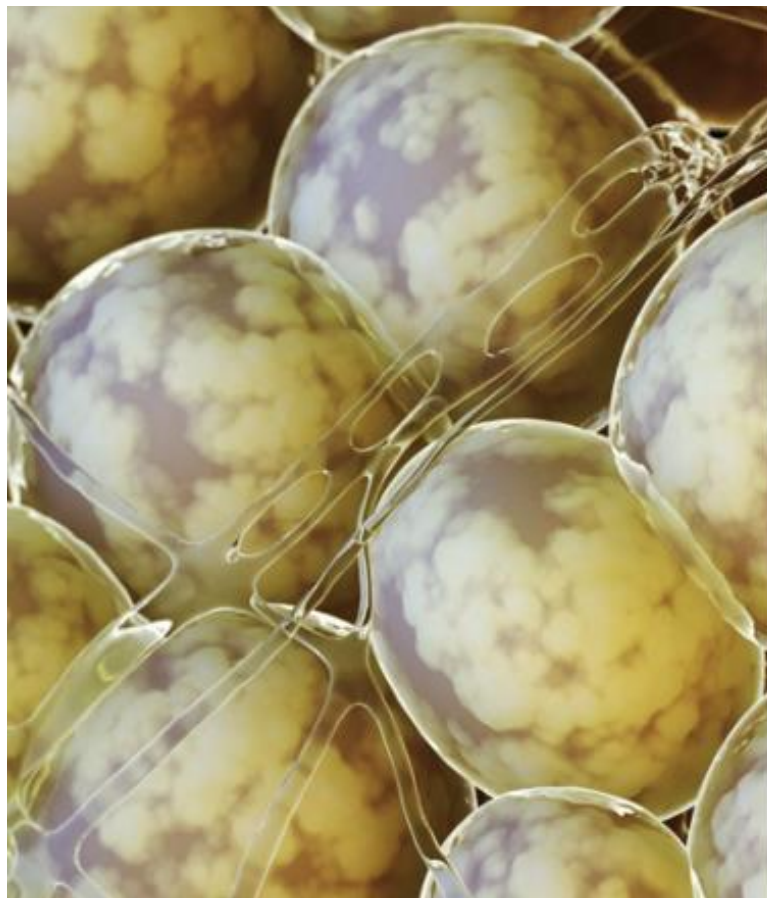


2.- LOS GLÚCIDOS Y LOS LÍPIDOS



¿POR QUÉ ESTUDIAR LOS GLÚCIDOS Y LOS LÍPIDOS?

Los glúcidos son importantes componentes estructurales de las células de multitud de especies de bacterias, de vegetales y de hongos. Son los constituyentes principales de las paredes celulares que proporcionan protección y soporte a estos organismos. Además, algunos glúcidos forman parte de la membrana plasmática que interviene en procesos de reconocimiento y señalización celular.

Los lípidos son los principales componentes de las membranas de todas las células, forman las vainas que recubren los axones neuronales y son también elementos importantes del glucocálix. Además, están implicados en la regulación de gran cantidad de procesos biológicos, como el aislamiento térmico de los organismos, la impermeabilización de determinadas estructuras, la reproducción sexual, el metabolismo del calcio, la respuesta inflamatoria o la coagulación de la sangre. Muchas vitaminas o sus precursores son lípidos.

Como ves, tanto los glúcidos como los lípidos son la base de estructuras y procesos celulares esenciales para los organismos de los que forman parte. Conocer estas biomoléculas te ayudará a comprender el funcionamiento de los seres vivos.

ELSIE WIDDOWSON

Elsie nació en Inglaterra en 1906, y fue una de las primeras mujeres en obtener un título en el Imperial College de Londres, graduándose en Química. Su campo de estudio fue la nutrición, aunque cuando comenzó sus investigaciones la nutrición no existía aún como materia científica. Obtuvo un doctorado en fisiología vegetal, trabajando en el contenido de carbohidratos de las manzanas. Le pareció tan interesante que decidió especializarse en dietética, un campo muy novedoso en la época. Mientras estudiaba en las cocinas del hospital del King's College detectó, junto a su compañero Robert McCance, errores en los recuentos de la fructosa de la fruta del menú, así como errores también en las tablas nutricionales del Reino Unido. Juntos investigaron la composición química del cuerpo humano, la incidencia de la dieta infantil en el crecimiento y el valor nutritivo de las distintas harinas que se utilizaban para hacer pan, además de estudiar cómo variaban los valores nutricionales de los alimentos antes y después de cocinarlos. Sus estudios se utilizaron para elaborar las dietas restrictivas durante la Segunda Guerra Mundial. Tras la guerra, Elsie siguió investigando sobre nutrición y malnutrición, no solo en Europa sino también en África. Sus resultados ayudaron a poner en valor la importancia del correcto aporte de nutrientes durante la infancia.

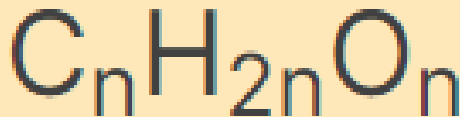


1. Las características de los glúcidos

1.1

Generalidades

Los **glúcidos** son biomoléculas orgánicas, formadas fundamentalmente por carbono, hidrógeno y oxígeno. Por lo general, responden a la fórmula $C_nH_{2n}O_n$, por lo que también se los denomina **carbohidratos** o **hidratos de carbono**.



Los glúcidos tienen las siguientes características comunes:

- Además de carbono, hidrógeno y oxígeno, algunos glúcidos contienen también fósforo, nitrógeno y azufre en su composición.
- Están formados por **monómeros** que tienen una cadena de 3 a 7 átomos de carbono que, a su vez, contiene **varios grupos hidroxilo**, además de **un grupo carbonilo**. El número de monómeros puede variar desde una unidad, en el caso de los monosacáridos, hasta miles de unidades, como en el caso de los polisacáridos.
- La presencia de grupos **hidroxilo** confiere **polaridad** a estas biomoléculas, aunque su solubilidad depende del número de monómeros y de las modificaciones que estos presenten.
- Muchos glúcidos tienen **poder reductor**, es decir, reducen a otras moléculas, oxidándose ellos.
- Se denominan también azúcares, ya que muchos glúcidos tienen sabor dulce. Sin embargo, no todos los glúcidos presentan esta característica.
- Los glúcidos son sustancias con un **gran contenido energético**, que liberan cuando se oxidan.

1.2

La clasificación de los glúcidos

Los glúcidos se clasifican en dos grandes grupos, según estén formados por uno o más monómeros: los **monosacáridos** u **osas** y los **ósidos**.

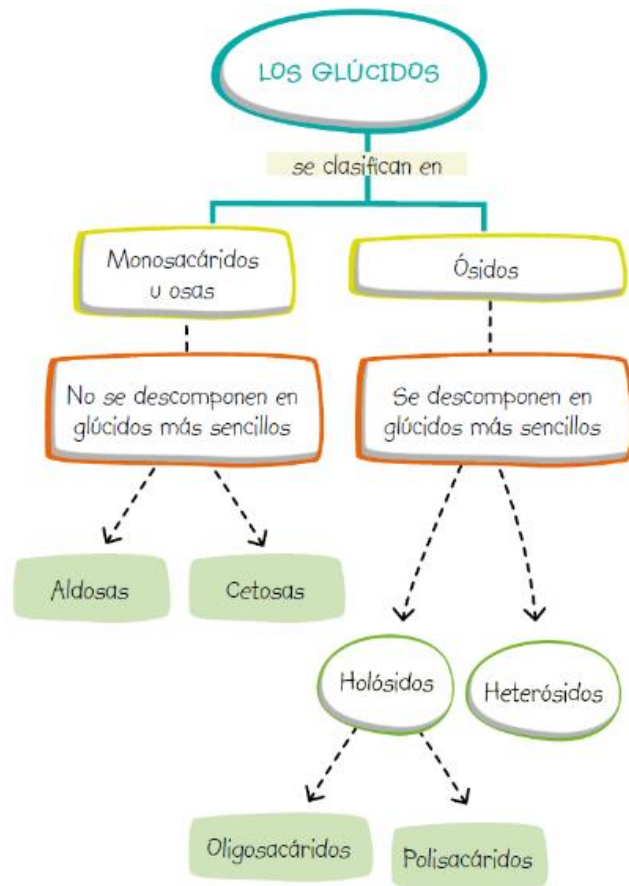
Los monosacáridos u osas

Los **monosacáridos** u **osas** son monómeros que no se pueden descomponer en otros glúcidos más sencillos. A su vez se clasifican en **aldosas** y **triosas**.

Los ósidos

Los **ósidos** son polímeros, que se descomponen en glúcidos más sencillos. Los ósidos se clasifican a su vez en dos grandes grupos:

- Los **holósidos** formados solo por monosacáridos. Según el número de monómeros pueden ser **oligosacáridos** si contienen de dos a diez monosacáridos y en **polisacáridos** si contienen más de diez monosacáridos.
- Los **heterósidos**, además de glúcidos, contienen una parte **no glucídica** en su molécula, que puede ser un lípido o una proteína. Son heterósidos los **glucolípidos** y los **glucoproteidos**.



□ **OSAS o MONOSACÁRIDOS:**

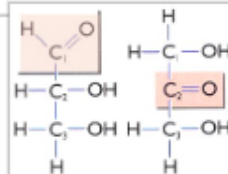
(Glúcidos más simples)

Aldosas y

(con grupo aldehído)

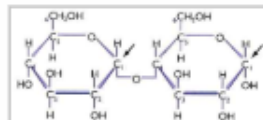
Cetosas

(con grupo cetona)



OLIGOSACÁRIDOS

(De 2 a 10 monosacáridos)



HOLÓSIDOS

(Formados por varios monosacáridos)

POLISACÁRIDOS

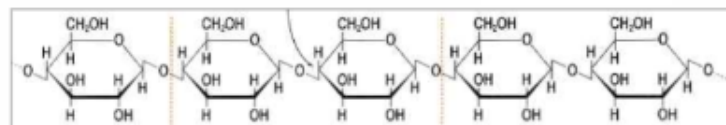
(Múltiples unidades de monosacáridos)

HOMOPOLISACÁRIDOS

(Presentan un solo tipo de monosacárido)

HETEROPOLISÁCARIDOS

(Con más de un tipo de monosacárido)



□ **ÓSIDOS**

(Se descomponen en monosacáridos)

HETERÓSIDOS: Son combinaciones de monosacáridos y otras moléculas como lípidos (**Glucolípidos**), proteínas (**Glucoproteínas**), etc.

2.1

Composición, estructura y clasificación de los monosacáridos

Los **monosacáridos** son **polialcoholes, polihidroxialdehídos** o **polihidroxicetonas**.

La estructura básica de un monosacárido consiste en:

- **Una cadena lineal no ramificada**, de 3 a 7 átomos de C, unidos por enlaces simples.
- **Un grupo funcional carbonilo** (C=O). Si este se encuentra en el extremo de la cadena, en el carbono 1 (C1), forma un grupo aldehído. Si se sitúa en el carbono más próximo al carbono terminal, en el carbono 2 (C2), forma un grupo cetona.
- **Varios grupos funcionales hidroxilo**. Cada uno de los átomos de carbono restantes están unidos a un grupo alcohol o hidroxilo (-OH) y saturados con hidrógenos (-H).



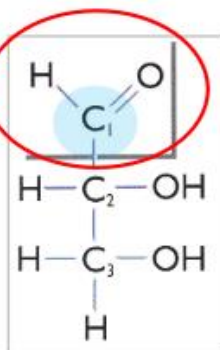
Clasificación de los monosacáridos

Se clasifican atendiendo a dos criterios:

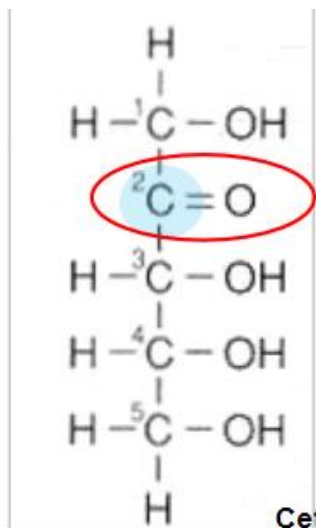
• Según su grupo funcional en:

- **Aldosas**, si contienen un grupo funcional aldehído; por ejemplo, la glucosa es una aldosa que contiene seis átomos de carbono.
- **Cetosas**, si contienen un grupo funcional cetona; por ejemplo, la fructosa es una cetosa que contiene seis átomos de carbono.

Grupo aldehído

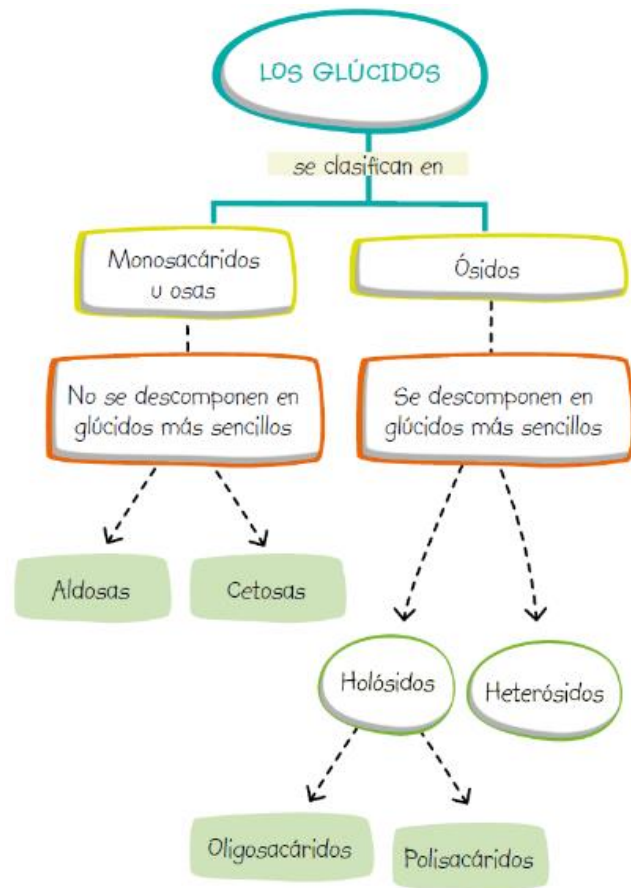


Aldosa



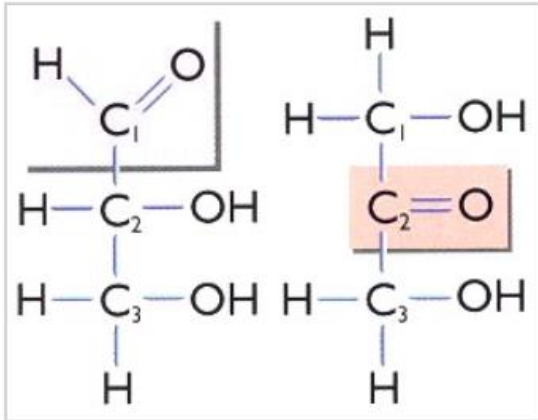
Cetosa

Grupo cetona

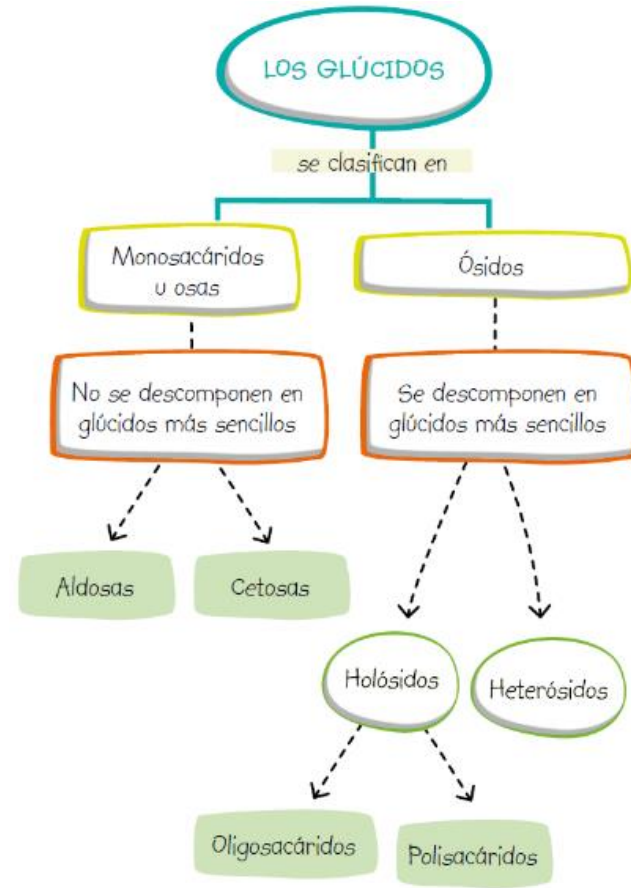


- Según el número de átomos de carbono que contienen, en **triosas**, **tetrosas**, **pentosas** o **hexosas** según, tengan, respectivamente, tres, cuatro, cinco o seis carbonos.

Los monosacáridos más sencillos tienen tres átomos de carbono y son el **gliceraldehído**, una aldosa, y la **dihidroxiacetona**, una cetosa. A partir de ellos, añadiendo átomos de carbono a la cadena se obtienen el resto de las aldosas y cetosas.



(gliceraldehído) (dihidroxiacetona)



Cómo se representan los monosacáridos

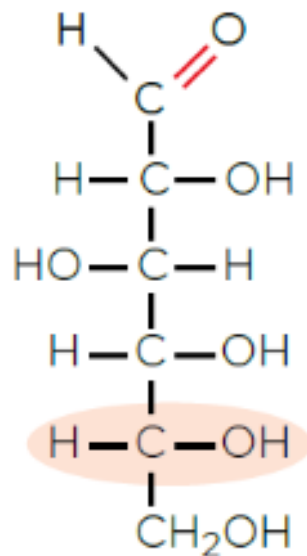
Para representar los monosacáridos se utilizan:

- **Fórmulas moleculares**, que únicamente indican el número de átomos de cada clase que hay en la molécula. Por ejemplo, $C_3H_6O_3$, que no nos indica si el monosacárido contiene un grupo aldehído o un grupo cetona.

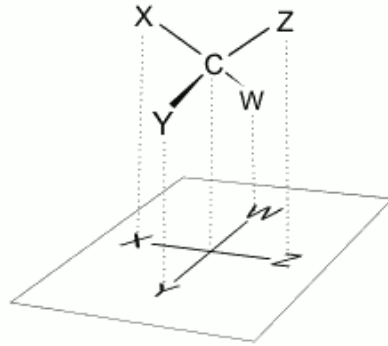
- **Fórmulas estructurales**, que muestran la unión entre los diferentes átomos, lo que nos da información sobre los grupos funcionales presentes y su posición. Las fórmulas estructurales pueden ser:

- **Lineales**. Se representan con una cadena carbonada en vertical, donde los enlaces covalentes sencillos se indican con una línea sencilla (-), y los dobles enlaces con una línea doble (=).

Fórmula lineal de la glucosa

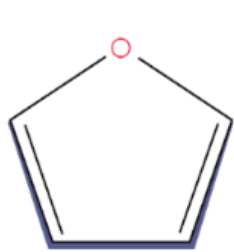


La forma más frecuente de representar los monosacáridos en el plano es mediante **proyecciones de Fischer**, en las que los enlaces forman ángulos de 90° (resultado de proyectar en el plano las estructuras tetraédricas de los carbonos). Se sitúa el grupo funcional principal en la parte superior y los grupos hidroxilo a la derecha o a izquierda.

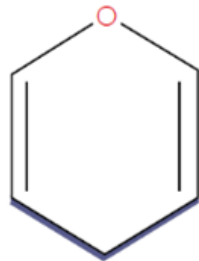


En la proyección de Fischer, los enlaces horizontales apuntan hacia delante y los enlaces verticales apuntan hacia atrás.

- **Cíclicas.** En disolución acuosa, los monosacáridos de cinco o más átomos de carbono se cierran formando una estructura en anillos de 5 o 6 lados, denominados **furanos** y **piranos**, respectivamente.

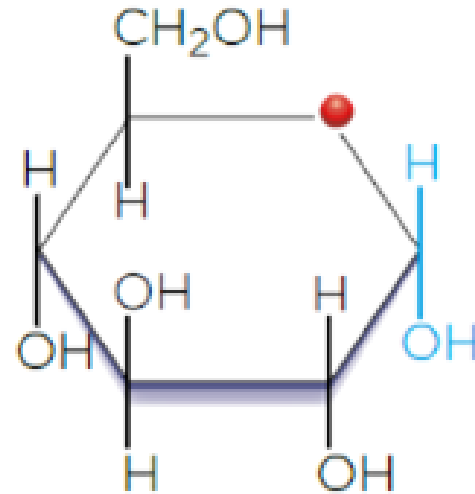


Furano



Pirano

Fórmula cíclica de la glucosa



2.2

Propiedades de los monosacáridos

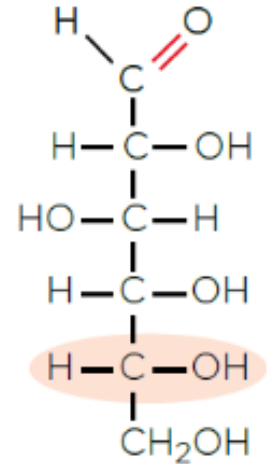
Debido a sus características químicas, los monosacáridos tienen las propiedades siguientes:

- **Son solubles en agua.** Los grupos hidroxilo (-OH), al ser polares, establecen puentes de hidrógeno con las moléculas de agua, de manera que se disuelven fácilmente en ella.
- **Tienen poder reductor.** Los monosacáridos, debido a la presencia del grupo carbonilo, tienen la propiedad de reducir al cobre en compuestos como el licor de Fehling, según la reacción:



Esta reacción permite reconocer su presencia, ya que la reducción de las sales de cobre (II) del licor de Fehling a sales de cobre (I) hace que el reactivo de color azul cambie a una tonalidad rojo ladrillo cuando se calienta.

Fórmula lineal de la glucosa



- **Pueden caramelizar.** Aunque son de color blanco, con el calor caramelizan al fundirse sus cristales, adoptando una coloración marrón típica.
- **Tienen isomería.**

La isomería

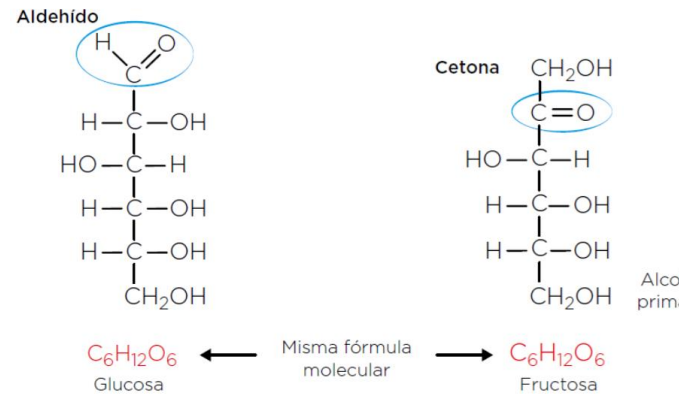
La **isomería** es una propiedad que tienen las sustancias químicas con la misma fórmula molecular, pero diferente fórmula estructural, por lo que presentan distintas características físicas o químicas.

En los monosacáridos, existen tres tipos de isomería: la **estructural**, la **espacial** y la **isomería óptica**.

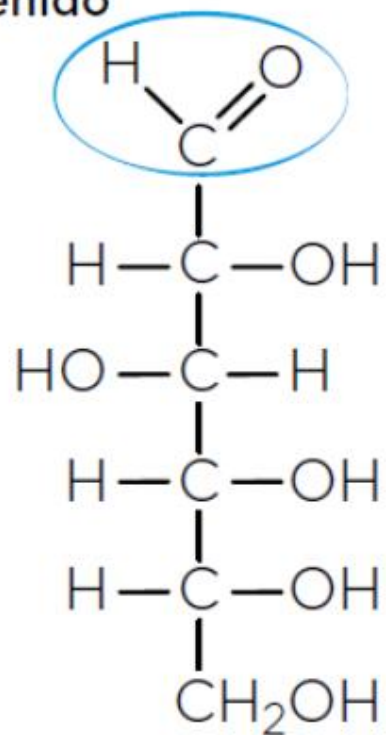
La isomería estructural o de función

Los **isómeros estructurales** son moléculas con la misma fórmula empírica y diferente grupo funcional.

Por ejemplo, la glucosa y la fructosa tienen la misma fórmula molecular ($C_6H_{12}O_6$). Sin embargo, la glucosa tiene un grupo aldehído; y la fructosa, uno cetona.

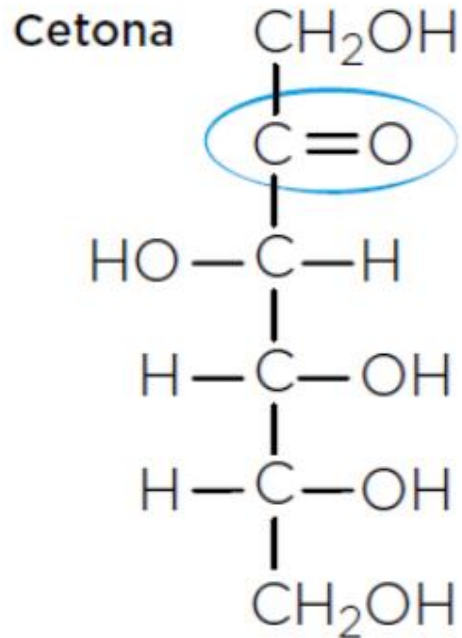


Aldehído



$C_6H_{12}O_6$
Glucosa

Misma fórmula
molecular



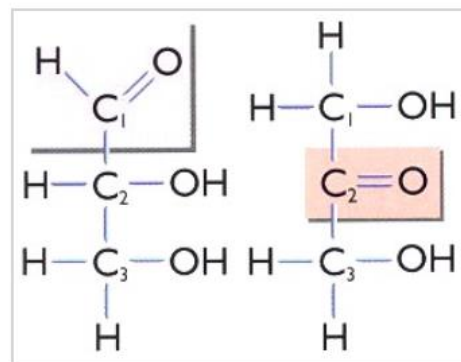
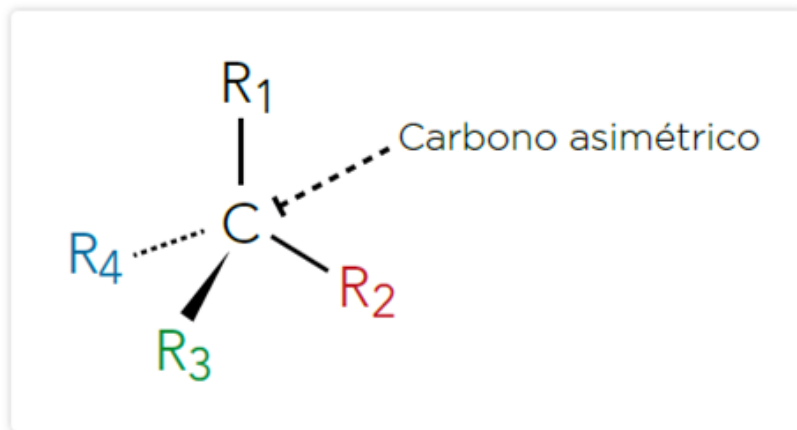
$C_6H_{12}O_6$
Fructosa

Alcohol
primario

La estereoisomería o isomería espacial

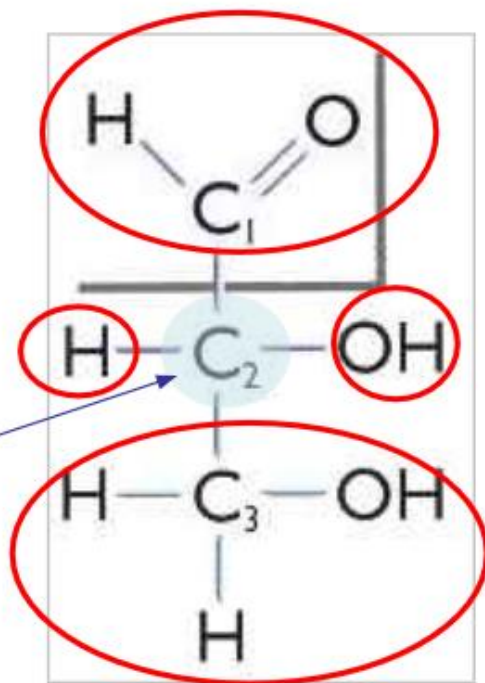
La **estereoisomería** se debe a la presencia de **carbonos asimétricos**, que son carbonos unidos a cuatro grupos diferentes.

Todos los monosacáridos (excepto la dihidroxiacetona) tienen uno o más carbonos asimétricos.

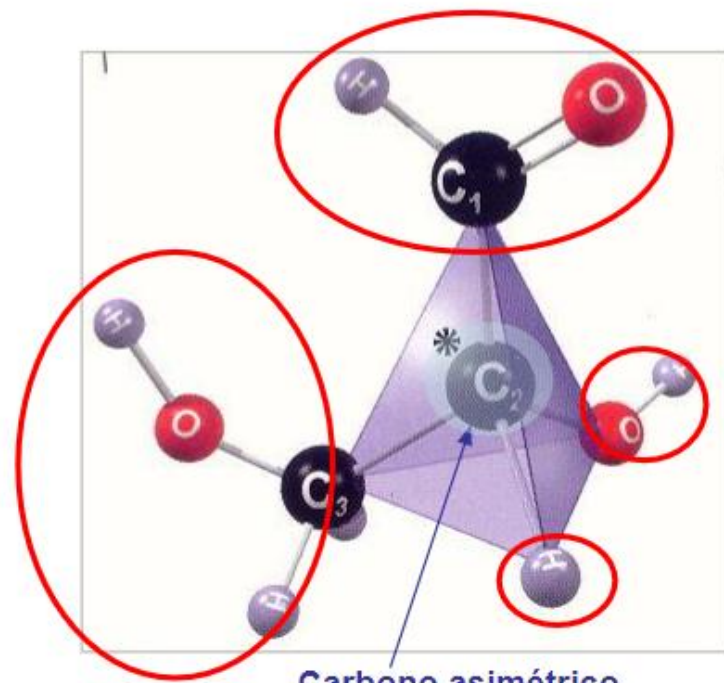


(gliceraldehído) (dihidroxiacetona)

Carbono asimétrico



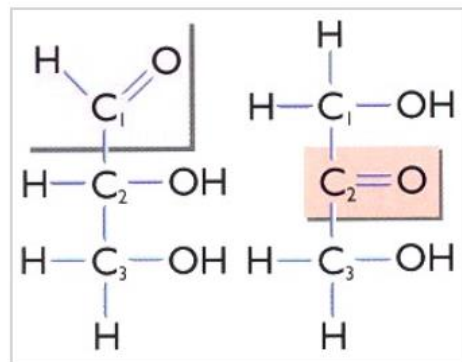
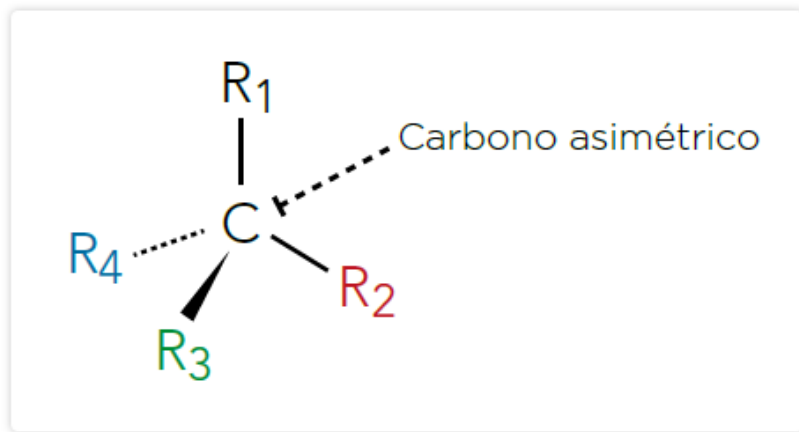
Carbono asimétrico



La estereoisomería o isomería espacial

La **estereoisomería** se debe a la presencia de **carbonos asimétricos**, que son carbonos unidos a cuatro grupos diferentes.

Todos los monosacáridos (excepto la dihidroxiacetona) tienen uno o más carbonos asimétricos.



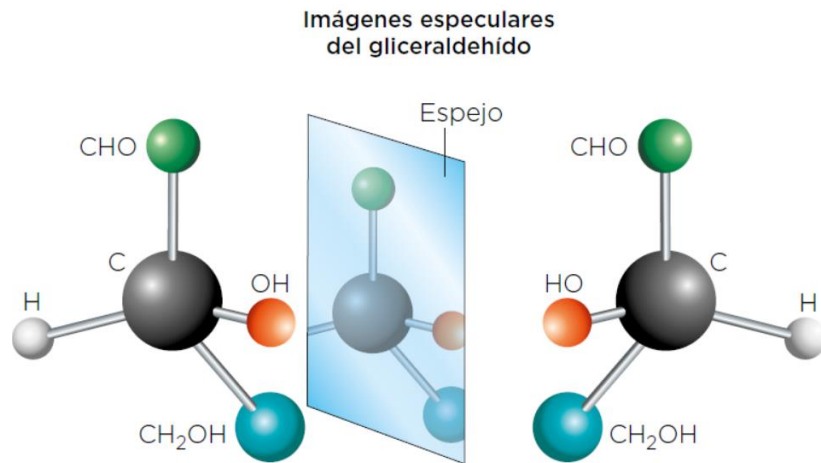
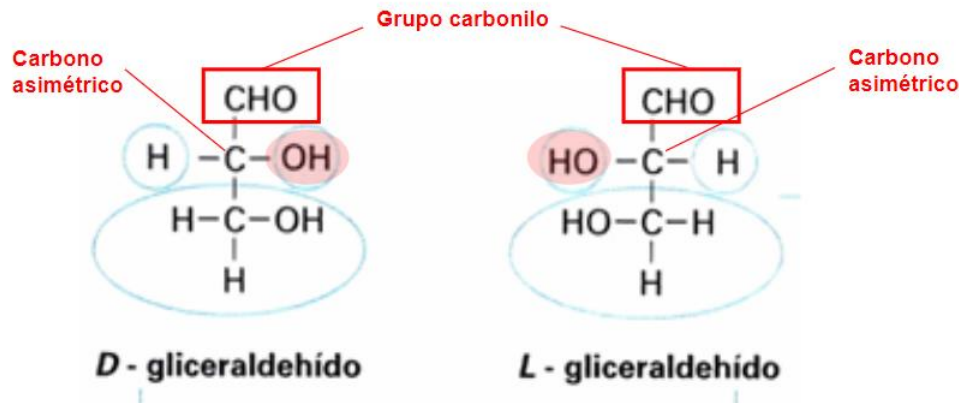
(gliceraldehído) (dihidroxiacetona)

En general, el número de isómeros espaciales o estereoisómeros es de 2^n , siendo n el número de carbonos asimétricos presentes. Hay dos tipos de estereoisómeros: los **enantiómeros** y los **epímeros**.

• **Los enantiómeros.** Todos los grupos alcohol o hidroxilo (-OH) unidos a carbonos asimétricos se disponen en posición contraria. Uno de los enantiómeros es imagen especular del otro. La posición del grupo (-OH) del carbono asimétrico más alejado del grupo funcional permite diferenciar dos tipos de moléculas:

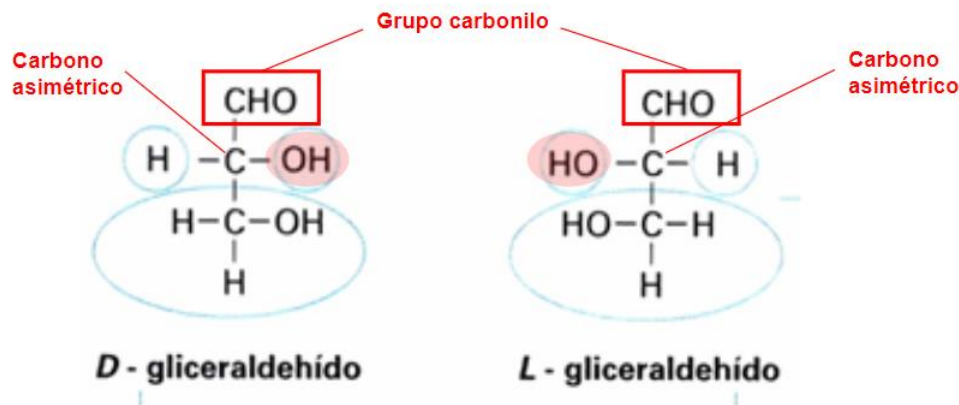
- **Serie D**, si el grupo -OH se encuentra a la derecha. Son los más abundantes en la naturaleza.

- **Serie L** si el grupo -OH se encuentra a la izquierda.

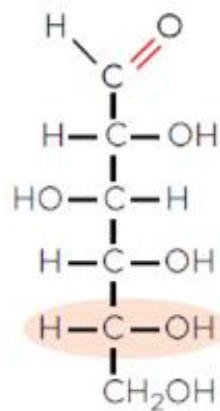


• **Los enantiómeros.** Todos los grupos alcohol o hidroxilo (-OH) unidos a carbonos asimétricos se disponen en posición contraria. Uno de los enantiómeros es imagen especular del otro. La posición del grupo (-OH) del carbono asimétrico más alejado del grupo funcional permite diferenciar dos tipos de moléculas:

- **Serie D**, si el grupo -OH se encuentra a la derecha. Son los más abundantes en la naturaleza.
- **Serie L** si el grupo -OH se encuentra a la izquierda.

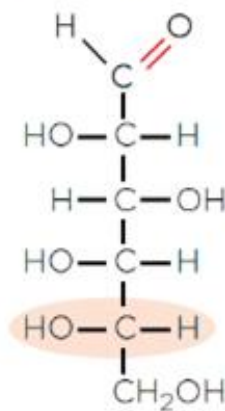


Serie D de la glucosa



-OH a la derecha

Serie L de la glucosa



-OH a la izquierda



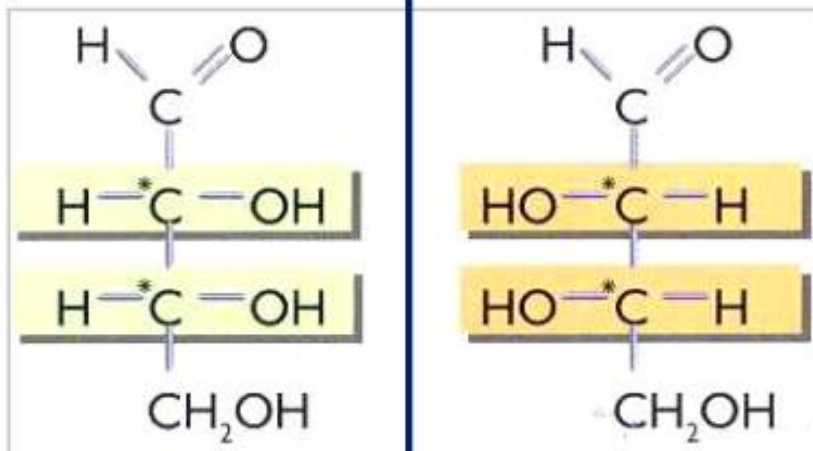
Mano izquierda



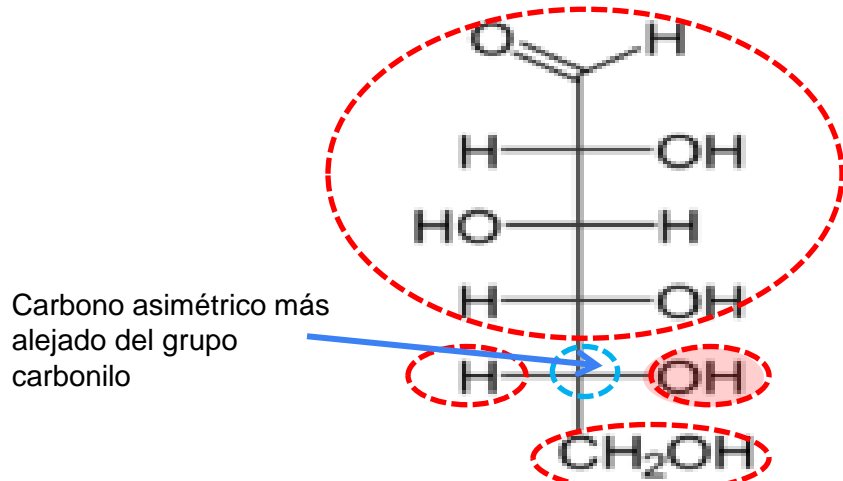
Mano derecha



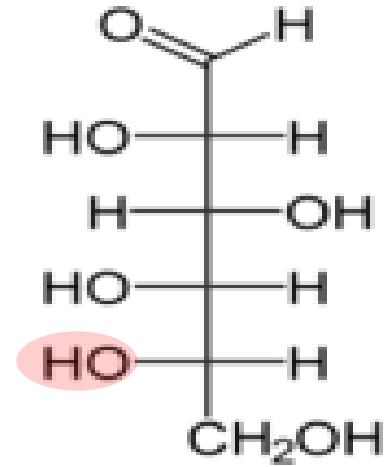
Las manos izquierda y derecha no se superponen



Espejo



Forma D de la glucosa

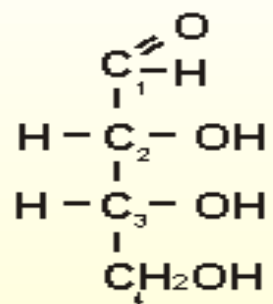


Forma L de la glucosa

Enantiómeros de la glucosa.

En la naturaleza, salvo raras excepciones, los monosacáridos se presentan en la forma D.

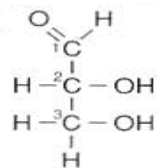
Isomería especular



D - Eritrosa

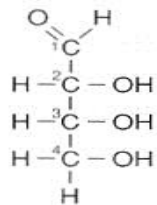
ALDOSAS

TRIOSAS



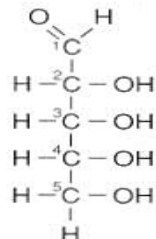
D-gliceraldehído

TETROSAS

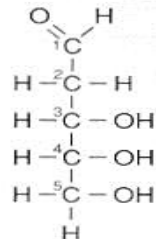


D-eritrosa

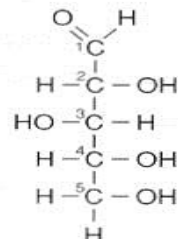
PENTOSAS



D-ribosa

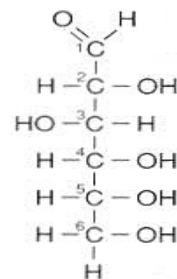


desoxirribosa

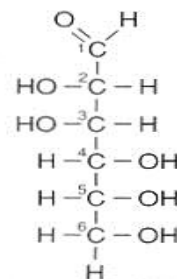


D-xilosa

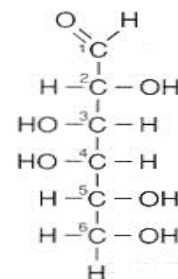
HEXOSAS



D-glucosa

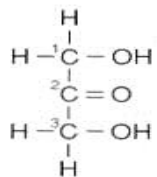


D-manosa

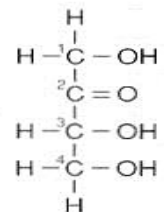


D-galactosa

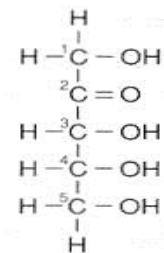
CETOSAS



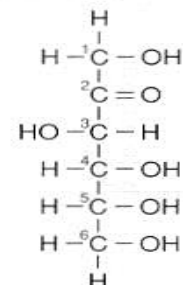
Dihidroxicetona



D-eritrolusa

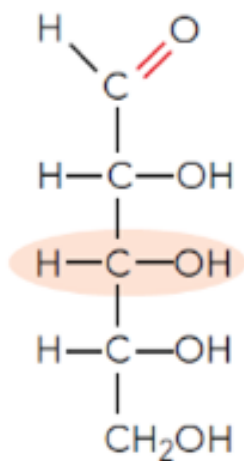


D-ribulosa

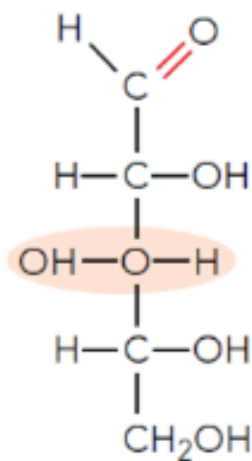


D-fructosa

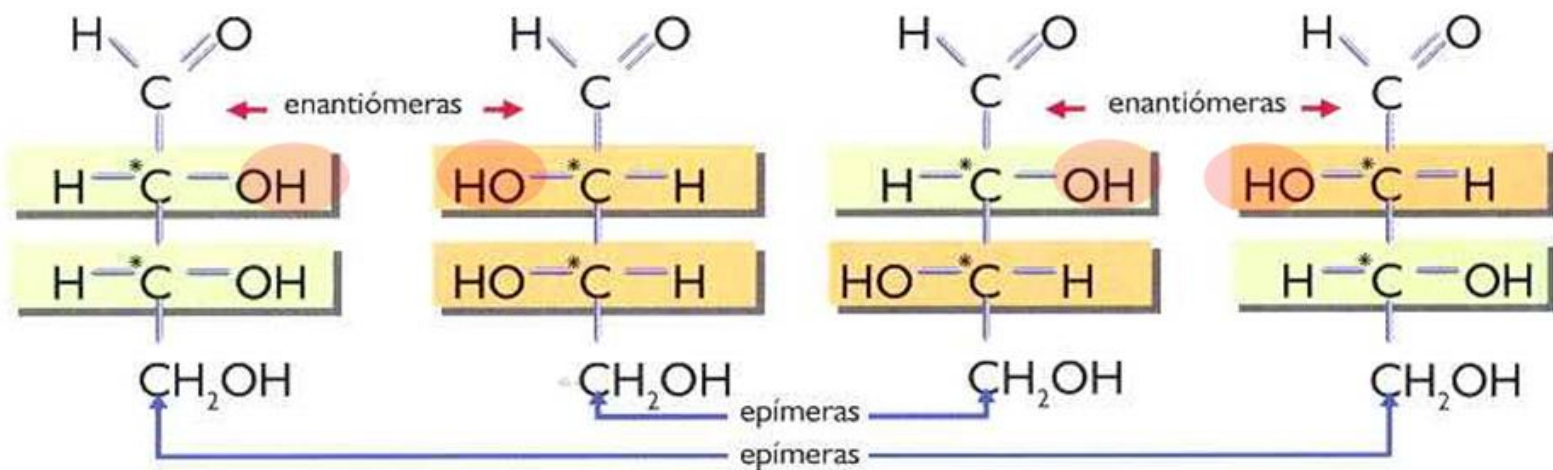
- Los **epímeros** son isómeros espaciales que difieren en la posición del grupo -OH de un solo carbono asimétrico.



D-ribosa



D-xilosa



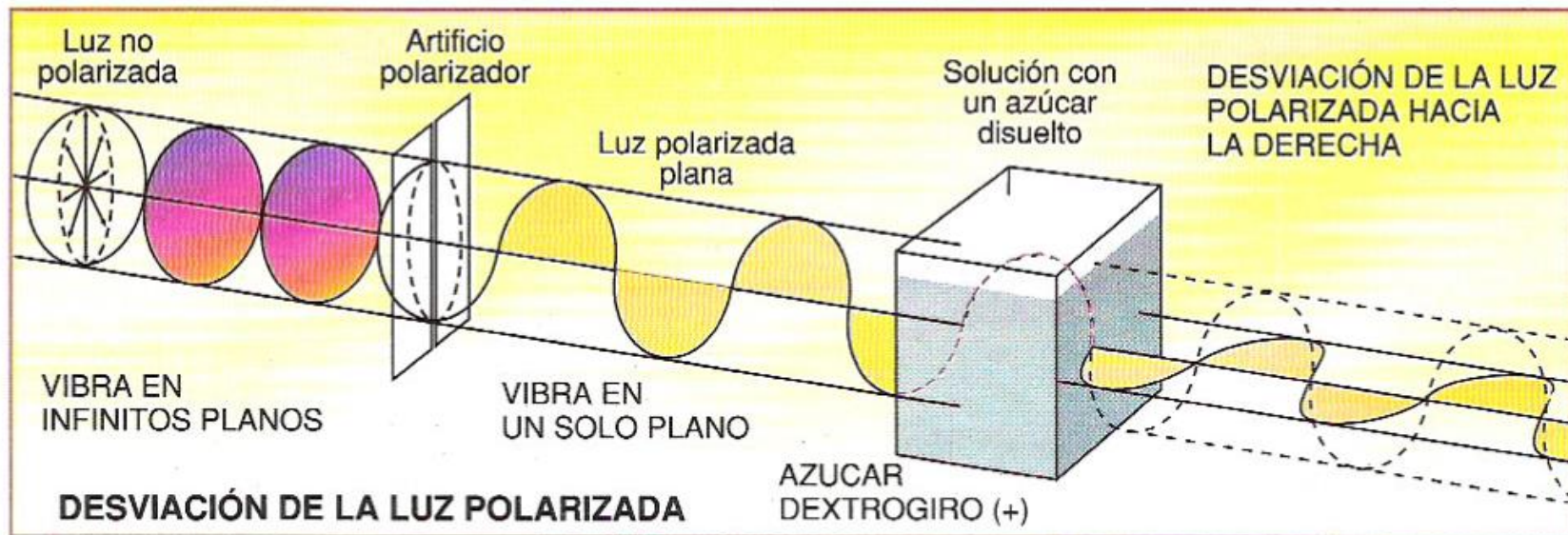
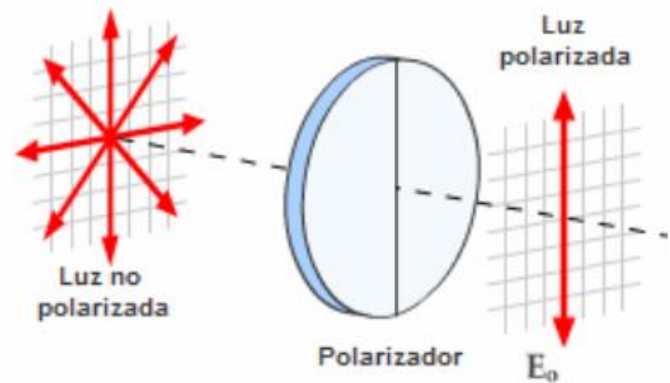
→ La isomería óptica

Es importante no confundir la estereoisomería con la isomería óptica, que es una propiedad física observable, independiente de los convenios de formulación.

Los **isómeros ópticos** desvían el plano de luz polarizada en distintos sentidos debido a la presencia de carbonos asimétricos.

Uno de los enantiómeros desviará la luz polarizada un determinado ángulo en un sentido (derecha o izquierda) y el otro en el contrario. Así uno de ellos será **dextrógiro** o **+** (derecha) y el otro **levógiro** o **-** (izquierda).

Esta denominación no tiene por qué corresponder con la denominación de los estereoisómeros. Un enantiómero D puede ser dextrógiro o levógiro. Por ejemplo, el D-gliceraldehído es dextrógiro y el L-gliceraldehído es levógiro; pero en otras moléculas no hay coincidencia; puede ocurrir que el D sea levógiro.



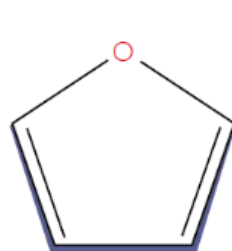
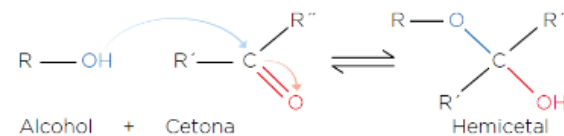
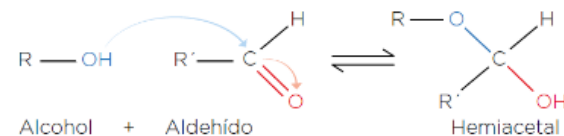
2.3

La estructura cíclica de los monosacáridos

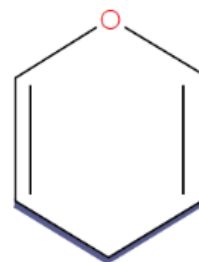
En disolución acuosa, la mayoría de los monosacáridos de cinco o más carbonos adoptan una estructura cíclica en forma pentagonal (como el furano) o hexagonal (como el pirano), al establecerse enlaces entre grupos de la propia molécula. Se forman dos tipos de enlaces:

- Enlaces **hemiacetal** cuando reacciona el grupo aldehído y un grupo alcohol. La estructura cíclica de la glucosa se forma mediante un enlace hemiacetal entre el grupo aldehído del primer carbono y el grupo hidroxilo del quinto carbono.
- Enlaces **hemiacetal** cuando reacciona el grupo cetona y un grupo alcohol. La estructura cíclica de la fructosa se forma mediante un enlace hemiacetal entre el grupo cetona del segundo carbono y el grupo hidroxilo del quinto carbono.

Los enlaces hemiacetal y hemiacetal

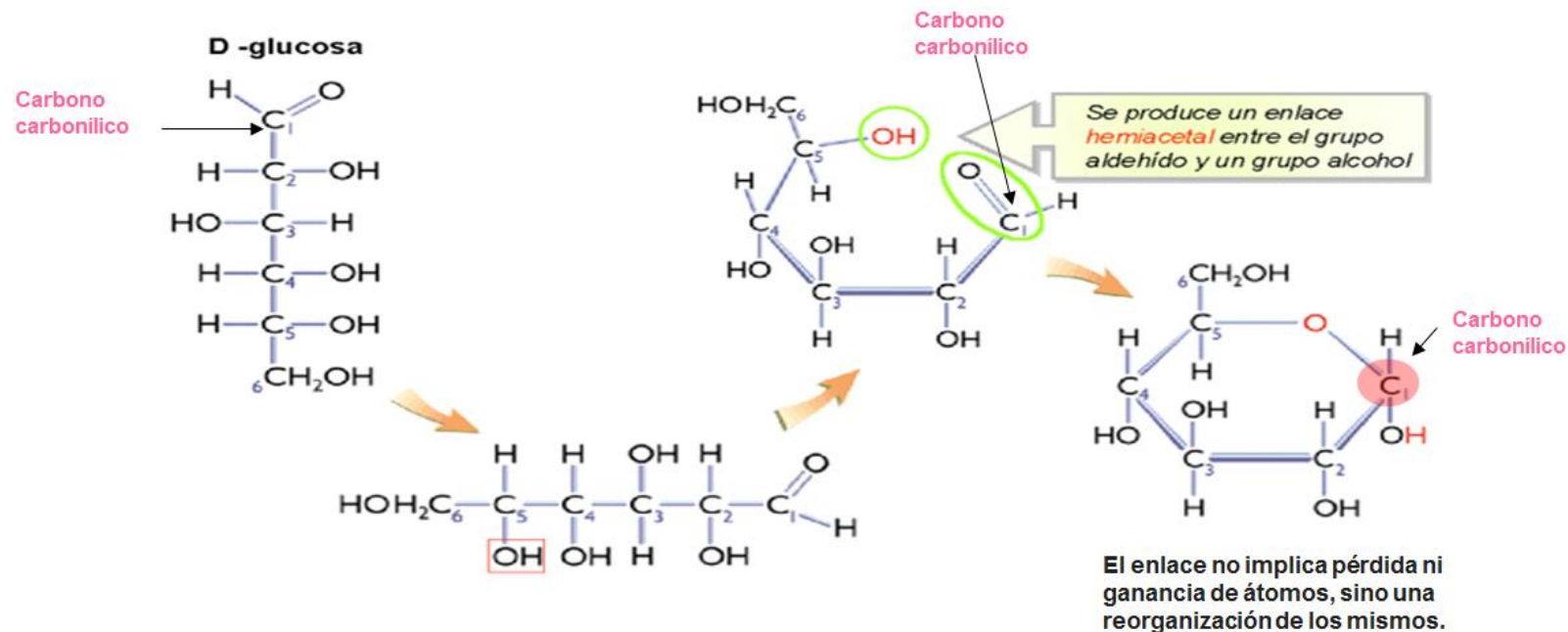


Furano

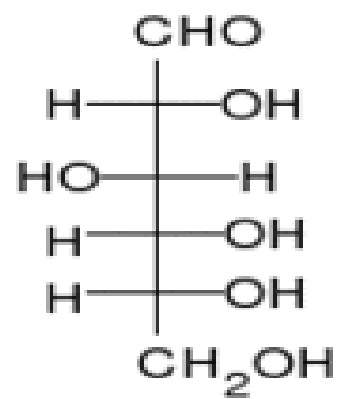


Pirano

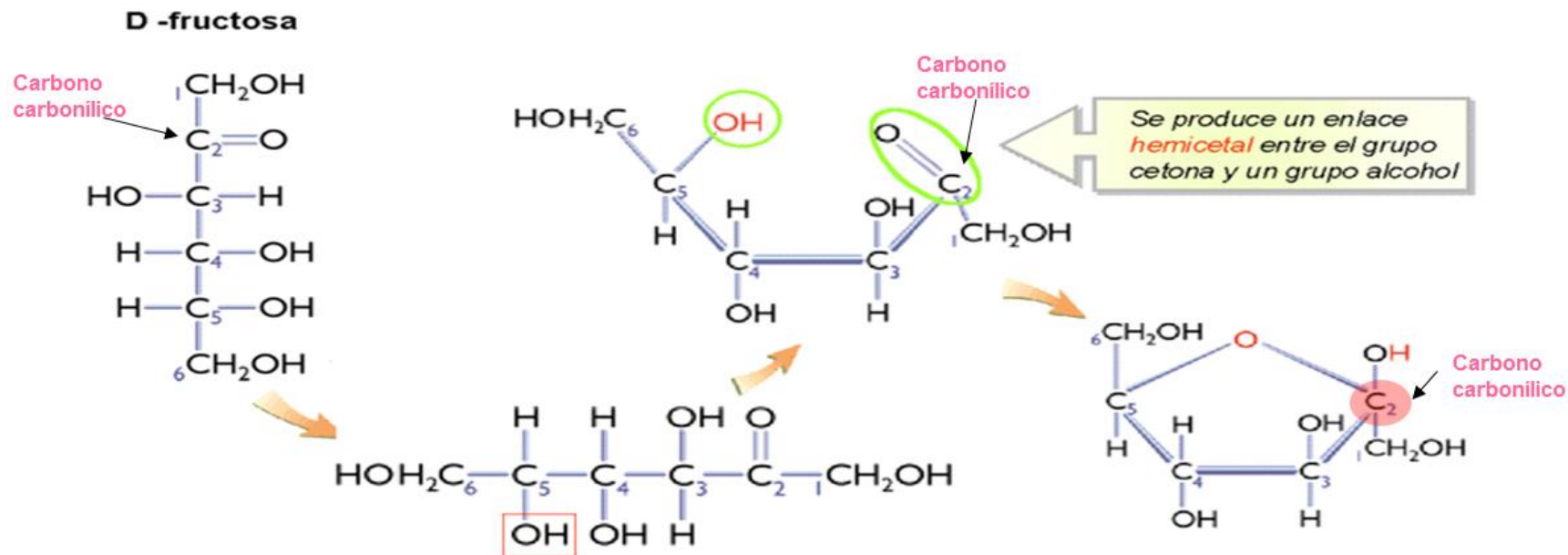
- Enlaces **hemiacetal** cuando reacciona el grupo aldehído y un grupo alcohol. La estructura cíclica de la glucosa se forma mediante un enlace hemiacetal entre el grupo aldehído del primer carbono y el grupo hidroxilo del quinto carbono.



Ciclación de la glucosa

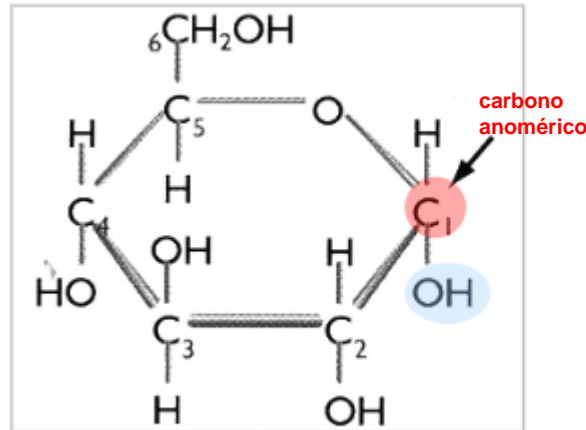


- Enlaces **hemiacetal** cuando reacciona el grupo cetona y un grupo alcohol. La estructura cíclica de la fructosa se forma mediante un enlace hemiacetal entre el grupo cetona del segundo carbono y el grupo hidroxilo del quinto carbono.

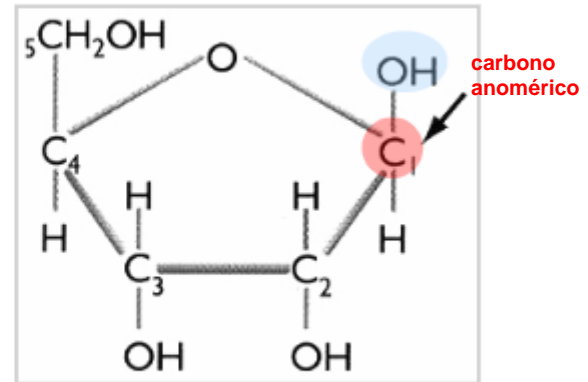


Como consecuencia de la ciclación, aparece en la molécula un nuevo carbono asimétrico llamado **carbono anomérico**, que da lugar a dos nuevos isómeros espaciales o **anómeros** que se diferencian en la posición relativa del grupo hidroxilo (-OH).

- El **anómero α** , si el grupo hidroxilo se encuentra por debajo del plano del carbono asimétrico.
- El **anómero β** , si el grupo hidroxilo se encuentra por encima del plano del carbono asimétrico.



Forma α

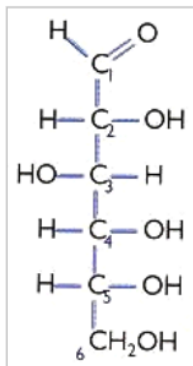


Forma β

La representación de las formas cíclicas

Las fórmulas cíclicas se representan mediante la **proyección de Haworth**. Son fórmulas planas, en las que los anillos se ven en perspectiva y los grupos se disponen arriba o abajo dependiendo de si se encuentran a la derecha o a la izquierda, respectivamente, en la fórmula lineal (proyección de Fischer). Si las fórmulas cíclicas forman un anillo pentagonal reciben el nombre de **furanos**, mientras que si este es hexagonal se denominan **piranosas**.

Proyecciones de Fischer



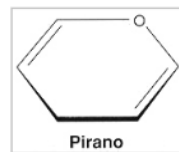
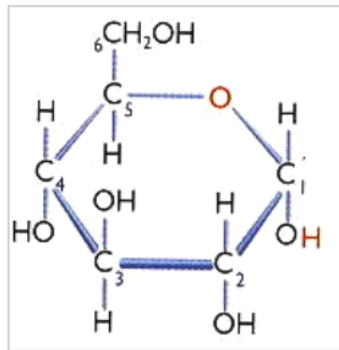
- aldopentosas

- hexosas

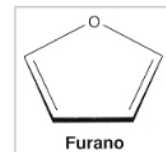
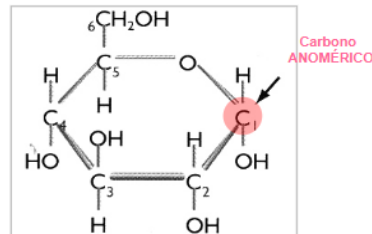
DISOLUCIÓN

Proyección de Haworth

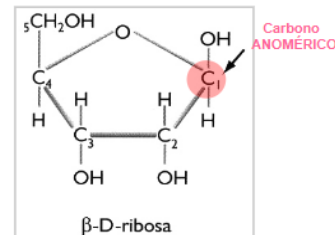
(Formas pentagonales y hexagonales)



Formas piranosas

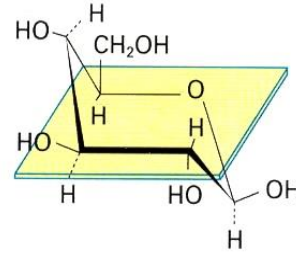


Formas furanosas

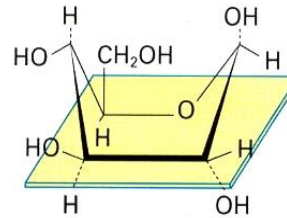


Formas lineales y cíclicas de la D-glucosa

Los anillos de piranosa no son en realidad planos, sino que adoptan dos conformaciones en el espacio: la forma **trans** o **E**, denominada también forma de **silla**, y la forma **cis**, **Z**, o de **bote**. Los anillos de furanosa adoptan dos conformaciones en forma de **sobre**.



β -D - glucopiranososa en estructura de «silla».
Los extremos de la molécula están en diferentes lados respecto al plano.



β -D - glucopiranososa en estructura de «nave».
Los extremos de la molécula están en el mismo lado. Es una forma muy inestable.

2.4

La importancia biológica de los monosacáridos

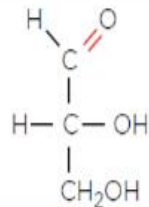
En la naturaleza, los monosacáridos pueden encontrarse en estado libre, donde desempeñan funciones importantes, pero también forman parte de otros azúcares más complejos.

Las triosas

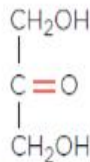
El **D-gliceraldehído** y la **dihidroxiacetona** son abundantes en el interior de la célula, donde actúan como metabolitos intermediarios en la degradación de glúcidos.

Las tetrosas

Son intermediarios metabólicos. Destacamos la **eritrosa** que se encuentra en las células vegetales como intermediario del ciclo de fijación del CO₂.



Gliceraldehído
(aldotriosa)

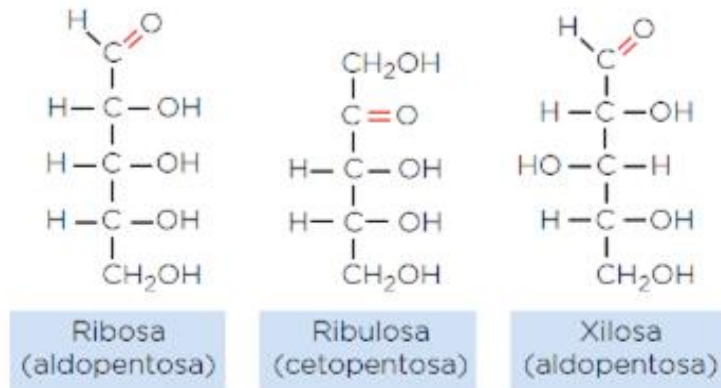


Dihidroxiacetona
(cetotriosa)

Las pentosas

No se encuentran en estado libre. Algunas de las más importantes son:

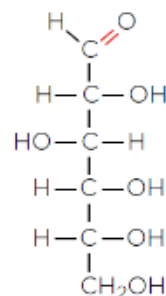
- La **D-ribosa**, componente estructural de nucleótidos como ATP y de los ácidos nucleicos (ARN).
- La **D-ribulosa**, que interviene en la fijación del CO_2 atmosférico durante la fotosíntesis, incorporando el carbono al ciclo de la materia viva.
- La **D-xilosa**, componente esencial del xilano, presente en la madera.
- La **L-arabinosa**, presente en la goma arábiga, uno de los pocos azúcares que se encuentran en la naturaleza en forma L.



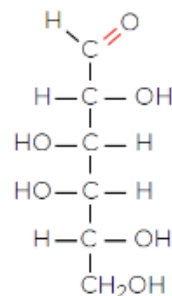
Las hexosas

Son las más abundantes en la naturaleza. Destacan:

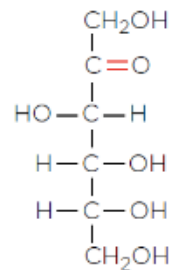
- La **D-glucosa**, que se encuentra libre en algunas frutas y en la sangre, y formando polímeros de reserva, como el almidón o el glucógeno, y estructurales como la celulosa. Es el principal combustible celular.
- La **D-galactosa**, que forma parte de la lactosa (disacárido presente en la leche), de polisacáridos y heterósidos.
- La **manosa**, que forma parte de polisacáridos de vegetales, bacterias, levaduras y hongos. Forma parte del antibiótico estreptomycin.
- La **D-fructosa**, llamada también **levulosa** por ser levógira. Se encuentra en la fruta, libre o unida a la glucosa formando sacarosa. También se halla en el líquido seminal, siendo el nutriente de los espermatozoides.



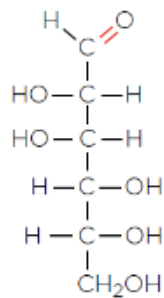
Glucosa
(aldohexosa)



Galactosa
(aldohexosa)

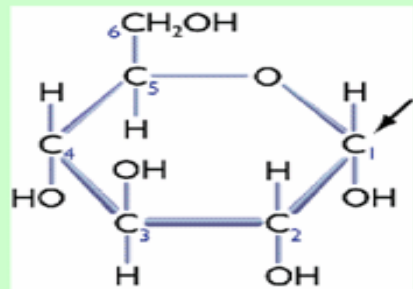


Fructosa
(cetohehexosa)



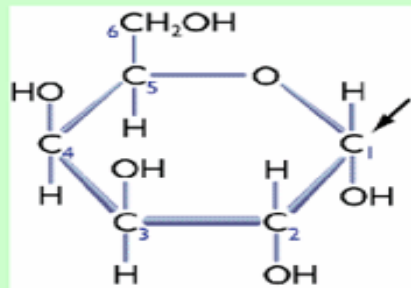
Manosa
(aldohexosa)

HEXOSAS



GLUCOSA

Principal nutriente de la respiración celular en animales.

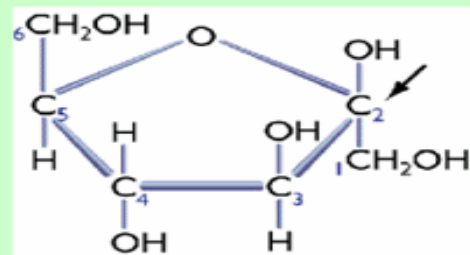


GALACTOSA

Forma parte de la lactosa de la leche.

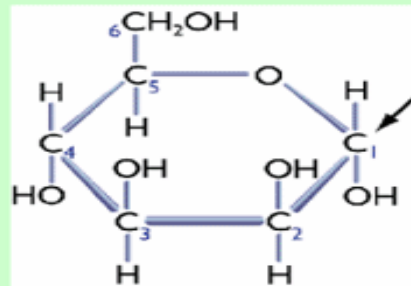
FRUCTOSA

Actúa como nutriente de los espermatozoides.



MANOSA

Componente de polisacáridos en vegetales, bacterias, levaduras y hongos.



2.5

Los derivados de los monosacáridos

En la naturaleza existen una serie de derivados de monosacáridos de gran importancia biológica. Surgen por oxidación o reducción de alguno de los átomos de carbono, o por sustitución de alguno de los grupos hidroxilo por otro grupo funcional.

Los aminoazúcares

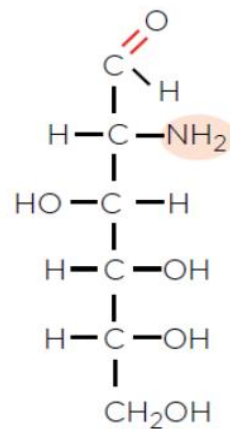
Son monosacáridos en los que un grupo alcohol ha sido sustituido por un grupo amino ($-\text{NH}_2$). Son, por ejemplo, la D-glucosamina, que forma parte del cartílago, o el N-acetilmurámico, componente de la pared celular bacteriana.

Los azúcares-alcoholes

Se forman al reducirse el grupo carbonilo a alcohol. Son, por ejemplo, la glicerina, que forma parte de muchos lípidos; o el glucitol, derivado de la glucosa utilizado como edulcorante.

Los azúcares-ácidos

Se forman al oxidarse algún átomo de carbono a grupo carboxilo. Destaca el ácido glucurónico, derivado de la glucosa.



El $-\text{OH}$ del carbono 2 se sustituye por un $-\text{NH}_2$

Glucosamina

2.5

Los derivados de los monosacáridos

En la naturaleza existen una serie de derivados de monosacáridos de gran importancia biológica. Surgen por oxidación o reducción de alguno de los átomos de carbono, o por sustitución de alguno de los grupos hidroxilo por otro grupo funcional.

Los aminoazúcares

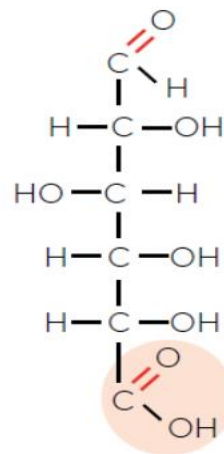
Son monosacáridos en los que un grupo alcohol ha sido sustituido por un grupo amino ($-NH_2$). Son, por ejemplo, la D-glucosamina, que forma parte del cartílago, o el N-acetilmurámico, componente de la pared celular bacteriana.

Los azúcares-alcoholes

Se forman al reducirse el grupo carbonilo a alcohol. Son, por ejemplo, la glicerina, que forma parte de muchos lípidos; o el glucitol, derivado de la glucosa utilizado como edulcorante.

Los azúcares-ácidos

Se forman al oxidarse algún átomo de carbono a grupo carboxilo. Destaca el ácido glucurónico, derivado de la glucosa.



El grupo $-CHO$
se transforma en $-COOH$

Ác. glucurónico

3. Los óxidos

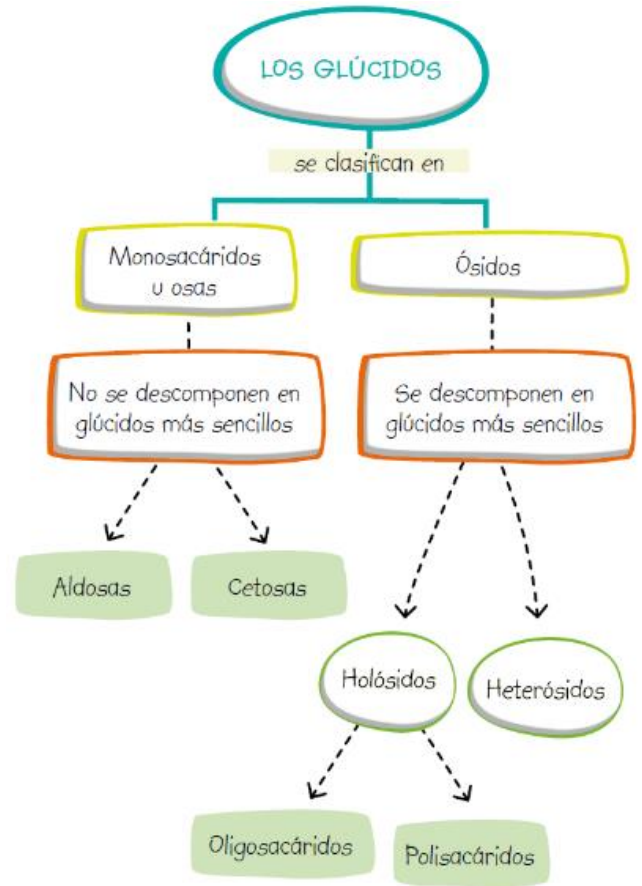
Los **óxidos** están formados por la unión de monosacáridos o derivados de ellos por enlaces **O-glucosídicos**.

3.1

El enlace O-glucosídico

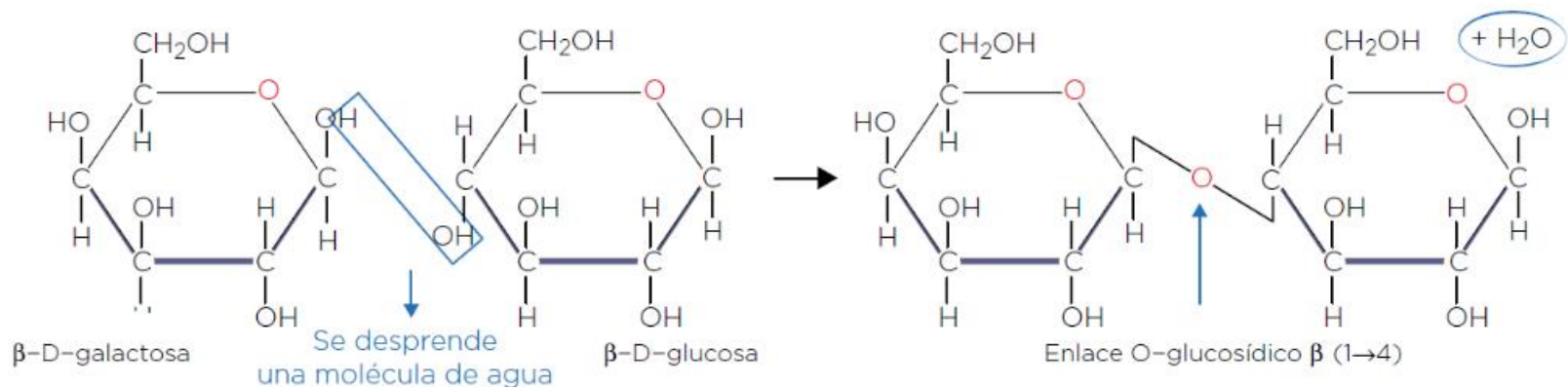
El enlace **O-glucosídico** se forma cuando reaccionan el **grupo hidroxilo del carbono anomérico del primer monosacárido** y **un grupo hidroxilo del segundo monosacárido**. En la reacción se libera una molécula de agua y los dos monosacáridos quedan unidos a través de un **punto de oxígeno**.

Dependiendo de que el grupo hidroxilo del segundo monosacárido esté unido o no al carbono anomérico, existen dos tipos de enlaces glucosídicos: el **monocarbonílico** y el **dicarbonílico**.



El enlace glucosídico monocarbonílico

El **grupo hidroxilo del segundo monosacárido** está unido a un **carbono no anomérico**. Por tanto, el enlace tiene lugar entre los grupos hidroxilos de un carbono anomérico y de uno no anomérico, como ocurre, por ejemplo, en la lactosa. Al quedar un carbono anomérico libre, el disacárido que se forma mantiene su poder reductor, ya que tiene un grupo carbonilo libre, que puede oxidarse, transformándose en un grupo carboxílico.

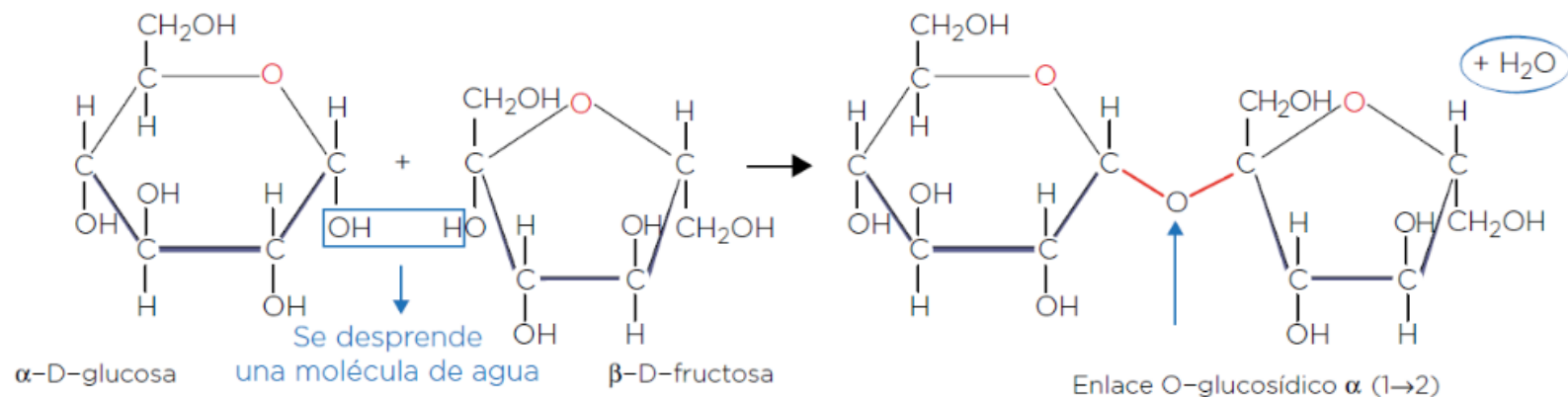


Formación de maltosa
Enlace α (1 \rightarrow 4)

El enlace glucosídico dicarbonílico

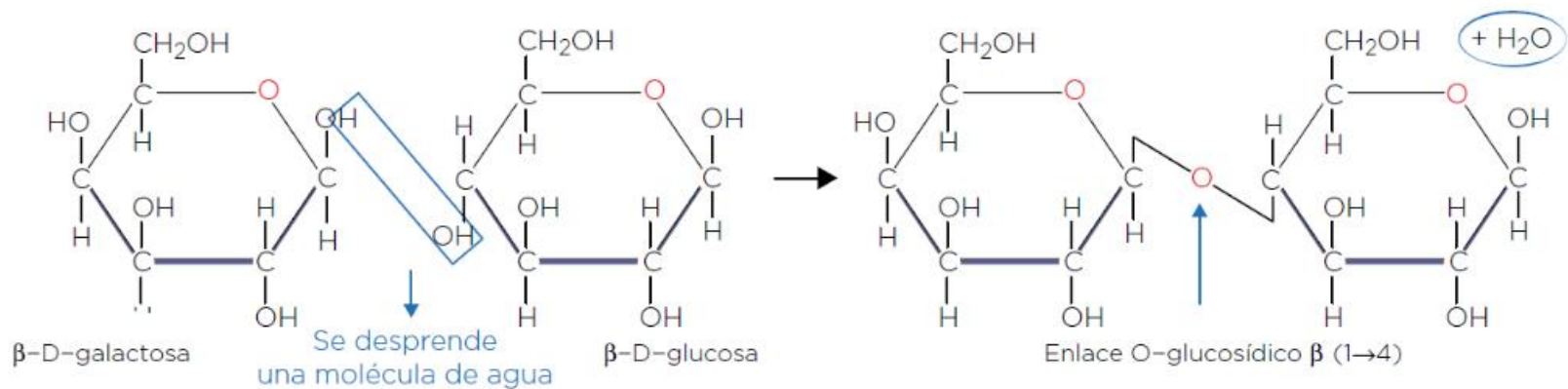
El **grupo hidroxilo del segundo monosacárido** está unido al **carbono anomérico**.

Por tanto, el enlace tiene lugar entre los grupos hidroxilos de dos carbonos anoméricos, como, por ejemplo, en la sacarosa. Al no haber ningún carbono anomérico libre, el disacárido que se forma no tiene poder reductor, ya que no tiene ningún grupo carbonilo libre que pueda oxidarse.



Nomenclatura de los enlaces O-glucosídicos

Los enlaces O-glucosídicos se nombran mediante la letra que corresponde a la conformación del carbono anomérico (α o β), seguida de un paréntesis en el que se indican los números de los carbonos que quedan unidos de cada monosacárido. Por ejemplo, enlace $\alpha(1\rightarrow4)$, que indica que se han unido el carbono 1 anomérico del primer monosacárido, cuya conformación es α , y el carbono 4 del segundo monosacárido.

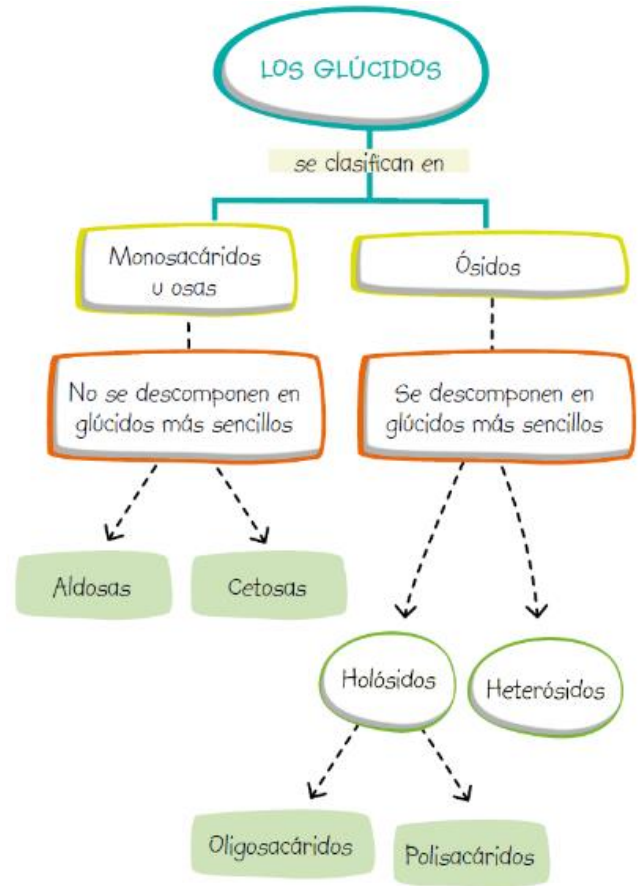


Los holósidos: los oligosacáridos

Los **oligosacáridos** están formados por un pequeño número de monómeros unidos mediante enlaces O-glucosídicos.

Su masa molecular es pequeña. Son solubles en agua y generalmente presentan sabor dulce.

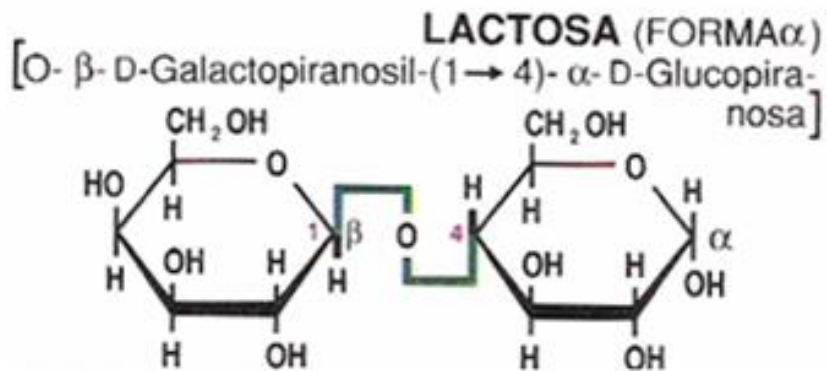
Algunos de ellos tienen poder reductor. Los oligosacáridos pueden encontrarse en la naturaleza en estado libre, o bien formar parte de otras moléculas, como los glucolípidos o las glucoproteínas.



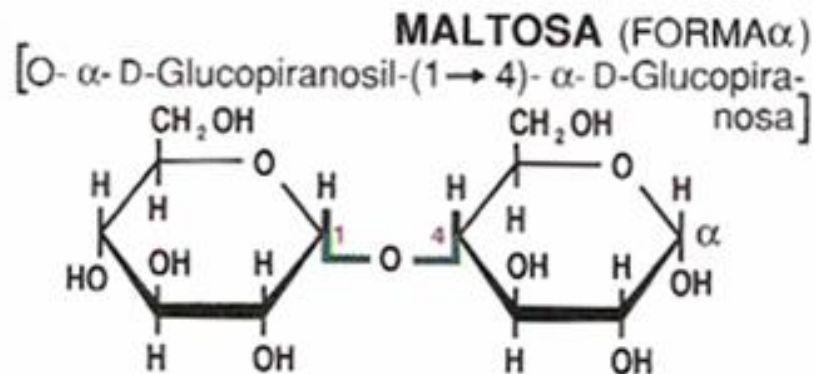
Los disacáridos

Los **disacáridos** son los oligosacáridos más abundantes que se encuentran en la naturaleza en forma libre, es decir, no unidos a otras biomoléculas. Algunos de los disacáridos más importantes son la lactosa, la maltosa, la sacarosa y la celobiosa.

- La **lactosa** está presente en la leche. Está constituida por una molécula de β -D-galactosa y una de α o β -D-glucosa, unidas por un enlace β (1 \rightarrow 4). La lactosa se hidroliza en el tracto digestivo de los mamíferos gracias a la **lactasa**, una enzima que se produce en las glándulas intestinales y que transforma la lactosa en los monosacáridos que la componen. La lactosa tiene poder reductor.

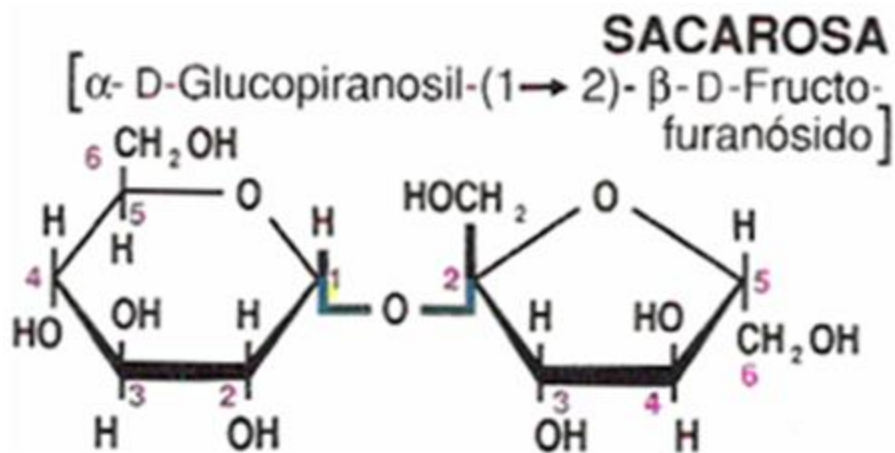


- La **maltosa** se encuentra en la cebada. Está formada por una molécula de α -D-glucosa o β -D-glucosa unidas por un enlace α (1 \rightarrow 4). La forma β es más abundante que la α . La maltosa también aparece en el tracto digestivo de los vertebrados como resultado de la hidrólisis del almidón por la enzima **amilasa**. La maltosa tiene poder reductor.

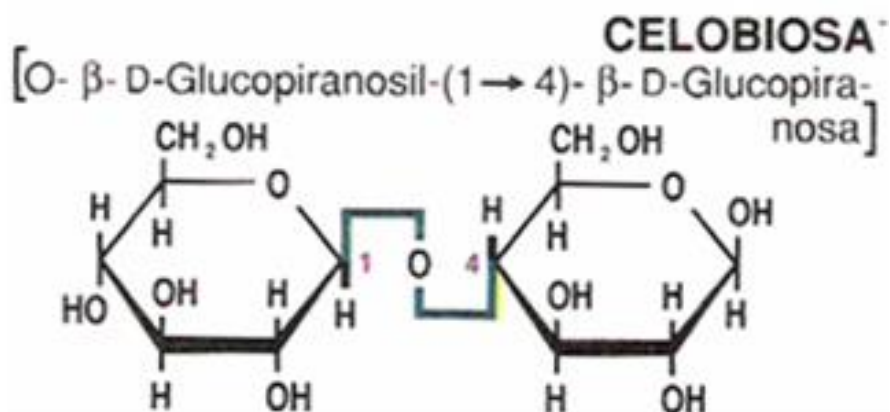


MALTOSA. Llamado azúcar de malta (cebada germinada), es producto de la hidrólisis del almidón o del glucógeno. Está formado por una molécula de α -D-glucosa unida a otra α o β -D-glucosa, ya que esta última glucosa experimenta mutarrotación. El enlace es monocarbonílico α (1 \rightarrow 4) fácilmente hidrolizable. Posee carácter reductor.

- La **sacarosa** es el azúcar que consumimos y se extrae de la remolacha y la caña de azúcar. Está formada por la unión mediante enlaces α (1 \rightarrow 2) de una molécula de α -D-glucosa y una molécula de β -D-fructosa. La sacarosa la hidroliza la enzima **sacarasa**, que se produce en el intestino delgado, y transforma la sacarosa en glucosa y fructosa. La sacarosa no tiene poder reductor.



- La **celobiosa** está constituida por dos moléculas de β -D-glucosa unidas por un enlace β (1 \rightarrow 4). Este disacárido no se encuentra en forma libre en la naturaleza, sino que es el resultado de la degradación de la celulosa, por la **celulasa**. La celobiosa tiene poder reductor.



Nomenclatura de los disacáridos

Los disacáridos se nombran de la siguiente forma:

- El **nombre del primer monosacárido**, indicando sus conformaciones enantiomérica y anomérica, acabado con el sufijo **-osil**.
- Los **números de los carbonos unidos** mediante el enlace glucosídico, entre paréntesis y con una flecha entre ellos.
- El **nombre del segundo monosacárido**, indicando sus conformaciones enantiomérica y anomérica, acabado con el sufijo **-osa**, si el enlace es monocarbonílico y **-ósido**, si el enlace es dicarbonílico.

Por ejemplo, el **α -D-glucopiranosil (1 \rightarrow 4) β -D-glucopiranososa** es la maltosa que quiere decir que el carbono 1 de una molécula de **α -D-glucosa** está unido mediante un enlace glucosídico al carbono 4 de otra molécula de **α -D-glucosa**.

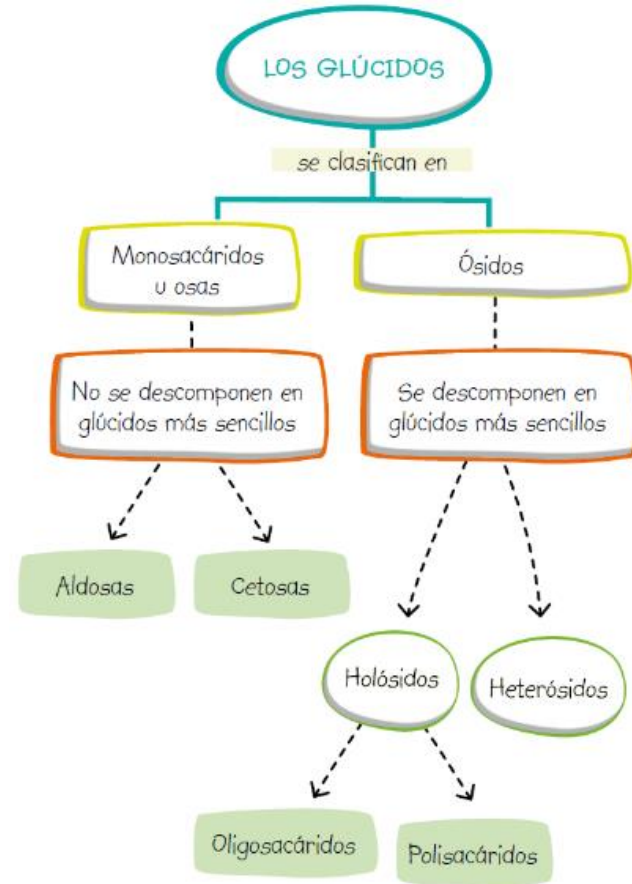
3.3

Los holósidos: los polisacáridos

Los **polisacáridos** son glúcidos complejos, formados por más de diez monómeros. Pueden llegar a contener miles de moléculas de monosacáridos, o derivados de monosacáridos, unidos mediante enlaces O-glucosídicos.

Los polisacáridos forman largas cadenas que pueden tener ramificaciones. Su masa molecular es elevada y su solubilidad en agua es escasa. No tienen sabor dulce ni poder reductor.

Los polisacáridos son moléculas de alto contenido energético. Esta energía no siempre puede ser utilizada por las células, ya que algunos de los enlaces O-glucosídicos no pueden ser hidrolizados por muchos organismos. Algunos polisacáridos son utilizados por los seres vivos como **reserva energética**, mientras que otros tienen una **función estructural**.



Los homopolisacáridos

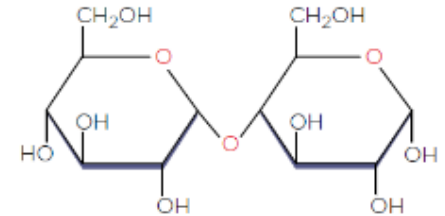
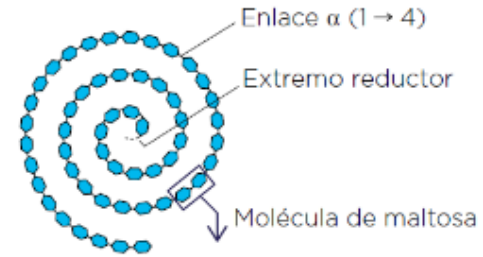
Los **homopolisacáridos** están formados por **un solo tipo** de monosacárido o derivado de él.

Algunos de los homopolisacáridos más importantes son el almidón, el glucógeno, la celulosa y la quitina.

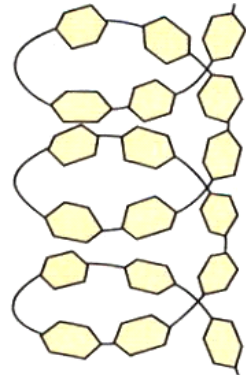
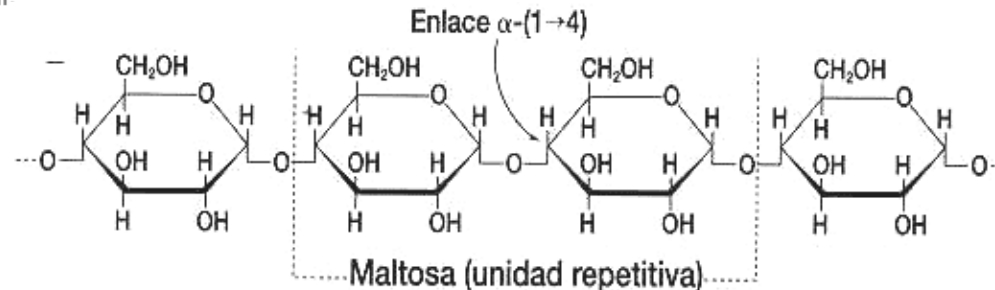
El almidón

El **almidón** es el principal polisacárido de reserva en las plantas. Se sintetiza en las células vegetales como resultado del proceso de fotosíntesis y se acumula en el citoplasma en forma de gránulos, principalmente en los tubérculos y las semillas. El almidón contiene dos polímeros:

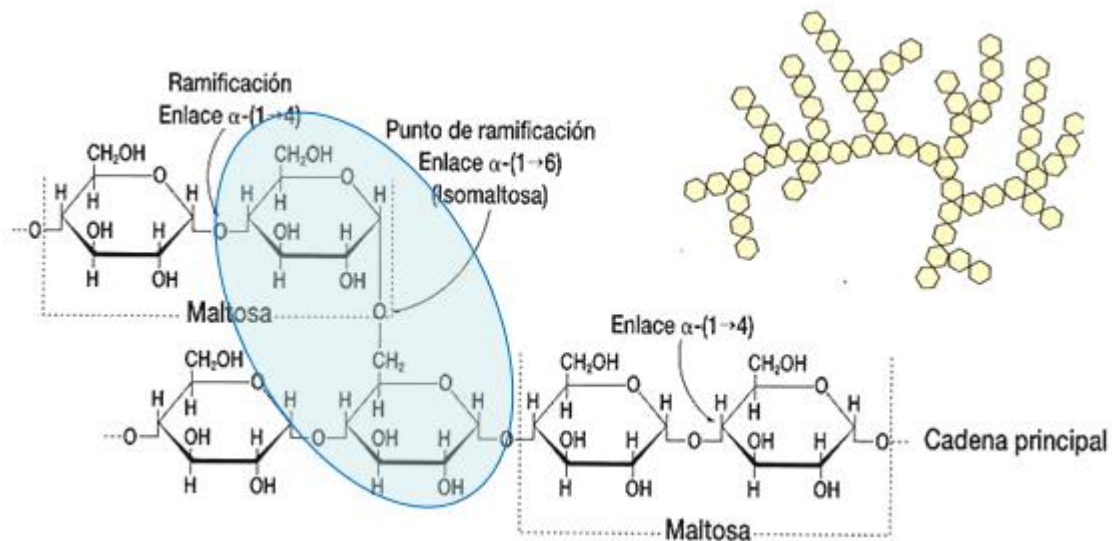
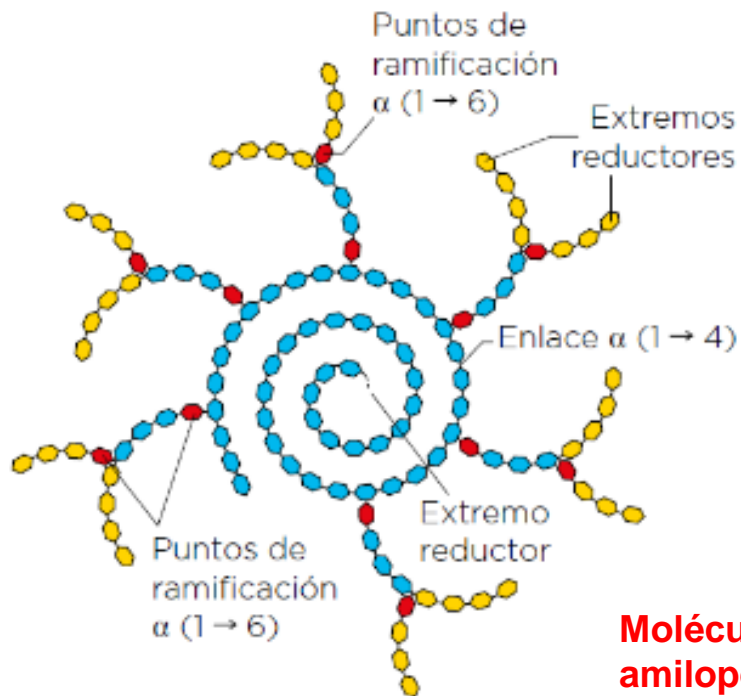
- **La amilosa.** Es un polímero constituido por cadenas lineales no ramificadas de unidades de α -D-glucosa, unidas mediante enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$. Las cadenas pueden contener desde unos pocos miles hasta 500 000 moléculas de glucosa. La amilosa tiene una estructura helicoidal



Moléculas de amilosa

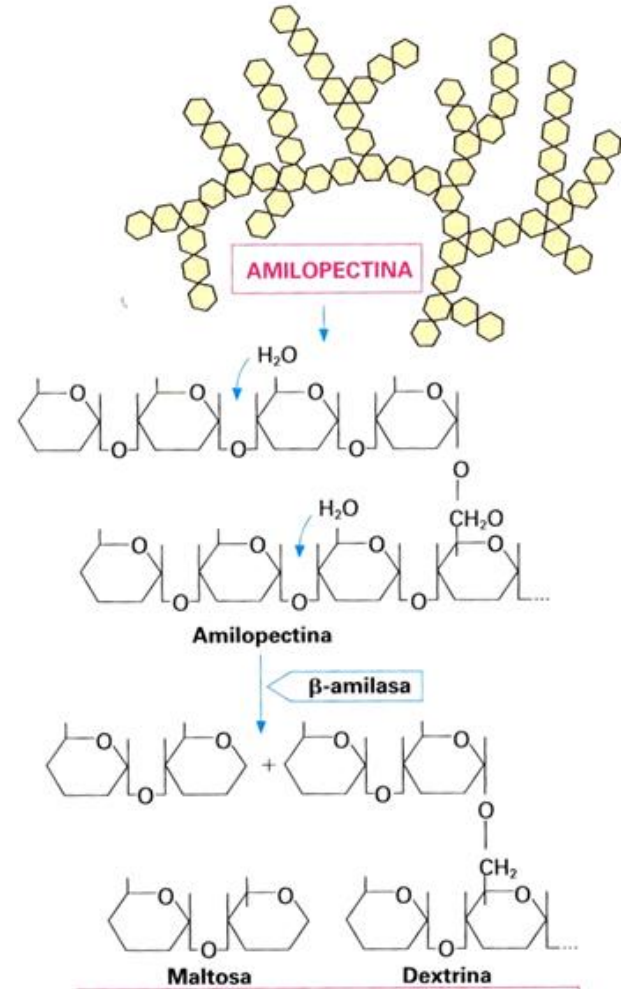
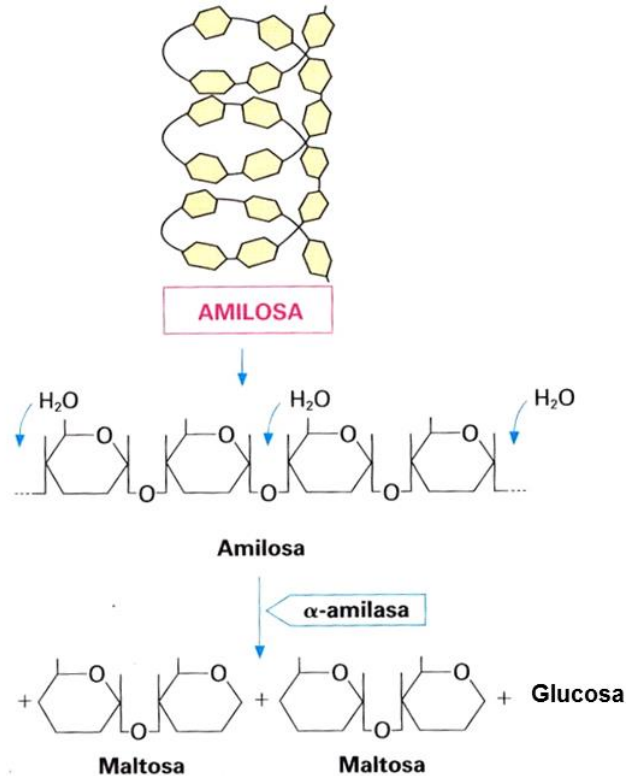


- **La amilopectina.** Es un polímero formado por cadenas ramificadas de α -D-glucosa. Pueden contener hasta 100 millones de unidades de glucosa. Los enlaces O-glucosídicos de las cadenas lineales son α (1 \rightarrow 4), mientras que en los puntos de ramificación los enlaces son α (1 \rightarrow 6). Las ramificaciones se producen cada 24 a 30 unidades de glucosa.



Moléculas de amilopectina

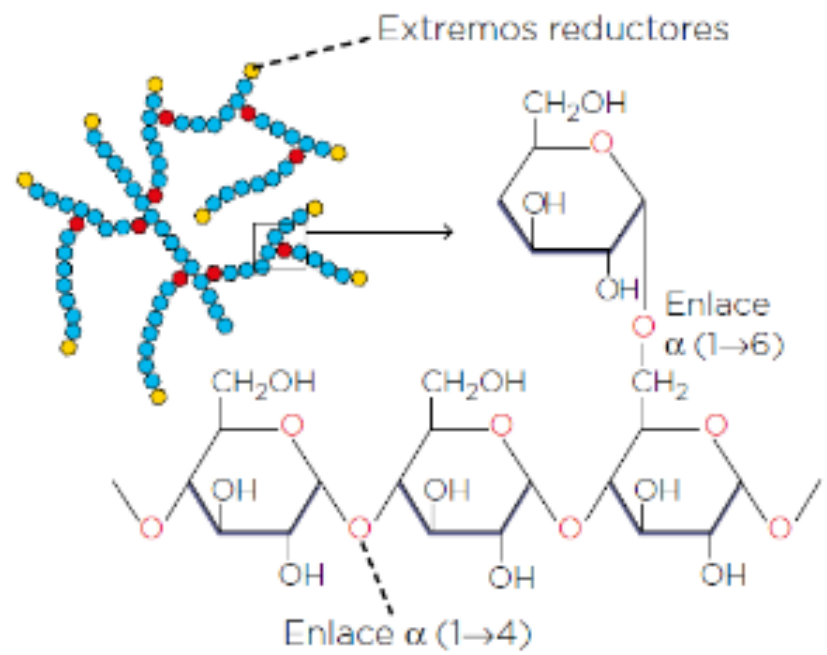
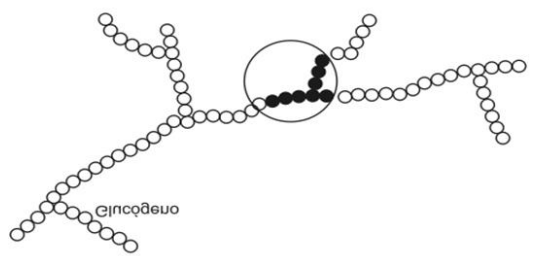
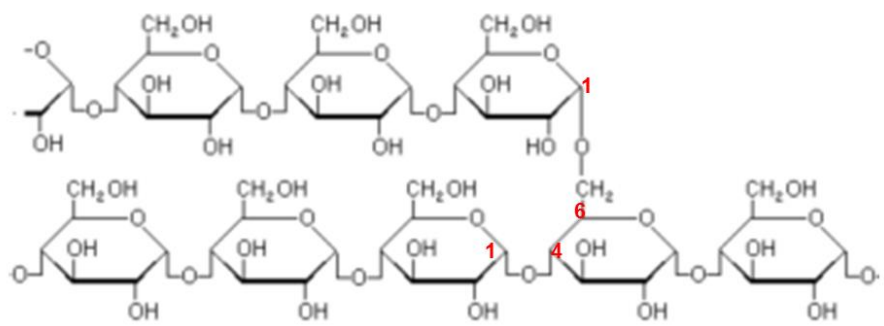
El almidón se puede degradar completamente, transformándose en glucosa. Para ello, es necesaria la acción de tres enzimas: la **amilasa** rompe los enlaces $\alpha(1\rightarrow4)$, generando unidades de glucosa y de maltosa; la **glucosidasa** hidroliza los enlaces $\alpha(1\rightarrow6)$, rompiendo los puntos de ramificación; la **maltasa** rompe el enlace $\alpha(1\rightarrow4)$ de la maltosa, generando dos moléculas de glucosa. Estas enzimas se encuentran en los jugos del tubo digestivo.



El glucógeno



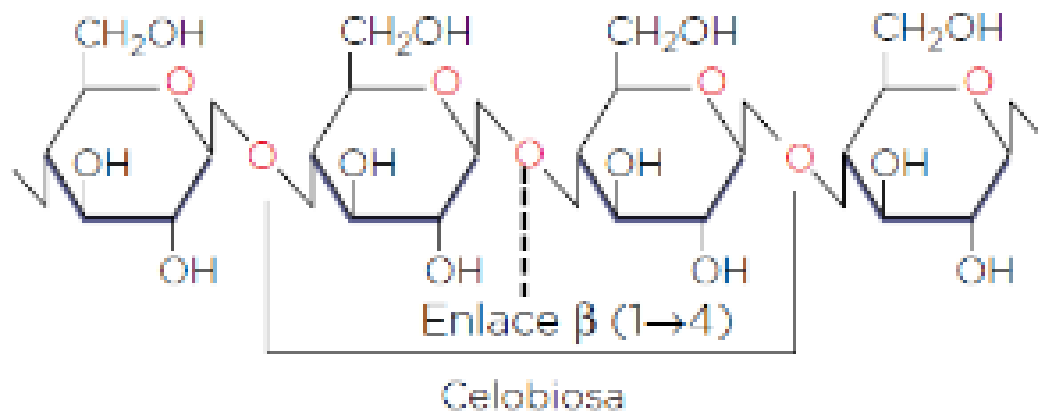
El **glucógeno** es el polisacárido de **reserva** de las células animales. Se encuentra, principalmente, en las del hígado y, en menor medida, en las del músculo esquelético. Es un polímero formado por unidades de α -D-glucosa unidas por enlaces α (1 \rightarrow 4). Al igual que la amilopectina, tiene ramificaciones unidas mediante enlaces α (1 \rightarrow 6), pero el grado de ramificación del glucógeno es mucho mayor. Las ramificaciones aparecen cada 8 a 12 unidades de glucosa, lo que hace del glucógeno una estructura mucho más compacta.

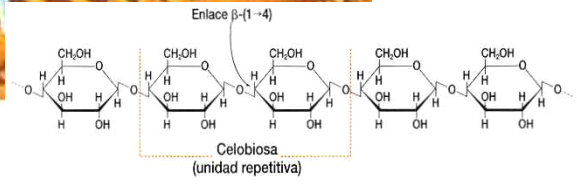
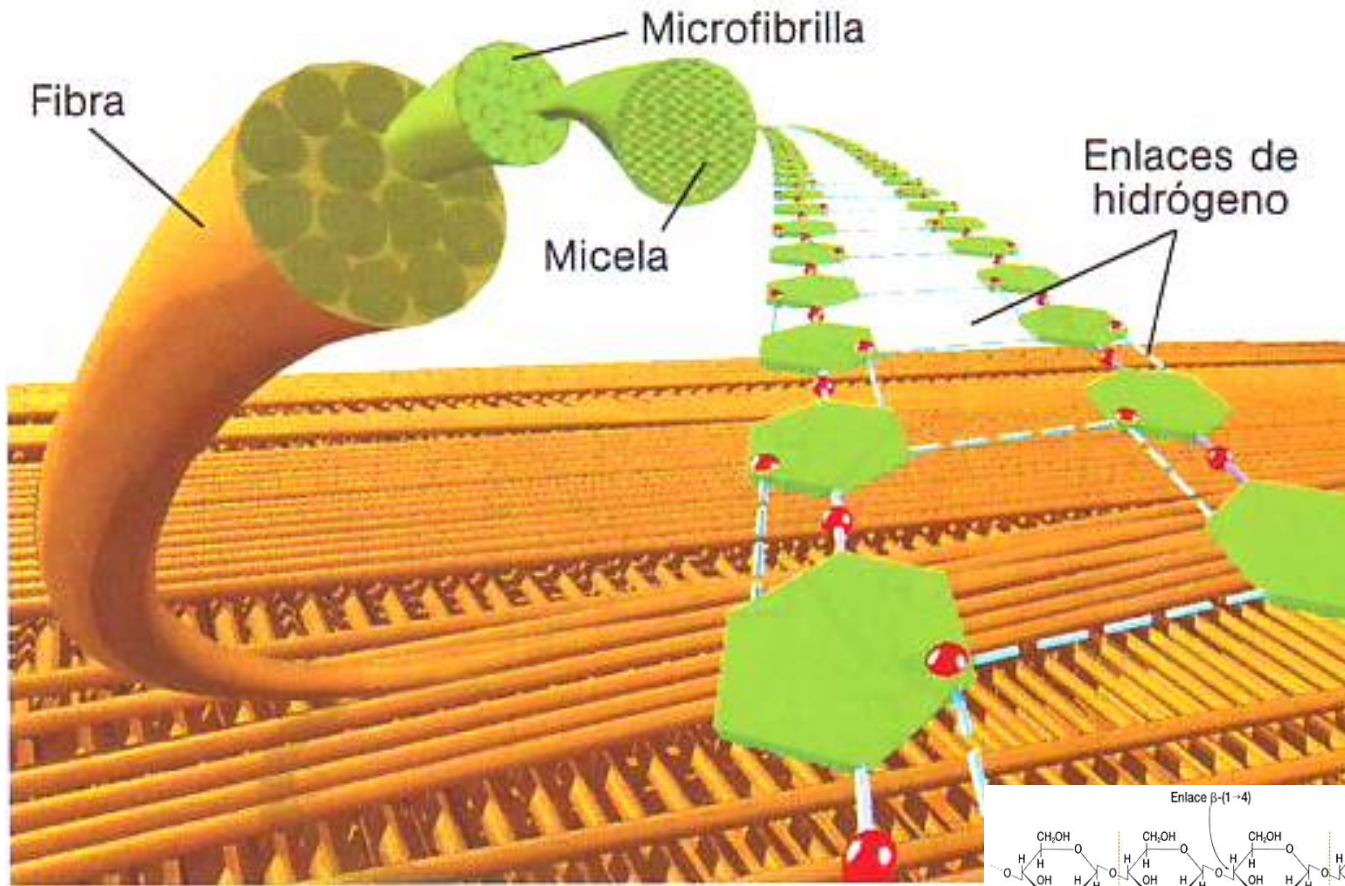


La hidrólisis del glucógeno se produce por la acción de dos enzimas: la **glucógeno-fosforilasa**, que rompe los enlaces α (1 \rightarrow 4) y libera un derivado fosforilado de la glucosa; y la **glucosidasa**, que actúa en los puntos de ramificación, que rompe los enlaces α (1 \rightarrow 6) y libera moléculas de glucosa.

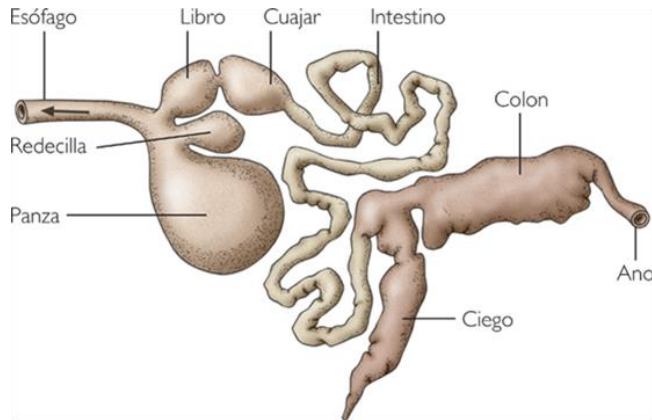
→ La celulosa

La **celulosa** es un polisacárido con función estructural, que constituye las paredes de las células vegetales. Es un polímero formado por cadenas lineales, sin ramificaciones, de entre 300 y 15 000 unidades de β -D-glucosa unidas mediante enlaces β (1 \rightarrow 4). Las moléculas de celulosa se organizan en haces de cadenas paralelas, formando fibrillas, que interactúan entre sí mediante puentes de hidrógeno. Las fibrillas a su vez se agrupan en fibras de celulosa. Debido a esta compacta estructura la celulosa es una sustancia fibrosa, resistente e insoluble en agua.



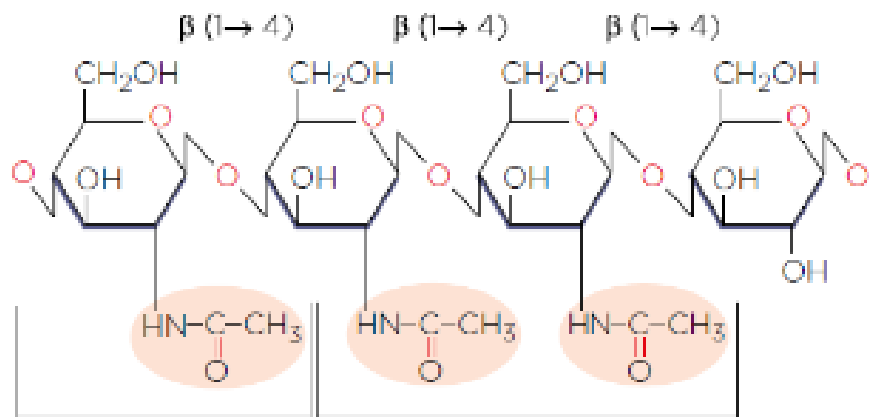


La enzima **celulasa** hidroliza los enlaces β (1 \rightarrow 4) de la celulosa transformándola en glucosa y celobiosa. Esta enzima no se produce en el sistema digestivo de los vertebrados, por lo que para la mayoría de estos animales la celulosa no tiene valor nutritivo. Solo los rumiantes son capaces de absorber la glucosa procedente de la celulosa, gracias a que en su tubo digestivo se alojan determinadas bacterias que producen celulasa. Algunos protozoos, que viven en el sistema digestivo de las termitas, también son capaces de producir celulasa, lo que permite a sus hospedadores alimentarse de madera.



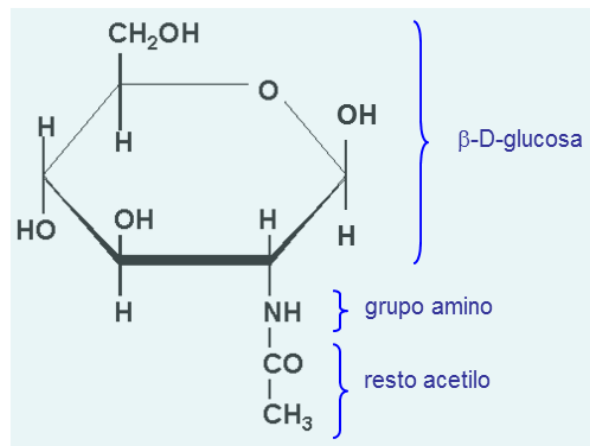
La quitina

La **quitina** es un polisacárido con función estructural que constituye las paredes celulares de los hongos y el exoesqueleto de muchos artrópodos. Es un polímero constituido por unidades de **N-acetil-D-glucosamina** (un derivado de la glucosa), que se unen mediante enlaces glucosídicos β (1 \rightarrow 4). Su estructura es muy similar a la de la celulosa, pero la presencia de N-acetil-D-glucosamina permite la formación de un mayor número de puentes de hidrógeno. Mediante estos enlaces, las cadenas lineales de quitina se unen entre sí, formando capas. Estas capas se agrupan constituyendo una estructura insoluble, compacta y muy resistente.

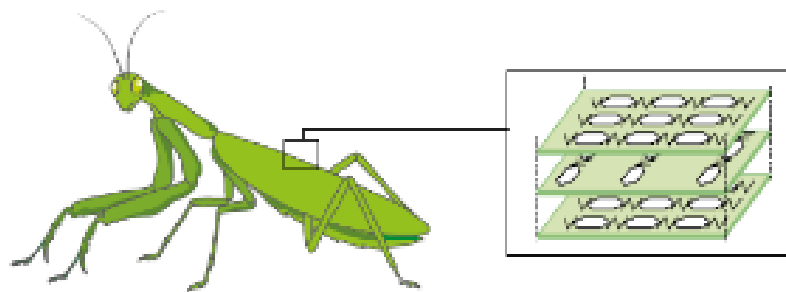


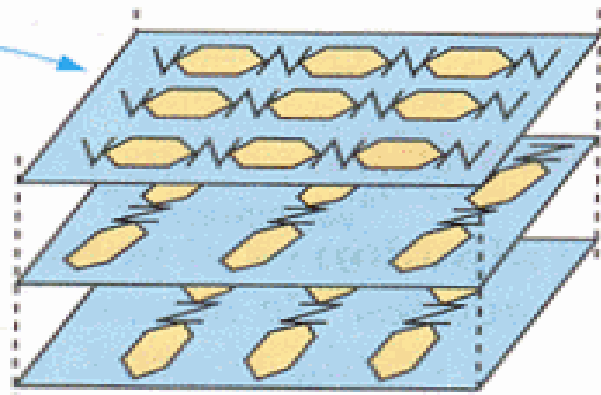
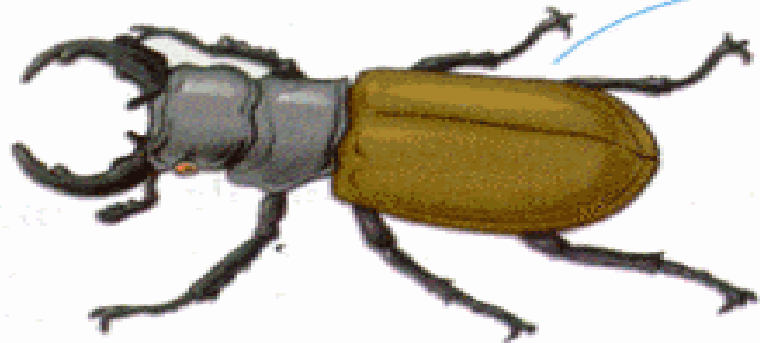
N-acetil-glucosamina
(Monómero de la quitina)

Quitobiosa
Disacárido de la quitina.

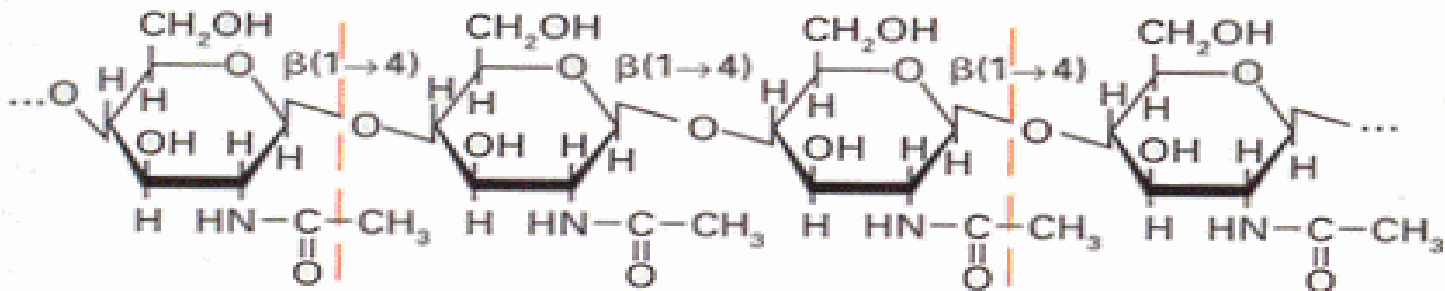


N-acetil-D-glucosamina





Capas de polimeros



Quitobiosa

Los heteropolisacáridos

Los **heteropolisacáridos** están formados por **más de un tipo** de monosacárido o derivado de él.

Algunos de los heteropolisacáridos más importantes son las hemicelulosas, la pectina, el agar y los mucopolisacáridos.

Las hemicelulosas

Las **hemicelulosas** están constituidas por cadenas lineales de pentosas y hexosas. Forman parte de la pared celular de las células vegetales junto a la celulosa.

Las pectinas

Las **pectinas** son polímeros formados por largas cadenas de residuos de ácido galacturónico. En la cadena se intercalan algunos residuos de ramnosa, con ramificaciones de galactosa, arabinosa y xilosa. Forman la lámina media de la pared celular de las células vegetales.

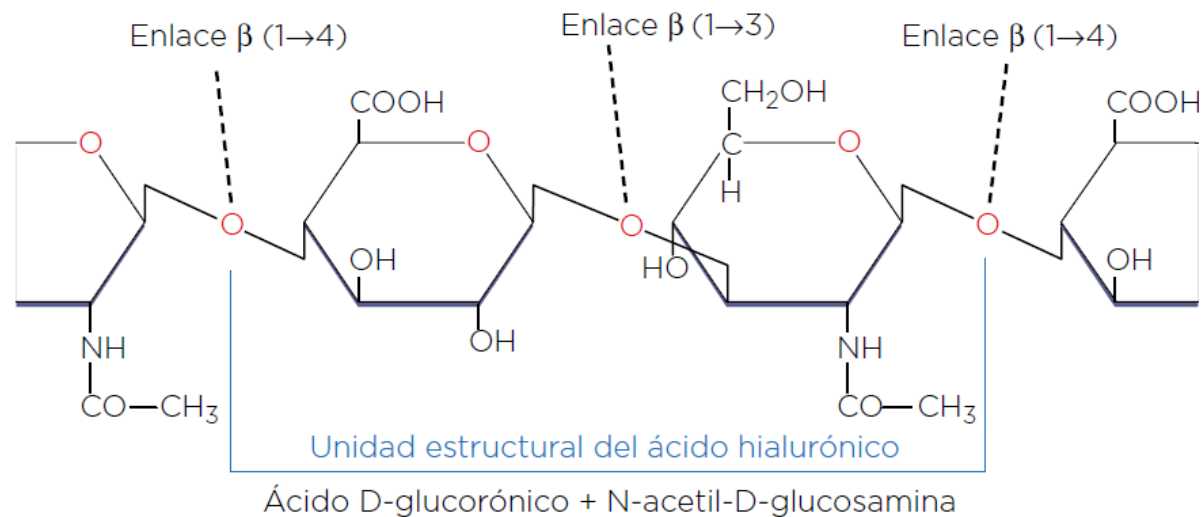
El agar

El **agar-agar** o **agar** es un heteropolisacárido formado por unidades de D- y L-galactosa. Algunos restos están unidos a un ácido esterificado. Forma parte de las paredes celulares de las células de algunas algas. El agar se utiliza como espesante en la industria alimentaria. También se utiliza en microbiología como componente de los medios de cultivo.

Los mucopolisacáridos

Los **mucopolisacáridos** están formados por D-glucosamina y D-galactosamina. Uno de estos monómeros se une alternativamente al ácido glucurónico. Entre los mucopolisacáridos destacan:

- El **ácido hialurónico**, formado por la alternancia de ácido D-glucurónico y N-acetil-glucosamina. Se halla en la sustancia intersticial de los tejidos conectivos de los vertebrados.



- La **heparina**, formada por una secuencia alterna de derivados de la N-acetilglucosamina y del D-iduronato. Es un potente inhibidor de la coagulación de la sangre que ayuda a evitar la formación de coágulos en la circulación sanguínea.

3.4

Los heterósidos

Los **heterósidos** son biomoléculas constituidas por una parte glucídica y otra parte no glucídica, denominada **aglucón**.

Los **glucolípidos** y los **glucoproteidos** son heterósidos.

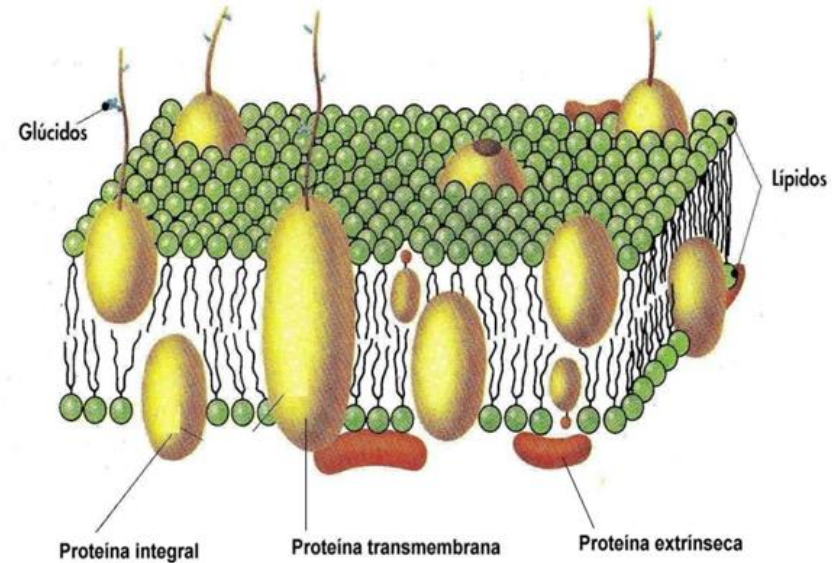
Los glucolípidos

Los **glucolípidos** son heterósidos cuya parte **no glucídica** es un **lípid**, denominado **ceramida**. Estos lípidos se encuentran formando parte de la membrana plasmática, donde tienen una función en el reconocimiento celular.

Los glucolípidos más importantes son los **cerebrósidos** y los **gangliósidos**, que estudiarás en la segunda parte de esta unidad.

Los glucolípidos son moléculas de membrana presentes, fundamentalmente, en la **superficie externa de las células** del tejido nervioso, aunque también existen en otros tejidos animales.

Se piensa que intervienen en el **reconocimiento celular**; proporcionando a las células sus señales de identidad. Probablemente también tengan la función de receptores de moléculas extracelulares que actúen como señales.



Los glucoproteidos

Los **glucoproteidos** son heterósidos cuya parte **no glucídica** es de naturaleza **proteica**. Los más importantes son los peptidoglucanos, las mucoproteínas y las glucoproteínas.

Los peptidoglucanos o mureínas

Son polímeros de un disacárido formado por la unión de la N-acetilglucosamina y el N-acetilmurámico, al que se unen pequeños péptidos de cuatro aminoácidos. Los tetrapéptidos unen lateralmente diferentes cadenas glucídicas, formando una estructura muy rígida. Las mureínas son el componente fundamental de las **paredes celulares bacterianas**.

Las mucoproteínas o mucinas

Son complejos formados por una proteína a la que se unen gran cantidad de cadenas de mucopolisacáridos, como el ácido hialurónico o la heparina. Su elevado contenido en glúcidos proporciona a estas sustancias la capacidad de formar geles. Se encuentran en la **matriz extracelular de los tejidos conectivos** y en **secreciones**, en las que actúan como lubricante.

Las glucoproteínas

Son moléculas formadas por una proteína unida a una fracción glucídica. El contenido en glúcidos puede variar entre el 1 y el 80 %. Las glucoproteínas con un contenido muy elevado en glúcidos se denominan **proteoglucanos**.

Las glucoproteínas realizan funciones muy variadas en todos los seres vivos. Por ejemplo: el **fibrinógeno** interviene en la coagulación de la sangre; las glucoproteínas de membrana que constituyen el **glucocálix**, implicado en la recepción de señales y el reconocimiento celular, como las que se encuentran en la membrana de los eritrocitos, que determinan el grupo sanguíneo; y algunas **hormonas gonadotrópicas**, como la hormona folículo estimulante (FSH) y la hormona luteinizante (LH).