminosos en el estroma del cloroplasto. Durante la noche, el almidón se degrada a azúcares más simples que ayudan a satisfacer las necesidades metabólicas de la planta.

Pero los cloroplastos no son solo un depósito de reserva. Gran parte del gliceraldehído fosfato se moviliza al citosol donde puede ingresar a la vía glucolítica donde se convierte en piruvato, que ingresa al Ciclo de Krebs y luego conduce a la formación de ATP mediante la fosforilación oxidativa (respiración celular).

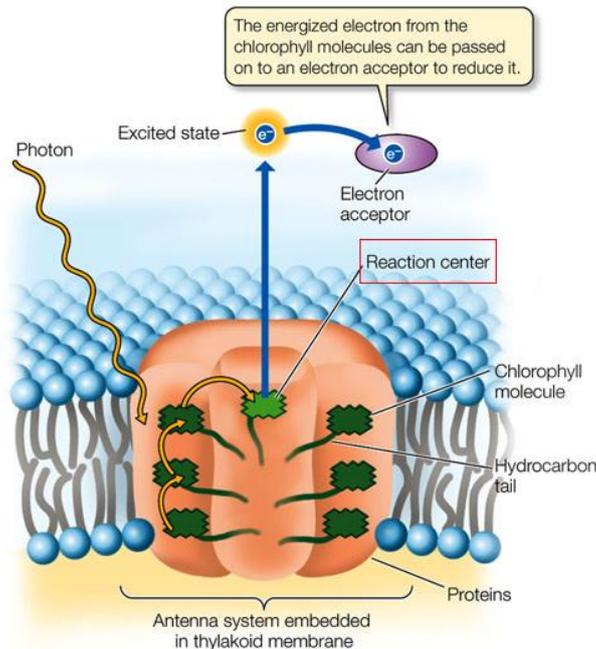
El gliceraldehído fosfato exportado desde los cloroplastos también se transforma en otros metabolitos, como el disacárido sacarosa. La sacarosa es la forma principal en la que el azúcar se transporta entre las células de las plantas: así como la glucosa es vehiculizada en la sangre de los animales, la sacarosa es exportada desde las hojas a través de los tejidos de conducción al resto de la planta proporcionando hidratos de carbono para realizar sus actividades metabólicas.

1. La siguiente ecuación representa la versión abreviada del proceso de.....cuyo objetivo es la obtención de.....



Para que este proceso tenga lugar se necesitan moléculas que captan la energía..... Estas moléculas se denominan.....y son: 1)....., 2).....y 3).....Las mismas se organizan en un sistema denominado.....El mismo se encuentra en la.....del.....

2. En la figura siguiente se muestra la organización del sistema antena. Descríbalo brevemente teniendo en cuenta el lugar donde se ubica, las moléculas que lo conforman y el proceso que lleva a cabo.




---



---



---



---



---



---



---



---

3. El proceso de fotosíntesis se divide en dos etapas denominadas.....y .....

En la primera etapa:.....se produce la energía.....a partir de la energía.....que se requiere para la segunda etapa del proceso de fotosíntesis.

Primera etapa:

	Transporte..... de electrones	Transporte..... de electrones
Lugar		
¿Requiere de Luz?		
¿Se da en presencia o ausencia de luz?		
Fotosistema/s involucrado/s		
¿Requiere de CO <sub>2</sub> ?		
¿Requiere H <sub>2</sub> O?		
¿Se produce ATP?		
¿Si se produce ATP, bajo que mecanismo?		
¿Se produce o se utiliza NADPH + H <sup>+</sup> ?		
Aceptor/es final de electrones		
Indique el recorrido completo de los electrones		
Producto/s final/es		

En la segunda etapa denominada.....se producen.....a partir de la fijación de.....en el ciclo.....

Segunda etapa:

Lugar	
Sustrato/s	
¿Molécula intermedia más importante?	
¿Destino/s de la molécula intermedia más importante?	
¿Requiere de Luz?	
¿Se da en presencia o ausencia de luz?	
¿Requiere de CO <sub>2</sub> ?	
¿Requiere H <sub>2</sub> O?	
¿Se produce ATP?	
¿Utiliza ATP?, ¿de dónde proviene?	
¿Se produce o se utiliza NADPH + H <sup>+</sup> ?	
Producto/s final/es	

4. IMPORTANTE: el comienzo de la segunda etapa (**FIJACIÓN DEL CO<sub>2</sub>**) es catalizado por una enzima (la proteína más abundante del planeta) denominada..... o su abreviatura....., la cual está presente en organismos que realizan la fotosíntesis.