

LOS BIOELEMENTOS, EL AGUA Y LAS SALES MINERALES

EL ENLACE QUÍMICO EN LA MATERIA VIVA

El enlace químico es la unión entre átomos, moléculas o iones. Un ion es un átomo o una molécula con carga eléctrica. En la materia viva los principales tipos de enlaces son: el enlace iónico entre iones, el enlace covalente entre átomos, y los enlaces intermoleculares entre moléculas.

- **El enlace iónico (metal + no-metal)**

Se da cuando uno de los átomos capta electrones del otro. El átomo que capta electrones se transforma en un ion negativo o anión, y el que los pierde, en un ion positivo o catión. El anión y el catión quedan unidos por atracción electrostática. El enlace iónico se da entre átomos de electronegatividad muy diferente, es decir, entre átomos con una gran avidez de electrones, los muy electronegativos, y átomos que retienen con poca fuerza sus electrones, los poco electronegativos.

- **El enlace covalente (no-metal + no-metal)**

Se forma cuando dos átomos comparten electrones. Se da entre átomos de electronegatividad alta y similar. Es un enlace muy fuerte. Si los átomos unidos tienen una electronegatividad similar, dan lugar a moléculas apolares, por ejemplo, los compuestos formados por átomos iguales, H₂, O₂, N₂, I₂, y los constituidos por carbono e hidrógeno (hidrocarburos), (metano), (propano), etc. Si unos átomos atraen más hacia sí los electrones, se forman moléculas polares, con un polo + y otro -, es decir, dipolos moleculares, por ejemplo, H₂O, NH₃.

- **Los enlaces intermoleculares**

Son los enlaces entre moléculas. Los casos más importantes son el enlace de hidrógeno y las fuerzas de Van der Waals. Son enlaces muy débiles y están debidos a fuerzas electrostáticas.

- Enlace de hidrógeno. En las moléculas dipolares de los hidruros (H₂O, NH₃), el pequeño tamaño del átomo de hidrógeno permite aproximarse mucho al otro tipo de átomo, de las moléculas contiguas, estableciéndose fuerzas débiles de atracción entre ellas, denominadas enlace de hidrógeno, antes denominado puente de hidrógeno.
- Enlace por fuerzas de Van der Waals. También entre moléculas apolares aparecen atracciones electrostáticas, debido a que aparecen dipolos instantáneos. Estos permiten la atracción intermolecular.

LOS BIOELEMENTOS

Si se hace un análisis químico de cada uno de los diferentes tipos de seres vivos, se encuentra que la materia viva está constituida por unos setenta elementos. Estos elementos que se encuentran en la materia viva se llaman bioelementos o elementos biogénicos. Los bioelementos se pueden clasificar en dos grupos: los bioelementos primarios y los bioelementos secundarios.

- Los bioelementos primarios. Se llaman primarios porque son indispensables para la formación de las biomoléculas orgánicas (glúcidos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos), que son las moléculas que constituyen todos los seres vivos. Por esto, las biomoléculas orgánicas también se las denomina principios inmediatos a la vida. Son un grupo de seis elementos que constituyen el 96,2% del total de la materia viva. Son el O, C, H, N, P y el S.
- Los bioelementos secundarios. Son todos los bioelementos restantes. En este grupo se pueden

distinguir dos tipos: los indispensables, que son los que no pueden faltar porque son imprescindibles para la vida de la célula, y los variables, que son los que sí pueden faltar en algunos organismos. Son indispensables el Ca, Na, K, Mg, Cl, Fe, Si, Cu, Mn, B, F, I. . Son variables el Br, Zn, V, Pb.

Otra clasificación de los bioelementos es la basada en su abundancia. Los que se encuentran en proporciones inferiores al 0, 1% se denominan oligoelementos, y el resto bioelementos plásticos.

• Los bioelementos primarios

Si se compara la composición atómica de la biosfera, con la composición de la atmósfera, de la hidrosfera y de la litosfera, se pueden deducir las siguientes conclusiones:

- Los altos porcentajes de H y O se deben a que la materia viva está constituida por agua en un porcentaje que varía de un 65% (organismos terrestres) a un 90% (organismos acuáticos). Ello a la vez se debe a que todas las reacciones químicas que se realizan en los seres vivos se desarrollan en el medio acuoso. No es posible la materia viva sin agua. Todo esto se relaciona con que la vida se originó en el medio acuático.
- Los porcentajes del resto de los bioelementos primarios (C, N, S y P) de la biosfera son muy diferentes de los encontrados en la atmósfera, hidrosfera o litosfera, por lo que se puede deducir que la materia viva se ha formado a partir de (C, H, O, N, P y S) que gracias a sus propiedades son capaces de constituirlos. Estas propiedades son:
 - Al combinarse entre sí se establecen enlaces covalentes estables.
 - Dado que el oxígeno y el nitrógeno son elementos muy electronegativos, al establecer enlaces covalentes con los otros tipos de átomos con frecuencia dan lugar a moléculas dipolares. Dado que el agua también es dipolar, estos compuestos se disuelven bien en ella y pueden reaccionar entre sí.
 - El carbono tiene cuatro electrones en su periferia y puede formar enlaces covalentes estables con otros carbonos. Éstos le permiten constituir largas cadenas de átomos. Gracias a que los enlaces pueden ser simples, dobles o triples, y, sobre todo, gracias a los diferentes radicales formados por los otros elementos (–H, –OH, –NH₂), es posible un gran número de moléculas diferentes, que posibilitan una gran variabilidad de reacciones químicas.
 - El hidrógeno es el otro elemento que resulta indispensable para formar la materia orgánica. Ésta se define como la materia constituida básicamente por carbono e hidrógeno. No es necesario ningún otro elemento para formar materia orgánica. El petróleo y sus derivados también están constituidos sólo por carbono e hidrógeno. Se los denomina por ello hidrocarburos. El único electrón que posee el átomo de hidrógeno le permite formar un enlace con cualquiera de los otros bioelementos primarios. Las moléculas formadas sólo por carbono e hidrógeno son covalentes apolares (insolubles en agua). Si algunos hidrógenos son sustituidos por grupos covalentes polares, la molécula orgánica puede llegar a ser soluble en agua.
 - El oxígeno es el bioelemento primario más electronegativo. Esto lo hace idóneo para quitar electrones a otros átomos, es decir, para oxidarlos. Como este proceso comporta la rotura de enlaces y la liberación de una gran cantidad de energía, la reacción de los compuestos de carbono con el oxígeno, la llamada respiración aeróbica, es la forma más común de obtener energía.
 - El nitrógeno al igual que el carbono y el azufre, presenta una gran facilidad para formar compuestos tanto con el hidrógeno como con el oxígeno, lo cual permite, la liberación de energía.
 - El azufre básicamente se encuentra en forma de radical sulfhidrilo (–SH) en determinados aminoácidos. Estos radicales permiten establecer, entre dos aminoácidos próximos, unos enlaces covalentes fuertes denominados puentes disulfuro, que mantienen la estructura de las proteínas.
 - El fósforo permite establecer enlaces ricos en energía. En estos enlaces se almacena la energía liberada en otras reacciones.
- Los bioelementos secundarios

Se pueden distinguir entre los que son abundantes y los que suelen ser oligoelementos. Los más abundantes

son el Na, K, Mg y Ca.

Entre los oligoelementos cabe citar el Fe, Zn, Cu, Co, Mn, Li, Si, I y F.

LOS PRINCIPIOS INMEDIATOS O BIOMOLÉCULAS

Si se efectúa un análisis físico de la materia viva, de forma que se puede separar cada una de las sustancias que la componen sin que estas se alteren, se llega a los llamados principios inmediatos o biomoléculas. Los principios inmediatos pueden ser simples o compuestos. Son simples cuando las moléculas están formadas por átomos del mismo tipo, como es el caso del O_2 . Son compuestos cuando hay átomos de diferentes elementos, como ocurre en el H_2O . Los principios inmediatos compuestos pueden ser inorgánicos, como el agua y las sales minerales, y orgánicos, es decir, constituidos básicamente por polímeros de carbono e hidrógeno, como los glúcidos y los lípidos.

Los principios inmediatos pueden tener función estructural, como las proteínas y las sales minerales de los huesos, función energética, como las grasas, y función biocatalizadora.

EL AGUA

El agua es la sustancia química más abundante en la materia viva. En los humanos adultos representa el 63% de su peso, en el embrión humano el 94%, y en las algas el 95%. Existe una relación directa entre contenido en agua y actividad fisiológica de un organismo. Así, los menores porcentajes se dan en seres con vida latente, como semillas o virus. El agua se encuentra en la materia viva en tres formas:

- Como agua circulante (en la sangre, en la savia).
- Como agua intersticial (entre las células).
- Como agua intracelular (en el citosol y en el interior de los orgánulos celulares).

En los seres humanos, el agua circulante supone el 8% de su peso, el agua intersticial el 15%, y el agua intracelular el 40%. Al agua, a temperatura ambiente, es líquida, al contrario que cabría esperar, si se considera que otras moléculas de parecido peso molecular son gases. Este comportamiento físico se debe a que en la molécula de agua aparece un polo negativo, donde está el átomo de oxígeno, y dos polos positivos, donde están los dos núcleos de hidrógeno. Entre los dipolos del agua se establecen fuerzas de atracción llamadas puentes de hidrógeno, formándose grupos de 3, 4 y hasta poco más de 9 moléculas. Con ello se alcanzan pesos moleculares elevados y el H_2O se comporta como un líquido.

- Características fundamentales del agua:
 - Elevada fuerza de cohesión entre sus moléculas, debida a los puentes de hidrógeno. Ello explica que el agua sea un líquido prácticamente incomprensible. También explica que tenga una elevada tensión superficial y una capilaridad.
 - El elevado calor específico. Por esto hace falta mucho calor para elevar su temperatura. Esto la convierte en estabilizador térmico del organismo frente a los cambios bruscos de temperatura del ambiente.
 - Elevado calor de vaporización. Ello se debe a que para pasar del estado líquido al gaseoso hay que romper todos los puentes de hidrógeno.
 - Mayor densidad en estado líquido que en estado sólido. Ello explica que el hielo flote en el agua.
 - Elevada constante dieléctrica. Las moléculas de agua, al ser polares, se disponen alrededor de los grupos polares del soluto, llegando en el caso de los compuestos iónicos a desdoblarlos en aniones y cationes, que quedan así rodeados por moléculas de agua. Este fenómeno se denomina solvatación iónica.
 - Bajo grado de ionización.

- **Funciones del agua en los seres vivos:**

- **Función disolvente** de las sustancias. El agua es básica para la vida, ya que prácticamente todas las reacciones biológicas tienen lugar en el medio acuoso.
- **Función bioquímica.** El agua interviene en muchas reacciones químicas.
- **Función de transporte.** El agua es el medio de transporte de las sustancias desde el exterior al interior de los organismos.
- **Función estructural.** El volumen y forma de las células que carecen de membrana rígida se mantienen gracias a la presión que ejerce el agua interna.
- **Función mecánica amortiguadora.**
- **Función termorreguladora.** Se debe a su elevado calor específico y a su elevado calor de vaporización.

LAS SALES MINERALES

Las sustancias minerales se pueden encontrar en los seres vivos de tres formas: precipitadas, disueltas o asociadas a sustancias orgánicas.

- Las sustancias minerales precipitadas constituyen estructuras sólidas, insolubles, con función esquelética.
- Las sales minerales disueltas dan lugar a aniones y cationes.
- Las sustancias minerales asociadas a moléculas orgánicas suelen encontrarse junto a proteínas, como las fosfoproteínas; junto a lípidos como los fosfolípidos, y junto a glúcidos como en el agar-agar.

Las principales funciones de las sustancias minerales en los organismos son:

- Formar estructuras esqueléticas.
- Estabilizar dispersiones coloidales.
- Mantener un grado de salinidad en el medio interno.
- Constituir soluciones amortiguadoras.

LOS GLÚCIDOS

LOS GLÚCIDOS

- **Concepto de glúcido**

Los glúcidos son biomoléculas formadas básicamente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Se les suele llamar hidratos de carbono o carbohidratos. Este nombre es en realidad poco apropiado, ya que se trata de átomos de carbono unidos a grupos alcoholícos ($-\text{OH}$), llamados también radicales hidroxilo, y a radicales hidrógeno ($-\text{H}$). en todos los glúcidos siempre hay un grupo carbonilo, es decir, un carbono unido a un oxígeno mediante un doble enlace. El grupo carbonilo puede ser un grupo aldehído ($-\text{CHO}$) o un grupo cetónico ($-\text{CO}-$). Así pues, los glúcidos pueden definirse como polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas.

- **Clasificación de los glúcidos**

Los glúcidos se clasifican según el número de átomos de carbono que contengan. Se distinguen los siguientes tipos:

- **Monosacáridos**, de 3 a 8 átomos de carbono.
- **Oligosacáridos**, de 2 a 10 monosacáridos. Los más importantes son los disacáridos (unión de 2 monosacáridos).
- **Polisacáridos**, de más de 10 monosacáridos.

LOS MONOSACÁRIDOS

Son glúcidos constituidos por una sola cadena polihidroxialdehídica o polihidroxicetónica. Se nombran añadiendo la terminación -osa al número de carbonos (triosa, tetrosa).

- **Propiedades físicas:** son sólidos cristalinos, de color blanco, hidrosolubles y de sabor dulce. Su solubilidad en agua se debe a que presenta una elevada polaridad eléctrica.
- **Propiedades químicas:** los glúcidos son capaces de oxidarse frente a otras sustancias que se reducen. Otra propiedad química de los glúcidos es su capacidad para asociarse con grupos amino $-NH_2$.

• Triosas

Son glúcidos formados por 3 átomos de carbono. Hay dos triosas: una que tiene un grupo aldehído y otra que tiene un grupo cetónico. La aldotriosa se llama gliceraldehído, y la cetotriosa se llama dihidroxiacetona. La fórmula empírica de ambas es $C_3H_6O_3$. El gliceraldehído tiene un átomo de carbono asimétrico, es decir, un carbono que tiene sus cuatro valencias saturadas por radicales diferentes. Se pueden distinguir dos isómeros espaciales o estereoisómeros: el D-gliceraldehído, cuando el $-OH$ está a la derecha, y el L-gliceraldehído, cuando el $-OH$ está a la izquierda. Cada uno de estos isómeros espaciales es imagen especular no superponible del otro y se les denomina estructuras enantiomorfas. La presencia de carbonos asimétricos da a estas moléculas la propiedad de la actividad óptica. Al incidir sobre ellas un rayo de luz polarizada, se produce una desviación en el plano de polarización. Si lo desvían hacia la derecha, se llaman dextrógiras y se simbolizan con el signo (+), y si lo desvían hacia la izquierda, se denominan levógiras y se simbolizan con el signo (-).

• Tetrasas

Son glúcidos formados por cuatro átomos de carbono. Existen dos aldotetrosas, la treosa y la eritrosa, y una cetotetrosa, la eritrolosa.

• Pentosas

Son glúcidos de cinco átomos de carbono. En la naturaleza sólo se encuentran: la D-ribosa, la D-2-desoxirribosa, la D-xilosa, y la L-arabinosa. Entre las cetopentosas cabe citar la D-ribulosa, que desempeña un importante papel en la fotosíntesis.

• Hexosas

Son glúcidos con seis átomos de carbono. Tienen interés en la biología la D-(+)-manosa, la D-(+)-galactosa y la D-(-)-fructosa.

- **Glucosa:** es el glúcido más abundante. En la sangre se halla en concentraciones de un gramo por litro. Polimerizada da lugar a polisacáridos con función de reserva energética, como el almidón en los vegetales o el glucógeno en los animales, o con función estructural, como la celulosa de las plantas.
- **Galactosa:** se puede hallar en la orina de los animales en forma de $-D$ -galactosa.
- **Manosa:** se encuentra en forma de D-manosa en ciertos tejidos vegetales.
- **Fructosa:** se halla en forma de $-D$ -fructofuranosa en la fruta.

LOS ENLACES N-GLUCOSÍDICO Y O-GLUCOSÍDICO

Hay dos tipos de enlace entre un monosacárido y otras moléculas: el enlace N-glucosídico, que se forma entre un $-OH$ y un compuesto aminado, y el enlace O-glucosídico, que se realiza entre dos $-OH$ de dos monosacáridos.

LOS DISACÁRIDOS

Los disacáridos están formados por la unión de dos monosacáridos, que se realiza de dos formas:

- Mediante enlace monocarbonílico entre el carbono anomérico del primer monosacárido y un carbono cualquiera no anomérico del segundo. La terminación del nombre del primer monosacárido es -osil y la del segundo monosacárido es -osa.
- Mediante enlace dicarbonílico, si se establece entre los dos carbonos anoméricos de los dos monosacáridos. La terminación del nombre del primer monosacárido es -osil y la del segundo monosacárido es -ósido.

Principales disacáridos con interés biológico:

- Maltosa. Disacárido formado por dos moléculas de D-glucopiranosas unidas mediante enlace

(1 4).

- Celobiosa. Disacárido formado por dos moléculas de D-glucopiranosas unidas mediante enlace (1 4).
- Lactosa. Disacárido formado por una molécula de D-galactopiranosas y otra de D-glucopiranosas unidas por medio de un enlace (1 4).
- Sacarosa. Disacárido formado por una molécula de -D-glucopiranosas y otra de -D-fructofuranosas unidas por medio de un enlace (1 2).
- Isomaltosa. Disacárido formado por dos moléculas de D-glucopiranosas mediante enlace (1 6).

LOS POLISACÁRIDOS

Los polisacáridos están formados por la unión de muchos monosacáridos (puede variar de once a varios miles) mediante enlace O-glucosídico, con la consiguiente pérdida de una molécula de agua por cada enlace. Tienen, pues, pesos moleculares muy elevados. Pueden desempeñar funciones estructurales o de reserva energética. En los polisacáridos diferenciamos los homopolisacáridos, o polímeros de un solo tipo de monosacárido, y los heteropolisacáridos, cuando en el polímero interviene más de un tipo de monosacárido.

Homopolisacáridos		Heteropolisacáridos
Mediante enlace	Mediante enlace	Presentan enlace
Almidón Glucógeno	Celulosa Quitina	Pectina

• Almidón

Agar-agar

Goma arábica

El almidón es el polisacárido de reserva propio de los vegetales. En el almidón se encuentran unidas miles de moléculas de glucosa, que constituyen una gran reserva energética que ocupa poco volumen. Los depósitos de almidón se encuentran en las semillas y en los tubérculos, como la patata y el boniato. A partir de ellos, las plantas pueden obtener energía sin necesidad de luz. El almidón está integrado por dos tipos de polímeros: la amilosa en un 30% en peso, constituida por un polímero de maltosas unidas mediante enlaces (1 4), y la amilopectina en un 70%, constituida por un polímero de maltosas unidas mediante enlaces (1 4) con ramificaciones en posición (1 6).

• Glucógeno

El glucógeno es el polisacárido propio de los animales. Se encuentra abundantemente en el hígado y en los músculos. El glucógeno, al igual que la amilopectina está constituido por un polímero de maltosas unidas mediante enlaces (1 4) con ramificaciones en posición (1 6), pero con mayor abundancia de ramas. Éstas

aparecen, aproximadamente, cada ocho o diez glucosas. Tiene hasta unas 15.000 moléculas de maltosa.

• Celulosa

La celulosa es un polisacárido con función esquelética propio de los vegetales. Es el elemento principal de la pared celular. Esta pared constituye una especie de estuche en el que queda encerrada la célula, que persiste tras la muerte de ésta. Las fibras vegetales y el interior del tronco de los árboles están básicamente formados por paredes celulósicas de células muertas. El algodón es casi celulosa pura, mientras que la madera tiene un 50% de otras sustancias que aumentan su dureza. La celulosa es un polímero de α -D-glucopiranosas unidas mediante enlaces (1 4). Cada polímero tiene de 150 a 5.000 moléculas de celobiosas. Estos polímeros forman cadenas moleculares no ramificadas, que se pueden disponer paralelamente uniéndose mediante enlaces de puente de hidrógeno.

• Quitina

La quitina es un polímero de N-acetil-D-glucosamina unido mediante enlaces (1 4), de modo análogo a la celulosa. Como ella, forma cadenas paralelas. Es el componente esencial del exoesqueleto de los artrópodos. En los crustáceos se encuentra impregnada de carbono cálcico, lo que aumenta su dureza.

• Heteropolisacáridos

Son sustancias que por hidrólisis dan lugar a varios tipos distintos de monosacáridos o de derivados de éstos. Los principales son:

- Pectina. Se encuentra en la pared celular de los tejidos vegetales. Abunda en la manzana, pera, ciruela y membrillo. Posee una gran capacidad gelificante que se aprovecha para preparar mermeladas.
- Agar-agar. Se extrae de las algas rojas o rodofíceas. Es muy hidrófilo y se utiliza en microbiología para preparar medios de cultivo.
- Goma arábiga. Es una sustancia segregada por plantas para cerrar sus heridas.

FUNCIONES GENERALES DE LOS GLÚCIDOS

Los glúcidos son uno de los cuatro principios inmediatos orgánicos propios de los seres vivos. Su proporción en las plantas es mucho mayor que en los animales. En las plantas constituyen con mucho el principal componente orgánico. Se forman directamente en la fotosíntesis. En los seres vivos realizan dos funciones principales:

- Por lo que respecta a la función energética, el glúcido más importante es la glucosa, ya que es el monosacárido más abundante en el medio interno.
- En lo que concierne a la función estructural, se ha de destacar la importancia del enlace . Entre los glúcidos con función estructural podemos citar: la celulosa en los vegetales, la quitina en los artrópodos, la ribosa y desoxirribosa en los ácidos nucleicos de todos los seres vivos, y los peptidoglucanos en las bacterias.

Otras funciones específicas de determinados glúcidos son la de antibiótico, la de vitamina C, la anticoagulante, la hormonal, la enzimática, y la inmunológica.

LOS LÍPIDOS

LOS LÍPIDOS

Los lípidos son principios inmediatos orgánicos compuestos básicamente por carbono e hidrógeno y

generalmente también oxígeno, pero en porcentajes mucho más bajos. Además algunos lípidos contienen fósforo, nitrógeno y azufre. Forman un grupo de sustancias muy heterogéneas que tienen solamente dos características en común:

- Son solubles en agua y en otros disolventes polares.
- Son solubles en disolventes orgánicos, es decir, no polares, como el octano, el éter, el cloroformo, el benceno, etc.

Los lípidos se clasifican en dos grupos: lípidos con ácidos grasos o saponificables y lípidos sin ácidos grasos o insaponificables.

LOS ÁCIDOS GRASOS

• Características y clasificación

Los ácidos grasos son moléculas formadas por una larga cadena hidrocarbonada de tipo lineal, con un número par de átomos de carbono. Todos los ácidos grasos tienen un grupo carboxilo ($-\text{COOH}$) en un extremo de la cadena. Se conocen unos setenta ácidos grasos, que se pueden clasificar en dos grupos: los ácidos grasos saturados y los ácidos grasos insaturados.

- Los ácidos grasos saturados sólo tienen enlaces simples entre los átomos de carbono, y sus cadenas hidrocarbonadas son lineales.
- Los ácidos grasos insaturados tienen uno o varios enlaces dobles en su cadena hidrocarbonada y sus moléculas presentan codos, con cambios de dirección, en los lugares donde aparece un doble enlace entre átomos de carbono.

• Propiedades físicas de los ácidos grasos

- La solubilidad. Los ácidos grasos poseen una zona hidrófila y una zona lipófila. El gran tamaño de la zona lipófila hace que los ácidos grasos sean insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos.
- El punto de fusión. En los ácidos grasos saturados, el punto de fusión aumenta al incrementarse el número de carbonos de la molécula. Los ácidos grasos insaturados presentan escasos enlaces de Van der Waals y da lugar a puntos de fusión bajos.

• Propiedades químicas de los ácidos grasos

Los ácidos grasos se comportan como ácidos moderadamente fuertes, lo que les permite realizar reacciones de esterificación y saponificación.

- En la esterificación un ácido graso se une a un alcohol mediante un enlace covalente, formando un éster y liberándose una molécula de agua.
- La saponificación es una reacción típica de los ácidos grasos, en la cual reaccionan con bases y dan lugar a una sal de ácido graso, que se denomina jabón. Las moléculas de jabón presentan simultáneamente una zona hidrófoba, que rehuye el contacto con el agua, y una zona hidrófila, que se orienta hacia ella, lo que se denomina comportamiento anfipático.

LÍPIDOS CON ÁCIDOS GRASOS O SAPONIFICABLES

Los lípidos saponificables son aquellos que contienen ácidos grasos que pueden ser liberados mediante una hidrólisis. Pertenecen a este grupo los lípidos simples y los lípidos complejos.

• Lípidos simples

Son lípidos saponificables en cuya composición química sólo intervienen carbono, hidrógeno y oxígeno. Comprenden dos grupos de lípidos: los acilglicéridos y los céridos.

- **Acilglicéridos.** Son lípidos simples formados por la esterificación de una, dos o tres moléculas de ácidos grasos con una molécula de glicerina. También reciben el nombre de glicéridos o grasas simples. Según el número de ácidos grasos que forman la molécula de los acilglicéridos, se distinguen tres tipos de estos lípidos: los monoacilglicéridos, que contienen una molécula de ácido graso; los diacilglicéridos, con dos moléculas de ácidos grasos; y los triacilglicéridos, con tres moléculas de ácidos grasos. Si un acilglicérido presenta como mínimo un ácido graso insaturado, dicho acilglicérido es líquido y recibe el nombre de aceite. Si todos los ácidos grasos son saturados, el acilglicérido es sólido y recibe el nombre de sebo. Si el acilglicérido es semisólido, recibe el nombre de manteca. Los acilglicéridos frente a bases dan lugar a reacciones de saponificación en la que se producen moléculas de jabón.
- **Céridos.** Son lípidos que se obtienen por esterificación de un ácido graso con un alcohol monovalente de cadena larga. Tienen un fuerte carácter lipófilo, por lo cual la unión de moléculas de céridos, también llamados ceras, origina láminas impermeables que protegen muchos tejidos y formaciones dérmicas de animales y vegetales.

• **Lípidos complejos**

Son lípidos saponificables en cuya estructura molecular, además de carbono, hidrógeno y oxígeno, hay también nitrógeno, fósforo, azufre o un glúcido. Los glúcidos complejos también se los denomina lípidos de membrana. Al igual que los jabones, estos lípidos tienen un comportamiento anfipático. Los lípidos complejos se dividen en dos grupos: los fosfolípidos y los glucolípidos.

- **Fosfolípidos.** Son lípidos complejos caracterizados por presentar un ácido ortofosfórico en su zona polar. Se dividen en dos grupos: los fosfoglicéridos y los fosfoesfingolípidos.
- Los fosfoglicéridos están formados por la esterificación de un ácido fosfatídico con un alcohol o un aminoalcohol.
- Los fosfoesfingolípidos están formados por la unión de un ácido graso y una esfingosina, conjunto que se denomina ceramida, al que se une un grupo fosfato y un aminoalcohol.

Los fosfolípidos poseen un comportamiento anfipático, ya que presentan una zona polar y una zona lipófila. Este comportamiento anfipático les permite formar las bicapas lipídicas, estructura básica de las membranas celulares.

- **Glucolípidos.** Son lípidos complejos formados por la unión de una ceramida y un glúcido. Al igual que los fosfoesfingolípidos poseen esfingosina, pero se diferencian de éstos por carecer del grupo fosfato y porque, en lugar de un alcohol, presentan un glúcido. Los glucolípidos pueden dividirse en dos grupos: cerebrósidos y gangliósidos. Los cerebrósidos son moléculas en las que a la ceramida se une una cadena glucídica que puede tener entre uno y quince monosacáridos. Los gangliósidos son moléculas en las que la ceramida se une a un oligosacárido complejo.

LÍPIDOS SIN ÁCIDOS GRASOS O INSAPONIFICABLES

El grupo de los lípidos insaponificables comprende los terpenos o isoprenoides, los esteroides y las prostaglandinas.

• **Terpenos o isoprenoides**

Son moléculas lineales o cíclicas formadas por la polimerización del isopreno. La clasificación de los terpenos

se basa en el número de moléculas de isopreno que contienen. Según dicho número, se distinguen los siguientes tipos de terpenos: los monoterpenos (2 moléculas de isopreno), los sesquiterpenos (3 moléculas), los diterpenos (4 moléculas), los triterpenos (6 moléculas), los tetraterpenos (8 moléculas) y los politerpenos (más de 8 moléculas de isopreno).

• Esteroides

Los esteroides son lípidos que derivan del esterano. Comprenden dos grandes grupos de sustancias: los esteroides y las hormonas esteroideas.

- Esteroides. Son esteroides que poseen un grupo hidroxilo unido al carbono 3 y una cadena alifática en el carbono 17. Los esteroides son el grupo más numeroso de los esteroides. Las principales esteroides son el colesterol, los ácidos biliares, las vitaminas D y el estradiol.
- Hormonas esteroideas. Se caracterizan por la presencia de un átomo de oxígeno unido al carbono 3 mediante un doble enlace. Hay dos grupos de hormonas derivadas del esterano: las hormonas suprarrenales y las hormonas sexuales.

• Prostaglandinas

Son lípidos cuya molécula básica es el prostanoato, constituido por 20 carbonos y dos cadenas alifáticas. Este grupo de sustancias se sintetizan a partir de los ácidos grasos insaturados que forman parte de los fosfolípidos de las membranas celulares. Las funciones de las prostaglandinas en el organismo son muy diversas. Entre ellas destacan: la producción de sustancias que regulan la coagulación de la sangre y el cierre de las heridas; la sensibilización de los receptores del dolor y la iniciación de la aparición de fiebre como defensa en las infecciones.

FUNCIONES DE LOS LÍPIDOS

Los lípidos desempeñan cuatro tipos de funciones:

- Función de reserva. Los lípidos son la principal reserva energética del organismo. Un gramo de grasa produce 9,4 kilocalorías en las reacciones metabólicas de oxidación, mientras que los glúcidos sólo producen 4,1 kilocalorías/gramo.
- Función estructural. En la célula, los lípidos forman las bicapas lipídicas de las membranas citoplasmáticas y de las membranas de los orgánulos celulares. En los órganos, recubren estructuras y les dan consistencia.
- Función biocatalizadora. Los biocatalizadores son sustancias que posibilitan o favorecen las reacciones químicas que se producen en los seres vivos.
- Función transportadora. El transporte de los lípidos desde el intestino hasta su lugar de utilización o hasta el tejido adiposo, donde se almacenan, se realiza mediante la emulsión de los lípidos gracias a los ácidos biliares.

LAS PROTEÍNAS

LAS PROTEÍNAS

• Concepto de proteína

Las proteínas son principios inmediatos orgánicos, compuestos básicamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Además, suelen contener también azufre y, algunos tipos de proteínas, fósforo, hierro, cobre, magnesio, yodo, etc. Las proteínas son polímeros de unas pequeñas moléculas que reciben el nombre de aminoácidos, y que están unidos mediante enlaces peptídicos. La unión de un bajo número de aminoácidos da

lugar a un péptido. Cuando el número de aminoácidos que forman la molécula del péptido no es mayor de 10, se denomina oligopéptido, y si es superior a 10, recibe el nombre de polipéptido. Sólo cuando un polipéptido se halla constituido por más de 50 moléculas de aminoácidos o si el valor de su peso molecular excede de 5.000, se habla de proteínas.

• Clasificación de las proteínas

Si la proteína está constituida exclusivamente por aminoácidos, se denomina holoproteína. Cuando, además de aminoácidos, presenta algún otro tipo de molécula, recibe el nombre de heteroproteína.

LOS AMINOÁCIDOS

Los aminoácidos son compuestos orgánicos que se caracterizan por poseer un grupo carboxilo ($-\text{COOH}$) y un grupo amino ($-\text{NH}_2$). Las otras dos valencias del carbono se saturan con un átomo de H y con un grupo variable denominado radical R. Según este radical se distinguen 20 tipos de aminoácidos. Los aminoácidos son compuestos sólidos, cristalinos, de elevado punto de fusión, solubles en agua, con actividad óptica y con comportamiento químico anfótero.

• Clasificación de los aminoácidos

Según el radical R, los aminoácidos pueden clasificarse en alifáticos, aromáticos y heterocíclicos.

- Aminoácidos alifáticos. Son aquellos en los que el radical R es una cadena hidrocarbonada abierta. Estos a su vez se clasifican en neutros, ácidos y básicos.
- Neutros. Si el radical R no posee grupos carboxilo ni amino.
- Ácidos. Si el radical R presenta grupos carboxilo, pero no amino.
- Básicos. Si el radical R tiene grupos amino, pero no grupos carboxilo.
- Aminoácidos aromáticos. Son aquellos cuyo radical R es una cadena cerrada.
- Aminoácidos heterocíclicos. Aquellos cuyo radical R es una cadena cerrada con algunos átomos distintos del carbono y del hidrógeno.

• Propiedades de los aminoácidos

- Actividad óptica. Los aminoácidos son capaces de desviar el plano de luz polarizada que atraviesa una disolución de aminoácidos. Si un aminoácido desvía el plano de luz polarizada hacia la derecha, se denomina dextrógiro o (+), y si lo hace hacia la izquierda, levógiro o (-). Un aminoácido tendrá una configuración D si el grupo $-\text{NH}_2$ queda situado a la derecha, mientras que, si se encuentra a la izquierda, poseerá una configuración L.
- Comportamiento químico. En disolución acuosa, los aminoácidos muestran un comportamiento anfótero, es decir, pueden ionizarse como un ácido, como una base, o como un ácido y una base a la vez.

EL ENLACE PEPTÍDICO

Los péptidos están formados por la unión de aminoácidos mediante un enlace peptídico. Cuando el número de aminoácidos que forma la molécula del péptido es inferior a 10, se denomina oligopéptido, y si es superior a 10, el péptido recibe el nombre de polipéptido. El enlace peptídico es un enlace covalente que se establece entre el grupo carboxilo de un aminoácido y el grupo amino del siguiente, dando lugar al desprendimiento de una molécula de agua.

ESTRUCTURA DE LAS PROTEÍNAS

La organización de una proteína viene definida por cuatro niveles estructurales denominados: estructura primaria, estructura secundaria, estructura terciaria y estructura cuaternaria. Cada una de estas estructuras informa de la disposición de la anterior en el espacio.

• Estructura primaria

La estructura primaria es la secuencia de aminoácidos de la proteína. Nos indica qué aminoácidos componen la cadena polipeptídica y el orden en que dichos aminoácidos se encuentran. Todas las proteínas presentan un extremo N-terminal, en el que se encuentra el primer aminoácido, y un extremo

C-terminal, en el que está situado el último aminoácido.

• Estructura secundaria

La estructura secundaria es la disposición de la secuencia de aminoácidos o estructura primaria en el espacio. Los aminoácidos adquieren una disposición espacial estable, la estructura secundaria. Son conocidos tres tipos de estructuras secundarias: la α -hélice, la hélice de colágeno y la conformación β .

- α -hélice. La estructura secundaria en α -hélice se forma al enrollarse helicoidalmente sobre sí misma la estructura primaria. Cada vuelta de la hélice presenta 3,6 aminoácidos.
- Hélice de colágeno. El colágeno posee una disposición en hélice especial, algo más alargada que la α -hélice, debido a la abundancia de prolina e hidroxiprolina, aminoácidos que no pueden formar puentes de hidrógeno, lo que impide la formación de la α -hélice y dan lugar a la aparición de una hélice más extendida. Presenta tres aminoácidos por vuelta.
- Conformación β . En esta disposición los aminoácidos no forman una hélice sino una cadena en forma de zigzag. Ello es debido a que no existen puentes de hidrógeno entre ellos. Esta lámina en zigzag, denominada disposición en lámina plegada.

• Estructura terciaria

La estructura terciaria de una proteína informa sobre la disposición de la estructura secundaria de un polipéptido al plegarse sobre sí misma originando una conformación globular. La conformación globular en las proteínas facilita su solubilidad en agua y en disoluciones salinas. Esto les permite realizar funciones de transporte, enzimáticas, hormonales, etc. Las conformaciones globulares se mantienen estables por la existencia de enlaces entre los radicales R de los aminoácidos. Aparecen varios tipos de enlaces: uno fuerte de tipo covalente, el puente disulfuro, y otros débiles como los puentes de hidrógeno. Se ha observado que existen combinaciones de α -hélice y Conformación β que aparecen repetidamente en proteínas distintas. Estas combinaciones suelen ser estables, compactas y de aspecto globular. Reciben el nombre de dominios estructurales.

• Estructura cuaternaria

La estructura cuaternaria informa de la unión, mediante enlaces débiles (no covalentes), de varias cadenas polipeptídicas con estructura terciaria, idénticas o no, para formar un complejo proteico. Cada una de estas cadenas polipeptídicas recibe el nombre de protómero. Según el número de protómeros que se asocian, las proteínas que tienen estructura cuaternaria se denominan dímeros, tetrámeros, pentámeros y polímeros.

PROPIEDADES DE LAS PROTEÍNAS

Las propiedades de las proteínas dependen sobre todo de los radicales R libres y de que éstos sobresalgan de la molécula y tengan la posibilidad de reaccionar con otras moléculas. El conjunto de aminoácidos de una

proteína cuyos radicales poseen la capacidad de unirse a otras moléculas y de reaccionar con éstas se denomina centro activo de la proteína.

- **Solubilidad.** La solubilidad de estas moléculas se debe a los radicales R, que, al ionizarse, establecen puentes de hidrógeno con las moléculas de agua.
- **Desnaturalización.** Los enlaces que mantienen la conformación globular se rompen y la proteína adopta la conformación filamentosa. Esta variación de la conformación se denomina desnaturalización. Al volver a las condiciones normales, la proteína puede, en algunas ocasiones, recuperar la conformación primitiva, lo que se denomina renaturalización.
- **Especificidad.** En su secuencia de aminoácidos, las proteínas presentan sectores estables y sectores variables, en los que algunos aminoácidos pueden ser sustituidos por otros distintos sin que se altere la funcionalidad de la molécula. Ello ha dado lugar, durante el proceso evolutivo, a una gran variabilidad de moléculas proteicas, lo que permite que cada especie tenga sus proteínas específicas.
- **Capacidad amortiguadora.** Las proteínas, al estar constituidas por aminoácidos, tienen un comportamiento anfótero. Tienden a neutralizar las variaciones de pH del medio, ya que pueden comportarse como un ácido o una base y, por tanto, liberar o retirar protones (H^+) del medio.

CLASIFICACIÓN DE LAS HOLOPROTEÍNAS

Atendiendo a su estructura terciaria, las holoproteínas pueden clasificarse en dos grupos: filamentosas y globulares.

• **Proteínas filamentosas**

Son insolubles en agua y aparecen principalmente en animales. Pertenecen a este grupo los colágenos, las queratinas, las elastinas y las fibroínas.

• **Proteínas globulares**

Generalmente son solubles en agua o en disoluciones polares. Pertenecen a este grupo las protamidas, las histonas, las prolaminas, las gluteninas, las albúminas y las globulinas.

HETEROPROTEÍNAS

Las heteroproteínas son moléculas formadas por la unión de un grupo proteico con otro no proteico, denominado grupo prostético. Según su grupo prostético, las heteroproteínas se clasifican en: cromoproteínas, glucoproteínas, lipoproteínas, fosfoproteínas y nucleoproteínas.

• **Cromoproteínas**

Las cromoproteínas poseen como grupo prostético una sustancia coloreada, por lo que reciben también el nombre de pigmentos. Según la naturaleza del grupo prostético, se dividen en: pigmentos porfirínicos y pigmentos no porfirínicos.

• **Glucoproteínas**

Las glucoproteínas poseen un grupo prostético que contiene moléculas de glúcidos. Pertenecen a este grupo: las glucoproteínas sanguíneas, las inmunoglobulinas y algunas enzimas.

• **Otras heteroproteínas**

- **Lipoproteínas.** Son moléculas cuyo grupo prostético está constituido por ácidos grasos.

- Fosfoproteínas. Su grupo prostético es el ácido fosfórico.
- Nucleoproteínas. Su grupo prostético es un ácido nucleico.

FUNCIONES DE LAS PROTEÍNAS

- Función estructural.
- Función de transporte.
- Función enzimática.
- Función hormonal.
- Función de defensa.
- Función contráctil.
- Función de reserva.
- Función homeostática.

LOS ENZIMAS

Excepto algunos tipos de ácidos ribonucleicos el resto de los enzimas son proteínas. Ejercen su acción biológica uniéndose selectivamente a determinadas moléculas denominadas sustratos; la característica peculiar que diferencia a los enzimas del resto de las proteínas es que inducen modificaciones químicas en los sustratos a los que se unen, ya sea por ruptura, formación o redistribución de sus enlaces covalentes, ya por introducción o pérdida de algún grupo funcional. El resultado de esta unión enzima-sustrato es que el sustrato (S) se transforma en otra molécula llamada producto (P), mientras el correspondiente enzima actúa como catalizador de la reacción de transformación S P. Es decir, los enzimas son biocatalizadores de los millares de reacciones químicas que, en conjunto, constituyen el metabolismo; intervienen a concentraciones muy bajas y aceleran las reacciones en las que participan, sin sufrir por ello modificación alguna. Los enzimas, y en general todos los catalizadores, son sustancias que aceleran las reacciones químicas, pero no determinan si una reacción es espontánea o no, ni el sentido en el que transcurre. Los criterios que deciden si las reacciones químicas son reversibles o irreversibles y. Por tanto, espontáneas (todos los procesos irreversibles son espontáneos) son de tipo termodinámico.

CATÁLISIS ENZIMÁTICA

Las reacciones químicas se pueden describir como superficies energéticas en las cuales las moléculas de los sustratos y de los productos se encuentran alojadas en el fondo de profundos pozos. Para que una molécula de sustrato se transforme en producto, sus átomos deben trasladarse a través de las superficies energéticas desde un pozo al otro. En primer lugar, los átomos de la molécula de sustrato deben abandonar su pozo y alcanzar una cresta, para lo cual necesitan ganar energía, que luego han de ceder cuando vuelven a caer en otro pozo estable (el del producto). El punto más elevado de esta trayectoria no es más que un instante efímero del viaje que conduce desde el sustrato hasta el producto, y corresponde al estado de transición o estado activado. Este es un estado inestable y altamente energético, en el que los enlaces de la molécula de sustrato en parte se mantienen y en parte están rotos. La energía que necesita adquirir la molécula de sustrato para alcanzar el estado de transición constituye la energía de activación de la reacción, una barrera energética que deben superar todas las moléculas de los sustratos para que transcurra la reacción y tenga lugar su transformación en productos. Cuanto más alta sea la energía de activación, mayor será la barrera que han de franquear las moléculas de los sustratos, y más difícil será alcanzar el estado de transición, por lo que la velocidad de la reacción S P será más lenta. Los enzimas, y en general todos los catalizadores, aceleran las reacciones químicas disminuyendo la energía libre de activación.

ESPECIFICIDAD DE LOS ENZIMAS: MECANISMO DE ACCIÓN ENZIMÁTICA

Por lo general, son altamente específicos para las reacciones que catalizan, es decir, cada enzima posee en su superficie una zona activa denominada centro catalítico, a la cual se adapta perfectamente la molécula del

sustrato. Por eso la unión del enzima con su sustrato se dice que sigue el modelo de llave–cerradura: cada enzima (cerradura) sólo puede unirse (abrirse) con su correspondiente sustrato (llave). Aunque en realidad el centro activo del enzima no es tan rígido como una cerradura, más bien se parece a un guante que adopta la forma de la mano después de ponerlo; es decir, según el modelo del acoplamiento inducido, es el propio sustrato el que induce el cambio conformacional específico del centro activo del enzima, el cual sólo adopta la forma complementaria a la del sustrato después de haberse unido a él. El centro catalítico de cada enzima es muy pequeño en comparación con el tamaño del enzima y está formado por secuencias determinadas de aminoácidos, de tal forma que sus cadenas laterales aportan grupos funcionales activos capaces de crear las condiciones físico–químicas óptimas para que la molécula del sustrato se transforme en el correspondiente producto.

COFACTORES: COENZIMAS Y VITAMINAS

Algunos enzimas están constituidos únicamente por aminoácidos; sin embargo, otros, llamados holoenzimas, carecen en su centro activo de los componentes químicos apropiados para la actividad que deben realizar, por lo que necesitan de la ayuda de determinadas sustancias no proteicas, denominadas cofactores, que, fijadas en su superficie mediante enlaces covalentes o débiles, aportan los grupos y funciones químicas de los que carece el enzima. En estos casos, la fracción proteica del holoenzima se denomina apoenzima y la fracción no proteica es el cofactor. A veces el cofactor es un complejo orgánico o metaloorgánico unido mediante enlaces débiles al apoenzima, que se denomina coenzima, como el NAD⁺ y el FAD.

• Vitaminas

Las vitaminas son sustancias orgánicas de naturaleza y composición variable que se caracterizan por ser indispensables para el normal funcionamiento del metabolismo, pero que para determinados organismos resultan imposibles de sintetizar y deben, por tanto, ingerirlas generalmente en pequeñas cantidades. El concepto de vitamina es similar al de aminoácido esencial o ácido graso esencial; en ambos casos debemos ingerirlos con la dieta, pero las vitaminas se requieren en cantidades mínimas mientras que los ácidos grasos y los aminoácidos esenciales se requieren en mayores cantidades. La clasificación de las vitaminas se hace en función de su solubilidad en agua. Mientras que la totalidad de las vitaminas hidrosolubles (C y complejo B) son coenzimas, no ocurre lo mismo con las de naturaleza lipídica (A, D, E y K), pues, exceptuando la vitamina K, las restantes vitaminas liposolubles no se comportan como enzimas.

ESTRATEGIAS PARA AUMENTAR LA VELOCIDAD DE LAS

REACCIONES CATALIZADAS POR ENZIMAS

La eficacia de un enzima se mide por su actividad, es decir, por la velocidad de transformación del sustrato en producto. A su vez, la velocidad de reacción se cuantifica por el número de moléculas de sustrato transformadas por unidad de tiempo, y depende de los siguientes factores:

- La concentración de moléculas de sustrato.
- La concentración de moléculas de enzima.
- La actividad del enzima (medida del número de moléculas de sustrato que cada molécula de enzima es capaz de transformar por unidad de tiempo). Este último parámetro es característico de cada enzima y no se puede modificar.

CLASIFICACIÓN DE LOS ENZIMAS

Generalmente los enzimas se denominan con el nombre del sustrato sobre el que actúan, al que se añade, a veces, el nombre de la función que desempeñan seguido del sufijo –asa.

- Oxidorreductasas.
- Transferasas.
- Hidrolasas.
- Liasas.
- Isomerasas.
- Ligasas.

LA DUPLICACIÓN DEL ADN

LA DUPLICACIÓN DEL ADN. NECESIDAD Y EXPLICACIÓN

- La necesidad de la duplicación del ADN

La duración de la vida de los organismos es muy variable: puede ser de unos minutos, como en las bacterias; varios años, como en los humanos; varios siglos, como en las tortugas marinas; o incluso más de un milenio como en los olivos; pero siempre hay un momento en el que los organismos mueren. Por ello, para que la especie no se extinga, ha de haber un momento en que los individuos se reproduzcan, es decir, den lugar a nuevos individuos que continúen viviendo. Para originar estos nuevos individuos es preciso la formación de copias de ADN de su progenitor o de sus progenitores.

- Primeras hipótesis sobre la duplicación del ADN

La estructura del ADN en doble hélice permite comprender cómo dicha molécula es idónea para dar lugar a copias. Por un lado su estructura presenta dos cadenas complementarias entrelazadas, lo que le da una gran estabilidad, y por otro, bastaría con que una enzima específica las separara para que cada una de ellas pudiera servir como molde para sintetizar, a partir de nucleótidos sueltos y bajo la acción de otra enzima, la hebra complementaria. Para explicar este proceso se propusieron tres hipótesis: la hipótesis semiconservativa, la hipótesis conservativa y la hipótesis dispersiva.

- La hipótesis semiconservativa sobre la duplicación del ADN se debe a Watson y Crick. En ella se sostiene que en las dos nuevas moléculas de ADN de doble hélice producidas, una de las hebras sería la antigua y la otra la moderna.
- La hipótesis conservativa se propone que tras la duplicación quedan, por un lado, las dos hebras antiguas juntas y, por otro, las dos hebras nuevas también espiralizadas.
- En la hipótesis dispersiva se propone que las hebras, al final, están constituidas por fragmentos distintos de ADN antiguo y de ADN recién sintetizado.

El experimento más definitivo para dilucidar cuál de estas tres hipótesis era la correcta fue el de Meselson y Stahl en 1957. La hipótesis confirmada fue la semiconservativa.

EL SENTIDO DE CRECIMIENTO DE LAS NUEVAS HEBRAS

- La síntesis de ADN in vitro

El mecanismo de cómo a partir de una hebra se iba sintetizando sobre ella la nueva hebra complementaria y qué enzima regulaba este proceso, fue estudiado por Kornberg, un discípulo del bioquímico español Severo Ochoa. En 1956, Kornberg aisló a partir de una bacteria la enzima ADN-polimerasa. Esta enzima es capaz de sintetizar ADN in vitro.

- El problema de la dirección en la duplicación del ADN in vivo

Entre los primeros experimentos encaminados a observar la duplicación del ADN en los seres vivos,

cabe destacar el realizado por Cairns en 1963. La técnica seguida consistió en mantener bacterias de una especie en concreto en un medio con timina marcada con tritio (H^3), es decir, una timina que en vez de hidrógeno tenía tritio. Este isótopo radiactivo emite partículas beta capaces de impresionar una placa fotográfica, lo que permite localizar las nuevas moléculas de ADN sintetizado.

Cada dos o tres minutos se depositaba el ADN bacteriano sobre una placa sensible para obtener el autorradiografiado del mismo. Así se obtuvo la secuencia completa de una replicación del ADN que dura treinta minutos.

- Las imágenes iniciales tenían forma de V, las posteriores de medias lunas, y las finales parecían círculos más o menos aplastados.
- Las formas en V corresponden a las llamadas horquillas de replicación, formadas por las dos nuevas hebras de ADN tritiado sintetizadas sobre la doble cadena antigua que se había escindido en dos para poder servir de moldes.
- Las formas en media luna corresponden a las llamadas burbujas de replicación y las formas circulares permitieron descubrir que el ADN de la bacteria empleada era circular.
- El experimento de Cairns volvió a confirmar la hipótesis semiconservativa y, además, descubrió la existencia de un punto concreto como origen de la replicación del ADN bacteriano. Erróneamente, se dedujo que la replicación era unidireccional, cuando posteriormente se ha demostrado que es bidireccional, es decir, hay una horquilla a la izquierda del punto de inicio y otra horquilla a la derecha, que van progresando en direcciones opuestas.

Ahora bien, este hecho planteó dos dilemas:

El primero era cómo la ADN-polimerasa podía sintetizar sin necesidad de cebador; y el segundo, cómo las dos nuevas hebras de la horquilla crecían en paralelo: si una de ellas lo estaba haciendo en dirección 3'5', lo cual era imposible de explicar, ya que ninguna ADN-polimerasa trabaja en esa dirección. La solución al dilema la dio el descubrimiento, en 1968, por Okazaki, de unos fragmentos constituidos por unos 50 nucleótidos de ARN y unos 1.000 o 2.000 nucleótidos de ADN. Estos fragmentos, denominados fragmentos de Okazaki, son sintetizados por la ARN-polimerasa, que no precisa cebador para empezar, y luego por la ADN-polimerasa, en dirección 5'3' sobre diferentes regiones de la hebra patrón. Luego, sin moverse, tras perder su porción de ARN, pueden ser fusionados entre sí, pudiendo dar la sensación de que la nueva hebra de ADN crece en dirección 3'5'.

MECANISMO DE LA DUPLICACIÓN DEL ADN

En primer lugar hay que señalar que la duplicación del ADN presenta ciertas diferencias en bacterias y en eucariontes:

- En bacterias
- Existe una secuencia de nucleótidos en el ADN llamada <<origen de la replicación>>, que actúa como señal de iniciación.
- El proceso se inicia con un enzima denominada helicasa que rompe los puentes de hidrógeno entre las dos hebras complementarias y las separa para que sirvan de patrones o moldes. Como el desenrollamiento de la doble hélice da lugar a superenrollamientos en el resto de la molécula, capaces de detener el proceso, se hace preciso el concurso de topoisomerasas que eliminan las tensiones en la fibra. Estas proteínas actúan cortando una (las topoisomerasas I) o las dos fibras (las topoisomerasas II) y, una vez eliminadas las tensiones, empalmándolas nuevamente. La topoisomerasa II de la bacteria se denomina girasa.
- A continuación intervienen unas proteínas que se enlazan sobre el ADN de hebra única. Son las proteínas estabilizadoras que tienen como función mantener la separación de las dos hebras complementarias. Se inicia así la formación de la horquilla de replicación.

- El proceso es bidireccional, es decir, hay una helicasa trabajando en un sentido y otra trabajando en sentido opuesto. Las dos horquillas de replicación forman las llamadas burbujas u ojos de replicación.
- Como ninguna ADN-polimerasa puede actuar sin cebador, interviene primero una ADN-polimerasa que sí lo puede hacer. Esta enzima se denomina primasa y sintetiza un corto fragmento de ARN de unos diez nucleótidos, denominado primer, que actúa como cebador.
- Interviene después la ADN-polimerasa III, que, partiendo del primer, comienza a sintetizar en dirección 5'3', como todas las polimerasas, una hebra de ADN a partir de nucleótidos trifosfato. Esta nueva hebra es de crecimiento continuo, ya que la helicasa no se detiene, y se denomina hebra conductora.
- Sobre la otra hebra que es antiparalela, la ARN-polimerasa sintetiza unos 40 nucleótidos de ARN en un punto que dista unos 1.000 nucleótidos de la señal de iniciación. A partir de ellos, la ADN-polimerasa III sintetiza unos 1.000 nucleótidos de ADN, formándose entonces un fragmento de Okazaki. Posteriormente, interviene la ADN-polimerasa I, que, primero, retira los segmentos de ARN, y luego, rellena los huecos con nucleótidos de ADN. Finalmente interviene la ADN-ligasa, que empalma entre sí los diferentes fragmentos. Esta hebra es, pues, de crecimiento discontinuo. Como precisa que se despiralice un segmento de varios miles de nucleótidos para que se inicie su síntesis, tarda más en crecer que la otra y, por ello, se la denomina hebra retardada.
- El proceso continúa así hasta la duplicación total del ADN.
- En eucariontes

El proceso es similar al que se sigue en las bacterias. Cabe destacar dos diferencias básicas y varios detalles menores. La primera gran diferencia es que el ADN de los eucariontes está fuertemente asociado a histonas. La segunda gran diferencia es que, teniendo en cuenta que la longitud del ADN de un cromosoma eucariótico es mucho mayor que el ADN bacteriano y que, seguramente debido a la presencia de histonas, el proceso es básicamente más lento, en cada ADN de un cromosoma no hay un solo origen de replicación, sino aproximadamente un centenar.

ANABOLISMO AUTÓTROFO

EL ANABOLISMO AUTÓTROFO

El anabolismo es la ruta de síntesis de moléculas complejas a partir de moléculas sencillas. Si las moléculas iniciales son inorgánicas, se denomina anabolismo autótrofo, pero si son orgánicas, se denomina anabolismo heterótrofo.

El anabolismo autótrofo se puede realizar mediante la fotosíntesis o mediante la quimiosíntesis. La fotosíntesis la realizan las plantas, las algas, las cianobacterias y las bacterias fotosintéticas. La quimiosíntesis a partir de sustancias inorgánicas sólo la pueden realizar algunas bacterias, las quimioautótrofas.

El anabolismo heterótrofo se da en todos los organismos. Su objeto es la síntesis de reservas energéticas y crear estructuras para que el organismo pueda crecer.

CONCEPTO DE FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis, en sentido estricto, es la conversión de energía luminosa en energía estable. La fotosíntesis es posible gracias a la existencia de unas moléculas especiales, denominadas pigmentos fotosintéticos, capaces de captar la energía luminosa. Hay dos tipos de pigmentos fotosintéticos: los pigmentos de antena, que sólo pueden captar energía luminosa y transmitir la energía captada a otro tipo de pigmentos, y los pigmentos diana, a los cuales va a parar toda la energía captada por los anteriores.

- Los fotosistemas

Los pigmentos fotosintéticos se encuentran asociados a proteínas de membrana constituyendo los denominados fotosistemas. En un fotosistema podemos distinguir dos subunidades: la antena y el centro de reacción. En la antena, también denominada LHC, predominan las proteínas sobre los pigmentos. En el centro de reacción, también denominado CC, predominan las proteínas sobre los pigmentos.

- **Tipos de fotosíntesis**

Se distinguen dos tipos de procesos fotosintéticos: la fotosíntesis oxigénica que es propia de las plantas superiores, las algas y las cianobacterias, y se desprende oxígeno. Y la fotosíntesis anoxigénica o bacteriana que es propia de las bacterias purpúreas y verdes del azufre, y no se desprende oxígeno, sino azufre.

LA FOTOSÍNTESIS OXIGÉNICA O VEGETAL

En los organismos que realizan la fotosíntesis oxigénica, el aparato fotosintetizador se encuentra en los cloroplastos, concretamente en las membranas de los tilacoides. Dicho aparato está constituido por cuatro tipos de estructuras denominadas: fotosistema I (PSI), fotosistema II (PSII), cadena transportadora de electrones y enzimas ATP-sintetasas.

El fotosistema I capta la luz cuya longitud de onda es menor o igual a 700 nm. El fotosistema II capta la luz cuya longitud de onda es menor o igual a 680 nm. La cadena transportadora de electrones, que sólo transporta electrones, tiene otros transportadores que llevan conjuntamente protones y electrones.

- **Fases de la fotosíntesis**

La fotosíntesis comprende dos fases: una fase inicial, denominada fase luminosa o fase fotoquímica, en la cual tiene lugar la captación de la energía luminosa; y una fase posterior, denominada fase oscura o biosintética, en la cual se sintetiza materia orgánica. La fase luminosa o fotoquímica puede presentarse en dos modalidades: con transporte acíclico de electrones o con transporte cíclico de electrones.

- Fase luminosa acíclica

El proceso se inicia con la llegada de fotones al fotosistema II. Esto provoca la excitación de su pigmento diana, la clorofila P680, que pierde tantos electrones como fotones se han absorbido.

Este proceso se realiza en la cara interna de la membrana de los tilacoides. Al incidir dos fotones en el fotosistema I, la clorofila P700 pierde dos electrones que son captados por la ferredoxina. La ferredoxina pasa los dos electrones a la enzima NADP⁺.

- Fase luminosa cíclica

En la fase luminosa o fotoquímica cíclica interviene únicamente el fotosistema I, creándose un flujo o ciclo de electrones que en cada vuelta da lugar a síntesis de ATP. Como no interviene el fotosistema II, no hay fotólisis del agua y, consecuentemente, no hay reducción del NADP⁺, ni se desprende oxígeno. Sólo se obtiene ATP. La finalidad de esta fase cíclica es subsanar el déficit de ATP obtenido en la fase acíclica para poder realizar la fase oscura posterior.

- Fase oscura o biosintética

En la fase biosintética se utiliza la energía (ATP) y el NADPH obtenidos en la fase fotoquímica para sintetizar materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas. Como fuente de carbono se utiliza el dióxido de carbono; como fuente de nitrógeno se utilizan los nitratos y nitritos; y como fuente de azufre se utilizan los sulfatos.

- Síntesis de compuestos de carbono. Se realiza mediante un proceso cíclico denominado ciclo de Calvin:
 - Fijación del CO₂.
 - Reducción del CO₂ fijado.
 - Regeneración de la ribulosa-1,5-difosfato.
 - Balance de la fotosíntesis oxigénica del carbono.
- Síntesis de compuestos orgánicos nitrogenados. La reducción de los iones nitrato que se encuentran disueltos en el suelo se realiza, gracias al ATP y al NADPH obtenidos en la fase luminosa.
- Síntesis de compuestos orgánicos con azufre. A partir de NADPH y del ATP de la fase luminosa, se reduce el ion sulfato a ion sulfito y luego a sulfuro de hidrógeno.

FACTORES QUE INFLUYEN EN LA FOTOSÍNTESIS

Se ha podido comprobar experimentalmente que en el rendimiento de la fotosíntesis influyen los siguientes factores:

- La temperatura. Cada especie está adaptada a vivir en un intervalo de temperaturas.
- La concentración de CO₂. Si la intensidad luminosa es elevada y constante, el rendimiento del proceso fotosintético aumenta.
- La concentración de O₂. Cuanto mayor es la concentración de oxígeno en el aire, menor es el rendimiento fotosintético.
- La intensidad luminosa. Cada especie está adaptada a vivir dentro de un intervalo de intensidad de luz. Hay especies de penumbra y especies fotófilas. Dentro de cada intervalo, a mayor intensidad luminosa, mayor rendimiento.
- La escasez de agua. La escasez de agua en el suelo y de vapor de agua en el aire disminuye el rendimiento fotosintético.
- El tiempo de iluminación. Hay especies en las que, a más horas de luz, más producción fotosintética tienen. Otras, en cambio, precisan alternarlas con horas de oscuridad.
- El color de la luz.

QUIMIOSÍNTESIS

La quimiosíntesis consiste en la síntesis de ATP a partir de la energía que se desprende en las relaciones de oxidación de determinadas sustancias inorgánicas. Los organismos que realizan estos procesos se denominan quimioautótrofos o quimiolitótrofos. Todos ellos son bacterias.

• Fases de la quimiosíntesis

En la quimiosíntesis, al igual que en la fotosíntesis, también se pueden distinguir dos fases: una primera fase en la que se obtiene ATP y coenzima reducida; y una segunda fase en la que se emplea el ATP y el NADH para sintetizar compuestos orgánicos a partir de sustancias inorgánicas.

• Tipos de bacterias quimiosintéticas

Según el sustrato utilizado, las bacterias se clasifican en los siguientes grupos:

- Bacterias incoloras del azufre. Estas bacterias oxidan el azufre o compuestos de azufre.
- Bacterias de nitrógeno. Este grupo oxida compuestos reducidos del nitrógeno. Son las responsables de transformar el amoníaco y de convertirlo en nitratos que pueden ser asimilados por las plantas. Existen dos grupos de bacterias del nitrógeno: las bacterias nitrosificantes y las bacterias nitrificantes.

ORGANISMOS FIJADORES DE NITRÓGENO

Los organismos autótrofos (fotosintéticos y quimiosintéticos) captan el nitrógeno a partir de los nitratos disueltos, mientras que los heterótrofos lo hacen a partir de los alimentos orgánicos. Excepcionalmente existe un grupo de bacterias y cianofíceas que son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico.

MUTACIÓN Y EVOLUCIÓN

LAS MUTACIONES

Las mutaciones son alteraciones al azar del material genético. Normalmente suponen deficiencias y pueden llegar a ser letales. Aportan variabilidad a la población. Ello permite que, si se produce un cambio en el ambiente y las nuevas condiciones son muy adversas para los individuos normales, la existencia de los individuos mutantes hace que pueda haber algunos que soporten esas condiciones y que, a través de ellos, la especie no se extinga. Este proceso se denomina selección natural. Las mutaciones permiten pues la evolución de la vida a lo largo de millones de años.

Las mutaciones pueden darse en células somáticas (mutaciones somáticas) y en células reproductoras (mutaciones germinales). Las mutaciones que se dan en las células somáticas, salvo que las conviertan en células cancerosas, carecen de importancia. Las mutaciones germinales sí son trascendentales, ya que todas las células del nuevo organismo tendrán la misma información que la célula cigoto.

Según la extensión del material genético afectado, se distinguen tres tipos de mutaciones:

- Mutaciones genéticas (alteraciones en la secuencia de nucleótidos de un gen)
- Mutaciones cromosómicas (alteraciones de la secuencia de genes de un cromosoma)
- Mutaciones genómicas (alteraciones en el número de cromosomas)

LAS MUTACIONES GENÉTICAS

• Concepto y Clasificación

Según el tipo de alteración se clasifican en:

- Mutaciones por sustitución de bases. Son cambios de una base por otra. Como hay dos tipos de bases, las purínicas y las pirimidínicas se distinguen dos tipos:
 - Transiciones. Sustituciones de una purina por otra, o de una pirimidina por otra.
 - Transversiones. Sustituciones de una purina por una pirimidina, o viceversa.
- Mutaciones por pérdida o inserción de nucleótidos. Estas mutaciones se denominan deleciones o adiciones, respectivamente.

• Causas de las mutaciones génicas

Pueden producirse por tres causas:

- Errores de lectura. Los errores de lectura que pueden aparecer durante la replicación del ADN pueden deberse a dos causas: a los cambios tauoméricos y a los cambios de base.
- Los cambios tauoméricos. Cada base nitrogenada puede presentarse en dos formas diferentes denominadas formas tauoméricas o taurómeros, una es la normal y la otra, lo que se denomina cambio tauomérico. Esto

si sucede durante la replicación, implica mutaciones.

- Los cambios de fase. Son deslizamientos de la hebra que se está formando sobre la hebra molde, de forma que quedan bucles al volverse a emparejar.
 - Lesiones fortuitas. Son alteraciones de la estructura de uno o de varios nucleótidos, que aparecen de forma natural. Las más frecuentes son:
 - Despurinización. Pérdida de purinas por rotura del enlace de éstas y las desosirribosas.
 - Desaminación. Pérdida de grupos de amino en las bases nitrogenadas, que entonces se emparejan con una distinta de la normal.
 - Dímero de timina. Enlace entre dos timinas contiguas.
 - Transposiciones. Son cambios de lugar espontáneos de determinados segmentos de ADN, los denominados elementos genéticos transponibles.

• Las mutaciones génicas y sus sistemas de reparación

La replicación del ADN es un proceso que precisa de una gran precisión. Se ha observado que la ADN-polimerasa posee una actividad exonucleasa denominada corrección de pruebas, que reproduce drásticamente la posibilidad de cometer errores. Esta actividad consiste en que la ADN-polimerasa, antes de añadir un nuevo nucleótido, comprueba si el anterior es el correcto y si no lo es, lo retira y lo sustituye por el correcto. A pesar de ello introduce un nucleótido equivocado por cada 10⁷ nucleótidos añadidos.

Para evitar este problema existe un sistema de enzimas, llamado sistema de reparación, que constantemente revisa el ADN recién sintetizado y arregla esas lesiones.

Existen tres sistemas diferentes de reparación: las reparaciones con escisión del ADN, las reparaciones sin escisión del ADN, y los sistemas SOS.

LAS MUTACIONES CROMOSOMÁTICAS

Son las mutaciones que provocan cambios en la estructura de los cromosomas. Se distinguen los siguientes tipos:

- Deleción. Es la pérdida de un fragmento del cromosoma. Si el fragmento contiene muchos genes, la deleción puede tener consecuencias patológicas o incluso letales.
- Duplicación. Es la repetición de un segmento de un cromosoma. La réplica puede hallarse en el mismo cromosoma, haberse unido a un cromosoma no homólogo, o incluso haberse independizado con su propio centrómero.
- Inversión. Es el cambio de sentido de un fragmento en el cromosoma. Si en el segmento invertido se halla incluido el centrómero, se denomina inversión pericéntrica y si no, inversión paracéntrica.
- Translocación. Es el cambio de posición de un segmento de cromosoma. Cuando se produce un intercambio de segmentos entre dos cromosomas no homólogos, que es lo más frecuente, se denomina translocación recíproca. Cuando sólo hay translocación de un segmento a otro lugar del mismo cromosoma o de otros cromosomas sin reciprocidad, se denomina transposición.

LAS MUTACIONES GENÓMICAS

Son las alteraciones en el número de cromosomas de una especie. Se distinguen estos tipos:

- Aneuploidía. Es la alteración en el número normal (generalmente dos) de ejemplares de uno o más tipos de cromosomas, sin llegar a afectar al juego completo. Pueden ser nulisomías, monosomías,

trisomías, tetrasomías, etc. Un ejemplo de la monosomía en humanos es el síndrome de Turner. Un ejemplo de trisomía en humanos es el síndrome de Down.

- Euploidía. Es la alteración en el número normal de dotaciones haploides (juegos de cromosomas) de un individuo. Incluye la monoploidía y la poliploidía. La monoploidía es la existencia de una sola dotación cromosomática, es decir, un solo ejemplar de cada tipo de cromosoma. La poliploidía es la existencia de más de dos ejemplares de cada tipo de cromosomas o, dicho de otro modo, de más de dos juegos completos de cromosomas.

Las causas de las mutaciones genómicas son:

- Fusión céntrica. Es la unión de dos cromosomas no homólogos, con pérdida del centrómero de uno de ellos.
- Fisión céntrica. Es la escisión de un cromosoma en dos. Da lugar a un nuevo centrómero.
- Segregación errónea durante la meiosis. Es la distribución errónea de las cromátidas homólogas entre las células hijas durante la meiosis.

LOS AGENTES MUTÁGENOS

Los agentes mutágenos son aquellos factores que aumentan sensiblemente la frecuencia normal de mutación. Pueden ser agentes físicos, como las radiaciones, o químicos, como algunas sustancias químicas.

- Las radiaciones mutágenas. Se pueden distinguir dos tipos, según sus efectos: las radiaciones no ionizantes y las radiaciones ionizantes.
- Las radiaciones no ionizantes. Son los rayos ultravioleta. Son radiaciones electromagnéticas, como la luz, pero de menor longitud de onda y por ello más energéticas. Son muy absorbidas por el ADN. Provocan la ascensión de algunos electrones a niveles de mayor energía, y esto favorece.
- Las radiaciones ionizantes. Son radiaciones electromagnéticas de longitud de onda inferior a los UV, como los rayos X y los rayos gamma, y las emisiones de partículas como las radiaciones alfa y beta propias de las explosiones nucleares. Son radiaciones mucho más energéticas que los UV. Provocan la pérdida de electrones en algunos átomos del ADN que quedan en forma de iones muy reactivos. Pueden provocar también formas tautoméricas.
- Las sustancias químicas mutágenas. Son sustancias que reaccionan con el ADN y provocan básicamente tres tipos de alteraciones:
 - Las modificaciones de las bases nitrogenadas.
 - La sustitución de una base por otra análoga.
 - La intercalación de moléculas.

MUTACIÓN Y EVOLUCIÓN

La evolución biológica es el proceso de transformación de unas especies en otras mediante una serie de variaciones que se han ido sucediendo, generación tras generación, a lo largo de millones de años. Darwin propuso que el proceso evolutivo se basa en tres factores: el excesivo número de descendientes, la variabilidad fenotípica de la descendencia y la selección natural.

LA GENÉTICA DE LAS POBLACIONES

La teoría sintética, además de dar una explicación al origen de la variabilidad, aportó los conceptos imprescindibles para explicar el mecanismo de la evolución. Éstos son:

- El concepto de población genética, con sus frecuencias génicas y genotípicas, y la idea de que son las poblaciones las que evolucionan y no los individuos.
- Los conceptos de selección natural, mutación, migración y deriva genética como factores que alteran las frecuencias génicas, y cuyos efectos se acumulan durante largos periodos de tiempo, produciendo cambios graduales del fenotipo.
- El concepto de aislamiento de subpoblaciones como causa que tiende a diferenciarlas hasta tal punto que quedan imposibilitadas de reproducirse entre sí, lo que se denomina especiación.
- El concepto de especie para los organismos con reproducción sexual, basado en la incapacidad de intercambio de material genético entre individuos de distinta especie.

• Población genética y frecuencias génicas.

Una población es un conjunto de individuos que pueden cruzarse entre sí, o sea, son de la misma especie, y que habitan en un mismo lugar. Es decir, una población es un conjunto de individuos que comparten un mismo conjunto de genes y un mismo espacio. El estudio genético de las poblaciones se basa en el conocimiento de sus frecuencias genotípicas y de sus frecuencias génicas.

- Las frecuencias genotípicas son el tanto por uno que hay de cada genotipo.
- Las frecuencias génicas son el tanto por uno de cada uno de los alelos que hay para cada carácter.
- Mutaciones. Son cambios inesperados y al azar en la información genética. Gracias a ella, a partir de un gen (A) aparecen otros genes alelos. Las mutaciones que tienden a darse con reiteración, las llamadas mutaciones recurrentes, son las que tienen importancia en la evolución; las demás carecen de trascendencia evolutiva.
- Migraciones. Son las salidas de individuos propios (emigraciones) o las llegadas de individuos de otras poblaciones (inmigraciones).
- Selección natural. Es la eliminación de los individuos menos aptos, es decir, de los individuos que tienen una menor eficacia biológica. De este modo se originan las adaptaciones.

Según el efecto que produce en la población, se distinguen tres tipos de selección natural:

- La selección direccional. Es cuando se favorece un fenotipo extremo.
- La selección estabilizadora. Es cuando se favorece un fenotipo intermedio.
- La selección disruptiva. Es cuando favorecen los dos fenotipos.

LA CÉLULA: UNIDAD DE ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

EL DESCUBRIMIENTO DE LA CÉLULA Y LA TEORÍA CELULAR

Los primeros conocimientos sobre la célula datan del año 1665, fecha en que Robert Hooke publicó los resultados de sus observaciones sobre los tejidos vegetales, realizadas con un microscopio construido por él mismo que llegaba a unos 50 aumentos.

En 1831, Brown descubrió en las células vegetales un corpúsculo al que denominó núcleo y al que atribuyó importantes funciones, aunque desconocía cuáles podrían ser éstas.

En 1839 Schwann se dio cuenta de que en la célula no sólo es importantes la estructura sino también su funcionamiento, al que denominó metabolismo.

A partir de los postulados de Schleiden y de Schwann se inició el desarrollo de la llamada teoría celular:

- Todos los seres vivos están constituidos por una o más células, o dicho de otro modo: la célula es la unidad morfológica de todos los seres vivos.

- La célula es capaz de realizar todos los procesos metabólicos necesarios para permanecer con vida, es decir, la célula es la unidad fisiológica de los organismos.
- Las células pueden aparecer a partir de otras ya existentes.

En 1902 Sutton y Boveri propusieron que la información biológica hereditaria reside en los cromosomas de la célula. A partir de ello y de los actuales conocimientos sobre genética se puede añadir un cuarto principio a la teoría celular.

- La célula contiene toda la información sobre la síntesis de su estructura y el control de su funcionamiento, y es capaz de transmitirla a sus descendientes, es decir, la célula es la unidad genética autónoma de los seres vivos.

En resumen, la teoría celular enuncia que la célula es la unidad morfológica, fisiológica y genética de todos los seres vivos.

CONCEPTO DE CÉLULA

La célula es una estructura constituida por tres elementos básicos: membrana plasmática, citoplasma y material genético (ADN) que tiene la capacidad de realizar las tres funciones vitales: nutrición, relación y reproducción. La célula es la estructura más simple conocida con capacidad para realizar las tres funciones vitales por sí misma, es decir, sin necesidad de otros seres vivos.

Los virus, también considerados por muchos autores como seres vivos ya que son capaces de reproducirse, precisan invadir una célula viva para conseguirlo. Solos no podrían sobrevivir mucho tiempo, y por tanto no son la forma más simple de vida autónoma. Se dice que, dada su estrecha dependencia de las células, más que seres vivos deberían ser considerados como materia viva.

Los virus no son células, se dice que son una forma de vida acelular. Están cambiando constantemente de forma al emitir prolongaciones citoplásmicas para desplazarse y para fagocitar partículas. Otras células libres similares presentan una forma globosa.

Las células que se encuentran unidas a otras formando tejidos tiene una forma prismática, aplanadas.

UNIDADES DE MEDIDA EN CITOLOGÍA

La unidad de medida utilizada para indicar sus dimensiones no es el milímetro, sino la micra, que es la milésima parte del milímetro, también denominada micrómetro.

1 mm = 1.000 micras

1 mm = 1.00 micrómetros

El nanómetro (nm) es la millonésima parte de un metro, o sea, la milésima parte de una micra, por lo que también se suele denominar milimicra o milimicrón.

1 micra = 1.000 nm

1 micra = 1.000 milimicra

El ángstrom (Å), que es diez veces menor que un nanómetro, es decir, es la diezmilésima parte de una micra.

1 nm = 10 Å

1 micra = 10.000 A°

En citología se utilizan unidades de masa; el picogramo (1 pg = 10⁻¹² gramos), y el dalton (1 dalton = 1,66 · 10⁻²⁴ gramos.)

EL TAMAÑO DE LAS CÉLULAS

El tamaño de las células es extremadamente variable. Así, las bacterias suelen medir entre 1 y 2 micras de longitud y la mayoría de las células humanas entre 5 y 20 micras. Células por encima de estos valores como los espermatozoides miden 53 micras, los oocitos miden 150 micras, los granos de polen de algunas plantas que alcanzan tamaños de 200 a 300 micras.

ESTRUCTURA DE LAS CÉLULAS

La estructura común a todas las células es, como ya se ha comentado, la membrana plasmática, el citoplasma y el material genético o ADN.

La membrana plasmática está constituida básicamente por una doble capa lipídica en la que hay, englobadas o adheridas a su superficie, ciertas proteínas.

El citoplasma abarca el medio interno líquido o citosol y una serie de estructuras con forma propia denominadas orgánulos celulares.

El material genético está constituido por una o varias moléculas filamentosas de ADN. Éstas pueden encontrarse dentro de una vesícula formada por una doble membrana, denominada envoltura nuclear, formando el núcleo, o sin dicha envoltura, encontrándose entonces una sola fibra de ADN, más o menos condensada, en una región del citoplasma denominada nucleolo. Las células con núcleo, es decir, con nucleolo, se denominan células procariotas. Las células procariotas son las bacterias y cianobacterias, y las células eucariotas son el resto.

CÉLULAS PROCARIOTAS	CÉLULAS EUCARIOTAS
Miden entre 1 y 5 micras.	Son más grandes. Muchas miden entre 20 y 50 micras, la yema de huevo de gallina 2cm, algunas neuronas más de 1 metro, etc.
Tiene pocas formas: esféricas, de bastón, de coma ortográfica, o de espiral. Siempre son unicelulares, aunque pueden formar colonias.	Tiene formas muy variadas. Pueden constituir organismos unicelulares o pluricelulares.
Los orgánulos membranosos son los mesosomas. Las cianobacterias presentan además, los tilacoides. Las membranas no poseen colesterol.	Los orgánulos membranosos son: el retículo endoplasmático, aparato de Golgi, vacuolas, mitocondrias, cloroplastos (sólo en algunas células) y peroxisomas.
No tiene núcleo. El ADN está condensado en una región del citoplasma denominada nucleolo. No se distinguen nucleólos.	Sí tiene núcleo y dentro de él uno o más nucleólos.

MÉTODOS DE ESTUDIO DE LAS CÉLULAS

Las células se estudian mediante los microscopios y se conocen dos tipos de microscopía, la óptica y electrónica.

- **La microscopía óptica.**

Es un sistema constituido por dos lentes de aumento denominados ocular y objetivo. Los rayos luminosos atraviesan el aire, inciden sobre la preparación, y luego atraviesa el aire hasta llegar a la lente frontal del objetivo del microscopio. Éste recoge los rayos luminosos, que han sufrido múltiples refracciones y al proyectarlos hacia el ocular, aumenta la imagen del objetivo recibida y luego el ocular la vuelve a aumentar.

Las muestras observadas deben ser muy finas, para que los rayos luminosos pueden atravesarlas. Las muestras biológicas vivas suelen ser incoloras y transparentes a la luz, por lo que muchas veces se requiere teñir las muestras. Los microscopios de contraste de fase o los de fondo oscuro permiten la observación sin necesidad de tinción.

Las células vivas se han de observar sin teñir o teñidas con algunos pocos colorantes que no las matan, los llamados colorantes vitales. Estas preparaciones no son duraderas. Para obtener preparaciones permanentes se ha de proceder a técnicas de preparaciones microscópicas. Estas son la fijación, la inclusión, el corte y la coloración.

• Fijación

Consiste en tratar la muestra biológica con unos líquidos llamados conservantes o fijadores que preservan la morfología de las células, su organización interna y su composición química, alterándolas lo menos posible después de su muerte.

• Inclusión

Si los tejidos son rígidos los cortes se pueden efectuar directamente, pero para estructuras internas las muestras previamente deben ser incluidas en una sustancia que les proporcione una consistencia adecuada para evitar su deformación durante el corte. A esto se le denomina técnica de inclusión.

• Corte

Antes de su observación con el microscopio, si las muestras biológicas son de un grosor tal que no resultan transparentes al paso de la luz, deben ser cortadas en capas muy finas hasta conseguirlo. Los aparatos utilizados para cortar las muestras se denominan micrótomos.

• Tinción

Después de cortar la muestra, se depositan y fijan los cortes sobre portaobjetos y luego se procede a su tinción. Según las estructuras que se quieran destacar, se utilizan unos colorantes u otros.

• Montaje

Después de la tinción se debe efectuar el montaje definitivo de la muestra antes de pasar a su observación. El montaje consiste en cubrir la muestra teñida, colocada sobre el portaobjetos, con un medio de montaje viscoso y muy transparente, y luego colocar encima un cubreobjetos de vidrio que proteja la muestra.

LAS ENVOLTURAS CELULARES, EL CITOPLASMA

Y EL CENTROSONA

LA MEMBRANA PLASMÁTICA

Las envolturas celulares, capas que separan el medio interno del exterior, son: la membrana plasmática, que poseen todas las células, tanto eucariotas como procariotas, y las membranas de secreción, que pueden faltar.

Son membranas de secreción la pared celular de las células vegetales, la matriz extracelular en células animales y la pared bacteriana.

- **La membrana plasmática**

La membrana plasmática es una delgada lámina que envuelve a la célula y la separa del medio externo. Esta lámina puede variar su forma permitiendo movimientos y deformaciones de la célula.

- Estructura de la membrana

Su estructura es prácticamente la misma en todas las células y en todos los orgánulos citoplasmáticos, por lo que también recibe los nombres de membrana unitaria o membrana celular. Está constituida por una doble capa de lípidos a la que se asocian moléculas proteicas formando una estructura denominada mosaico fluido.

La bicapa líquida se halla compuesta básicamente por fosfolípidos, colesterol y glucolípidos, siendo los fosfolípidos los componentes más abundantes. Atendiendo a su disposición en la bicapa, las proteínas pueden clasificarse en:

- Proteínas integrales o intrínsecas. Se encuentran total o parcialmente englobadas en la bicapa. Estas proteínas poseen un sector lipófilo.
- Proteínas periféricas o extrínsecas. Se sitúan adosadas a la bicapa. Son proteínas solubles.

El glucocálix es el conjunto de cadenas de oligosacáridos pertenecientes a glucolípidos y glucoproteínas de la membrana celular.

- Función de la membrana plasmática

El principal cometido de la membrana plasmática es mantener estable el medio intracelular, regulando el paso del agua, moléculas y elementos. Son las proteínas de membrana las que desarrollan la mayoría de las actividades de la membrana. Éstas son:

- Regular el paso de sustancias, controlando el transporte a través de la membrana de un gran número de iones y de moléculas.
- Mantener la diferencia de potencial iónico, haciendo que el medio interno esté cargado negativamente.
- Realizar procesos de endocitosis y fagocitosis.

- **Transporte a través de la membrana**

La bicapa líquida de la membrana actúa como una barrera que separa dos medios acuosos, el medio externo de citosol. La membrana presenta una permeabilidad selectiva, ya que permite el paso de pequeñas moléculas, siempre que sean lipófilas. El paso a través de la membrana posee dos modalidades: una pasiva, sin gasto de energía, y otra activa, con consumo de energía.

- El transporte pasivo

Es un proceso espontáneo de difusión de sustancias a través de la membrana. Se produce siempre a favor del gradiente, es decir, del medio en donde hay más hacia el medio donde hay menos.

- Gradiente de concentración. Las moléculas, por simple difusión, pasan desde el medio en donde se hallan más concentradas hacia el medio en donde su concentración es menor.
- Gradiente eléctrico. Generalmente, el medio externo es positivo, y negativo el medio interno celular. Por simple difusión, los iones con carga positiva entran en la célula, mientras que los iones negativos salen de ella.

La conjunción de ambos gradientes origina el gradiente electroquímico, que facilita o reduce la difusión de las moléculas a través de la membrana. Este transporte puede darse por difusión simple o por difusión facilitada.

- Difusión simple. Es el paso de pequeñas moléculas a favor del gradiente electroquímico. La difusión simple puede realizarse a través de la bicapa lipídica o a través de canales proteicos.
- Difusión facilitada. Permite el transporte de pequeñas moléculas polares, que al no poder atravesar la bicapa lipídica, requieren que proteínas transmembranas específicas para cada sustrato faciliten su paso.
- El transporte activo

En este proceso también actúan proteínas de membrana, pero éstas requieren energía, en forma de ATP, para transportar las moléculas al otro lado de la membrana. Se produce cuando el transporte se realiza en contra del gradiente electroquímico.

• Endocitosis

Los procesos de introducción de macromoléculas en el interior de vesículas reciben el nombre de endocitosis. Por el contrario, la expulsión de macromoléculas transportadas por vesículas al medio externo recibe el nombre de exocitosis.

La endocitosis puede ser de dos tipos:

- Pinocitosis, cuando la célula ingiere líquidos y sustancias disueltas.
- Fagocitosis, cuando la célula ingiere partículas grandes de alimento.

LAS MEMBRANAS DE SECRECIÓN

Son capas constituidas por sustancias producidas por la célula que, al ser segregadas, se depositan sobre la superficie externa de la membrana plasmática. Muchas células animales, que constituyen tejidos, presentan un glucocáliz inmerso en una membrana de secreción denominada matriz extracelular, que une a las células. Las células vegetales presentan una pared celular rígida constituida por celulosa.

• La matriz extracelular

La matriz extracelular es un producto de secreción celular que acumula moléculas sintetizadas por éstas. Aparece entre las células de los tejidos animales y actúa como nexo de unión, rellena espacios intercelulares, da consistencia a tejidos y órganos.

• Estructura de la matriz extracelular

La matriz se halla compuesta por una fina red de fibras proteicas inmersas en una estructura gelatinosa de glucoproteínas hidratadas, la sustancia fundamental amorfa.

- El colágeno
- La elastina
- La fibronectina
- Las glucoproteínas.
- Función de la matriz celular

Mantiene unidas a las células formando tejidos, y a los tejidos formando órganos, y, asimismo, da consistencia, elasticidad y resistencia a la compresión y a la tracción a dichos tejidos. Además, permite la difusión de sustancias.

• **La pared celular**

La pared celular es una envoltura gruesa y rígida que rodea a las células vegetales. Constituye un exoesqueleto que perdura después de la muerte de la célula, lo que sirve a muchas plantas como tejido de sostén, permitiéndoles alcanzar gran altura.

• Estructura de la pared celular

La pared celular se halla formada por dos elementos: una red de fibras de celulosa y una matriz, en la que hay agua, sales minerales, hemicelulosa y pectina. La matriz puede impregnarse de lignina, suberina, cutina y sustancias minerales.

• Función de la pared celular

La pared celular da forma y rigidez a la célula e impide su ruptura.

EL CITOPLASMA

El citoplasma es el espacio celular comprendido entre la membrana plasmática y la envoltura nuclear. Está constituido por el citosol, el citoesqueleto y los orgánulos celulares.

• **El citosol**

El citosol, también denominado hialoplasma, es el medio interno del citoplasma.

• Estructura del citosol

Es un medio acuoso, con una 85% de agua, en el cual aparecen disueltas gran cantidad de moléculas formando una dispersión coloidal.

• Función del citosol

En el citosol se estructura una elaborada red de filamentos y túbulos proteicos que constituyen el citoesqueleto fibroso.

• **EL citoesqueleto**

El citoesqueleto aparece en todas las células eucariotas. Lo forma una red de filamentos proteicos, entre los

que destacan los microfilamentos, los filamentos intermedios y los microtúbulos. Entre las funciones del citoesqueleto están:

- Mantener la forma de la célula y, cuando es necesario, la posibilidad de cambiar dicha forma.
- Posibilitar el desplazamiento de la célula.
- La contracción de las células musculares.
- El transporte y organización de los orgánulos en el citoplasma.