

Los **glúcidos**, llamados también hidratos de carbono o carbohidratos, son los compuestos más abundantes entre los constituyentes de animales y plantas. Son la fuente de energía biológica por excelencia y forman parte de los tejidos de sostén de las plantas y de algunos animales.

1.1 Estereoisomería

Una de las principales características de los glúcidos es la estereoisomería. Como se ha mencionado anteriormente, los isómeros son moléculas que poseen la misma fórmula molecular, pero que difieren en el arreglo o disposición relativa de los átomos dentro de la molécula.

En la figura 2 se resumen las diferentes formas de isomería que se pueden presentar. Aquellas que implican la misma disposición relativa entre átomos, pero se diferencian en el arreglo espacial de los mismos, se denominan **isómeros espaciales** o **estereoisómeros**, haciendo referencia al carácter tridimensional de las diferencias entre isómeros.

Los glúcidos presentan un tipo particular de estereoisomería: isomería **óptica**, en la cual se tienen parejas de formas isoméricas llamadas **enantiómeros**. Los enantiómeros son **imágenes especulares no superponibles**. En otras palabras, son pares de moléculas asimétricas, similares a las manos derecha e izquierda, que constituyen reflejos especulares una de otra y que no se pueden superponer, de tal manera que las posiciones de todas sus partes coincidan exactamente (**Fig. 1**). Cuando una molécula cumple estas condiciones es **quiral**, mientras que si sus imágenes especulares son superponibles es **aquiral**.

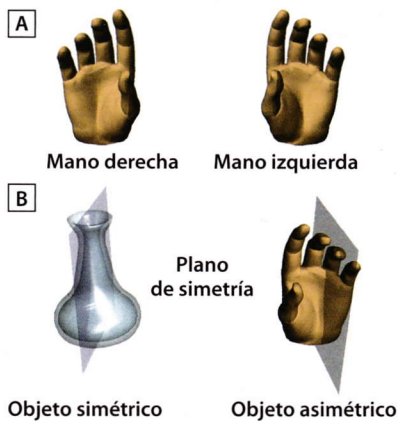


Figura 1. A. Los enantiómeros son imágenes especulares que no se pueden superponer. B. Al igual que las manos, las moléculas que poseen isomería óptica son asimétricas.

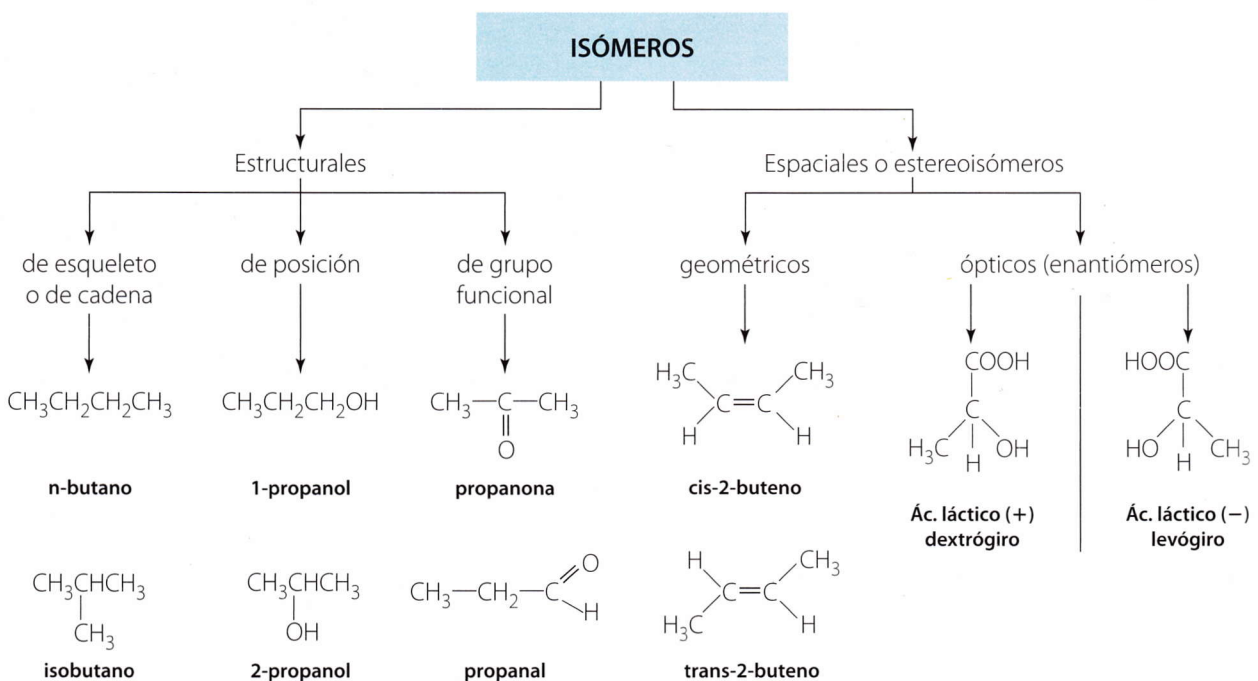
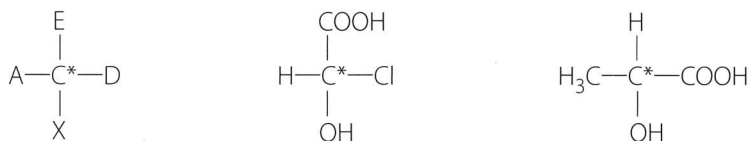


Figura 2. El esquema resume los principales tipos de isomería.

La isomería óptica en un compuesto se relaciona con la existencia de por lo menos un átomo de carbono tetraédrico, enlazado con cuatro átomos o grupos de átomos diferentes. Este tipo de carbonos se denominan **asimétricos** o **quirales** (Figs. 3 y 4) y suelen indicarse a través de un asterisco, como en los siguientes ejemplos:



Los enantiómeros se diferencian asignando los signos + y - a cada una de las imágenes especulares (Figs. 1 y 3), dependiendo de la desviación de la luz polarizada a la derecha o a la izquierda.

1.1.1 Actividad óptica

La presencia de uno o más carbonos asimétricos confiere a las moléculas una propiedad especial, conocida como actividad óptica. La actividad óptica de una sustancia se refiere a la capacidad de esta para desviar o rotar la luz polarizada. Un haz de luz ordinaria se compone de ondas electromagnéticas que oscilan perpendicularmente con respecto a la dirección de propagación de la luz. Por ejemplo, si un rayo de luz incide perpendicularmente sobre una hoja de papel, las vibraciones emitidas por ese rayo de luz se representarían como una rueda de bicicleta. Sin embargo, es posible separar cada una de esas ondas. Por ejemplo, sustancias tales como el espato de Islandia y la turmalina, así como filtros de polarización, dejan pasar a través de sus cristales solamente la luz que vibra en un plano. Un haz de luz con estas características se conoce como **luz polarizada**.

Las moléculas con actividad óptica pueden hacer rotar un haz de luz polarizada hacia la derecha o hacia la izquierda, en relación con la dirección de propagación inicial del rayo (Fig. 5). Por convención, el enantiómero que desvía la luz hacia la derecha corresponde a la imagen especular (+) y se denomina **dextrógiro**, mientras que el enantiómero (-) es aquel que desvía la luz polarizada hacia la izquierda y se denomina, por lo tanto, **levógiro**.

El ángulo de rotación del rayo de luz polarizada es característico de cada sustancia y se denomina α . Cada enantiómero de una determinada sustancia presenta un valor de α igual en magnitud pero de signo contrario.

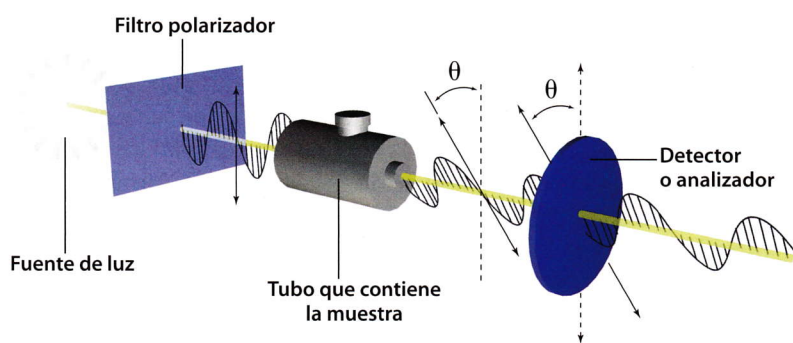


Figura 5. Los isómeros ópticos poseen actividad óptica, expresada en su capacidad para desviar un haz de luz polarizada, ya sea hacia la derecha o hacia la izquierda, en un ángulo α .

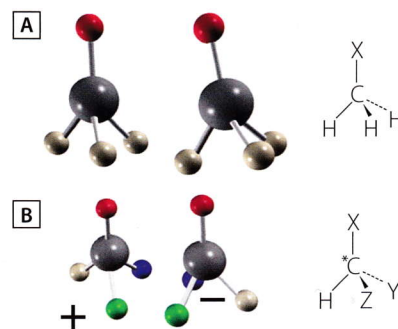


Figura 3. A. Molécula sin carbonos asimétricos: las dos imágenes especulares se pueden superponer. B. Molécula que tiene un carbono asimétrico, dado que H, Z y Y son diferentes. Por lo tanto, sus imágenes especulares no son superponibles.

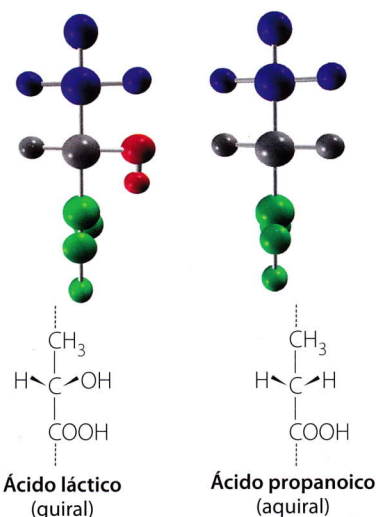


Figura 4. El ácido láctico (izquierda) es un ejemplo de molécula asimétrica, con isomería óptica, mientras que el ácido propanoico (derecha) no lo es, pues no posee un carbono asimétrico.



Figura 6. El polarímetro se utiliza para cuantificar la actividad óptica de los compuestos orgánicos.

Compuesto	$[\alpha]_D^{20}$ (en grados)
Penicilina V	+233
Sacarosa	+66,47
Alcanfor	+44,26
Glutamato monosódico	+25,5
Colesterol	-31,5
Morfina	-132
Ácido acético	0
Benceno	0

Figura 7. Valores de α para algunos compuestos orgánicos medidos en las condiciones estándar de 20 °C y longitud de onda 589 nm. El signo + se refiere a un comportamiento dextrógiro (d) y el signo - a uno levógiro (l).

Figura 8. Propiedades físicas de la mezcla racémica (\pm) y de cada enantiómero (+ y -) para el ácido tartárico.

Estereoisómero	Punto de fusión (°C)	$[\alpha]_D^{20}$ (°)	Densidad (g/cm ³)	Solubilidad (a 20 °C, en g/100 mL de agua)
(+)	168-170	+12	1,75948	139
(-)	168-170	-12	1,7598	139
(\pm)	206	0	1,7880	20,6

1.1.2 Cuantificación de la actividad óptica: el polarímetro

La magnitud de la desviación de un haz de luz polarizada, ocasionada por una sustancia ópticamente activa se determina con un instrumento llamado **polarímetro** (Fig. 6). El esquema básico de este instrumento es muy similar al que se muestra en la figura 5 de la página anterior.

Inicialmente el filtro polarizador y el detector se encuentran alineados, de tal manera que la luz pueda pasar a través de los dos. Luego, la muestra es colocada en el tubo. Si la sustancia analizada es ópticamente activa, la luz no puede atravesar el filtro detector, pues ha sido desviada. El detector es entonces girado, hasta que el haz de luz desviado pueda pasar a través de él. De este modo, la magnitud del giro del detector corresponde al ángulo, α , de rotación, provocado por la sustancia problema en el haz de luz polarizada inicial.

La magnitud del ángulo α depende, en primer lugar, de la cantidad de moléculas ópticamente activas con las cuales se cruce un haz de luz polarizada. Esto depende, a su vez, de la concentración de la solución problema y de la longitud del tubo donde se deposite la muestra. Entre mayor sea la cantidad de moléculas presentes, mayor será la rotación que experimente el haz de luz incidente. Así, si se duplica la concentración de la muestra en el tubo, la rotación observada se duplica y, si se mantiene constante la concentración de la muestra pero se duplica la longitud del tubo, la rotación también se duplica.

El valor de α depende también de la longitud de onda de la luz empleada y de la temperatura del entorno en el cual se realiza la medición. De esta manera, un valor observado de α siempre debe indicarse en relación con una serie de condiciones, por lo que se trata de una **rotación específica**, $[\alpha]$. La fórmula de la rotación específica es la siguiente:

$$[\alpha]_{\lambda}^T = \frac{\alpha}{l \cdot c}$$

donde α es la rotación observada (en grados), l es la longitud del tubo en cm (la longitud estándar es de 10 cm), y c es la concentración de la muestra medida en mg/mL. Los valores estándar para medir la rotación específica son 20 °C de temperatura y una longitud de onda de 589 nm, que corresponde a una sección del espectro de emisión del sodio llamada línea D. La rotación específica medida bajo estas condiciones se denota $[\alpha]_D^{20}$ y constituye una constante física característica de las sustancias ópticamente activas (Fig. 7).

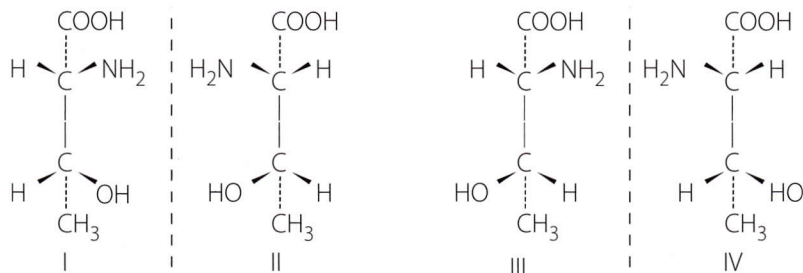
1.1.3 Mezcla racémica

Una mezcla de los dos enantiómeros de un compuesto, en proporciones 50:50 se denomina **mezcla racémica**.

Dado que la actividad óptica de cada uno de los enantiómeros que conforman la mezcla se anula mutuamente, las mezclas racémicas son ópticamente inactivas. Así mismo, otras propiedades físicas, como los puntos de fusión y ebullición, la densidad o la solubilidad, difieren entre la forma racémica y los enantiómeros puros. En la tabla de la figura 8 se muestran los valores de algunas constantes físicas para el ácido tartárico, en su forma racémica (\pm) y para cada enantiómero puro (+ y -).

1.1.4 Diastereoisómeros

Cuando una molécula posee más de un carbono quiral, existe más de una pareja de enantiómeros, como se puede observar en el siguiente ejemplo, para la treonina o ácido 2-amino-3-hidroxi-butanoico (**Fig. 9**):

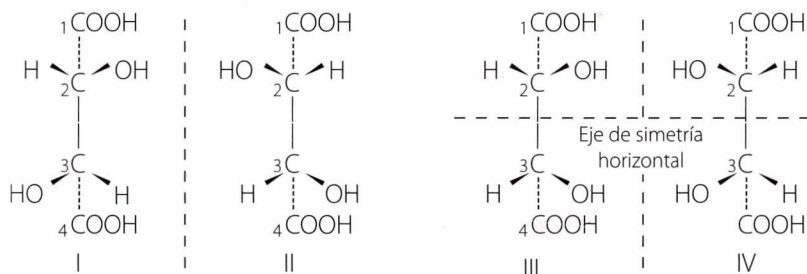


Las parejas I-II y III-IV son enantiómeros entre sí, mientras que las formas de las parejas I-III y II-IV no son imágenes especulares una de otra, por lo que no son enantiómeros. Estas parejas son **diastereoisómeros**.

Entre más centros quirales posea una molécula, más parejas de enantiómeros presentará. Así, el número máximo de estereoisómeros posibles en una molécula con n carbonos quirales diferentes entre sí es 2^n .

1.1.5 Formas meso

En algunos casos, los diferentes pares de enantiómeros y de diastereoisómeros pueden presentar simetría a lo largo de un eje diferente del que define las imágenes especulares, por lo que se trata de formas aquirales, y por lo tanto sin actividad óptica. En el caso del ácido tartárico:



La pareja de enantiómeros III - IV posee un eje de simetría horizontal, y por lo tanto es aquiral. Las formas meso, dado que no son imágenes especulares de los enantiómeros, poseen propiedades físicas y químicas diferentes a estos, por lo que constituyen una situación similar a la de las mezclas racémicas.

1.1.6 Significado bioquímico de la isomería óptica

Aunque los enantiómeros presentan las mismas propiedades físicas —a excepción de su actividad óptica—, bioquímicamente se comportan de formas muy diferentes, especialmente cuando se relacionan con moléculas asimétricas y ópticamente activas (**Fig. 10**). Por ejemplo, la terramicina posee 64 isómeros ópticos, de los cuales solo uno es útil como antibiótico. ¿Cómo se explica esta diferencia? Para que una determinada molécula tenga efectos fisiológicos debe ser reconocida por un **receptor** dentro del organismo. Los receptores suelen ser altamente **específicos**; por esta razón solo uno de los enantiómeros puede activar un determinado receptor y así desencadenar una serie de respuestas bioquímicas en las células.

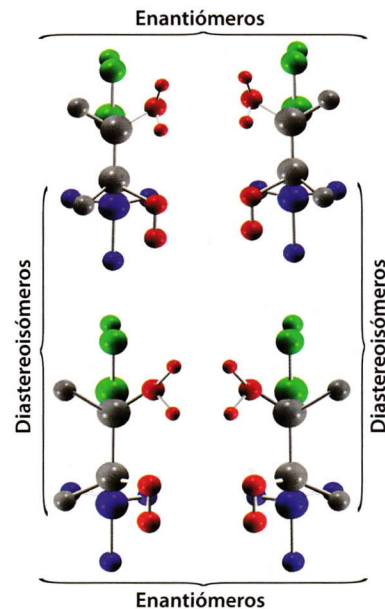


Figura 9. La ilustración representa parejas de enantiómeros y diastereoisómeros en el ácido 2-amino-3-hidroxi-butanoico.

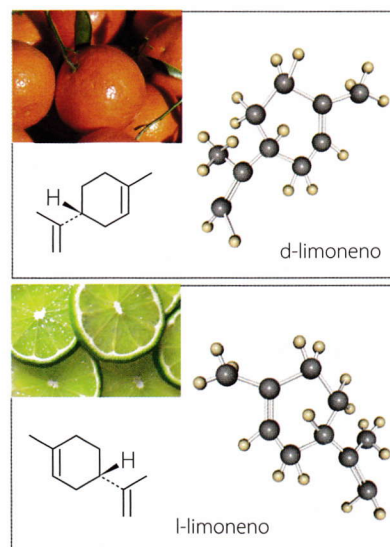


Figura 10. El comportamiento bioquímico de los enantiómeros de una molécula es diferente. Por ejemplo, el d-limoneno es una sustancia con aroma a naranjas, mientras que el l-limoneno huele a limón.

1.1.7 Breve resumen del descubrimiento de la isomería óptica

En 1815, el físico **Jean-Baptiste Biot** descubrió que algunas sustancias, como el alcanfor y el azúcar tenían la particularidad de cambiar el plano de propagación de un haz de luz polarizada. Sin embargo, los contemporáneos de Biot no prestaron mucha atención a su descubrimiento.

Hubo que esperar hasta 1849, para que los fundamentos de la isomería óptica fueran establecidos. Esto ocurrió gracias a los trabajos de **Louis Pasteur**, en sales cristalinas del ácido tartárico, derivado de la fermentación del vino.

Pasteur observó que al recrystalizar una solución concentrada de tartrato amónico de sodio por debajo de 28 °C se precipitaban dos tipos de cristales, los cuales eran imágenes especulares no superponibles uno del otro (**Fig. 11**). Trabajando con gran precisión logró separar los dos tipos de cristales y analizar sus propiedades. Así, notó que ambos tipos de cristales eran ópticamente activos y que, además, la magnitud de la rotación que cada uno provocaba en un haz de luz polarizada era igual en magnitud pero ocurría hacia lados opuestos, una a la derecha y otra a la izquierda. Igualmente, observó que una mezcla 50:50 de ambas sales era ópticamente inactiva. Pasteur explicó estos resultados diciendo: *"...no hay duda de que en el ácido tartárico dextro existe un arreglo asimétrico que tiene una imagen no superponible (y) los átomos del ácido levo poseen precisamente el arreglo asimétrico inverso"*.

La capacidad de predicción de Pasteur fue extraordinaria, pues 25 años después, sus hipótesis fueron confirmadas. En 1874, el alemán **Jacobus Henricus Van't Hoff** y el francés **Joseph Le Bel**, propusieron independientemente una explicación para la asimetría de las moléculas ópticamente activas, señalando que todas ellas poseían al menos un átomo de carbono unido a cuatro sustituyentes diferentes. Esta asimetría era la responsable de la imposibilidad de superponer las imágenes especulares correspondientes a las formas dextro y levo.

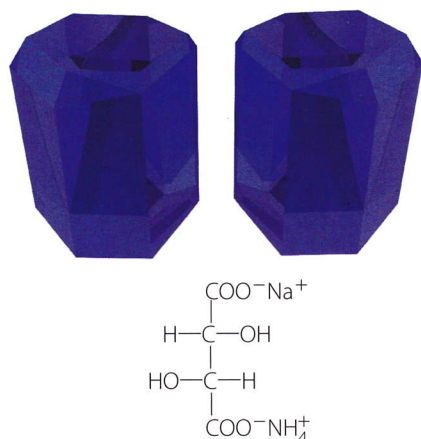


Figura 11. Cristales de tartrato amónico de sodio, estudiados por Pasteur.

1.2 Características y diversidad de los glúcidos

1.2.1 Definición química

Los **glúcidos** o **hidratos de carbono**, como se les conocía anteriormente, deben su nombre a que en su fórmula mínima los átomos de carbono van unidos con átomos de hidrógeno y oxígeno que están entre sí en la relación de dos a uno, que es la misma relación entre los átomos de hidrógeno y oxígeno cuando forman agua, de ahí la errónea idea de que los glúcidos estaban formados por átomos de carbono unidos a determinado número de moléculas de agua.

Funcionalmente se definen como funciones mixtas formadas por grupos hidroxilo provenientes de los alcoholes y grupos carbonilo provenientes de aldehídos o cetonas. Es decir, pueden ser polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas, dependiendo de los grupos funcionales presentes.

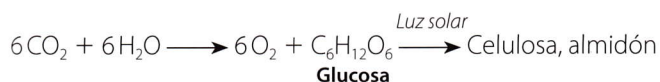
La gran mayoría de los glúcidos son sintetizados por las plantas verdes durante la fotosíntesis, un proceso complejo en el cual el dióxido de carbono se convierte en glucosa (**Fig. 12**).



Figura 12. Por medio de la fotosíntesis se construyen la mayoría de los glúcidos que luego son utilizados por otros organismos.

Muchas moléculas de glucosa son unidas químicamente y almacenadas por la planta en forma de celulosa o almidón. Se ha hecho una estimación de que más del 50% del peso seco de la biomasa del planeta, incluidos animales y plantas, está formada por polímeros de glucosa. Cuando se ingieren y se metabolizan, los glúcidos constituyen la principal fuente de energía para los organismos. De esta forma los azúcares actúan como los intermediarios químicos en los que la energía solar se almacena y se utiliza para sostener el ciclo de la vida.

De forma abreviada la fotosíntesis se puede representar de la siguiente manera:



1.2.2 Clasificación de los glúcidos

De manera general, los glúcidos se pueden dividir en **simples** y **complejos**. Los azúcares simples, como la glucosa, son glúcidos que no pueden ser hidrolizados en moléculas más pequeñas. Los glúcidos complejos están constituidos por la unión de dos o más azúcares simples. Por ejemplo, la sacarosa es un dímero compuesto por dos unidades de glucosa, mientras que la celulosa es un polímero de la glucosa. De acuerdo con el número de unidades simples que posea un glúcido, podemos diferenciar: **monosacáridos**, **disacáridos** y **polisacáridos**. Los monosacáridos son azúcares simples, los disacáridos están compuestos por dos monosacáridos, y los polisacáridos, por más de dos unidades simples.

Dentro de los monosacáridos podemos encontrar varios tipos de azúcares, de acuerdo con el número de carbonos que posea la molécula. Así, las triosas tienen 3 carbonos, las pentosas 5, y las hexosas, 6 carbonos. Por otro lado, según el grupo funcional, los monosacáridos pueden ser **aldosas**, si tiene el grupo aldehído, o **cetosas**, si tienen un grupo cetónico (Fig. 13).

1.2.3 Monosacáridos

Los azúcares son moléculas complejas con más de un carbono quiral, por lo que el número de estereoisómeros posibles puede ser grande. Por ejemplo, una pentosa, con 3 carbonos quirales tiene $2^3 = 8$ estereoisómeros posibles y una hexosa, con 4 carbonos quirales, tiene $2^4 = 16$ estereoisómeros posibles. Sin embargo, de todos los posibles estereoisómeros, en la naturaleza solo se presentan unos pocos.

El gliceraldehído es el monosacárido más sencillo que existe (Fig. 14). A partir de su estructura se define otra clasificación de los glúcidos: los tipos **D** y **L**.

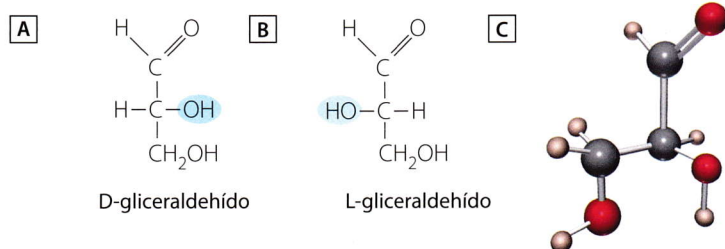


Figura 14. El gliceraldehído es el monosacárido más sencillo, con dos enantiómeros. A. Enantiómero D. B. Enantiómero L. C. Modelo tridimensional del D-gliceraldehído.

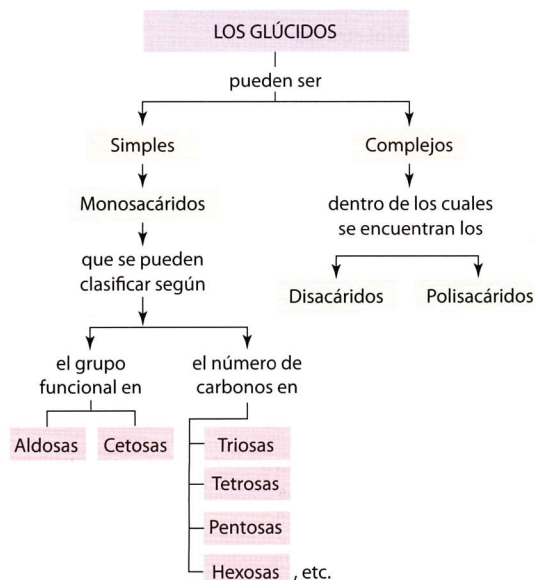


Figura 13. El esquema resume las diferentes clasificaciones de los glúcidos según diversos aspectos de su estructura.

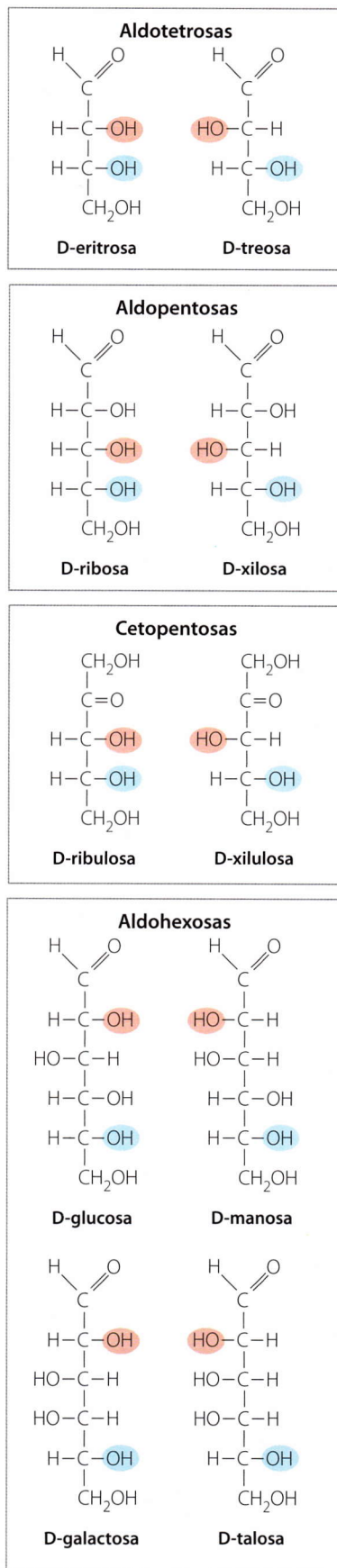


Figura 15. Estructuras de algunos monosacáridos en sus formas D.

■ Monosacáridos D y L

Retomando la figura 14 de la página anterior, se puede observar que el D-gliceraldehído se diferencia del L-gliceraldehído en que el grupo OH del segundo carbono, es decir, del carbono quiral, está a la derecha o a la izquierda, respectivamente. Esto es cierto no solo en el papel, esquemáticamente, sino en la forma tridimensional de la molécula, por lo que tradicionalmente a estas configuraciones se las denominó D y L (por dextrógira/derecha y levógira/izquierda).



Así, cuando un monosacárido presenta el grupo OH del carbono más alejado del grupo carbonilo —es decir el carbono equivalente al C₂ del gliceraldehído— a la derecha, se denomina D. Igualmente, si el OH está a la izquierda de la molécula es de tipo L. Aun cuando ambas formas son igualmente posibles, en la naturaleza predominan las formas D sobre las L.

Esta denominación relativa al gliceraldehído se extiende a monosacáridos con mayor número de carbonos, en los que se distinguen también formas D o L en función de la posición del grupo hidroxilo en el carbono quiral más alejado del grupo carbonilo. No obstante, en estos glúcidos que tienen cadena más larga puede cambiar también la posición de otros grupos en otros carbonos quirales. En la figura 15 se muestran algunos enantiómeros de tetrasas, pentosas y hexosas. Todos son tipos D (grupo OH indicado en azul) y se diferencian entre sí por las posiciones de otros sustituyentes hidroxilo (indicados en color naranja).

■ Estructuras cíclicas

Los glúcidos son moléculas polifuncionales. Como se ha mencionado anteriormente, poseen grupos funcionales hidroxilo o alcoholes y grupos carbonilo, que pueden ser aldehídos o cetonas. Esta situación hace posible la interacción entre diferentes grupos funcionales dentro de una misma molécula.

Recuérdese que los alcoholes reaccionan con los aldehídos para formar **hemiacetales** y con las cetonas para dar lugar a **hemicetales**. En las hexosas esta reacción ocurre entre el carbono 1 o 2, portadores de los grupos aldehído o cetona, respectivamente, y el grupo OH del carbono 5, dando como resultado la formación de un anillo heterocíclico, de seis o de cinco carbonos, según el caso. En la figura 16 se muestra la formación de la estructura cíclica de la D-glucosa, una aldohexosa, y de la D-fructosa, una cetohexosa.

Aun cuando, en teoría, cualquiera de los grupos OH puede dar lugar a una forma cíclica, las formas de 5 y 6 lados son las más frecuentes y estables en la naturaleza. Los glúcidos cíclicos de cinco átomos se conocen como **furanos** haciendo referencia al furano (cuya estructura es ) un éter cíclico de cinco puntas. Análogamente, las formas cíclicas de seis puntas se denominan **piranosas**, pues el pirano es un éter cíclico de seis puntas (cuya estructura es )

Para representar la estructura tridimensional de estas moléculas existen diversas posibilidades: la proyección de Fisher, la proyección de Haworth y la forma de silla. En la figura 17 se muestran estas diferentes proyecciones, tomando como ejemplo la manosa.

Los glúcidos, al igual que los cicloalcanos, logran mayor estabilidad con sus configuraciones cíclicas (**Fig. 17C**). La mayoría de las aldohexosas en solución se encuentran en forma de piranosas y en menor proporción como furanosas.

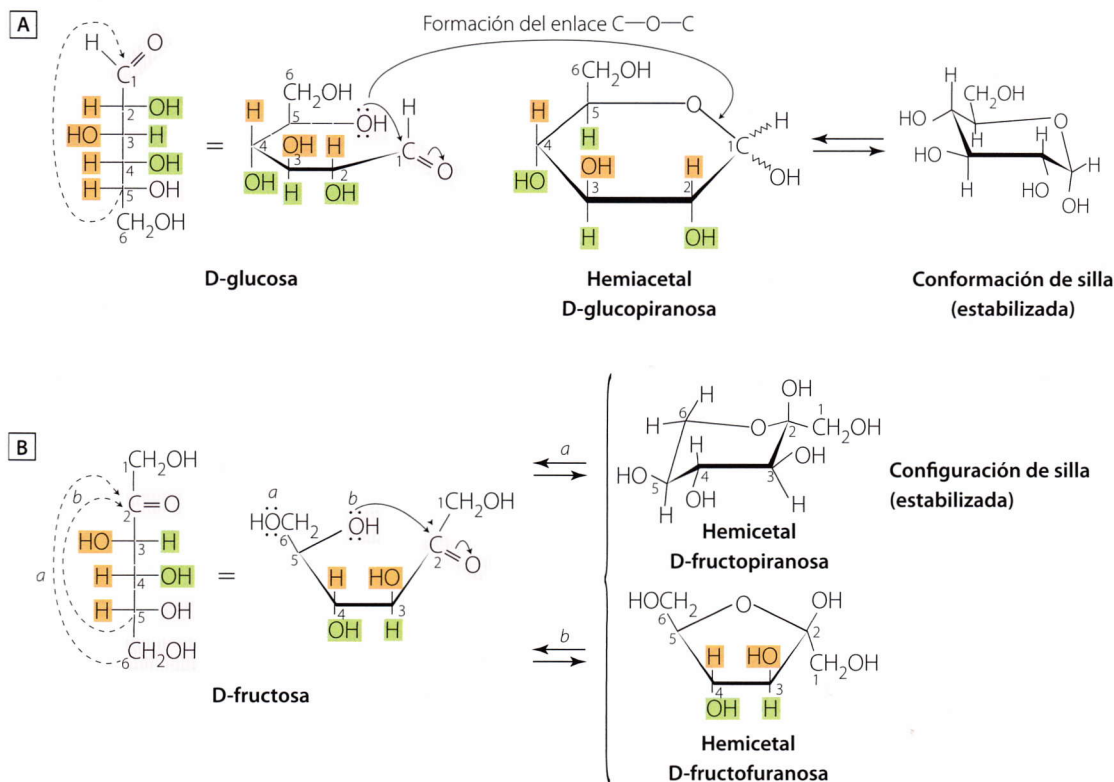


Figura 16. A. Formación del hemiacetal de la D-glucosa. B. Dos posibles hemiacetales de la D-fructosa.

Los grupos indicados en color rosa son los involucrados en la reacción. Los verdes están ubicados por debajo del anillo y los naranjas se encuentran por encima del anillo. Los carbonos internos se señalan únicamente con sus número.

■ Isómeros α y β

Dado que el anillo resultante de la formación de hemiacetales y hemicetales, es una estructura más o menos plana, algunos grupos quedan ubicados por debajo del anillo, mientras que otros permanecen por encima de este. De acuerdo con las posiciones relativas del grupo CH_2OH del carbono 5 y del grupo OH del carbono 1, se pueden tener dos formas isómeras, denominadas α y β . Cuando los grupos CH_2OH y OH se encuentran en relación *cis*, es decir, *al mismo lado del anillo*, la forma es de tipo β , mientras que si se encuentran cada uno a un lado del anillo, en relación *trans*, se tiene un isómero α .

Los isómeros α y β poseen propiedades físico-químicas diferentes y la conversión entre uno y otro implica la apertura del anillo, por hidrólisis del enlace —O— y la reciclación, de manera que los grupos H y OH unidos al carbono 1 cambien de lado. Así, una solución de D-glucosa, a temperatura ambiente, contiene una mezcla en equilibrio compuesta en un 36% por la forma α y en un 64% por la β . Esta solución tiene, a su vez, unas propiedades químicas características, diferentes a las de los isómeros puros.

La forma β es más estable que la α y, por lo tanto, es más abundante en la naturaleza.

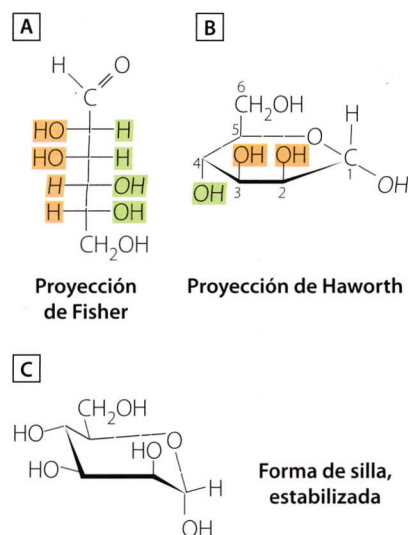
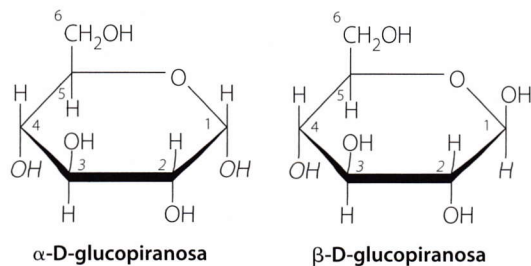


Figura 17. Formas de representar la estructura de las moléculas, en este caso de la D-manosa. **A.** Proyección de Fisher. Los sustituyentes del lado derecho se encuentran por debajo del anillo y los carbonos se omiten. **B.** Proyección de Haworth. El anillo se representa en perspectiva. **C.** Forma de silla, estabilizada.

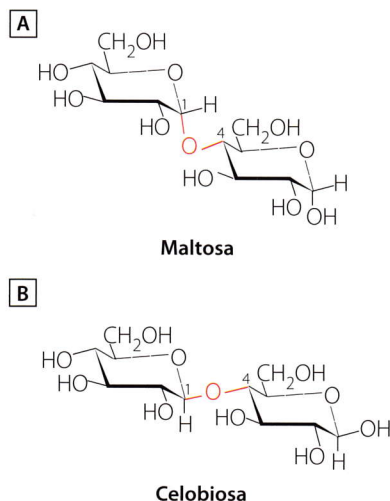


Figura 18. Formación de glúcidos.
A. Maltosa: enlace 1,4 (carbonos 1 y 4) entre dos moléculas del monosacárido α -D-glucopiranosas. **B.** Celobiosa: enlace 1,4 entre dos β -D-glucopiranosas. En ambos casos el enlace glicosídico está marcado en color rojo.

■ Propiedades físico-químicas

Los monosacáridos presentan un comportamiento similar al de los alcoholes y los compuestos carbonílicos. Así, son muy solubles en agua e insolubles en solventes apolares, debido a que poseen varios grupos OH (acusado carácter polar).

Al igual que los alcoholes, pueden formar éteres, cuando reaccionan con halogenuros de alquilo o ésteres, cuando reaccionan con derivados de ácidos, como los halogenuros de acilo. Los ésteres y éteres derivados de glúcidos son insolubles en agua y solubles en solventes orgánicos apolares, como el éter, pues carecen de grupos OH libres.

Los grupos carbonilo de las aldosas reaccionan positivamente con los reactivos de Fehling y Tollens. Recordemos que estos reactivos se usan para diferenciar aldehídos de cetonas, pues los primeros se oxidan, mientras que las cetonas no. Estas pruebas se usan para diferenciar **azúcares reductores** (aldosas y algunas cetosas) de **azúcares no reductores** (cetosas y algunos disacáridos). Los azúcares reductores, al oxidarse —es decir, al perder electrones—, son capaces de reducir el reactivo, produciendo el cambio de color característico. En el caso del reactivo de Tollens se forma un espejo de plata metálica, mientras que en la prueba de Fehling se observa un precipitado rojo ladrillo.

■ Formación de glicósidos

Una de las reacciones más importantes de los azúcares simples es la formación de **glicósidos**. Se trata simplemente de la formación de un acetal a partir del hemiacetal inicial. Involucra, por lo tanto, el grupo OH del carbono 1 y el OH de cualquiera de los otros carbonos, que por lo general es el carbono 4 (**Fig. 18**), denominándose en este caso concreto enlace 1,4. De este modo se forman glúcidos complejos (disacáridos y polisacáridos). El enlace que une a varios monosacáridos entre sí se denomina enlace **glicosídico** y durante su formación se libera una molécula de agua. Análogamente, a través de la hidrólisis en medio ácido, los glúcidos complejos se pueden descomponer en unidades menores, pues una molécula de agua se incorpora nuevamente al enlace glicosídico, rompiéndolo.

Si la unión de dos monosacáridos involucra los carbonos 1 (hemiacetálicos) de ambas moléculas, el disacárido resultante es no reductor, pues los grupos aldehído, susceptibles de ser oxidados, se encuentran formando el enlace glicosídico. Si, en cambio, queda libre uno de esos grupos aldehído, el azúcar es reductor y reacciona con los reactivos de Fehling y de Tollens.

■ Los disacáridos más comunes

- La **sacarosa**, llamada también azúcar de caña, se encuentra sobre todo en la caña de azúcar y en la remolacha, aunque también aparece en la patata, el maíz, la zanahoria y otros vegetales. Está formada por una molécula de α -D-glucosa y otra de β -D-fructosa unidas a través de los grupos OH de los hemiacetales, ubicados en el carbono 1 de la glucosa y el carbono 2 de la fructosa. Esto explica por qué la sacarosa es no reductora y no reacciona con el reactivo de Fehling.
- La **lactosa** es el azúcar presente en la leche. Está constituida por una molécula de α -D-glucosa y otra de β -D-galactosa, unidas por los grupos OH de los carbonos 1 de la glucosa y 4 de la galactosa. Debido a que el enlace glicosídico involucra solo uno de los grupos hemiacetales, la lactosa es un azúcar reductor.

- La **maltosa** se conoce también como azúcar de malta, pues se encuentra en los granos de malta o cebada germinada. Está constituida por dos unidades de D-glucosa, enlazadas por los carbonos 1 y 4 de cada una, por lo que es un azúcar reductor, positivo en las pruebas de Fehling y Tollens.

1.2.4 Polisacáridos

Los polisacáridos son azúcares complejos constituidos por muchas moléculas de monosacáridos, por lo que presentan un peso molecular elevado. Se diferencian de los azúcares sencillos en varios aspectos. En primer lugar, no tienen sabor dulce, por lo general son insolubles en agua y, debido al gran tamaño de sus moléculas, se disuelven por medios químicos formando soluciones coloidales. Aunque la mayoría de los polisacáridos presentan un monosacárido terminal con carácter reductor, su contribución a las propiedades de la molécula disminuye al aumentar el tamaño de la misma. En cuanto a su función, los polisacáridos son reservorios de energía y constituyen estructuras rígidas y resistentes que dan soporte a los organismos. Por ejemplo, la madera de los troncos de los árboles está conformada principalmente por celulosa, un polisacárido de glucosa, y el pan, alimento rico en energía, se compone de almidón, también un polisacárido de la glucosa.

Los polisacáridos más abundantes en los seres vivos son: el almidón, el glucógeno y la celulosa.

- **Almidón:** es la forma más importante de almacenamiento de azúcares en las plantas y se encuentra en forma de gránulos blancos dentro de las células o en órganos especiales, como las raíces (por ejemplo, la yuca) y los tubérculos (como la papa).

El almidón está constituido por dos componentes en proporciones 1:3: **amilosa** y **amilopectina**. La amilosa es un polímero no ramificado de alrededor de 600 unidades de α -D-glucosa, unidas por enlaces 1,4. La amilopectina está constituida por cerca de 6000 unidades de α -D-glucosa unidas por enlaces 1,4 y 1,6. Estos últimos dan lugar a ramificaciones en las cadenas lineales (Fig. 19).

- **Glucógeno:** molécula similar a la amilopectina, pero más ramificada y constituida por unas 100000 unidades de α -D-glucosa, enlazadas también por los carbonos 1-4 y 1-6. Es la forma como los animales almacenan energía. En los mamíferos el glucógeno se acumula sobre todo en el hígado, desde donde se liberan unidades de glucosa según las necesidades del organismo (Fig. 20).
- **Celulosa:** constituye el armazón estructural de las células vegetales, confiriéndole así la rigidez y resistencia propia de algunas partes de las plantas, como troncos y cascarones de algunas frutas. Está conformada por cadenas lineales de unas 3000 unidades de β -D-glucosa ligadas por enlaces 1,4 (Fig. 21).

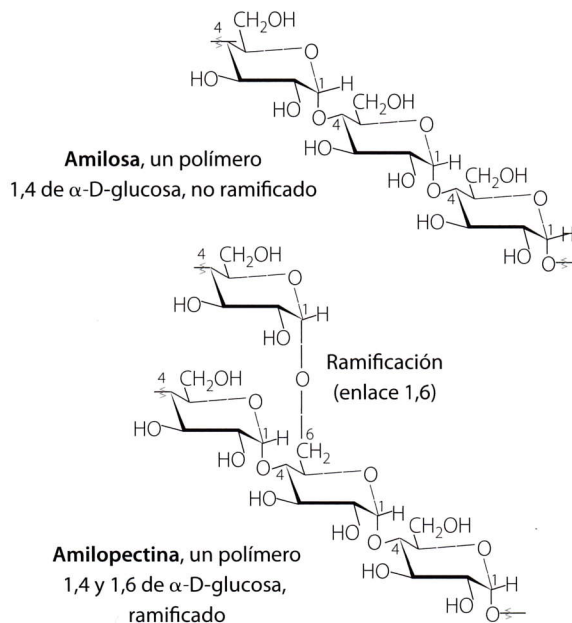


Figura 19. El almidón está constituido por amilosa y amilopectina.

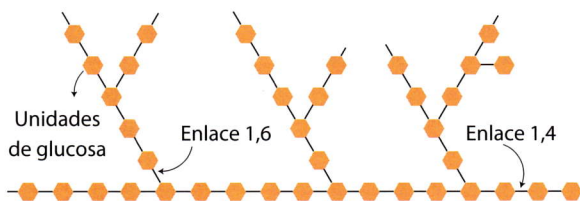


Figura 20. El glucógeno es un polisacárido similar a la amilopectina, pero más ramificado y con mayor número de unidades.

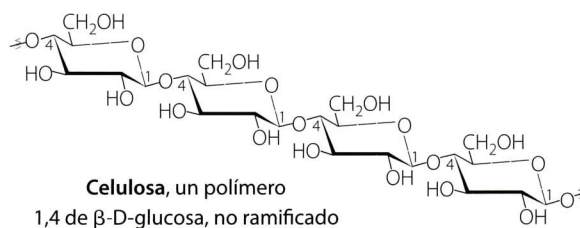


Figura 21. La celulosa es un polímero 1,4 de β -D-glucosa. Las aparentemente leves diferencias conformacionales entre celulosa y amilosa dan lugar a dos compuestos completamente distintos.

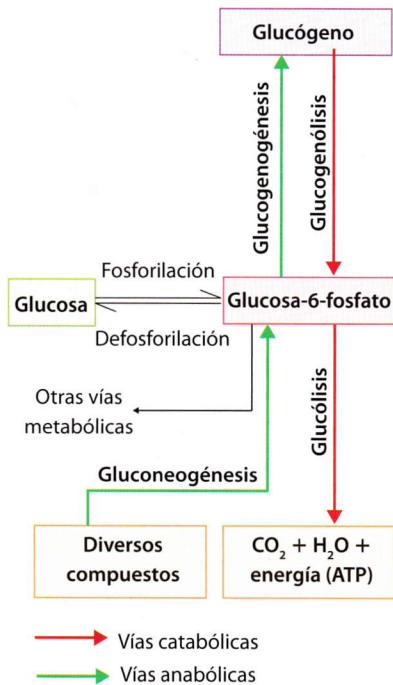


Figura 22. Diferentes vías metabólicas de la glucosa en las células animales. En estas células la glucólisis, que consiste en la combustión de la glucosa formando dióxido de carbono y agua y liberando energía, es un proceso irreversible. Solo las plantas y las algas, mediante la realización de la fotosíntesis, pueden sintetizar monosacáridos a partir del dióxido de carbono y agua, con la utilización de la energía de la luz solar. En los animales la síntesis de glucosa se realiza a partir de otros compuestos, con gasto de energía.

Figura 23. Los organismos autótrofos como las plantas pueden realizar la producción de glucosa y otros monosacáridos mediante la fotosíntesis. En la naturaleza son los organismos fabricantes de glúcidos, que son utilizados por el resto de seres vivos.



1.3. Metabolismo de los glúcidos

El metabolismo es el conjunto de transformaciones fisicoquímicas (especialmente las producidas por la acción enzimática) que ocurren en un organismo vivo, así como su integración y regulación. A continuación se presenta en forma muy breve los distintos estadios que atraviesan los glúcidos cuando son ingeridos a través de la dieta.

■ Degradación extracelular de los glúcidos

- **Digestión salivar:** al masticar los alimentos ingeridos por la boca, estos se trituran en pequeños fragmentos y se mezclan con la saliva. La saliva contiene una enzima, llamada **ptialina**, que cataliza la hidrólisis del almidón en maltosa, un disacárido de glucosa.
- **Digestión gástrica:** una vez en el estómago, los alimentos se mezclan con los **jugos gástricos** en un medio ácido, con lo cual se facilita la hidrólisis de las unidades menores de maltosa, amilopectina y amilasa, en glucosa.
- **Digestión intestinal:** del estómago, los almidones parcialmente digeridos pasan al intestino delgado, donde una serie de enzimas se encargan de romper los enlaces entre estos disacáridos, liberando monosacáridos.
- **Absorción:** los monosacáridos, como glucosa, fructosa y galactosa son entonces absorbidos a través de las células que recubren el intestino delgado y pasan al torrente sanguíneo. Una vez allí son distribuidos a los diferentes tejidos del cuerpo, donde son utilizados para obtener energía.

■ Procesos metabólicos en las células

En las células animales, y especialmente en las de los mamíferos, los diferentes monosacáridos son convertidos a glucosa, que es el principal combustible del organismo. La glucosa es luego fosforilada, es decir, se adiciona una unidad de fosfato a su estructura, a través de un proceso que requiere energía. Esta energía es suministrada por una molécula conocida como **ATP** o **adenosintrifosfato**. De esta forma se obtiene la glucosa 6-fosfato, desde y hacia la cual confluyen varias rutas metabólicas (**Fig. 22**). Algunas de estas rutas son las siguientes:

- **Glucólisis:** para obtener energía de la glucosa es necesario romper los enlaces entre los átomos que la conforman. Esto se hace a través de varios pasos, cada uno de los cuales implica la acción de una enzima específica. La glucólisis es un proceso de combustión, que tiene como productos dióxido de carbono y agua, y libera energía (que se almacena como ATP).
- **Glucogenogénesis:** después de una comida rica en glúcidos, la glucosa absorbida pero no utilizada de inmediato se convierte en glucógeno y es almacenada como reserva energética.
- **Glucogenólisis:** consiste en la degradación del glucógeno a moléculas de glucosa, que son luego distribuidas a lugares en el cuerpo donde se necesite energía, como el cerebro o los músculos.
- **Gluconeogénesis:** tiene lugar cuando las reservas de glucosa del cuerpo se agotan y no se produce la ingestión de más glúcidos. Entonces las células pueden fabricar glucosa, a partir de otros compuestos orgánicos, como proteínas o pequeños ácidos, con un considerable gasto de energía.

En los seres autótrofos (**Fig. 23**) la producción de glucosa tiene lugar mediante la **fotosíntesis**, proceso por el cual se sintetiza este monosacárido a partir de dióxido de carbono y agua utilizando la energía de la luz solar.