

Hacia...

... la pereza intelectual

«En la bañera del rey Ching-Tang se hallaba grabada la siguiente inscripción: renuévate totalmente cada día, luego vuelve a renovarte, renuévate sin cesar, y siempre sigue renovándote».

CONFUCIO
Los cuatro libros clásicos

«Cada escuela política, filosófica o artística produce en sus adeptos un estilo de asociación de ideas, y de raciocinios tan exclusivo y cerrado que en lo somático hay que relacionarlo con la existencia de conexiones especiales y sistemáticas entre varios grupos neuronales.

Cuando las asociaciones celulares que se han creado durante el período juvenil alcanzan el grado de robustez que expresa la palabra convicción, entonces el pretender deshacerlas es tanto como querer corregir la anatomía del encéfalo y cambiar la personalidad. El cerebro de un positivista probablemente no funciona como el de un espiritualista y las diferencias fisiológicas que los separan implican diferencias estructurales que sólo pueden borrarse a costa de mucho tiempo, porque las expansiones nerviosas son tan lentas en crecer y establecer asociaciones nuevas como perezosas para retraerse y atrofiarse. La plasticidad neuronal es grande en el joven, pero disminuye en el adulto y casi siempre desaparece en el anciano».

J. M. RODRÍGUEZ DELGADO
La felicidad (Ed. T. H.)

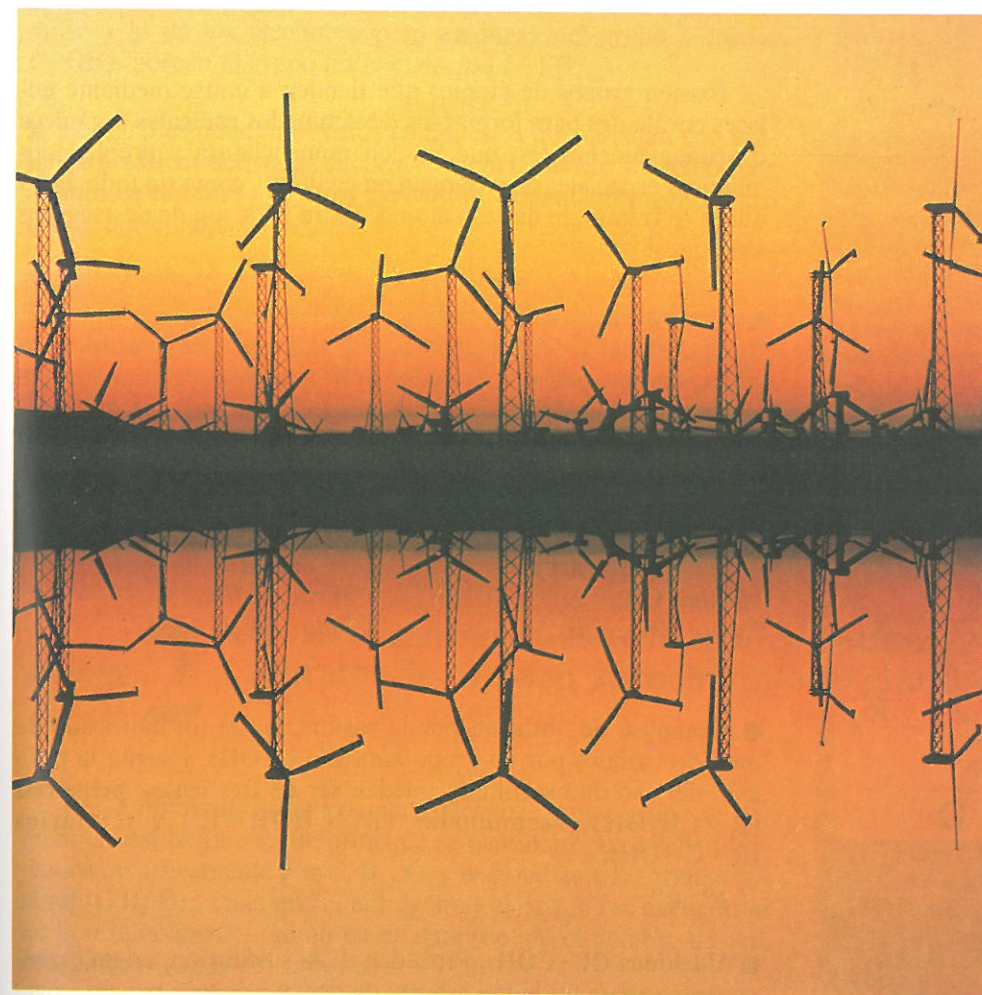
Decir la verdad

Rabí Elimelej de Lizensk dijo una vez:

—Estoy seguro de obtener mi parte en el Mundo que Vendrá. Cuando me encuentre ante el Tribunal Celestial se me preguntará: «¿Aprendiste como era tu deber?» A lo que contestaré: «No». Se me preguntará también: «¿Oraste como era tu deber?» Mi respuesta será también: «No». La tercera pregunta dirá: «¿Hiciste el bien, como era tu deber?» Y responderé por tercera vez: «No». Entonces se fallará a mi favor por haber dicho la verdad.

Relatos y parábolas de los Hasidim (Ed. Alfa Ibérica).
«Integral», n.º 78

3



Un proceso que actúa
constantemente contra la
tendencia natural al desorden
sólo puede alcanzar el éxito si
recibe ayuda en forma de
energía.

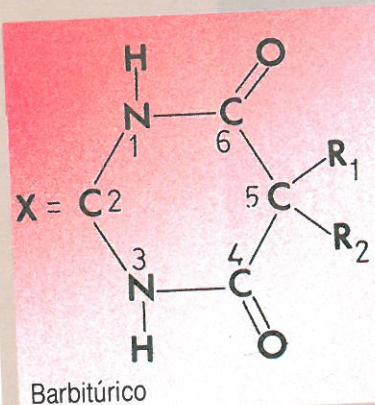
M. HOAGLAND

Hidratos de carbono y lípidos



1 Grupos funcionales en los compuestos orgánicos

La presencia de determinados grupos funcionales en las biomoléculas decide, en gran medida, su actividad biológica; es decir, existe una estrecha relación entre la estructura de una molécula y la función que desempeña. Así, por ejemplo, la acción farmacológica de numerosos medicamentos, como los barbitúricos, depende del tipo de sustituyentes y del lugar que ocupan en la molécula:



• La sustitución del hidrógeno por un radical alquilo (R_1) en el C_5 confiere propiedades hipnóticas (produce sueño); esta actividad crece conforme aumenta la longitud de la cadena del radical, hasta seis átomos de carbono como máximo. Si las cadenas son insaturadas o ramificadas, se metabolizan más rápidamente, y su acción es más fugaz. Si en la misma posición se incorporan radicales aromáticos (fenilo: R_2), se desarrollan entonces propiedades antiepilépticas.

• Si el N_1 está metilado, se producen efectos narcóticos (por ejemplo, el pentotal o «suero de la verdad») y también anestésicos.

• Si el grupo $C=O$ en posición 2 se sustituye por el grupo $C=S$, se obtienen los tiobarbitúricos, que son anestésicos generales de acción ultrarrápida, aunque sus efectos duran poco.

Existen grupos de átomos que tienden a unirse mediante enlaces covalentes para formar los denominados **radicales orgánicos** o **grupos funcionales**, que poseen nomenclatura y propiedades químicas especiales y reaccionan en conjunto, como un todo, igual que si se tratara de un solo átomo. Entre ellos son de destacar los siguientes:

■ **Hidrocarburos** ($CH_3 - [CH_2]_n - CH_3$). Resultan de la unión entre el carbono y el hidrógeno para formar cadenas lineales o cíclicas, que pueden ser saturadas o insaturadas, según contengan enlaces simples, dobles o triples, respectivamente. Los hidrocarburos saturados se denominan **alcanos**, y sus correspondientes radicales, que resultan de la pérdida de un átomo de hidrógeno, reciben el nombre de radicales **alquilo**. Por ejemplo:

Hidrocarburo	Radical
Metano: CH_4	Metilo: $-CH_3$
Etano: $CH_3 - CH_3$	Etilo: $-CH_2 - CH_3$

■ **Alcoholes**. Se obtienen por la sustitución de un hidrógeno de un hidrocarburo por un grupo *hidroxilo* ($-OH$), y según la posición del carbono sustituido pueden ser de tres clases: **primarios** ($R-CH_2OH$), **secundarios** ($R-CHOH-R'$) y **terciarios** ($R-C(OH)(R')(R'')$).

■ **Aldehídos** ($R-COH$). Proceden de la sustitución, en un carbono primario de un hidrocarburo, de dos hidrógenos por un oxígeno unido con un doble enlace (el grupo $-C=O$ se llama *carbonilo*).

■ **Cetonas** ($R-CO-R'$). Son semejantes a los aldehídos, pero el oxígeno se sustituye en un carbono secundario.

■ **Ácidos carboxílicos** ($R-COOH$). Resultan de la sustitución, en un carbono primario, de dos hidrógenos por un oxígeno unido por un doble enlace y de un tercer hidrógeno por un grupo *hidroxilo* ($-OH$).

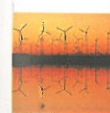
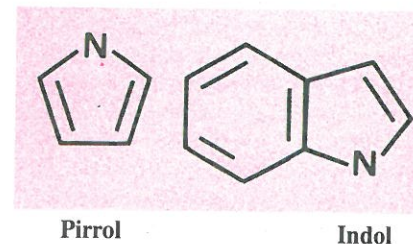
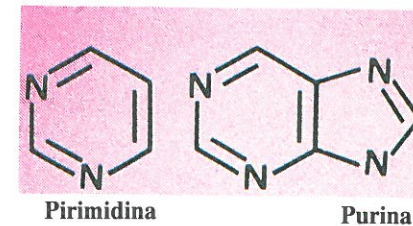
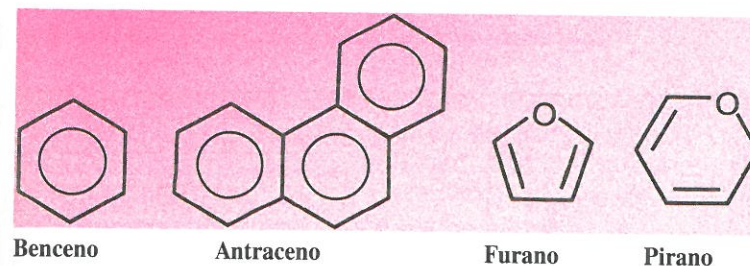
■ **Ésteres** ($R-CO-O-H_2C-R'$). Se forman por la combinación de un ácido ($R-COOH$) y un alcohol ($R'-CH_2OH$), con pérdida de una molécula de agua.

■ **Aminas**. Se derivan del amoníaco por desplazamiento, respectivamente, de uno, dos o tres hidrógenos por radicales *alquilo*. (Sólo se estudiarán las **aminas primarias** ($R-NH_2$)).

■ **Amidas** ($R-CO-HN-R'$). Se forman por la combinación entre un ácido ($R-COOH$) y una amina ($R'-NH_2$).

■ **Tioles o mercaptanos** ($R-CH_2-SH$). Poseen una estructura similar a la de los alcoholes, pero en lugar del grupo *hidroxilo* ($-OH$), poseen el grupo *tiol* o *mercapto* ($-SH$).

■ También estudiaremos otros compuestos que cuentan con **anillos aromáticos** derivados del *benceno* y **heterociclos** formados por átomos de carbono y de otros elementos (oxígeno, nitrógeno, etc.), como, por ejemplo:

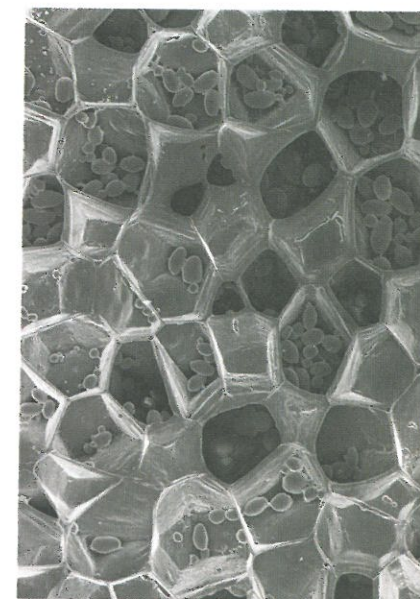


2 Hidratos de carbono, carbohidratos o glúcidos

Los compuestos orgánicos pertenecientes a este grupo se denominan así porque en un principio se consideró que estaban formados exclusivamente por **C, H y O**, y respondían a la fórmula general $(C_nH_{2n}O_n)$, en la que el hidrógeno y el oxígeno se encuentran en la proporción 2:1, como en el agua (de ahí el nombre de carbohidrato o «agua de carbono»).

La *glucosa* y otros azúcares simples responden a esta fórmula empírica, pero a medida que se han descubierto nuevos compuestos y se ha dispuesto de mayor información, la definición se ha modificado y ampliado hasta abarcar una variedad de compuestos que poco o nada tienen que ver con la primitiva fórmula empírica de los carbohidratos. En la actualidad, dentro de este grupo están comprendidos los polihidroxialdehídos y polihidroxicetonas, alcoholes, ácidos y aminas, sus derivados simples y los productos formados por la condensación de estos compuestos entre sí y con otros mediante *enlaces glucosídicos*.

Los hidratos de carbono más simples pueden definirse como **polihidroxialdehídos** o **polihidroxicetonas**, es decir, son moléculas formadas por un esqueleto carbonado ($-C-C-C...$) en el que todos los carbonos presentan la **función alcohol** excepto uno que posee el **grupo carbonílico** (aldehído o cetona). Existen excepciones (no se cumple la fórmula $C_nH_{2n}O_n$) debidas a la presencia de otros grupos funcionales en la molécula: *ácidos carboxílicos*, *aminas* y derivados, *ésteres* entre un grupo alcohol y el ácido sulfúrico o el ácido fosfórico, etc.



Amiloplastos en la patata cargados de almidón (microscopio electrónico de barrido).

Los ósidos, a su vez, se dividen en:

● **Holósidos:** Son los carbohidratos (ósidos) formados exclusivamente por la unión de monosacáridos. Si su hidrólisis suministra entre 2 y 10 monosacáridos, se denominan *oligosacáridos*, y si aparecen más de 10, pueden ser *homopolisacáridos*, si están formados por un solo tipo de monosacárido, y *heteropolisacáridos*, si en su composición intervienen dos o más clases de monosacáridos distintos.

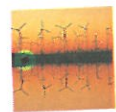
● **Heterósidos:** Son sustancias en cuya estructura coexisten una parte glucídica (monosacáridos) y otra no glucídica, llamada *aglicón* o *genina*, que puede ser de naturaleza variada.

2.1. Clasificación de los hidratos de carbono

● **Osas o monosacáridos:** Son los carbohidratos más simples, cuyas moléculas, sencillas y no hidrolizables, pueden tener entre tres y nueve átomos de carbono y constituyen las unidades, o monómeros, a partir de las cuales se originan los demás hidratos de carbono.

● **Ósidos:** Son los carbohidratos formados por la unión de monosacáridos mediante *enlaces glucosídicos*. De ellos, por hidrólisis, pueden obtenerse los monosacáridos de los que están compuestos y, en algunos casos, también otros compuestos no glucídicos.

Hidratos de carbono	Osas o Monosacáridos	Aldosas	Aldotriosas (ej.: gliceraldehído)
			Aldotetrasas (ej.: eritrosa)
			Aldopentosas (ej.: ribosa)
			Aldohexosas (ej.: glucosa)
			Aldoheptosas (ej.: sedoheptulosa)
		Cetosas	Cetotriosas (ej.: dihidroxiacetona)
			Cetotetrasas (ej.: eritrola)
			Cetopentosas (ej.: ribulosa)
			Cetohexosas (ej.: fructosa)
			Cetoheptosas (ej.: sedoheptulosa)
Ósidos	Holósidos	Oligosacáridos	Disacáridos (ej.: sacarosa)
		Polisacáridos	Trisacáridos (ej.: rafinosa)
	Heterósidos	Homopolisacáridos (ej.: almidón)	
		Heteropolisacáridos (ej.: heparina)	
		Heterósidos cardiotónicos y otros principios activos de plantas medicinales.	
Heterósidos	Glucolípidos (ej.: cerebrósidos)		
	Glucoproteínas (ej.: mucinas)		



3

Monosacáridos

Como se ha dicho anteriormente, son los hidratos de carbono más simples, a partir de los cuales se originan los demás glúcidos. Generalmente, se caracterizan por su sabor dulce (de ahí el nombre de **azúcares**, aunque no todos lo son) y su solubilidad en agua. Están constituidos por una sola molécula de **polihidroxialdehído** o **polihidroxicetona** y pueden tener un número variable de átomos de carbono, que oscila entre 3 y 9; aunque lo más frecuente es que posean tres, cuatro, cinco y seis átomos de carbono.

La presencia del **grupo carbonílico (aldehído o cetona)** les confiere la propiedad de ser **reductores** frente a determinadas sustancias, como el **licor de Fehling** (al oxidarse toma color azul y cuando se reduce por un azúcar adquiere color rojo).

■ Nomenclatura

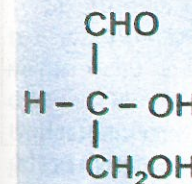
Para nombrarlos se antepone a la terminación **-osa** un prefijo que indique si poseen la función aldehído (**aldo-**) o cetona (**ceto-**) y otro referente al número de átomos de carbono que tiene la molécula: **-tri-** (3 carbonos), **-tetra-** (4 carbonos), **-penta-** (5 carbonos), **-hexa-** (6 carbonos), **-hepta-** (7 carbonos), etc. Por ejemplo, un azúcar de seis átomos de carbono que posea la función aldehído será una **aldohexosa (aldo-hex-osa)**; un azúcar de tres átomos de carbono que posea la función cetona será una **cetotriosa (ceto-tri-osa)**, etc.

■ Propiedades estructurales de los monosacáridos

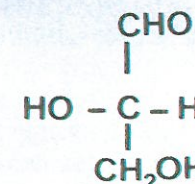
Cuando se desarrolla la fórmula empírica de los monosacáridos (CH_2O_n), se comprueba que de los **n** átomos de oxígeno en la molécula de un azúcar, **n-1** pertenecen a **grupos alcohol (-OH)** y uno a un **grupo carbonilo (-CO-)**, que puede ser **aldehído** (en las **aldosas**) o **cetona** (en las **cetosas**).

3.1. Monosacáridos de tres átomos de carbono: triosas

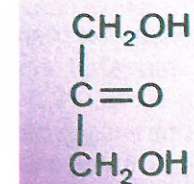
Responden a la fórmula general $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$. La **aldotriosa** correspondiente se llama **gliceraldehído**, y su fórmula desarrollada es la siguiente:



D-gliceraldehído



L-gliceraldehído



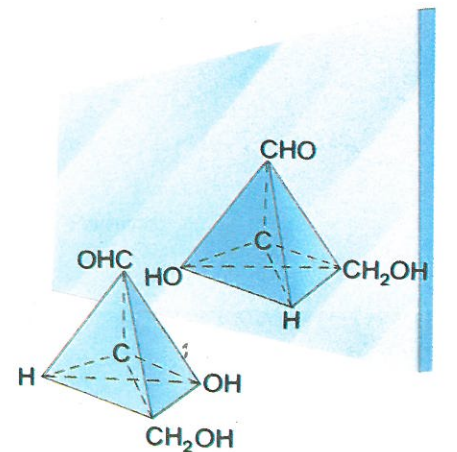
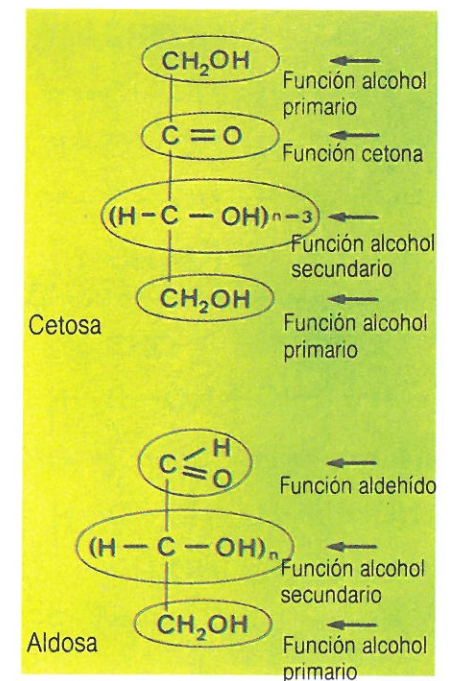
Dihidroxiacetona

■ Isomería espacial o estereoisomería

Como se puede apreciar, el segundo carbono tiene sus cuatro valencias saturadas con cuatro radicales diferentes, es, por tanto, un átomo de **carbono asimétrico**. Suponiendo que todos los átomos de la molécula estuviesen en el mismo plano —en este caso el plano definido por esta página—, el grupo **hidroxilo (-OH)** está a la derecha; se dice entonces, por convenio, que el **gliceraldehído** es de configuración **D**. En caso de que el grupo **hidroxilo (-OH)** se encontrara a la izquierda, tendría configuración **L**.

Es decir, por cada carbono asimétrico existen dos **estereoisómeros D y L**, que, en este caso, se denominan **enantiomorfos** (uno es la imagen especular del otro). En la naturaleza predominan los azúcares de configuración **D**.

El otro monosacárido de tres átomos de carbono es la **cetotriosa**, denominada **dihidroxiacetona**, que, como no posee ningún átomo de carbono asimétrico, no presenta **estereoisómeros**.



En los monosacáridos todos los átomos de **carbono** que poseen la función alcohol secundaria son **asimétricos**, es decir, tienen sus cuatro valencias saturadas con cuatro radicales diferentes, lo cual implica la existencia de **isómeros espaciales o estereoisómeros**; o lo que es lo mismo, los cuatro radicales se pueden disponer alrededor del átomo de carbono según dos configuraciones distintas, no superponibles.

El número de estereoisómeros aumenta de forma exponencial con el número de carbonos asimétricos; así, si **n** es el número de carbonos asimétricos, los estereoisómeros serán 2^n .

■ Isomería óptica

Además, los *estereoisómeros*, por el hecho de contar con uno o varios átomos de *carbono asimétricos*, poseen *actividad óptica*, que se puede medir con el *polarímetro*: cuando sobre una disolución del azúcar incide un rayo de luz polarizada, se observa una desviación del plano de polarización de la luz incidente. Si tal desviación es hacia la derecha, el azúcar se denomina *dextrógiro* y se representa por (+); si es hacia la izquierda, se denomina *levógiro* y se representa por (-), y ambos reciben el nombre de *isómeros ópticos*.

Pero no existe relación alguna entre (+) y (-) y las configuraciones **D** y **L**. Un estereoisómero de configuración **D** puede ser dextrógiro (+) o levógiro (-), al igual que uno de configuración **L**. Aunque ambas propiedades, la *estereoisomería* (o *isomería espacial*) y la *isomería óptica*, se derivan de la presencia de *carbonos asimétricos* en las moléculas, son propiedades diferentes que no deben confundirse.

Para la molécula de **gliceraldehído**, por ejemplo, existen cuatro posibilidades: **D**-(+)-**gliceraldehído**, **D**-(-)-**gliceraldehído**, **L**-(+)-**gliceraldehído** y **L**-(-)-**gliceraldehído**.

Ambas triosas, el **gliceraldehído** y la **dihidroxiacetona**, desempeñan un papel fundamental como metabolitos intermediarios en el metabolismo de la glucosa y otros azúcares.

3.2. Monosacáridos de cuatro átomos de carbono: tetrosas

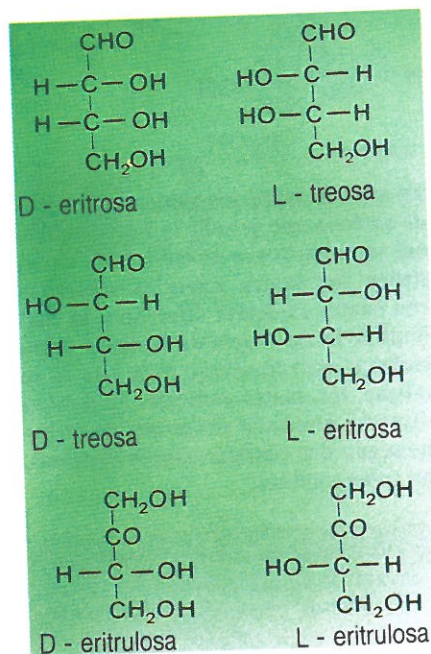
Su fórmula general es $C_4H_8O_4$. Aunque existe una **cetotetrosa**, la **eritrolosa**, nos limitaremos al estudio de las **aldotetrosas** (la **eritrosa** y la **treosa**), que presentan dos *carbonos asimétricos* y, por lo tanto, hay $2^2 = 4$ *estereoisómeros* posibles, de los cuales dos son de configuración **D** y otros dos de configuración **L**.

En este caso, y en general para todos los azúcares con más de tres átomos de carbono, donde puede existir más de un carbono asimétrico, se ha adoptado por *convenio* que los prefijos **D** y **L** se refieren a la *configuración del carbono asimétrico más alejado del carbono carbonílico* (aldehído o cetona).

Respecto a los *estereoisómeros* conviene señalar:

- Cuando son imágenes especulares, se denominan *estereoisómeros enantiomorfos*: **D**-**eritrosa** y **L**-**eritrosa**, o **D**-**treosa** y **L**-**treosa**, atendiendo a la configuración del carbono asimétrico más alejado del carbono carbonílico (en este caso es el carbono 3).

- Cuando los *estereoisómeros* se diferencian en la configuración de otro átomo de carbono asimétrico diferente al anterior, se denominan *estereoisómeros epímeros*. Así, por ejemplo, la **D**-**eritrosa** y la **L**-**eritrosa** son *enantiomorfos*; pero la **D**-**eritrosa** y la **D**-**treosa** son *epímeros* que se diferencian en la configuración espacial del carbono 2.



Tetrosas (el sufijo *-ulosa* hace referencia a su condición de cetosa).

3.3. Monosacáridos de cinco átomos de carbono: pentosas

Responden a la fórmula general $C_5H_{10}O_5$. Las **aldopentosas** tienen tres *carbonos asimétricos* y, por tanto, existen $2^3 = 8$ *estereoisómeros* posibles: cuatro de la serie **D** y otros cuatro de la serie **L**.

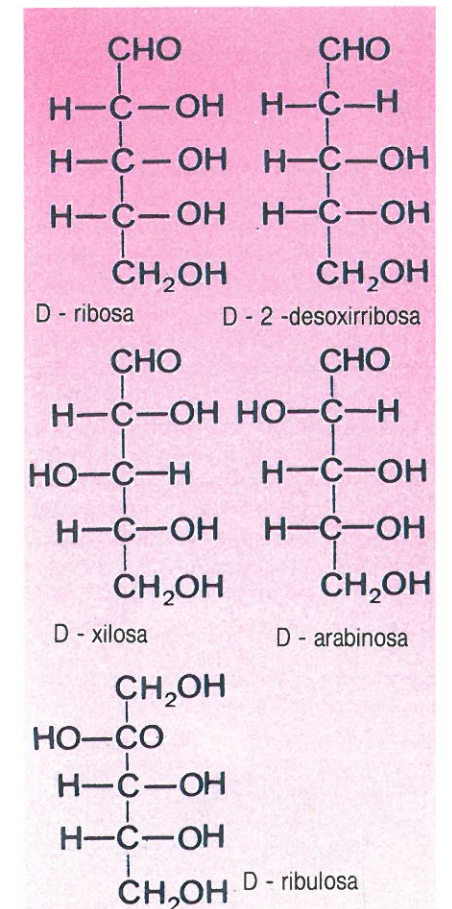
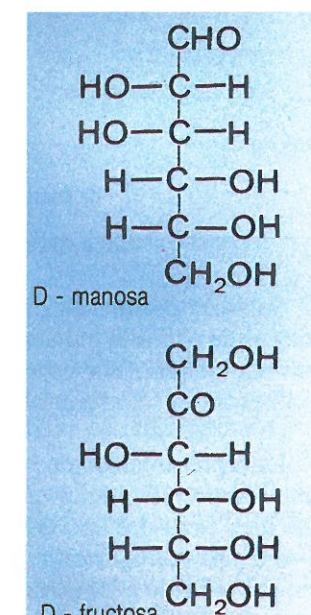
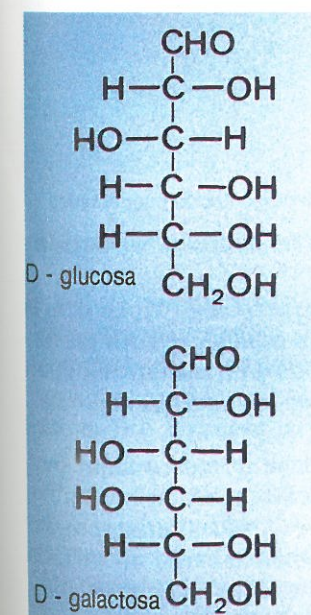
Por su especial interés estudiaremos la **D**-**ribosa**, que participa en la constitución de los **nucleótidos** (como, por ejemplo, el **ATP**) y los **ácidos ribonucleicos**; otra pentosa es la **D**-**desoxirribosa**, que forma parte de los **ácidos desoxirribonucleicos**, y respecto a la **D**-**ribosa** presenta la variante de no llevar el grupo hidróxilo en el carbono 2.

Otras aldopentosas son la **arabinosa** (tiene las configuraciones **D** y **L**), que se encuentra formando el polisacárido **arabana**, componente de las gomas vegetales (*goma arábica*, *goma de cerezo*, etc.), y la **xilosa**, que interviene en la composición del polisacárido **xilana**, presente en la madera.

Entre las **ketopentosas** destacan la **D**-**ribulosa**, de gran importancia biológica, ya que sirve de sustrato sobre el que se fija el CO_2 durante la *fotosíntesis* y constituye, por tanto, la «puerta» por donde se introduce el carbono en el ciclo de la materia viva.

3.4. Monosacáridos de seis átomos de carbono: hexosas

Su fórmula general es $C_6H_{12}O_6$. Las **aldohexosas** tienen cuatro *carbonos asimétricos*, por tanto son posibles $2^4 = 16$ *estereoisómeros*: ocho de la serie **D** y otros ocho de la serie **L**. De ellas sólo estudiaremos la **D**-**glucosa**, la **D**-**galactosa** y la **D**-**manosa**. Entre las **ketohexosas** cabe destacar la **D**-**fructosa**, que pertenece al grupo de los azúcares más abundantes en la naturaleza y, por consiguiente, con mayor interés biológico.



Pentosas.

Hexosas.

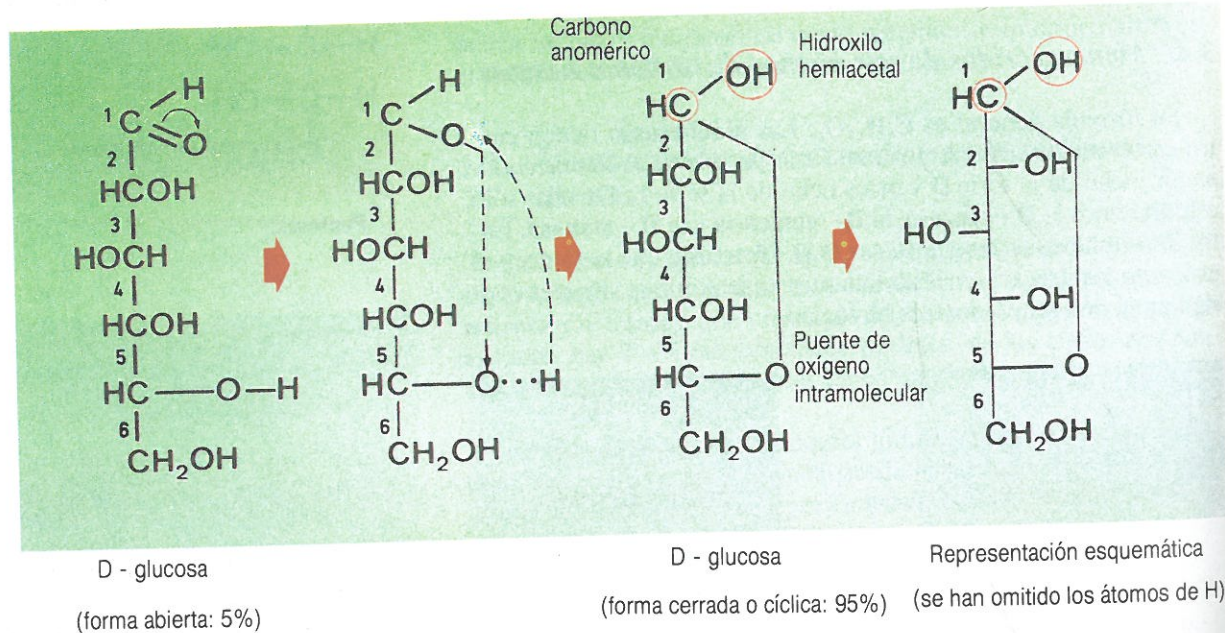
La forma de representar a los monosacáridos seguida hasta ahora se denomina *forma abierta* y tiene la utilidad de simplificar la introducción al estudio de los azúcares. Pero en realidad los monosacáridos de cinco o más átomos de carbono se comportan en disolución como si poseyeran un átomo de *carbono asimétrico* más. Esto se debe a que las moléculas, cuando se encuentran disueltas, no son *formas abiertas* sino *cerradas* en forma de *anillos* de cinco o seis átomos.

Cuando, por ejemplo, la glucosa se encuentra en disolución, se establece un equilibrio entre ambas formas, permaneciendo un 95 por 100 del total en la *forma cerrada* y un 5 por 100 en la *forma abierta*.

Formación de anillos en aldopentosas y aldohexosas

La *ciclación* de las moléculas se produce al reaccionar el grupo *aldehído* del *carbono 1* con uno de los grupos *hidroxilo* (el del *carbono 4*, en las *aldopentosas*, o el del *carbono 5*, en las *aldohexosas*). Como consecuencia de ello se produce la pérdida de una molécula de agua y el establecimiento de un *punte de oxígeno intramolecular* entre los dos carbonos que intervinieron en la reacción; además, la nueva estructura que aparece, llamada *hemiacetal*, transforma al *carbono 1* en un nuevo *carbono asimétrico* que da lugar a dos *estereoisómeros*.

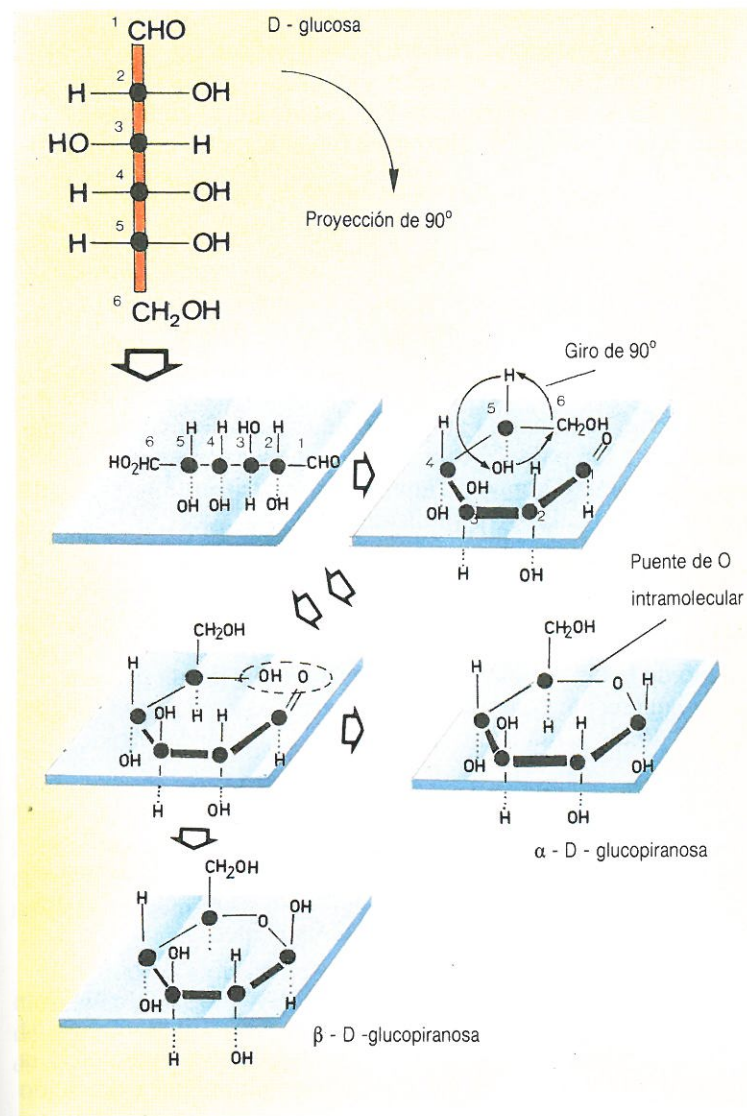
Dicho *carbono* se denomina *carbono anomérico* y tiene un grupo *hidroxilo*, llamado *-OH hemiacetalico*, que goza en parte de las propiedades de los *aldehídos* y mantiene, por tanto, el carácter *reductor*. Los dos nuevos *estereoisómeros*, reciben el nombre de *anómeros* y pueden ser α o β . Los anillos que se forman son heterociclos de cinco átomos, denominados *furanos* (derivadas del anillo de *furano*), o de seis átomos, *piranosas* (derivadas del anillo de *pirano*).



Ciclación de la D-glucosa.

Solamente aquellos monosacáridos que poseen cinco o más átomos de carbono pueden formar anillos estables y existir en formas *anoméricas*. Por esta razón las *triosas* y las *tetrosas* en disolución acuosa sólo se encuentran en forma de *cadena abierta*.

La representación de la forma de *cadena cerrada*, aunque permite comprender mejor qué grupos reaccionan, no da, en cambio, una idea clara del tipo de anillo que se establece. Para averiguar el tipo y la configuración del anillo *anomérico* existe un método general referido a las *pentosas* y *hexosas*; es el conocido como *proyecciones de Haworth*.



Nomenclatura de los monosacáridos en forma cíclica

Para nombrarlos se ponen las letras α o β , que indican el tipo de *anómero*, seguidas de las letras **D** o **L**, que indican el tipo de *enantiomorfo*, y a continuación se añade el nombre del monosacárido acabado en el sufijo *piranososa* (si cicla en un anillo de seis átomos) o *furanosa* (si cicla en un anillo de cinco átomos).

Por ejemplo, para la **D-glucosa** existen dos posibilidades: α -**D-glucopiranososa** y β -**D-glucopiranososa**; para la **D-ribosa**, otras dos: α -**D-ribofuranosa** y β -**D-ribofuranosa**; para la **D-fructosa**, como cicla en un anillo de cinco átomos, las dos siguientes: α -**D-fructofuranosa** y β -**D-fructofuranosa**.

Proyecciones de Haworth: ejemplo para la D-glucosa.

1. Se parte de la molécula de **D-glucosa** en su forma de *cadena abierta* esquematizada, donde se han suprimido los átomos de *carbono (C)* y de *hidrógeno (H)* para dar mayor simplicidad y claridad a la fórmula.

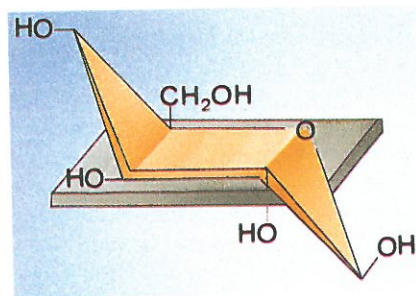
2. El siguiente paso consiste en proyectar la molécula sobre el plano, girándola 90° (como si la tumbásemos). Podemos imaginar que los puntos donde se encontraban los átomos de *carbono* en la molécula son *goznes* o *bisagras* de una varilla que comienza en el grupo HOCH_2- y termina en el grupo $-\text{CHO}$, de modo semejante a un metro de carpintero.

3. A continuación se dobla esta supuesta varilla hasta «modelar» un hexágono, pero manteniendo los grupos $-\text{OH}$ en su posición original (hacia abajo o hacia arriba). Observemos que en el punto definido por el *carbono 5* existe un grupo $-\text{OH}$ hacia abajo y el grupo $-\text{CH}_2\text{OH}$ en posición horizontal.

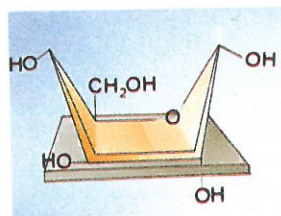
4. Si se efectúa ahora un giro de 90° en este punto, en sentido contrario a las agujas del reloj, quedarán enfrentados los dos grupos que van a reaccionar: el *hidroxilo (-OH)* del *carbono 5* y el grupo *aldehído* del *carbono 1*.

5. Al producirse la reacción de *ciclación (hemiacetal)* se forma un nuevo *hidroxilo*, que es el $-\text{OH}$ *hemiacetalico*, y un *punte de oxígeno intramolecular* entre el *carbono 1* y el *carbono 5*.

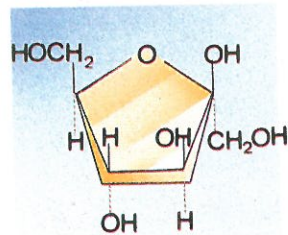
Los dos nuevos *estereoisómeros (anómeros)* que aparecen quedan definidos por la posición del $-\text{OH}$ *hemiacetalico* *hacia arriba* o *hacia abajo del plano del anillo*: en el *anómero* α el $-\text{OH}$ *hemiacetalico* se encuentra en posición *trans* respecto del *carbono 6* (grupo $-\text{CH}_2\text{OH}$), es decir, en lados opuestos del plano definido por el anillo; en el *anómero* β ambos grupos se encuentran en posición *cis*, esto es, al mismo lado del plano.



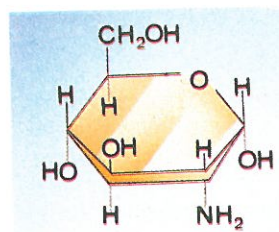
β-D-glucopiranosil: conformación de «silla de montar» (trans).



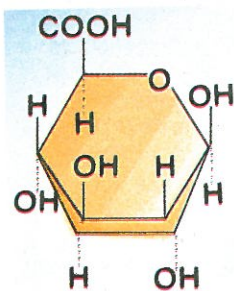
α-D-glucopiranosil: conformación de «nave» (cis).



β-D-fructofuranosil.



α-D-glucosamina.



Ácido glucurónico.

■ Hexosas de interés biológico

La **glucosa**, conocida también como azúcar de uva, es muy abundante en todos los vegetales y el azúcar más importante en los animales, donde se encuentra en estado libre (en la sangre) o polimerizada en forma de **glucógeno** (en el hígado y en los músculos estriados).

La **galactosa** se encuentra en el disacárido **lactosa** (en la leche) y aparece en estado libre en determinadas orinas. Forma parte de polisacáridos complejos (**gomas, mucílago y pectinas**) y también se integra en los **glucolípidos y glucoproteínas**.

La **manosa** se halla en estado libre en la corteza de algunos vegetales, como el naranjo, y aparece polimerizada formando las **manosanas**, que son polisacáridos presentes en los vegetales y las bacterias, levaduras y hongos. También forma parte de la molécula de un antibiótico, la **estreptomicina B**.

La **fructosa** es la única **cetohexosa** que estudiaremos. Este azúcar se encuentra en estado libre en las frutas y también integrando el disacárido **sacarosa**. Se caracteriza por desviar fuertemente el plano de la luz polarizada hacia la izquierda, de ahí que sea conocido igualmente como **levulosa**. Aparece también en el líquido seminal, donde actúa como nutriente de los espermatozoides.

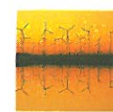
■ Otros glúcidos derivados de los monosacáridos

Además de la ya mencionada **desoxirribosa**, existe toda una serie de compuestos derivados de los monosacáridos, entre los que, por su interés biológico, citaremos los siguientes:

- **Aminoazúcares:** presentan la sustitución del grupo hidroxilo (-OH) por un grupo amino (-NH₂) en el carbono 2. Son de destacar la **glucosamina**, que es el principal componente de la **quitina** y forma parte del antibiótico **estreptomicina** y del ácido **N-acetil-murámico**, que se encuentra en la pared bacteriana, y la **galactosamina**, que es un componente de los cartílagos.

- **Ácidos urónicos:** proceden de la oxidación del grupo alcohol primario (del carbono 6) a grupo ácido. Entre ellos están el **ácido glucurónico** y el **ácido galacturónico**, que son muy abundantes en las **gomas, mucílago y pectinas**; también forman parte del **ácido hialurónico**, que se encuentra en el líquido intracelular del tejido conjuntivo y en diversas secreciones.

- **Polialcoholes:** se derivan de la reducción del grupo aldehído o cetona a grupo alcohol. Los más importantes son el **sorbitol**, que procede de la **glucosa** y es muy abundante en los frutos de las rosáceas; el **manitol**, que se obtiene de la **manosa** y puede encontrarse en la piña, níspero, olivo, palmera y fresno; el **glicerol** (o glicerina), procedente del **gliceraldehído**, que es un componente de las grasas y fosfolípidos. El **inositol** es otro polialcohol cíclico que no proviene de un azúcar sino del **ciclohexano**; forma parte de determinados fosfolípidos y del ácido fítico, que es un componente de los tejidos de sostén de las plantas.



4

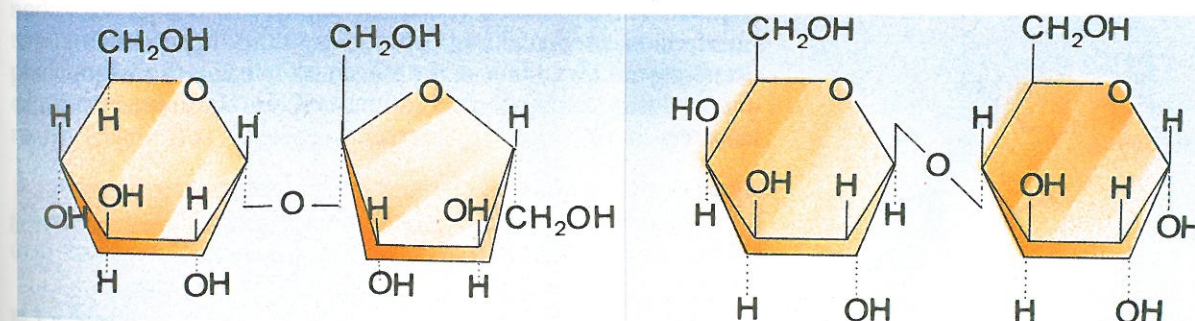
Oligosacáridos: disacáridos

De todos los **oligosacáridos** se analizarán en primer lugar los **disacáridos**, que están formados por la unión de dos moléculas de monosacáridos mediante un enlace *O-glucosídico* establecido entre el *-OH hemiacetal* de uno y un grupo *alcohol* de otro (enlace **monocarbonílico**), o bien, entre los *-OH hemiacetálicos* de ambos azúcares (enlace **dicarbonílico**). Como al efectuar este enlace se pierde una molécula de agua, su fórmula general es **C₁₁H₂₂O₁₁**. Entre los disacáridos de mayor interés biológico se encuentran los siguientes:

- **Lactosa**, o azúcar de leche, está formada por la unión del C₁ (carbonílico) de la β-D-galactosa con el C₄ (-OH alcohol) de la α-D-glucosa. Por tanto, su denominación es: β-D-galactopiranosil (1→4) α-D-glucopiranosil. Es un disacárido **reductor** porque aún conserva un -OH hemiacetálico (el de la glucosa).

- **Sacarosa**, conocida comúnmente por el nombre genérico de **azúcar**, abunda en la caña de azúcar y en la remolacha azucarera. Está formada por la unión entre el C₁ (carbonílico) de una molécula de α-D-glucosa y el C₂ (también carbonílico) de la β-D-fructosa. Su nombre científico es α-D-glucopiranosil (1→2) β-D-fructofuranósido. *No es un azúcar reductor* porque no tiene libre ningún -OH hemiacetálico.

Cuando se hidroliza el enlace de la sacarosa, se obtiene una mezcla de **glucosa** y **fructosa** denominada **azúcar invertido**, debido a que invierte el plano de polarización de la luz (la sacarosa es dextrógira y el azúcar invertido es levógiro).



- **Trehalosa**, es muy abundante en levaduras y hongos y también aparece en la hemolinfa de los insectos. Se denomina α-D-glucopiranosil (1→1) α-D-glucopiranosil; se trata, por tanto, de un **enlace dicarbonílico**.

Nomenclatura de los disacáridos

Para nombrarlos se utilizan los sufijos **-osil, -osa y -ósido**, que indican el tipo de unión existente entre ambos azúcares:

- El sufijo **-osil** se emplea en el caso de que el primer azúcar esté unido por el carbono carbonílico, esto es, el que lleva el -OH hemiacetálico (ejemplo, α-D-glucopiranosil).

- El sufijo **-osa** cuando el segundo azúcar que se une lo hace por cualquier grupo alcohol (ejemplo, α-D-galactopiranosil).

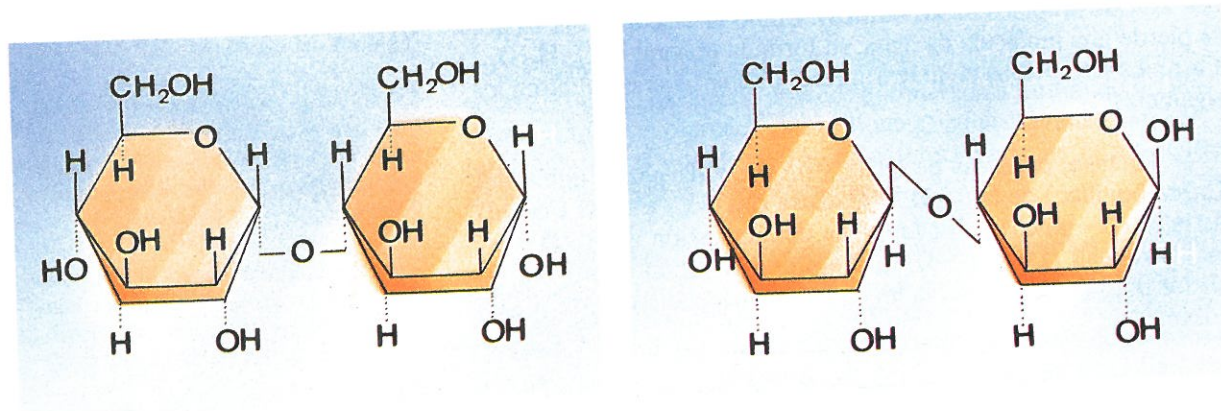
- El sufijo **-ósido** cuando el segundo azúcar se une también por el -OH hemiacetálico, estableciéndose el enlace entre los dos carbonos anoméricos (ejemplo, β-D-fructofuranósido). Además se indican los números de los carbonos entre los que se establece el enlace; por ejemplo, (1→4), (1→2), (1→6), etc.

Sacarosa (izquierda) y lactosa (derecha).

■ Los siguientes azúcares no existen libres en la naturaleza, sino que proceden de la hidrólisis parcial de sus correspondientes polisacáridos. Son:

● **Maltosa**, se obtiene por hidrólisis de la **amilosa** (del **almidón**) y es el azúcar responsable del sabor dulzón de los granos de trigo germinados. Cuando se germina la cebada y se tuesta se obtiene la **malta**, utilizada para la fabricación de la cerveza y como sucedáneo del café. Su nombre técnico es α -D-glucopiranosil (1→4) α -D-glucopiranososa.

Maltosa (izquierda) y celobiosa (derecha).

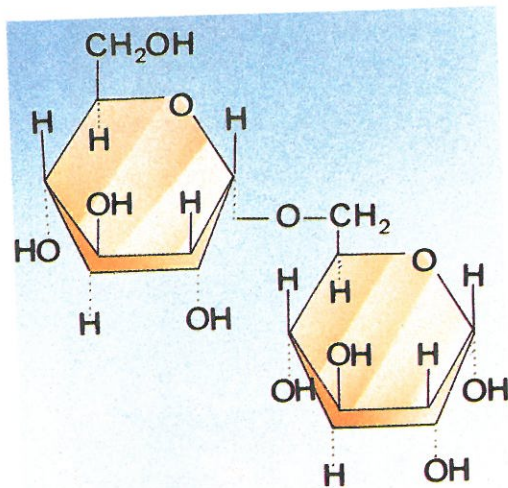


● **Isomaltosa**, se obtiene por hidrólisis de la **amilopeptina** (del **almidón**) y del **glucógeno**, procedente de los puntos donde se ramifican ambos polisacáridos (en las uniones 1→6). Su denominación es α -D-glucopiranosil (1→6) α -D-glucopiranososa.

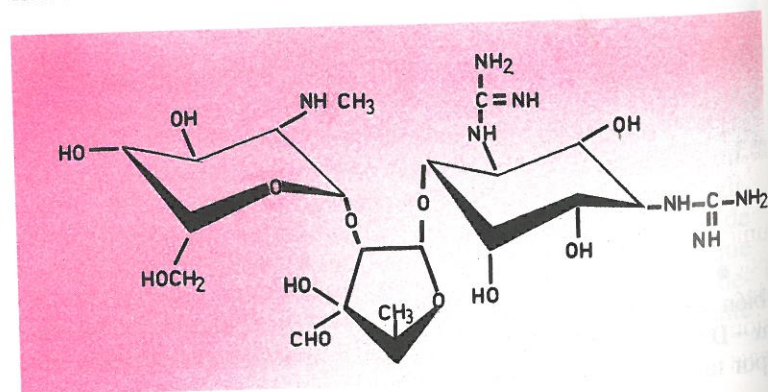
● **Celobiosa**, procede de la hidrólisis de la **celulosa**. Se denomina β -D-glucopiranosil (1→4) β -D-glucopiranososa.

■ **Otros oligosacáridos de interés biológico**

Además del **trisacárido rafinosa**, presente en la remolacha y las semillas de algodón, interesa destacar un grupo de oligosacáridos que poseen actividad antibiótica, como, por ejemplo, la **estreptomicina**, **neomicina** y **kanamicina**, muy usados para combatir infecciones tuberculosas, neumonías y otras; la **puromicina**, anticancerígeno que inhibe la síntesis de proteínas, y la **adriamicina**, que se utiliza como agente antitumoral para el tratamiento de la leucemia.



Isomaltosa.



Estreptomicina.

5 Polisacáridos

Son carbohidratos de elevado peso molecular (la celulosa del alga *Valonia* contiene hasta 26 000 unidades de monosacáridos), por lo que resultan insolubles en agua (como la celulosa), o bien forman dispersiones coloidales (como el almidón). Proceden de la polimerización de monosacáridos, o de sus derivados, unidos por enlaces *O*-glucosídicos.

Se encuentran distribuidos en la mayoría de los organismos, donde cumplen, generalmente, funciones de reserva energética o estructurales. *No presentan carácter reductor*, pues la mayoría de los grupos -OH hemiacetálicos están ocupados en los enlaces *O*-glucosídicos. Existen dos clases: **homopolisacáridos** y **heteropolisacáridos**.

6 Homopolisacáridos

Se forman por la polimerización de un solo tipo de monosacárido. Aunque existen polímeros de pentosas llamados **pentosanas**, como las **xilanas** y **arabanas**, ya citadas anteriormente, los de mayor interés son los polímeros de hexosas o **hexosanas**; de entre todos ellos, se estudian a continuación el **almidón**, el **glucógeno**, los **dextranos**, la **celulosa** y la **quitina**.

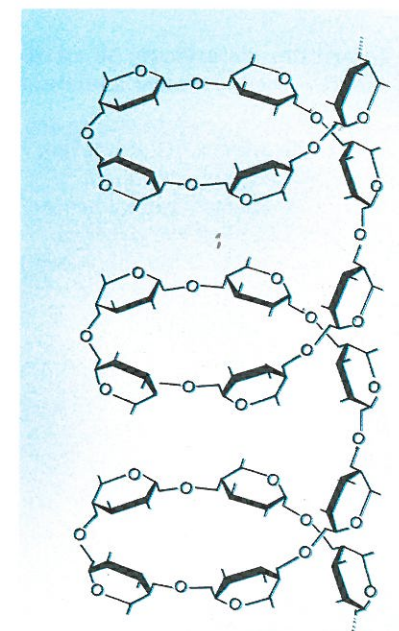
6.1. Almidón

Es un polisacárido de reserva que se almacena en los amiloplastos de las células vegetales y es muy abundante en los tubérculos, bulbos, rizomas y en el endospermo de las semillas farináceas. Constituye una forma eficaz de almacenar glucosa, pues al no ser soluble en agua no está disuelto en el protoplasma y no contribuye al aumento de la presión osmótica. La energía necesaria para la germinación se obtiene hidrolizando el almidón mediante enzimas específicos (*amilasas* y *maltasas*) que suministran primero fragmentos llamados **dextrinas** y, por último, **glucosa**.

Aunque se considera que el almidón es un polímero de α -D-glucosa, en realidad está compuesto por dos clases de polisacáridos: la **amilosa** (20 por 100) y la **amilopeptina** (80 por 100).

■ La amilosa

Es un polímero de moléculas de α -D-glucosa enlazadas por uniones (1→4) exclusivamente, que forma cadenas lineales dispuestas en forma helicoidal (cada 6 moléculas de glucosa se produce una vuelta de hélice); es soluble en agua y da lugar a dispersiones coloidales que con *yodo* se tiñen de color azul violáceo, casi negro (según la concentración).

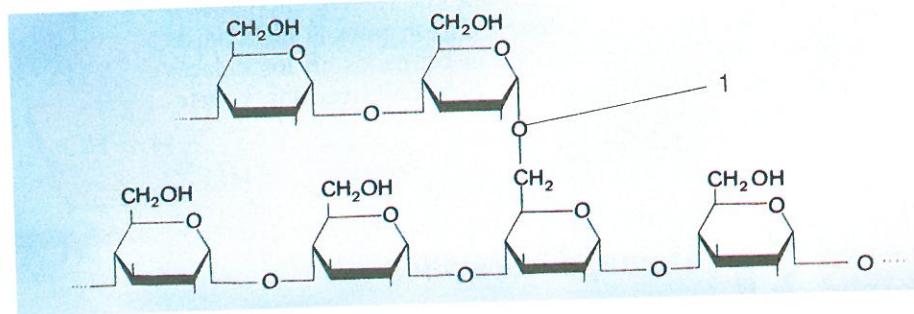


Almidón: estructura helicoidal de la amilosa.

La acción de las *amilasas* sobre la *amilopectina* suministra fragmentos de longitud intermedia llamados *dextrinas*; pero no atacan los núcleos de ramificación de la *amilopectina*, por lo que al finalizar la acción de las *amilasas* se obtiene un fragmento grande y muy ramificado denominado *dextrina límite*; sobre ellos sólo pueden actuar los *enzimas desramificantes* que hidrolizan específicamente los enlaces (1→6).

■ La amilopectina

También forma cadenas lineales y helicoidales de moléculas de α -D-glucosa unidas por enlaces (1→4), pero además presenta ramificaciones, una por cada 12 moléculas de glucosa (de 24 a 30 residuos de glucosa, según las especies), de tal forma que en el punto de ramificación las moléculas de α -D-glucosa se encuentran unidas por enlaces (1→6) (por esto en la hidrólisis de la *amilopectina* aparecen unidades de *maltosa* y de *isomaltosa*). Es un polímero insoluble en agua y con el *yodo* se tiñe de color rojo violáceo.

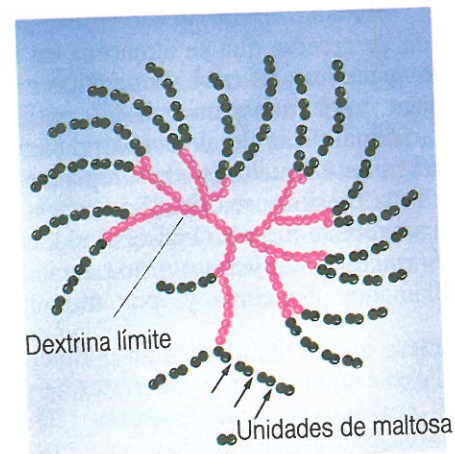


Estructura ramificada de la amilopectina: (1) enlace 1→6.

Las ramificaciones del glucógeno suponen una ventaja adaptativa encaminada a obtener rápidamente glucosa por hidrólisis del *glucógeno*. La hidrólisis enzimática comienza por los extremos no reductores (al final de cada ramificación), y cuanto más ramificado esté, más rápida será la degradación del glucógeno y el suministro de glucosa. Esto tiene especial interés para los animales, más activos que las plantas, que necesitan movilizar sus reservas energéticas en un menor período de tiempo.

6.2. Glucógeno

Es un polímero de α -D-glucosa y presenta una estructura parecida a la *amilopectina*, con la particularidad de que es aún mayor y se encuentra más ramificado, con cadenas más cortas y más numerosas (las ramificaciones se producen aproximadamente cada 8 moléculas de glucosa). Es el polisacárido de reserva de los animales y se localiza en el hígado y el músculo estriado.



Estructura ramificada del glucógeno.

6.3. Dextranos

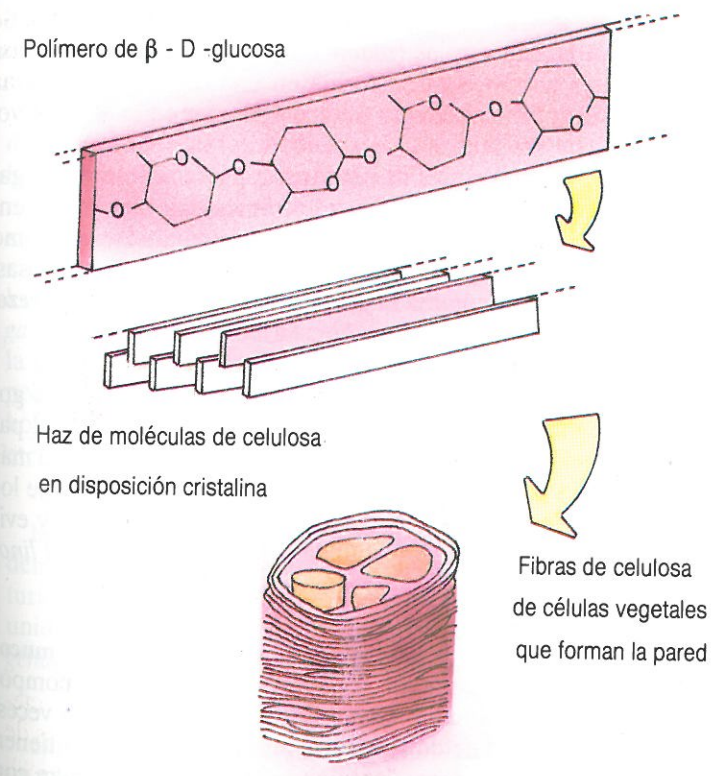
Son polisacáridos de reserva que se encuentran en las bacterias y las levaduras; aunque son también polímeros ramificados de α -D-glucosa, difieren de los anteriores en que el esqueleto lineal de la molécula está formado por moléculas de glucosa unidas por enlaces (1→6), mientras que las ramificaciones tienen lugar en posiciones (1→2), (1→3) o (1→4), según las especies.

6.4. Celulosa

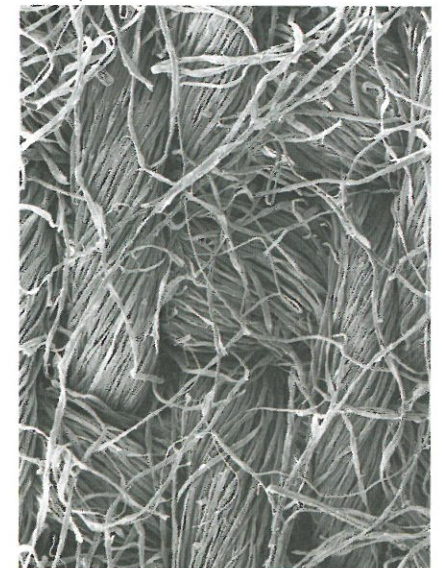
Es un polímero lineal de moléculas de β -D-glucosa unidas por enlaces (1→4) (la unidad que se repite es la *celobiosa*) que adopta la estructura helicoidal: una vuelta completa (un paso de hélice) se produce cada 4 moléculas de glucosa. Esta estructura sumamente apretada protege al enlace *O-glucosídico* de los ataques de numerosos reactivos y, como consecuencia, convierte a la celulosa en un polisacárido insoluble en agua y relativamente inerte; sólo puede ser hidrolizada por los enzimas segregados por determinados microorganismos, como los *protozoos* y las *bacterias simbiotas* que se alojan en el intestino de los animales herbívoros y de los insectos xilófagos (termites, etc.).

La *celulosa*, junto con la *hemicelulosa* (polímero de la xilosa y la arabinosa) y la *pectina* (polímero del ácido metil-galacturónico), forma la estructura de la *pared* o *membrana de secreción* de las células vegetales. El conjunto de polímeros de celulosa se asocia en haces y micelas que forman microfibrillas, cuya unión produce fibras dispuestas alrededor de la célula vegetal en capas o láminas de celulosa, de tal forma que la dirección de las fibras en una lámina es opuesta a la de la capa adjunta.

Las paredes de las células jóvenes son casi exclusivamente de *celulosa*, pero, a medida que envejecen, se impregnan de sustancias no glucídicas, como la *lignina*, la *suberina*, la *cutina* o diversos *minerales*.



Niveles de organización estructural en la celulosa: polímero, haces y fibras.



Fibras de celulosa en el algodón (microscopio electrónico de barrido).

Debido a su falta de reactividad química, la *celulosa* sólo es alimenticia para los organismos capaces de alimentarse con hierba y madera. Para el resto, incluido el hombre, la *celulosa* no es un nutriente porque no se digiere, pero resulta indispensable tomarla en la dieta (alimentos con fibra), debido a que su gran afinidad por el agua (se une por puentes de hidrógeno) facilita el tránsito del bolo fecal e impide el estreñimiento.

Pero a la vez, es esta misma inercia química la que convierte a la *celulosa* en un polisacárido eminentemente estructural; la peculiaridad de los enlaces (1→4) entre moléculas de *glucosa* de configuración β (de manera similar a como se verá más tarde en la *quitina*) permite una unión especial que, desde el punto de vista químico, es la mejor manera posible de construir cadenas capaces de asociarse y formar capas planas, superpuestas en las paredes vegetales.

La presencia del grupo amino ($-NH_2$) en la glucosamina explica la incorporación masiva de nitrógeno por parte de los artrópodos, que llegarían a agotar incluso las enormes reservas de la atmósfera de no ser por determinadas bacterias capaces de digerir la quitina de los cadáveres de los artrópodos y reincorporar el nitrógeno a los ciclos biogeoquímicos de la biosfera.

6.5. Quitina

Es un polímero de N-acetil-glucosamina en el que los enlaces (1→4) se establecen entre moléculas de configuración β . La peculiaridad de estos enlaces confiere características óptimas a la quitina para la formación del exoesqueleto de los insectos, las quetas y mandíbulas de anélidos y el caparazón de los crustáceos, donde se halla asociada al $CaCO_3$, que aumenta su dureza.



7 Heteropolisacáridos

Son polisacáridos en cuya composición intervienen dos o más clases de monosacáridos o derivados de monosacáridos distintos. Suelen desempeñar funciones estructurales, lubricantes o de defensa, aunque algunos ejercen otras, y abundan tanto en las plantas como en los animales.

■ En las plantas son componentes estructurales de la pared o membrana de secreción celular; entre ellos se encuentran:

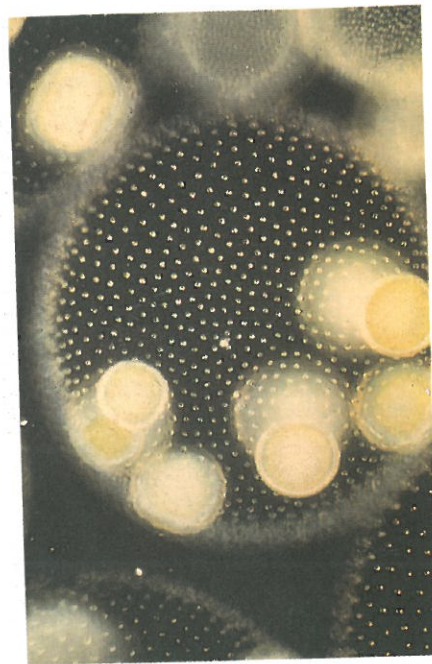
- **Hemicelulosa**, es un polímero de **xilosa**, **arabinosa** y otros azúcares.

- **Agar-Agar**, es un polímero de unidades de **D-** y **L-galactosa**, algunas de las cuales forman ésteres con el **ácido sulfúrico**. Se encuentra en las algas rojas (*rodoficeas*), y cuando se hierve con agua y se deja enfriar, se transforma en una especie de gelatina muy utilizada en microbiología para preparar medios de cultivo.

- **Gomas**, son polímeros de azúcares como la **arabinosa**, la **galactosa** y el **ácido glucurónico**. Se les atribuye una función defensiva frente a traumas externos o internos y salen al exterior como exudados vegetales en forma de lágrimas, perlas o masas rugosas. Presentan interés económico la **goma arábiga**, la **goma de cerezo**, la **goma de Tragacanto**, etc.

- **Mucilagos**, tienen una composición similar a la de las gomas, pero se diferencian en que no fluyen al exterior, pues al parecer desempeñan funciones de defensa interna. Su propiedad más característica es la de hincharse al contacto con el agua, lo que los convierte en sustancias apropiadas para lubricar las heces y evitar el estreñimiento (son muy abundantes en las *semillas del lino*, que se pueden masticar o tragar con agua).

■ En los animales estos polisacáridos se suelen denominar **mucopolisacáridos**. Tienen carácter ácido debido a que en su composición intervienen **aminoazúcares** y **ácidos urónicos** que, a veces, forman ésteres con el **ácido sulfúrico**, algunos también contienen átomos de silicio unidos covalentemente. Cuando se asocian con determinadas proteínas dan lugar a las **mucinas** o **mucoproteínas**. Los mucopolisacáridos más característicos son:

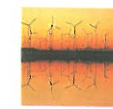


Colonia de Volvox.

- **Acido hialurónico**, se encuentra como sustancia cementante en el líquido tisular del tejido conjuntivo y como lubricante en el líquido sinovial; también aparece en el humor vítreo del ojo y en la cubierta de los ovocitos.

- **Condrotina**, es uno de los componentes principales de la sustancia intercelular del cartílago, los huesos y la córnea, donde actúa como sustancia cementante.

- **Heparina**, además de localizarse en el líquido tisular de varios tejidos (en el pulmón y el hígado fundamentalmente), tiene propiedades anticoagulantes de la sangre, por lo que se utiliza como fármaco para prevenir la trombosis; también abunda en las glándulas salivales de los animales *hematófagos* (sanguijuelas, vampiros, etc.) con el fin de impedir la coagulación de la sangre mientras la succionan.



8 Heterósidos

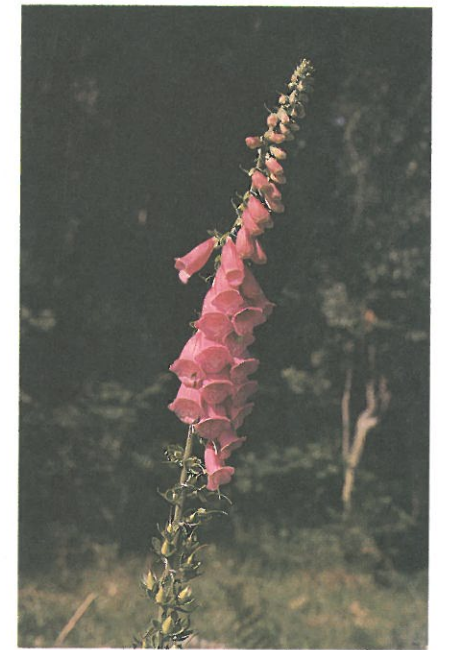
Son sustancias cuya estructura está formada por una parte *glucídica* (monosacáridos y derivados) y otra *no glucídica*, llamada *aglucon* o *genina*, que puede ser de naturaleza variada (alcoholes, fenoles, esteroides, compuestos antracénicos, flavónicos, antocianicos, etc.). Si el aglucon es de naturaleza lipídica, se denominan **glucolípidos**, y si es una proteína, **glucoproteínas**. A continuación se describen los principales grupos de **heterósidos**:

a) Muchos **heterósidos** forman parte de los **principios activos de numerosas plantas medicinales**, que, en dosis adecuadas, se utilizan como fármacos, pero pueden llegar a ocasionar intoxicaciones graves, e incluso mortales. Entre ellos cabe citar a los **heterósidos cardiotónicos**, presentes en las hojas de *Digitalis purpurea*, en los bulbos de *Scilla marítima* y en las semillas de *Estrofantio*; los **heterósidos cianogénicos**, presentes en las *almendras amargas*, cuya ingestión libera ácido cianhídrico, que puede ser mortal; la **glicirrina**, existente en la raíz del *regaliz*, que posee acción expectorante y antiinflamatoria; los **heterósidos antracénicos** de la hoja de *Sen* o la corteza de *Arraclán*, que son potentes laxantes, etc.

b) En este sentido, los **ácidos nucleicos** (ADN y ARN) pueden considerarse como derivados glucoconjugados, pues su estructura consta de moléculas de **ribosa** (ARN) o **desoxirribosa** (ADN) unidas por puentes de ácido fosfórico, en las que las *bases nitrogenadas* (A, G, C, T o U) serían el *aglucon*.

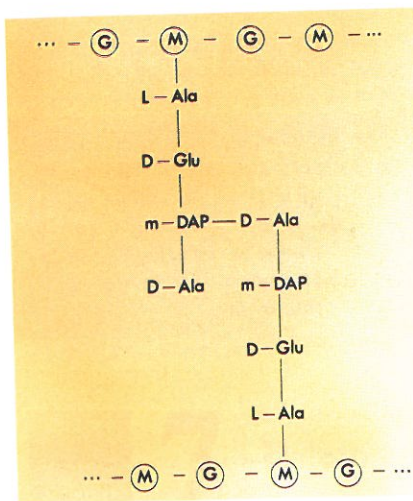
c) Los **glucolípidos**, que presentan una parte lipídica unida a un oligosacárido complejo, son componentes de las membranas celulares, como los **gangliósidos** y los **cerebrósidos**, que se estudiarán más adelante.

La fecundación se produce cuando el espermatozoide libera hialuronidasa, un enzima que rompe los enlaces del ácido hialurónico, con lo que disminuye la viscosidad de la cubierta y el espermatozoide puede penetrar en el óvulo.



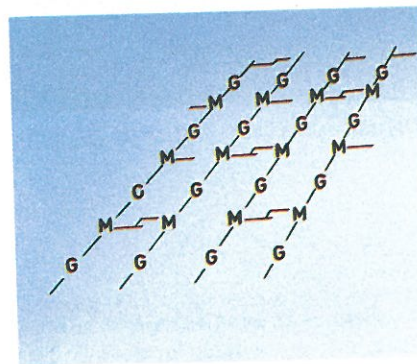
Digitalis.

Algunos de estos **heterósidos** se denominan **saponósidos**, a causa de la propiedad que tienen de formar espuma como los jabones cuando se agitan con agua (sus *aglicones* se llaman *sapogeninas*).



Estructura molecular de un peptidoglicano (G: N-acetil glucosamina, y M: N-acetil murámico); ambas cadenas se unen mediante fragmentos peptídicos.

Algunos antibióticos, como las *penicilinas* y las *cefalosporinas*, inhiben el crecimiento bacteriano porque impiden la formación del peptidoglicano, pues los enzimas que catalizan la síntesis del peptidoglicano tienen mayor afinidad por estos antibióticos que por su sustrato natural (el fragmento *alanina-alanina* unido al ácido N-acetil-murámico), debido a su similitud estructural.



Estructura espacial de un peptidoglicano: las cadenas formadas por secuencias alternantes -G-M-G-M- se unen mediante enlaces peptídicos.

d) Las **glucoproteínas** se caracterizan, bien por el tipo de proteína, o bien por las diferentes proporciones entre la fracción glucídica y la fracción proteica que intervienen en su composición; entre ellas se encuentran las siguientes:

■ Los **peptidoglicanos** son constituyentes de la pared bacteriana y están formados por un armazón de naturaleza polisacárida, en la que largas cadenas, originadas por la repetición de unidades alternantes de **N-acetil glucosamina** y **ácido N-acetil-murámico**, se unen y entretejen mediante enlaces peptídicos establecidos entre los aminoácidos de su pequeña fracción proteica (cada unidad monosacárida está unida a un corto fragmento peptídico).

En las bacterias *Gram positivas*, además de los **peptidoglicanos**, se encuentran también en la composición de la pared bacteriana los **ácidos teicoicos**, que son polímeros de un polialcohol, glicerol (**ácidos glicerolteicoicos**) o ribitol (**ácidos ribitolteicoicos**), unidos por enlaces fosfodiéster, y tienen ocupados algunos de sus -OH alcohol por aminoácidos y monosacáridos.

■ Las **mucoproteínas**, o **mucinas**, se caracterizan por poseer una abundante *fracción glucídica* de naturaleza mucopolisacárida. Frecuentemente el azúcar terminal de la cadena polisacárida es una molécula de **ácido siálico** (derivado de un monosacárido de nueve átomos de carbono llamado **ácido neuramínico**), responsable de la elevada viscosidad de estos heterósidos. Las mucinas son excretadas en los tractos respiratorio (mucus), digestivo (lubrifican el bolo alimenticio) y urogenital (taponan el cuello del útero para impedir la invasión bacteriana y lubrican la vagina durante el coito y el parto), y también se encuentran como lubricantes en el globo ocular y las articulaciones (líquido sinovial).

■ Otras **glucoproteínas** desempeñan funciones diversas, como las **hormonas gonadotropinas** de la hipófisis, las **glucoproteínas séricas** de la sangre o determinados **enzimas digestivos**.

■ Por su especial importancia destacaremos las **glucoproteínas estructurales de la membrana plasmática**.

Aparte de la función estructural que desempeñan las **glucoproteínas** y los **glucolípidos** en la construcción de las membranas celulares, interesa resaltar el papel que cumplen los azúcares de la superficie celular como *marcadores biológicos* y *lugares de reconocimiento celular*; es decir, son capaces de originar compuestos altamente específicos que actúan como transportadores de información biológica, propiedades que hasta hace poco se creían reservadas a las proteínas y los ácidos nucleicos.

Si se considera a los monosacáridos como las letras con las que pueden escribirse infinidad de palabras, cada una de ellas, es decir, cada polímero dotado de una secuencia de monosacáridos específica, se puede formar por variación de la naturaleza de los azúcares que la componen, por modificación del tipo de enlace o por la presencia o ausencia de ramificaciones en la cadena.

● Esta *especificidad* biológica de los **azúcares** asociados a las **proteínas** o a los **lípidos** de la membrana plasmática se manifiesta en las siguientes funciones:

— Se comportan como **determinantes antigénicos**, o sea, zonas de la superficie celular capaces de estimular la síntesis de anticuerpos.

— Determinan el *tiempo de vida de las glucoproteínas de la sangre*. Se ha comprobado que si se eliminan las unidades terminales de **ácido siálico** de numerosas glucoproteínas, quedan al descubierto las unidades de **galactosa** que se encontraban en la posición penúltima, las cuales actúan como marcadores de reconocimiento para su eliminación por el hígado (este proceso ocurre cuando la proteína ha completado su ciclo vital y ha envejecido).

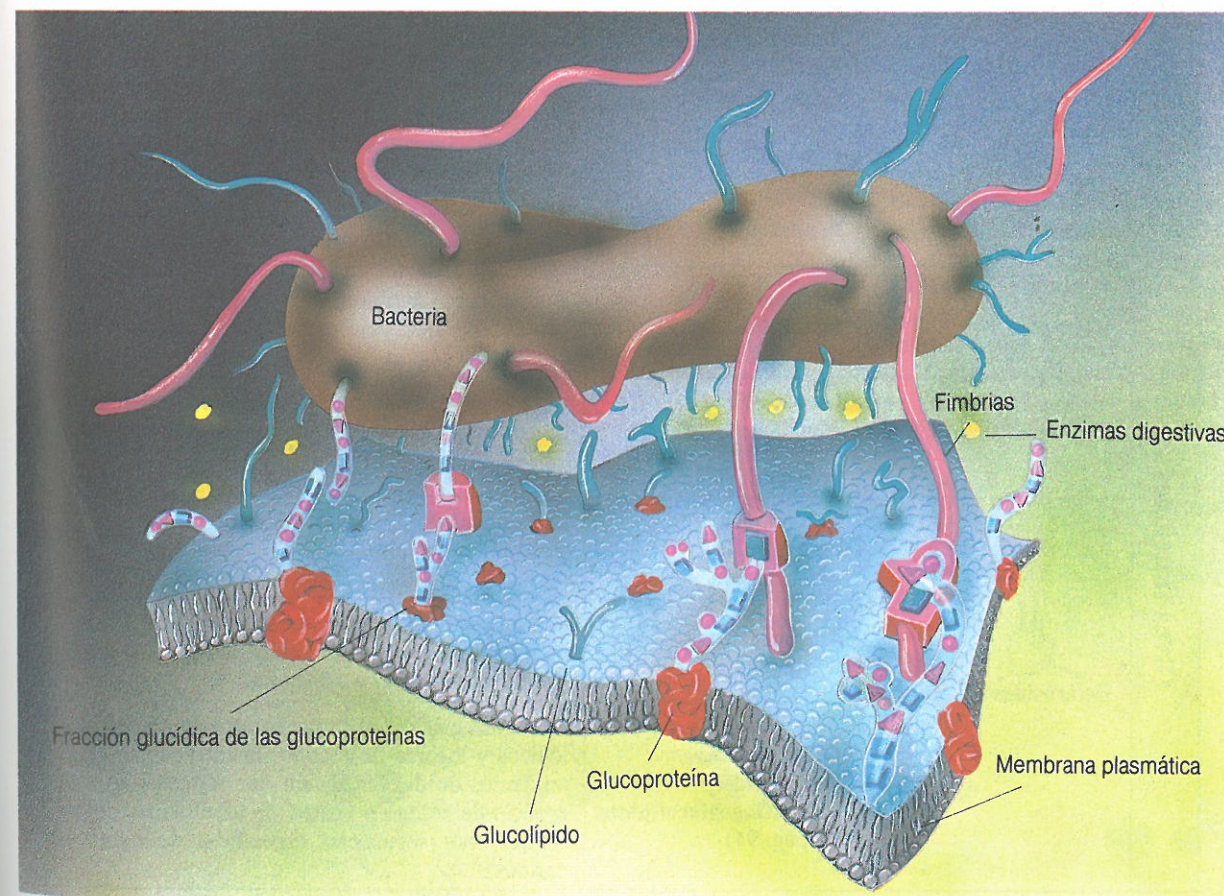
— Influyen en el *tiempo de vida de las células que circulan por la sangre*. Ha podido observarse, por ejemplo, que la pérdida del monosacárido **fucosa** ocasiona la destrucción de los linfocitos, y la disminución del **ácido siálico** en la superficie de los eritrocitos es la señal para su eliminación del sistema circulatorio.

— Los azúcares de la superficie celular *actúan como receptores* o *lugares de anclaje* de bacterias y virus, y esta adherencia a los tejidos supone el paso previo a la infección.

Estas nuevas ideas sobre la función de los hidratos de carbono aparecen resumidas en las siguientes palabras del investigador **Nathan Sharon**: «Una idea en la que se apoyan muchos de los recientes hallazgos es la de que los monosacáridos puedan servir, al igual que los nucleótidos y los aminoácidos, de palabras codificadoras en el lenguaje molecular de la vida; en otros términos, la especificidad de muchos compuestos normales está escrita en una *secuencia de monosacáridos*.»

Como ejemplo de lo anterior, puede señalarse que la especificidad de los **grupos sanguíneos** del sistema **ABO** está en función del tipo de monosacárido de la superficie de los eritrocitos: la sangre del **grupo A** tiene el monosacárido **acetilgalactosamina** como azúcar terminal de una cadena de glucoproteína o glucolípidos; la del **grupo B** posee galactosa, y la del **grupo O** carece de ambos azúcares.

Adherencia de una bacteria en la membrana plasmática de una célula.

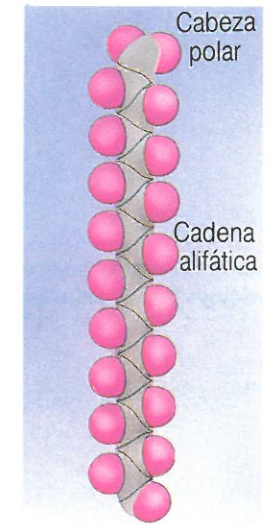


Función energética	Monosacáridos	Glucosa Fructosa Galactosa	Son los principales compuestos donde se retiene la energía solar obtenida mediante la fotosíntesis, para su conversión posterior en otras formas utilizables por los organismos vivos no fotosintéticos; se comportan como combustibles metabólicos, ya que la célula los utiliza para extraer la energía de sus enlaces mediante la respiración celular.
	Disacáridos	Sacarosa Lactosa	Sirven como reservas de energía de rápida utilización.
	Homopolisacáridos	Almidón Glucógeno Dextranos	Son polímeros de reserva en plantas, animales y microorganismos, respectivamente, y constituyen un sistema perfecto para acumular gran cantidad de moléculas de glucosa en el interior de la célula, sin que por ello aumente en exceso la presión osmótica.
Función estructural	Monosacáridos	Ribosa Desoxirribosa	Forman parte de la estructura de los ácidos nucleicos (ARN y ADN).
	Homopolisacáridos	Celulosa	Constituye la pared de celulosa o membrana de secreción de las células vegetales.
		Quitina	Forma el exoesqueleto de los insectos, las quetas y mandíbulas de los anélidos y el caparazón de los crustáceos (asociada al CaCO ₃).
		Pectina	Forma la lámina péctica que mantiene la cohesión entre las células vegetales.
	Heteropolisacáridos	Hemicelulosa	Junto con la celulosa, forma la pared de las células vegetales.
		Agar-Agar	Forma estructuras en las algas.
	Heterósidos	Peptidoglicanos	Intervienen en la formación de la pared bacteriana.
Otras funciones	Oligosacáridos	Aminoglucósidos (estreptomina, neomicina, etc.)	Actúan como antibióticos y agentes antitumorales producidos por determinados microorganismos.
	Heteropolisacáridos	Gomas Mucílagos	Actúan como sistemas de defensa interna y externa contra los traumatismos y las agresiones.
		Heparina	Es una sustancia anticoagulante de la sangre.
	Heterósidos	Heterósidos cardiotónicos, antracénicos, etc.	Constituyen los principios activos de numerosas plantas medicinales.
		Mucoproteínas o mucinas	Son lubricantes y ejercen una acción antibacteriana en las secreciones mucosas de los tractos respiratorio, digestivo y urogenital.
		Glucoproteínas Glucolípidos (ver esfingoglucolípidos en pág. 94)	Las zonas glucídicas actúan como marcadores biológicos y lugares de reconocimiento celular. Son antígenos de diferenciación que representan una especie de código o «carné de identidad» (determinado por secuencias específicas de monosacáridos).

9 Lípidos

Constituyen una variedad de moléculas orgánicas bastante heterogénea, tanto desde el punto de vista estructural como por la diversidad de funciones que desempeñan, pero todos ellos tienen una característica común, la de ser relativamente insolubles en agua, aunque son solubles en otros disolventes orgánicos, como el cloroformo, el éter o el benceno, que se utilizan para extraerlos de las células y los tejidos. Existen diferentes clasificaciones de los lípidos; una de ellas basada en su estructura molecular, los divide en tres grupos:

- **Ácidos grasos:**
- **Lípidos saponificables** (poseen enlaces éster que producen jabones por hidrólisis alcalina), que comprenden a los acilglicéridos (o grasas), las ceras y los lípidos complejos (glicerolípidos y esfingolípidos).
- **Lípidos insaponificables** (carecen de enlaces éster), que agrupan a los terpenos, los esteroides y las prostaglandinas.



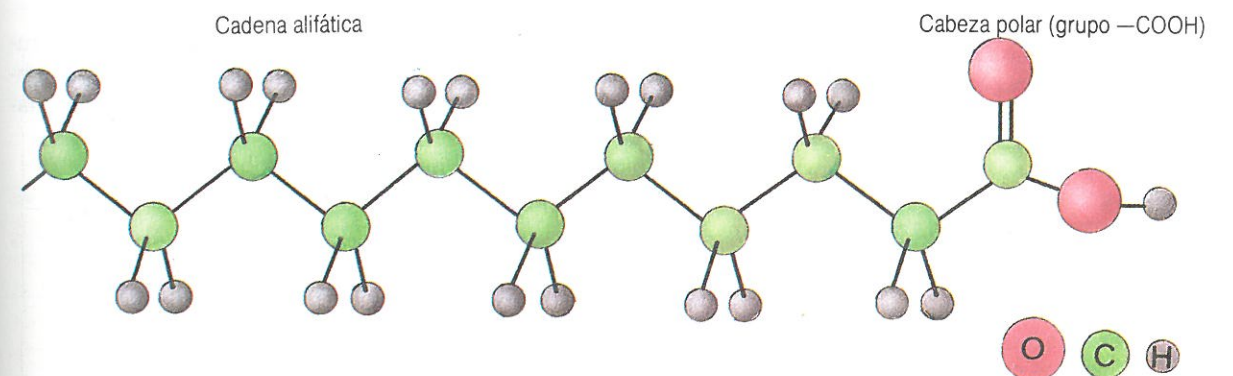
Modelo de ácido graso saturado.

10 Ácidos grasos

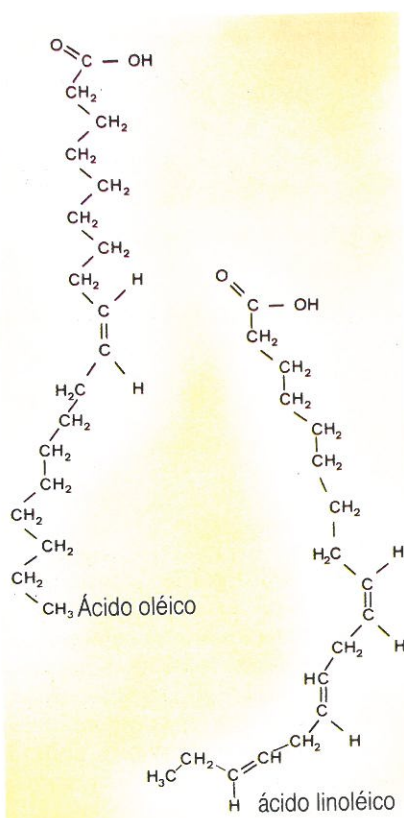
Son ácidos orgánicos (monocarboxílicos) que poseen una cadena hidrocarbonada (alifática), más o menos larga, lineal y con un número par de átomos de carbono; aunque también existen algunos con cadena ramificada o un número impar de átomos de carbono. Las dos características diferenciales de los ácidos grasos son: la longitud de la cadena alifática y la presencia de dobles enlaces (*insaturaciones*) en la molécula. En función de estos dobles enlaces se dividen en:

■ **Saturados**, cuando carecen de dobles enlaces; por ejemplo, el **ácido palmítico**, que abunda en las grasas animales y en la manteca de cacao.

Los ácidos grasos, generalmente, no aparecen libres en la naturaleza, sino formando ésteres en otros lípidos (fundamentalmente en los saponificables). Lo que varía de un ácido graso a otro es la **cadena carbonada** (representada por *R*), pues todos poseen el **grupo carboxilo** (*R-COOH*).



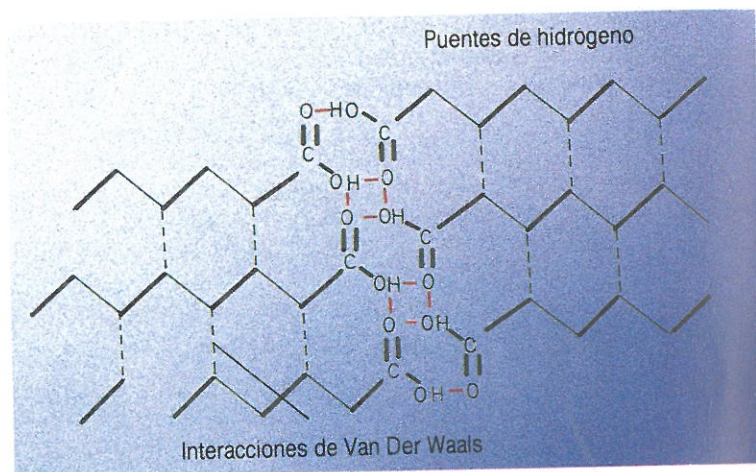
Interacciones entre las zonas apolares y polares de los ácidos grasos saturados.



Como puede observarse, la presencia del doble enlace en posición *cis* (que es la más extendida en la mayoría de los ácidos grasos *insaturados* de la naturaleza) obliga a formar un quiebro en la cadena, lo que explica que las cadenas de los ácidos grasos saturados sean rectas y las de los *insaturados* dobladas. Esta diferente configuración geométrica va a influir notablemente en su forma de empaquetamiento, es decir en las interacciones que se establezcan entre ellos, y, por tanto, en el *punto de fusión* de los compuestos en que participan.

■ **Insaturados**, cuando presentan uno o más dobles enlaces en la cadena carbonada, como, por ejemplo, el **ácido oleico**, que tiene un doble enlace de configuración *cis* entre los carbonos 9 y 10 y se encuentra en el aceite de oliva:

Cuando poseen varios dobles enlaces se denominan ácidos grasos **poliinsaturados**; tres de ellos, el **ácido linoleico**, el **linolénico** y el **araquidónico**, reciben el nombre de **ácidos grasos esenciales** para el hombre y otros animales, pues, al igual que las vitaminas (antiguamente se llamaron **vitamina F**), son imprescindibles para el normal funcionamiento del organismo, y como no se pueden sintetizar, deben ingerirse con la dieta. Son precursores de las **prostaglandinas**, cuya función es análoga a la de las hormonas, y lo contienen los aceites de semillas (maíz, girasol, etc.) y las grasas de los pescados azules, como, por ejemplo, el salmón.

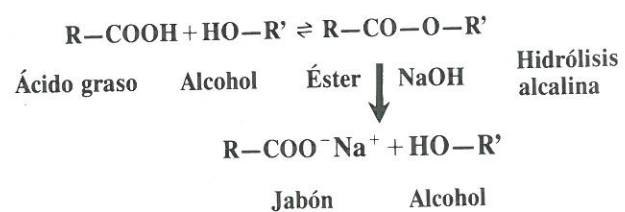


■ Propiedades fisicoquímicas de los ácidos grasos

Las moléculas de los ácidos grasos tienen una *zona apolar* insoluble en agua, la cadena alifática (R), y otra *zona polar* que reside en el grupo carboxilo, disociable en el medio acuoso como cualquier ácido débil: $R-COOH \rightleftharpoons R-COO^- + H^+$.

Mientras que la carga negativa del anión $-COO^-$ interacciona con las moléculas de agua (*interacción ión-dipolo*), las cadenas alifáticas establecen interacciones de tipo *Van der Waals* entre los grupos metilenos ($-CH_2-$) de diferentes cadenas.

Los **ácidos grasos** son capaces de formar enlaces *éster* con grupos **alcohol** de otras moléculas, y al hidrolizarse con álcalis se obtienen las sales de los ácidos grasos correspondientes, denominadas **jabones**:

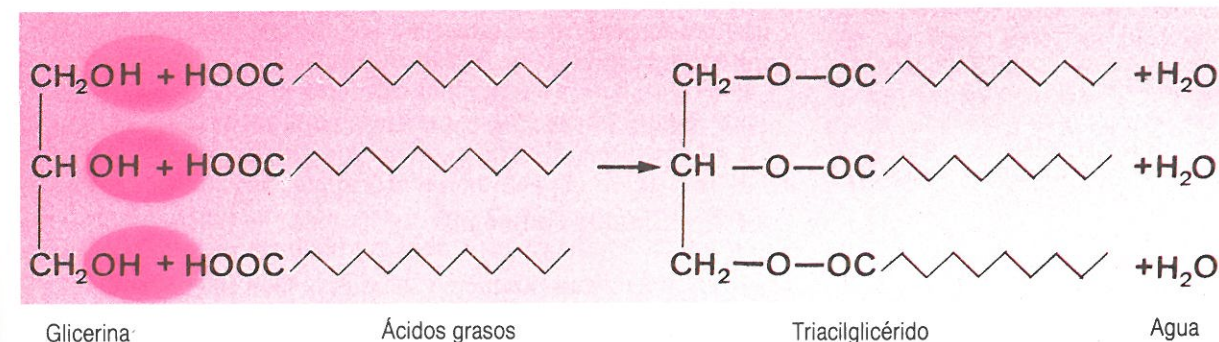


11

Lípidos saponificables

11.1. Acilglicéridos: triacilglicéridos o grasas

Resultan de la esterificación de una molécula de **glicerina** con una, dos o tres moléculas de **ácidos grasos**, que da lugar, respectivamente, a los **monoacilglicéridos**, **diacilglicéridos** o **triacilglicéridos** (también llamados **triglicéridos** o **grasas**).



■ Son **sustancias de reserva energética** que se almacenan en las vacuolas de las células vegetales (sobre todo en los frutos y semillas de las *plantas oleaginosas* y en los adipocitos del *tejido adiposo* de los animales. Los depósitos de grasa subcutáneos sirven también para conservar el calor del cuerpo y como almohadilla protectora frente a golpes y contusiones.

Es especialmente interesante un tipo particular de *tejido adiposo*, denominado *pardo* o *marrón*, que se distribuye en forma de pequeños depósitos entre los omóplatos, las axilas, la nuca, etc., de los animales que viven en climas fríos, sobre todo en aquellos que hibernan; también en el hombre se ha descubierto este tipo de grasa en la nuca, especialmente entre los habitantes de regiones sometidas a climas fríos.

■ El **punto de fusión de las grasas** es una propiedad dependiente de la longitud de la cadena de los ácidos grasos que posee, así como de su grado de insaturación. Las grasas que contienen ácidos insaturados o de cadena corta, o ambas cosas a la vez, son *líquidos* volátiles u oleosos, pues cuanto más corta es la cadena alifática menos interacciones de *Van der Waals* se establecen entre los grupos metilenos ($-CH_2-$) y menor es su punto de fusión.

La presencia de dobles enlaces también disminuye el punto de fusión, ya que los ácidos grasos saturados de cadena recta interactúan mejor y forman un empaquetamiento más compacto que disminuye la fluidez de las grasas; por el contrario, la presencia de insaturaciones origina cadenas dobladas que tienden a hacer menos denso el agrupamiento y, por tanto, a disminuir su punto de fusión, porque es preciso romper un menor número de enlaces de *Van der Waals* existentes entre las cadenas.

Formación de una molécula de triacilglicérido a expensas de glicerina y tres moléculas de ácidos grasos.

El *tejido adiposo pardo* supone una adaptación al frío, pues su combustión no suministra ATP como el resto de los carburantes metabólicos, sino que origina energía exclusivamente en forma de calor (las reacciones de oxidorreducción de la mitocondria están disociadas de la síntesis de ATP).

M. Hoagland resume así la importancia relativa de las grasas: «Aunque tener el cuerpo lleno de rodetes de grasa sea, en la mayoría de las situaciones, una desventaja, cuando se naufraga en el Atlántico Norte, el mar se erige en el juez del valor de la obesidad. El veredicto del Atlántico es que la obesidad tiene un valor de supervivencia: es bueno ser gordo.»

Los aceites de semillas se extraen con disolventes orgánicos y necesitan una serie de etapas posteriores de refinado que eliminan la *vitamina E*, por lo que se oxidan con facilidad (se enrancian). El aceite de oliva, sin embargo, cuando es virgen contiene *vitamina E* suficiente para protegerse de la oxidación. Se denomina *virgen* cuando se extrae de la aceituna por presión en frío y es el de mejor calidad; cuando se extrae con calor o con disolventes necesita también una serie de procesos para eliminar impurezas, y se llama entonces aceite de oliva refinado; la mezcla de aceites de oliva virgen y refinado recibe el nombre de aceite puro de oliva.

■ Clasificación de las grasas.

Según el punto de fusión, las grasas se dividen en:

- **Aceites:** Son grasas líquidas. Se encuentran en las plantas oleaginosas, bien en el fruto (por ejemplo, el aceite de oliva), o en la semilla (aceite de girasol, maíz, soja, sésamo, lino, etc.). La fluidez de estas grasas se debe a su gran contenido en ácidos grasos mono y poliinsaturados. También las grasas del pescado, sobre todo el azul, son muy ricas en ácidos grasos poliinsaturados.

- **Mantecas:** Son semisólidas, como la grasa de cerdo (cuando estos animales se alimentan con bellotas generan grasas más fluidas que son más apreciadas para el consumo y, por tanto, alcanzan mayor precio).

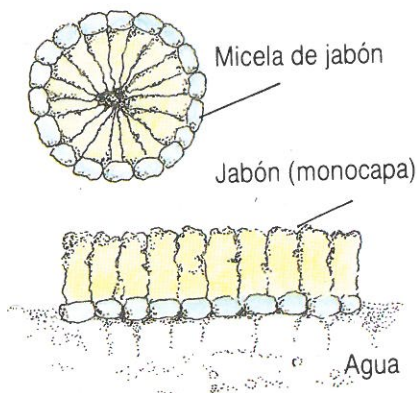
- **Sebos:** Son sólidas, como la grasa de buey, carnero y cabra.

11.2. Lípidos complejos

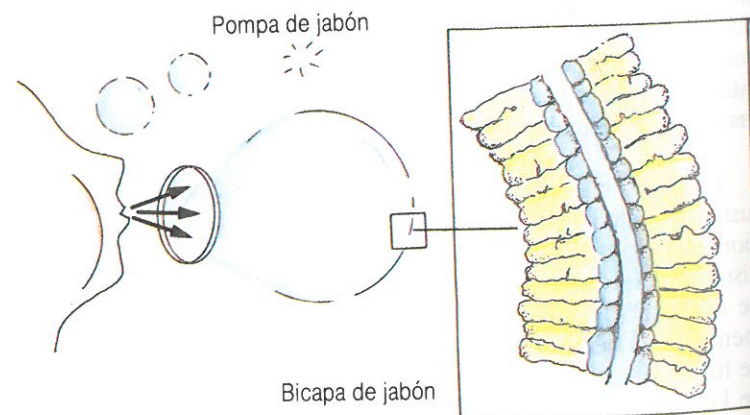
Se caracterizan porque en su composición intervienen sustancias lipídicas y otros componentes no lipídicos (alcoholes, glúcidos, ácidos inorgánicos, derivados aminados, etc.). La estructura general de todos ellos responde a la de una molécula que posee una zona hidrófoba (apolar) formada por un alcohol, que puede ser la *esfingosina* o la *glicerina*, al que se unen, respectivamente, una o dos moléculas de ácidos grasos, y otra zona hidrófila (polar) originada por los componentes no lipídicos. En función del tipo de alcohol que contiene la molécula, se distinguen dos clases de lípidos complejos: glicerolípidos (contienen glicerina) y esfingolípidos (contienen esfingosina).

■ Glicerolípidos: gliceroglucolípidos y glicerofosfolípidos

- **Gliceroglucolípidos.** Se caracterizan por tener una molécula de glicerina que cuenta con dos grupos alcohol esterificados con dos ácidos grasos y el tercer grupo alcohol forma un enlace *O-glucosídico* con un monosacárido. Se encuentran en las membranas de bacterias y plantas.



Estructuras formadas por el jabón en solución acuosa: las zonas polares interactúan con el agua cuando forman una monocapa.



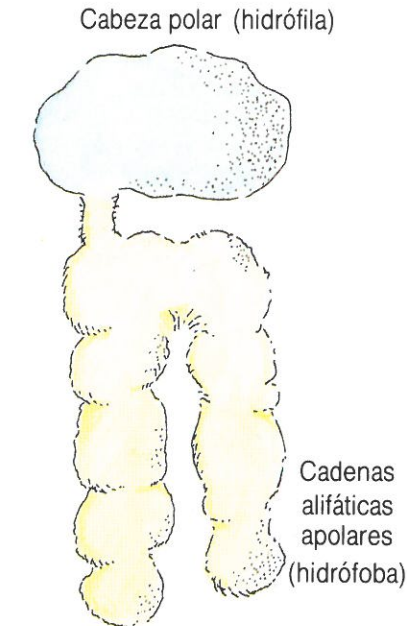
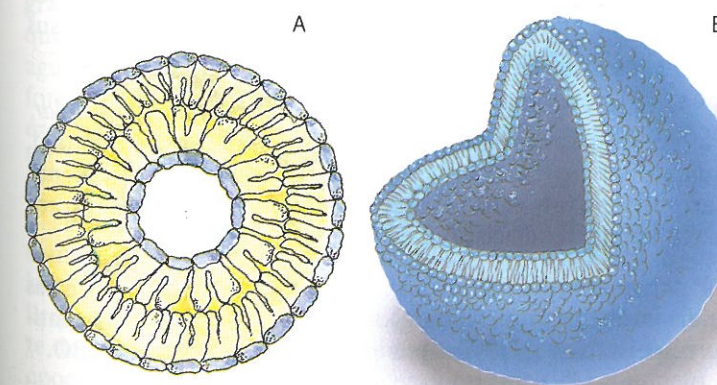
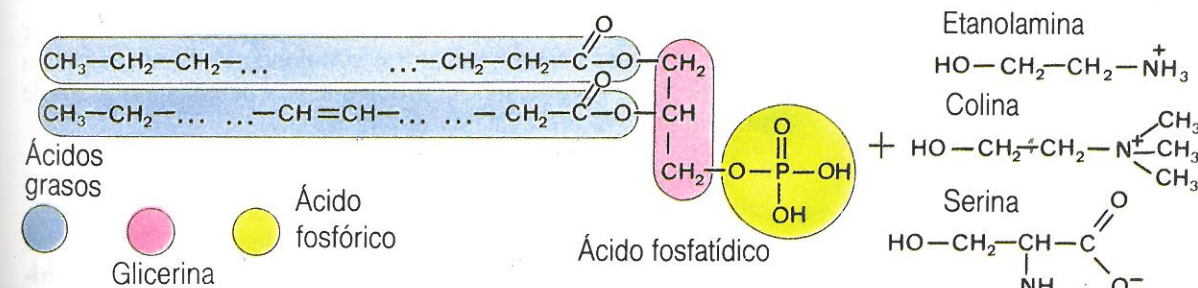
Sección esquemática de una pompa de jabón: las cadenas hidrofóbicas se disponen hacia el exterior, mientras que las cabezas polares se empaquetan en el interior de la bicapa.

- **Glicerofosfolípidos** (denominados vulgarmente fosfolípidos). Todos ellos responden a la estructura general derivada del ácido fosfatídico, que se forma por la esterificación de dos grupos alcohol de la glicerina (posiciones 1 y 2) con dos moléculas de ácidos grasos (generalmente el ácido graso de la posición 2 es insaturado), mientras el tercer grupo alcohol de la glicerina se encuentra esterificado con una molécula de ácido ortofosfórico.

Los diferentes fosfolípidos se derivan del ácido fosfatídico según sean los sustituyentes que se unen al grupo fosfato. Así, se obtienen los siguientes derivados: fosfatidil etanolamina, fosfatidil colina (o *lecitina*), fosfatidil serina y fosfatidil inositol.

Todos ellos son componentes estructurales de las membranas biológicas (ver pág. 183), cuya formación se debe al comportamiento particular que tienen estas moléculas en medios polares acuosos. El agua es un líquido estructurado y sus moléculas son dipolos que interaccionan entre sí y con otros grupos cargados o polarizados, como, por ejemplo, la región hidrófila de los fosfolípidos; sin embargo, la región apolar no interacciona con el agua y, como perturba su estructura, tiende a ser expulsada de la fase acuosa, lo que determina su insolubilidad.

Este efecto hidrófobo es el responsable de su ensamblaje en forma de una doble capa lipídica, en la que los fosfolípidos se orientan con sus cabezas polares hacia el medio acuoso y sus regiones apolares hacia el interior, enfrentadas entre sí.



Modelo de glicerofosfolípido.

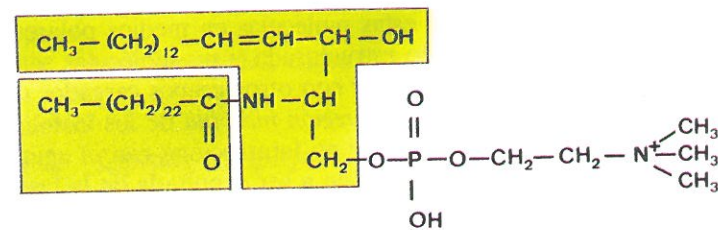
Clases de glicerofosfolípidos.

Modelo de liposoma (A) y de membrana biológica (B): en ambos casos los fosfolípidos se disponen en una bicapa con las cabezas polares hacia el exterior y las cadenas apolares hacia el interior.

El prefijo *esfingo* lo introdujo por primera vez en 1874 el investigador *Thudichum* por analogía con la mítica *Esfinge* que aterrorizó a la ciudad de Tebas y devoraba a todos aquellos que no acertaban a resolver sus enigmas, en referencia a que las funciones de estos lípidos constituían, y en algunos casos siguen constituyendo, un enigma.

■ Esfingolípidos: esfingofosfolípidos y esfingoglucolípidos.

● **Esfingofosfolípidos.** Todos ellos poseen una estructura derivada de la **ceramida**, un lípido que resulta de la unión, mediante enlace *amida*, entre un aminoalcohol insaturado llamado **esfingosina** y una molécula de un **ácido graso**. Este compuesto tiene dos colas apolares, semejantes a los fosfolípidos, y un grupo hidroxilo que forma un enlace éster con una molécula de **ácido ortofosfórico**; a su vez, este grupo fosfato es capaz de unirse a otros compuestos, y cuando lo hace con la **colina** o la **etanolamina** se originan las **esfingomielinas**, que son muy abundantes en el tejido nervioso, donde forman las *vainas de mielina* que recubren a los axones de determinadas neuronas (fibras miélicas).



Esfingomielina.

● **Esfingoglucolípidos.** Constituyen una familia compleja de lípidos que resultan de la unión, mediante enlace *O-glucosídico*, entre la **ceramida** y un conjunto de **monosacáridos**, entre los que se encuentran la **glucosa**, **galactosa**, **N-acetilglucosamina**, **N-acetilgalactosamina**, **fucosa** y **ácido siálico**.

El más simple, denominado **cerebrósido**, sólo tiene una molécula de azúcar (glucosa o galactosa) unida a la ceramida. Los demás presentan una cadena oligosacárida que queda definida por la *secuencia* de los monosacáridos componentes, bien sea por la naturaleza de los azúcares, el orden que guardan, la naturaleza de sus enlaces o la presencia de ramificaciones.

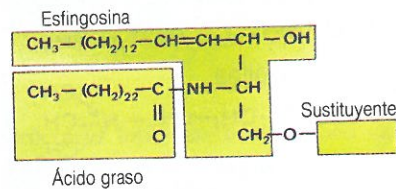
Es en estas *secuencias* diferentes, similares a las que poseen las cadenas glucídicas de las **glucoproteínas**, donde reside la *especificidad* de sus funciones (algunas de las cuales son idénticas a las desempeñadas por las **glucoproteínas de la membrana citoplásmica**), como, por ejemplo:

— *Aumentan la rigidez de la matriz fosfolipídica*, ya que se localizan fundamentalmente en la membrana citoplásmica, con sus zonas glucídicas dirigidas hacia afuera.

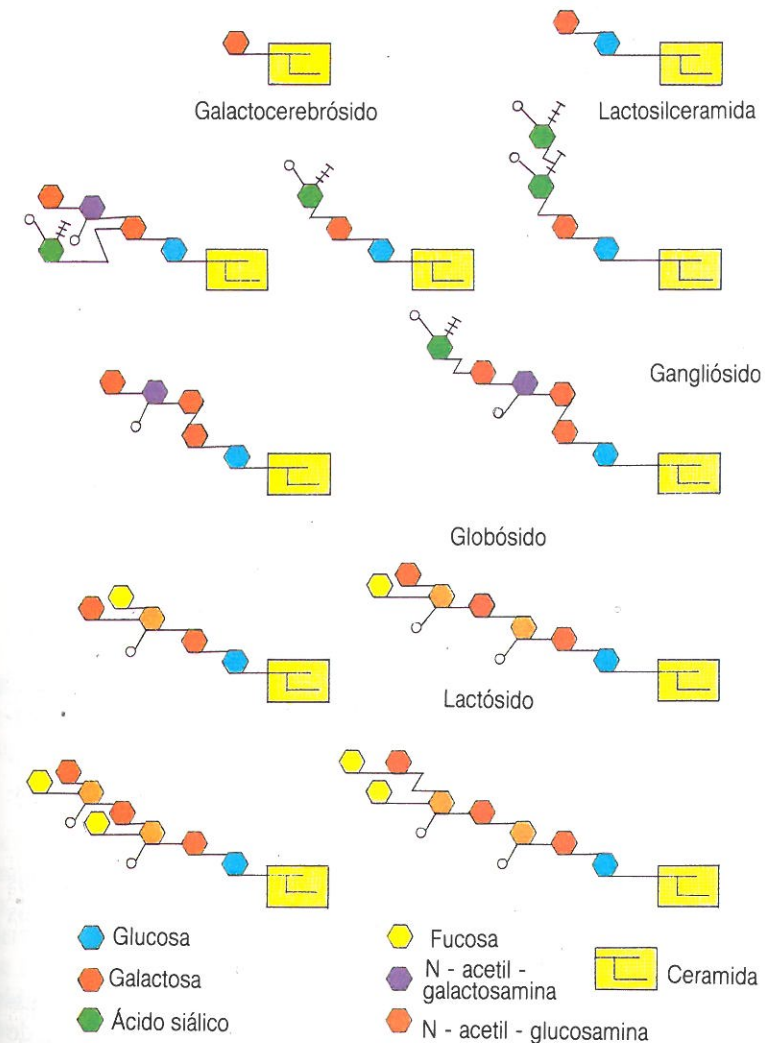
— *Regulan el proceso de crecimiento y diferenciación celular*, pues al detectar la densidad de células similares en su vecindad, estimulan o inhiben la mitosis según la necesidad de crecimiento y desarrollo de los tejidos (el crecimiento de las células cancerosas está claramente asociado a esfingolípidos alterados).

— *Actúan como antígenos de membrana*, marcando diferencias entre distintos tipos de células (por ejemplo, constituyen los antígenos responsables de los **grupos sanguíneos del sistema ABO**).

— *Son lugares de anclaje* de toxinas, virus y microorganismos, y es esta adherencia el paso previo que desencadena la infección.



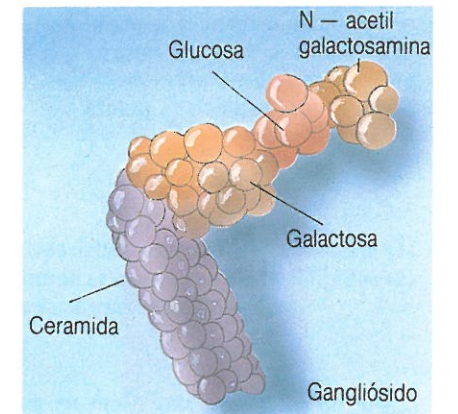
Ceramida.



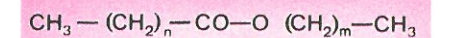
11.3. Ceras

Son compuestos resultantes de la esterificación de un **ácido graso** de cadena larga con un **alcohol** de elevado peso molecular que, debido a su naturaleza sólida y a su marcada insolubilidad en agua, actúan como impermeabilizantes en los recubrimientos que forman en la piel, pelo y plumas de los animales y cutícula del exoesqueleto de los insectos, así como en la capa protectora de los frutos, hojas y tallos jóvenes en las plantas.

Entre las ceras más conocidas se encuentran la **cera de abeja**, compuesta por ésteres del **ácido palmítico** y **alcoholes** de cadena larga (entre 26 y 34 átomos de carbono), que es la sustancia con la que construyen los panales; la **lanolina** o grasa de oveja; el **aceite de esperma** producido por el cachalote, que se utilizó en otras épocas como lubricante excelente; el **cerumen** del conducto auditivo, etc.



La variabilidad estructural de la **ceramida** y las diferentes secuencias de azúcares da lugar a tres series de **esfingoglucolípidos**, denominadas **globósidos**, **gangliósidos** y **lactósidos**. Su estructura molecular posee una geometría que recuerda una *L*: uno de sus brazos (hidrófilo) está formado por la cadena de azúcares, y el otro (hidrófobo), por la ceramida.



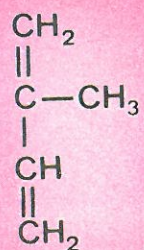
Cera.



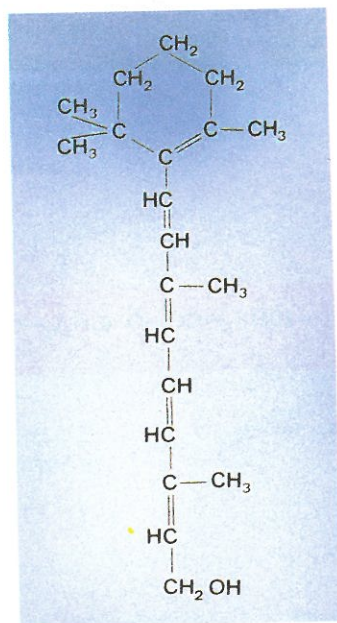
12

Lípidos insaponificables

Los **terpenos** de las plantas adaptadas al clima mediterráneo (con veranos secos y muy calurosos), como, por ejemplo, la jara, el tomillo, el romero, el espliego, etc., cumplen una función reguladora de la temperatura. Por un lado, su aspecto aceitoso y brillante, al recubrir las hojas, refleja parte de las radiaciones solares; por otro lado, al ser compuestos muy volátiles, se evaporan, lo que provoca una disminución de la temperatura alrededor de la planta.



Isopreno.



Vitamina A₁: retinol.

12.1. Terpenos

Son una familia de sustancias que responden a la estructura general derivada de la polimerización del **isopreno** (2-metil-1,3-butadieno) y presentan una gran diversidad, tanto en el aspecto estructural como en las funciones que desempeñan, entre las que destacan las siguientes:

■ La mayoría de las **esencias vegetales** son de naturaleza terpénica: **limoneno**, **mentol**, **mentona**, **pineno**, **alcanfor**, **timol** (esencia de tomillo), **anetol** (esencia de anís), **aldehído cinámico** (esencia de canela), **vainillina** (esencia de vainilla), etc.

■ Otros terpenos desempeñan **funciones vitamínicas**; así, por ejemplo, la **vitamina A**, imprescindible para la visión y el mantenimiento de los epitelios; la **vitamina K**, que participa en el mecanismo de la coagulación de la sangre; la **vitamina E** (o tocoferol) que es antioxidante, etc.

■ Algunos terpenos actúan como **pigmentos fotosintéticos**, como los **carotenoides**, que son también precursores de la **vitamina A**, o el **fitol**, un alcohol terpénico componente de la **clorofila**.

■ También intervienen en el **transporte de electrones**; por ejemplo, el **coenzima Q** (o **ubiquinona**) en las mitocondrias y la **plastoquinona** en la fotosíntesis.

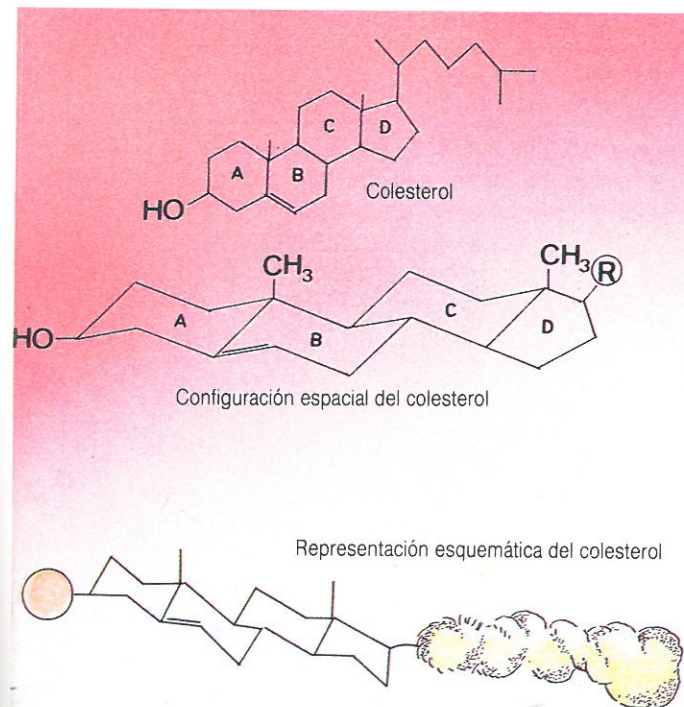
■ En las **plantas** existen otras muchas sustancias derivadas de los terpenos o esencias, entre las que se encuentran las resinas y los látex.

● Las **resinas** son mezclas complejas de esencias y otras sustancias insolubles en agua. A este grupo pertenecen las resinas de las coníferas; los bálsamos, como el **bálsamo del Canadá**, muy utilizado en microscopía para montar las preparaciones, etc.

● Los **látex** contienen también esencias, pero poseen otras sustancias que pueden ser solubles en agua, por lo que, cuando se practican incisiones en la planta, fluyen al exterior, donde se polimeriza la emulsion acuosa, como es el caso del **caucho** y la **gutapercha**.

12.2. Esteroides

Son compuestos policíclicos caracterizados por una estructura de cuatro anillos de carbono unidos, denominados **A, B, C y D**, que constituyen el núcleo de **gonano** (*ciclopentano perhidrofenantreno*). Sobre este núcleo se construyen los **esteroides** que se diferencian por el número y localización de sustituyentes (grupos hidroxilo y cadenas carbonadas) y por el número y posición de los dobles enlaces en los anillos.



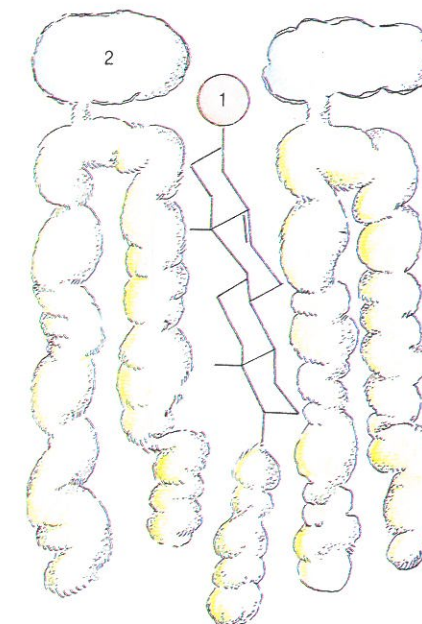
■ El **colesterol** se sintetiza en el hígado y es un precursor de otros esteroides, entre los que destacan por su importancia biológica los siguientes:

● La **vitamina D**, que es imprescindible para la absorción intestinal del calcio y su posterior metabolización. Existen por lo menos diez formas químicas distintas de la vitamina D y sus correspondientes **provitaminas**; de ellas sólo destacaremos dos: el **ergosterol**, de origen vegetal, que por irradiación ultravioleta (cuando se toman baños de sol) se transforma en **vitamina D₂**; y el **7-dehidrocolesterol**, de origen animal, que por irradiación ultravioleta origina **vitamina D₃**.

● Los **ácidos biliares**, derivados del **ácido cólico**, cuyas sales emulsionan las grasas y favorecen su digestión y posterior absorción en el intestino.

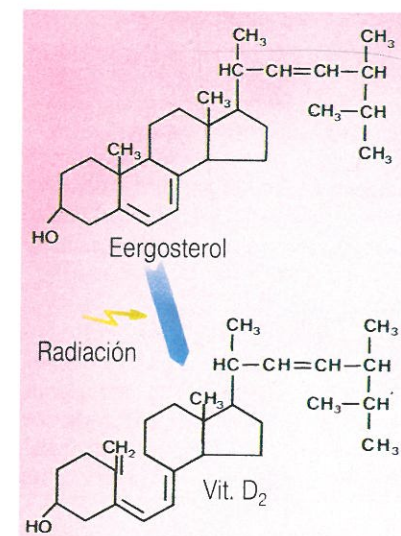
● Las **hormonas de la corteza suprarrenal**, como la **cortisona**, que regula el metabolismo de los hidratos de carbono, y la **aldosterona**, que regula la excreción de las sales minerales y el agua por los túbulos renales (favorece la retención de agua y sodio y la eliminación de potasio). Las **hormonas sexuales** también son de naturaleza esteróidica, tanto las masculinas (**andrógenos**), como las femeninas (**estrógenos** y **progesterona**), y controlan la maduración sexual, el comportamiento y la capacidad reproductora. En los **invertebrados** hay igualmente determinadas hormonas que son esteroides, en particular, las **ecdisonas**, que regulan las fases de muda en los artrópodos.

● Otros **esteroides** se encuentran como **aglucones** de diversos **heterósidos** (por ejemplo, los **cardiotónicos**).



Disposición espacial del colesterol (1) cuando se asocia con los fosfolípidos (2) de las membranas biológicas.

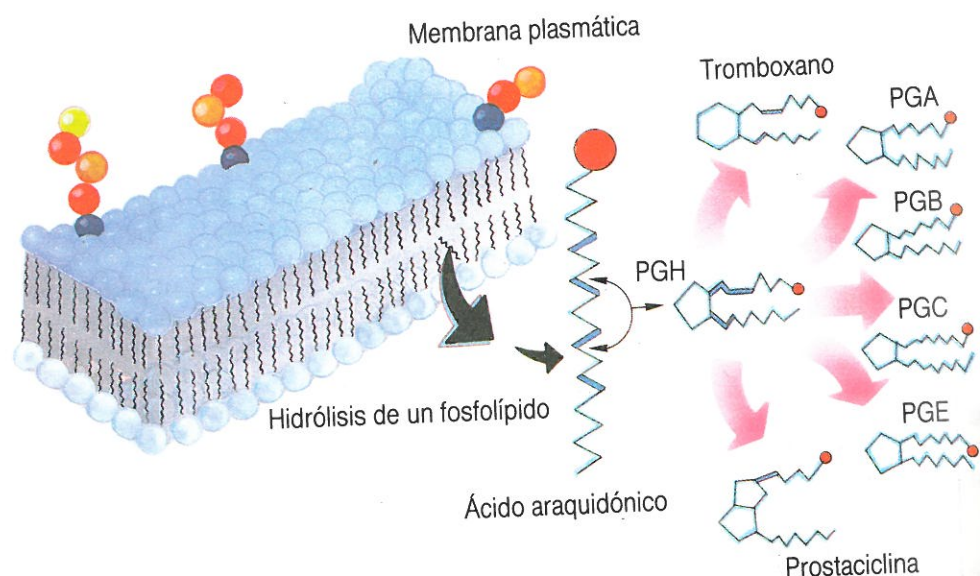
Los **esteroides** que presentan un grupo hidroxilo (-OH) en posición 3 y una cadena carbonada ramificada en posición 17 se denominan **esteroles**, de los cuales el **colesterol** es el representante más genuino. Se trata de un componente estructural de la membrana plasmática de las células animales (raramente se encuentra en los vegetales), y en la sangre aparece unido a las **lipoproteínas**; puede encontrarse libre o formando ésteres con **ácidos grasos** (unidos al -OH de la posición 3).



12.3. Prostaglandinas

Son sustancias lipídicas identificadas por primera vez en 1930 por el científico sueco **Von Euler** en las secreciones de la próstata (de ahí su nombre). Sin embargo, desde entonces se ha descubierto que las **prostaglandinas** son producidas por la mayoría de los tejidos del cuerpo, presentan estructuras diferentes y desempeñan numerosas y diversas funciones en el organismo, a veces de efectos antagónicos (por ejemplo, la prostaglandina **PGC₁** disminuye la presión sanguínea mientras que la **PGD₂** la eleva).

Síntesis de prostaglandinas a expensas de ácido araquidónico, componente de los fosfolípidos de las membranas biológicas.



Las **prostaglandinas**, aunque presentan carácter hormonal (en el sentido de actuar como reguladores del metabolismo en determinados tejidos), se diferencian de las hormonas en que no son producidas por glándulas especializadas para desplazarse después por la sangre hasta el lugar donde ejercen su acción; sino que, por el contrario, son fabricadas en el propio lugar donde actúan, a expensas de ácidos grasos poliinsaturados de 20 átomos de carbono (como el **araquidónico**) procedentes de los fosfolípidos de la membrana plasmática.

■ Se trata, por tanto, de sustancias ubicuas que actúan como **hormonas locales** en casi todos los tejidos, ejerciendo una gran variedad de funciones, entre las que destacan las siguientes:

- Son **potentes vasodilatadores arteriales** y están relacionadas con los procesos inflamatorios que provocan **fiebre, rubor, edema y dolor**. Por ello, la **aspirina**, que inhibe la síntesis de prostaglandinas, posee acción **antipirética** (rebaja la fiebre), **antiinflamatoria** y **analgésica** (calmante del dolor). También la vasodilatación desencadenada por las prostaglandinas favorece la secreción de mucus protector en las paredes del estómago y del intestino, por lo que su inhibición por la ingesta de aspirina y otros antiinflamatorios puede ser causa de que aparezcan **úlceras gastroduodenales**.

- Cuando se lesiona la pared interna de un vaso sanguíneo, se libera un tipo de prostaglandina, llamada **tromboxano**, responsable del **agregamiento plaquetario** que conduce a la formación de **trombos** y a la aparición de **trombosis**.

- **Ejercen una potente acción sobre la musculatura lisa**; así, por ejemplo, provocan las contracciones del útero durante el parto y, al parecer, también están relacionadas con el desarrollo del asma bronquial.

Función biológica de los lípidos

Función energética	Ácidos grasos	Son los carburantes metabólicos que suministran una mayor cantidad de energía mediante su oxidación en las mitocondrias.
	Grasas	El exceso de ácidos grasos se almacena en forma de grasas en el tejido adiposo de los animales, donde constituyen una reserva de energía potencial, o en forma de aceites en las vacuolas del fruto o las semillas en las plantas oleaginosas.
Función estructural	Ceras	Forman un recubrimiento protector e impermeabilizante sobre la superficie del pelo, uñas, piel y exoesqueleto de los insectos, en los animales; y sobre el fruto, las hojas y los tallos jóvenes en las plantas.
	Gliceroglucolípidos	Intervienen en la construcción de las membranas en bacterias y plantas.
	Glicerofosfolípidos (fosfolípidos)	Son constituyentes de las membranas biológicas, formando con sus zonas apolares (cadenas de ácidos grasos) una doble capa dirigida hacia el interior. Los animales que hibernan y las archibacterias termófilas modifican la composición de los fosfolípidos de sus membranas para adaptarse al frío o al calor, respectivamente (ver pág. 185).
	Esfingofosfolípidos	Las esfingomielinas forman la vaina de mielina que recubre los axones de determinadas neuronas.
	Esfingoglucolípidos	Se localizan fundamentalmente en la superficie externa de la membrana plasmática, con sus zonas glucídicas dirigidas hacia afuera; intervienen en la regulación del crecimiento y diferenciación celular, actúan como antígenos de membrana y son lugares de anclaje de toxinas y microorganismos patógenos, lo que supone el paso previo que desencadena la infección.
	Coolesterol	Forma parte de la membrana citoplásmica, aportando rigidez a la estructura.
Función vitamínica	Ácido linoleico Ácido linolénico Ácido araquidónico	Son ácidos grasos esenciales (denominados antiguamente vitamina F) indispensables para la formación de membranas y epitelios en general. El ácido araquidónico es el precursor de las prostaglandinas.
	Terpenos	Vitamina A: interviene en el proceso de la visión y en la formación de epitelios. Los carotenos ingeridos en la dieta se transforman en vitamina A.
		Vitamina E: Impide la oxidación de los ácidos grasos insaturados y de otras moléculas. Interviene en los procesos relacionados con la fertilidad.
		Vitamina K: Participa en el conjunto de reacciones que conducen a la formación del coágulo sanguíneo (es antihemorrágica).
Esteroides	Vitamina D: Es necesaria para la absorción y el metabolismo del calcio.	
Función hormonal	Esteroides	Hormonas de la corteza suprarrenal: la aldosterona regula la excreción de agua y sales minerales por los túbulos renales; la cortisona controla el metabolismo de los glúcidos.
		Hormonas sexuales: masculinas (andrógenos) y femeninas (estrógenos y progesterona). Intervienen en la formación de los gametos (espermatozoides y óvulos) y controlan la maduración sexual, el comportamiento y la capacidad reproductora.
Función hormonal	Prostaglandinas	La ecdisona regula las fases de muda en los artrópodos.
		Son hormonas locales que se sintetizan en el mismo lugar donde desarrollan su acción y actúan como potentes vasodilatadores en los procesos inflamatorios, así como en la secreción del mucus protector de las paredes del estómago y del intestino; otras, como los tromboxanos , son responsables del agregamiento plaquetario que conduce a la aparición de trombosis; y existen también ciertas clases que provocan las contracciones del útero durante el parto.