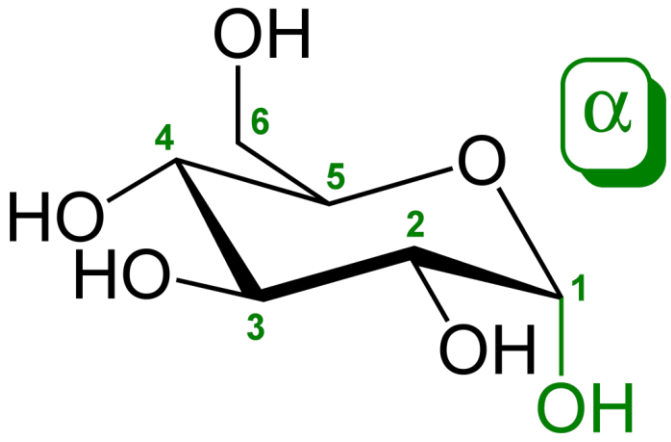
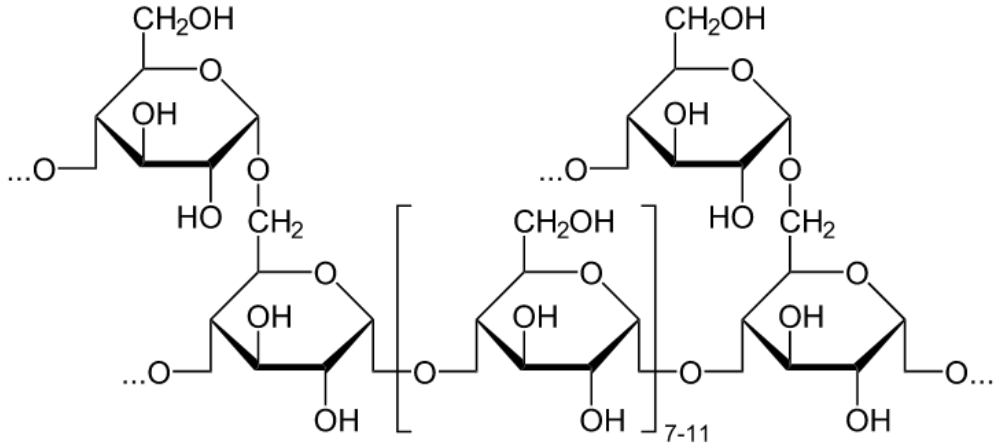
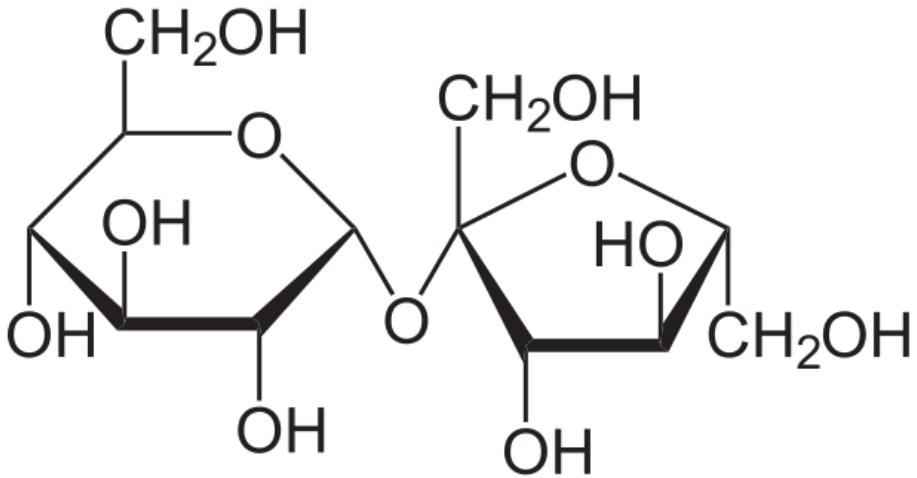
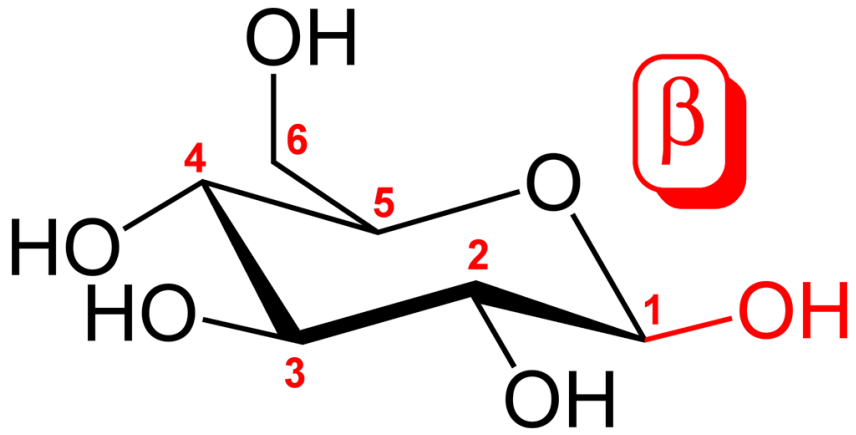




Unidad VII: Glúcidos

Unidad VIII: Metabolismo de glúcidos





FUNCIONES E IMPORTANCIA DE LOS GLÚCIDOS

ENERGÍA.

- ✓ Constituyen el material energético de uso inmediato
- ✓ La oxidación de glúcidos es la principal ruta de obtención de energía en la mayoría de las células no fotosintéticas
- ✓ Pueden constituir un material energético de reserva. El almidón en los vegetales y el glucógeno en animales, se acumulan en determinadas células para su utilización en el momento oportuno

ESTRUCTURA.

- ✓ Cumplen funciones estructurales
- ✓ Los polímeros insolubles de los glúcidos actúan como estructurales y de protección en las paredes celulares de bacterias y las plantas

OTROS – GLUCOCONJUGADOS.

- ✓ Otros polímeros de glúcidos lubrican las articulaciones óseas y participan en el reconocimiento y la adhesión intracelular
- ✓ Los polímeros complejos de glúcidos (glucoconjungados), unidos a lípidos o proteínas, actúan como señal de localización intracelular o estructurales (fosfolípidos, glicolípidos, glicoproteínas de membrana, ácidos nucleicos, entre otros).

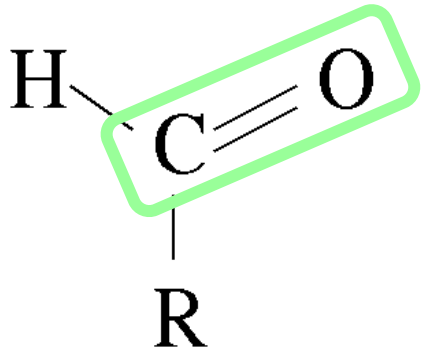
Los glúcidos son biomoléculas formadas básicamente por C, H y O

Los glúcidos comunes cumplen con la fórmula empírica:

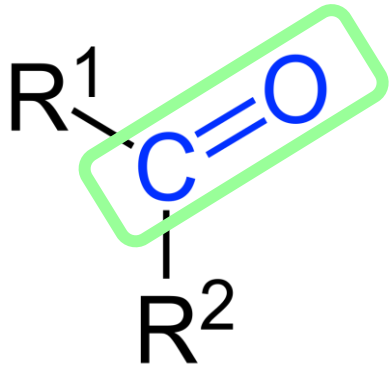
$$(CH_2O)_n ; n \geq 3$$

Algunos contienen nitrógeno, fósforo o azufre.

Químicamente, los glúcidos se definen como polihidroxialdehídos o polihidroxicetonas



Aldehído



Cetona

Grupo carbonilo

CLASIFICACIÓN

CARBOHIDRATOS

- Reserva
- Estructurales

Número de unidades sacáridas:

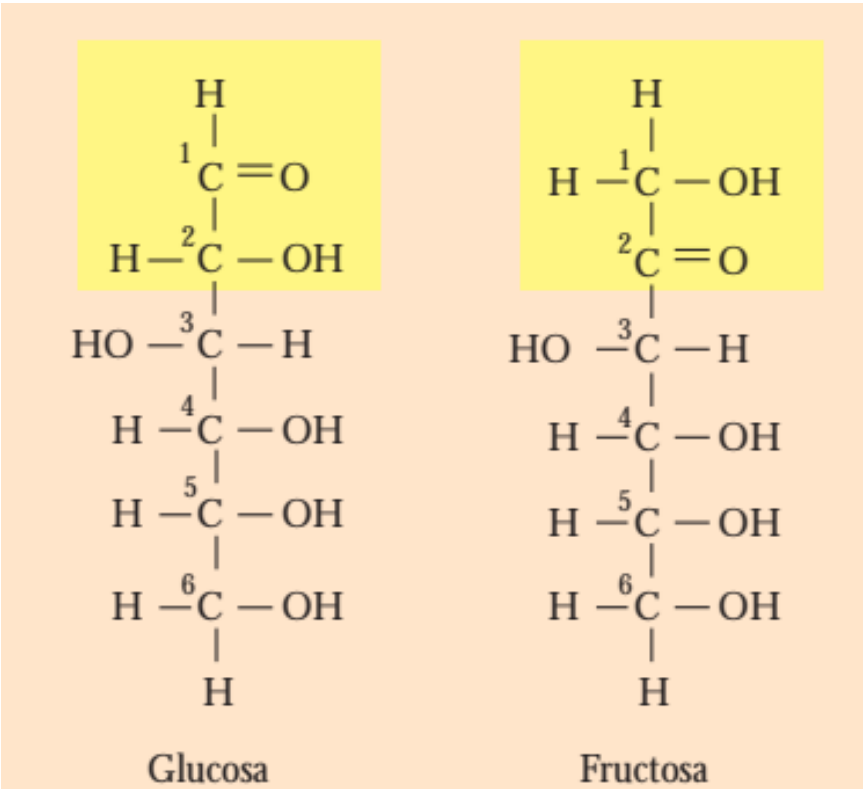
- Monosacáridos → estructura
  - simples
  - derivados
- Disacáridos
- Oligosacáridos
- Polisacáridos
  - función
    - Reserva
    - Estructurales
  - azúcar que dan por hidrólisis
    - **homo** polisacárido
      - Ramificados
      - No ramificados
    - **hetero** polisacárido

Monosacáridos - Clasificación

Aldosas y Cetosas

Presentan en todos sus carbonos un grupo hidroxilo (**-OH**), excepto en uno, en el cual lleva un grupo carbonilo. Si el grupo carbonilo se encuentra en un carbono primario, el monosacárido es un aldehído, y se denomina ***aldosa***. Si se encuentra en un carbono secundario es una cetona, y se llama ***cetosa*.**

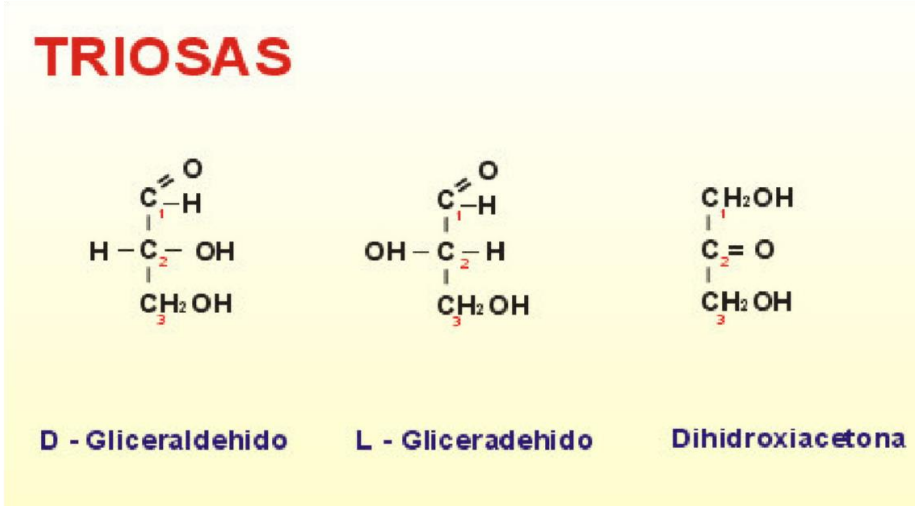
Aldosas ***Cetosas***

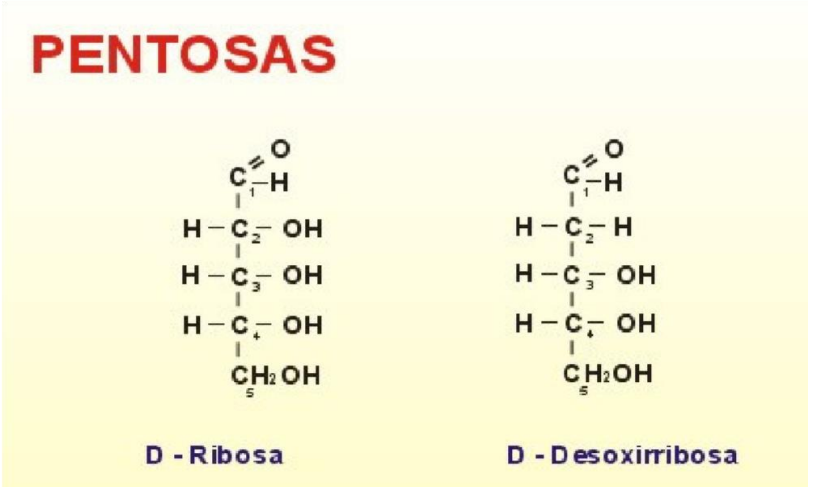


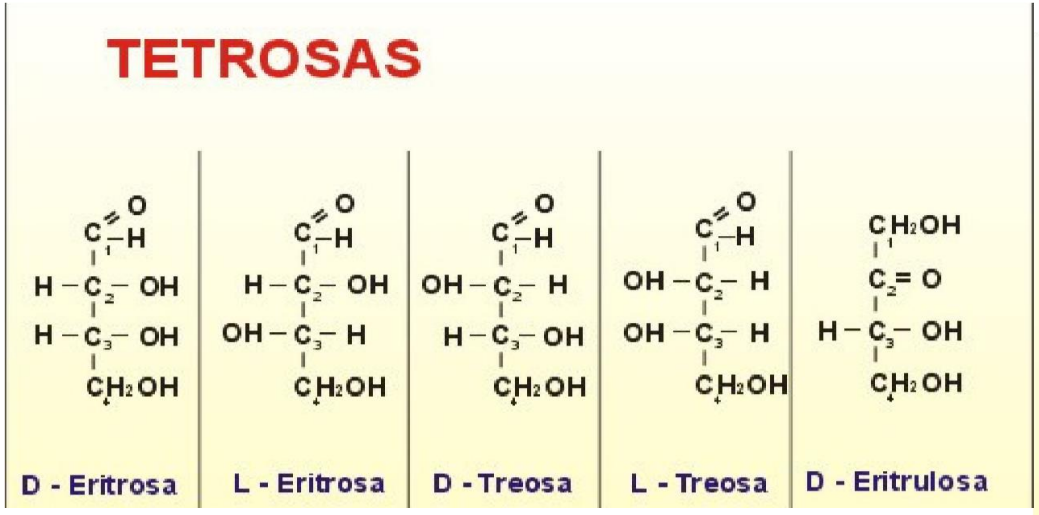
Monosacáridos - Clasificación

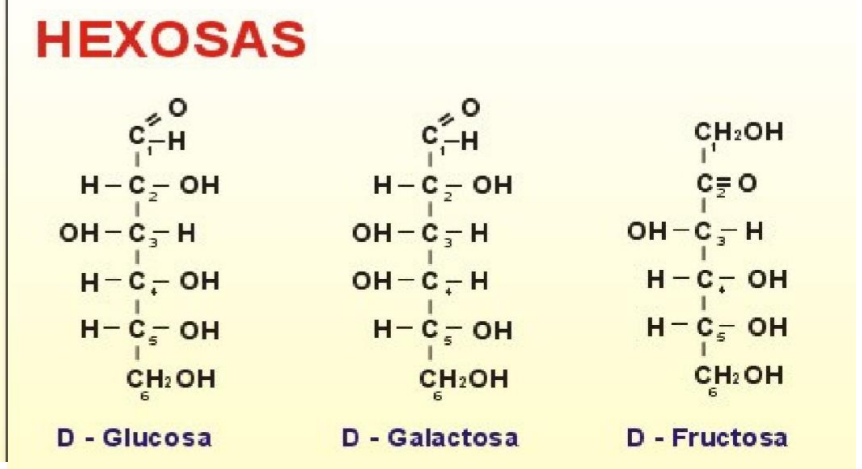
Número de carbonos

Se nombran de acuerdo al número de átomos de carbono que poseen y terminan con el sufijo *–osa*.







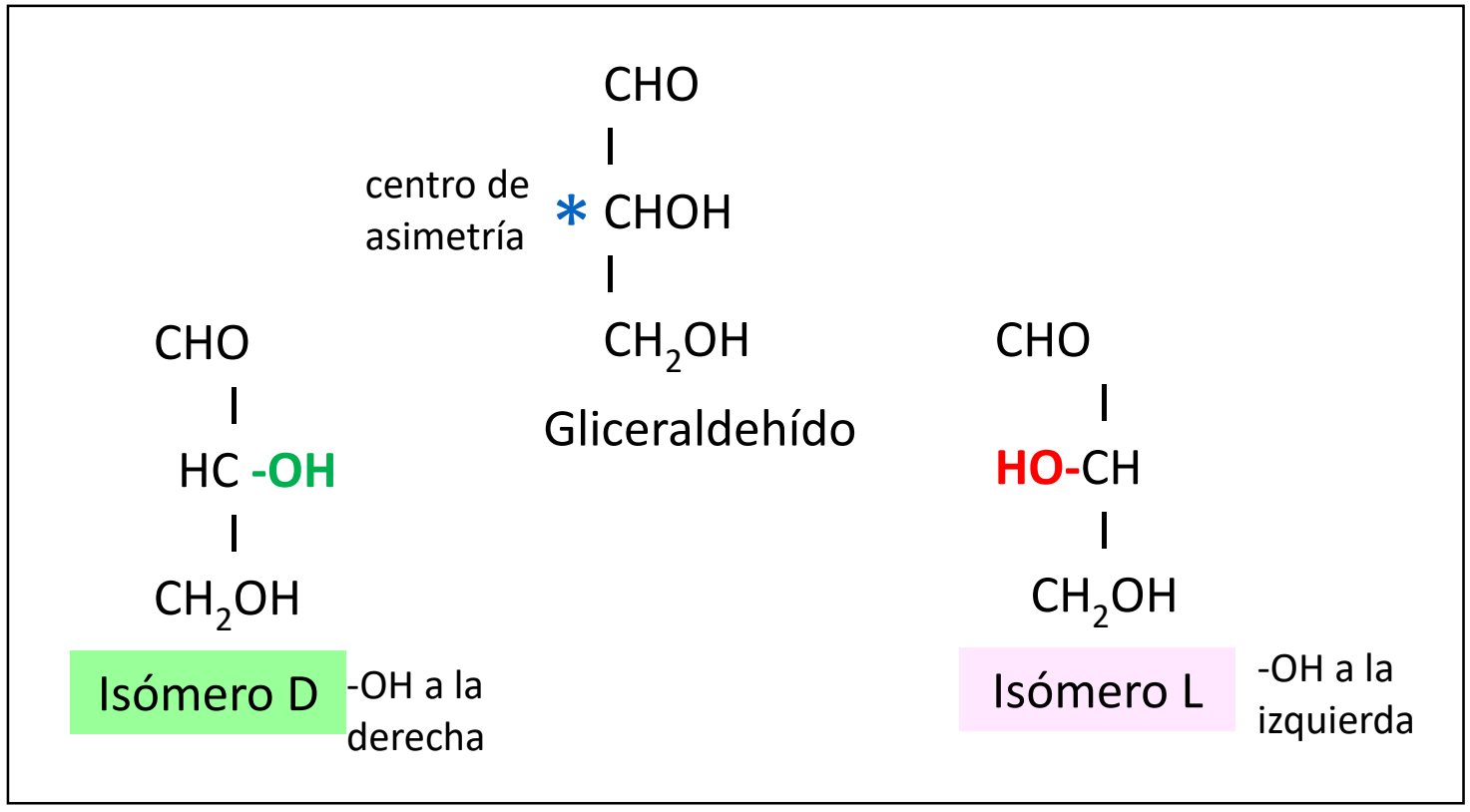


Monosacáridos - Clasificación

Configuración espacial

La existencia de uno o varios carbonos asimétricos en todos los monosacáridos simples (excepto en la dihidroxiacetona) implica numerosas posibilidades de configuración espacial de la cadena carbonada.

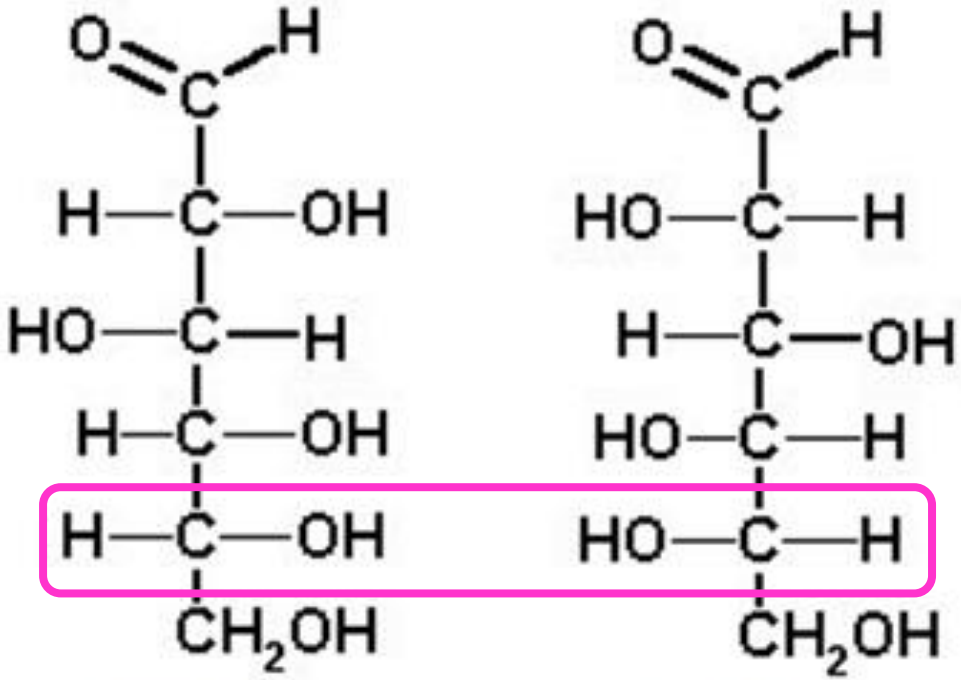
Carbono asimétrico: es el carbono que se encuentra unido a cuatro grupos funcionales diferentes



Monosacáridos - Clasificación

Configuración espacial

Todos los demás azúcares se consideran estructuralmente derivados del D- y L- gliceraldehído por lo que se agrupan en las llamadas familias D y L.



La designación D o L es realizada de acuerdo a la orientación del carbono asimétrico más alejado del grupo carbonilo (carbono anomérico):

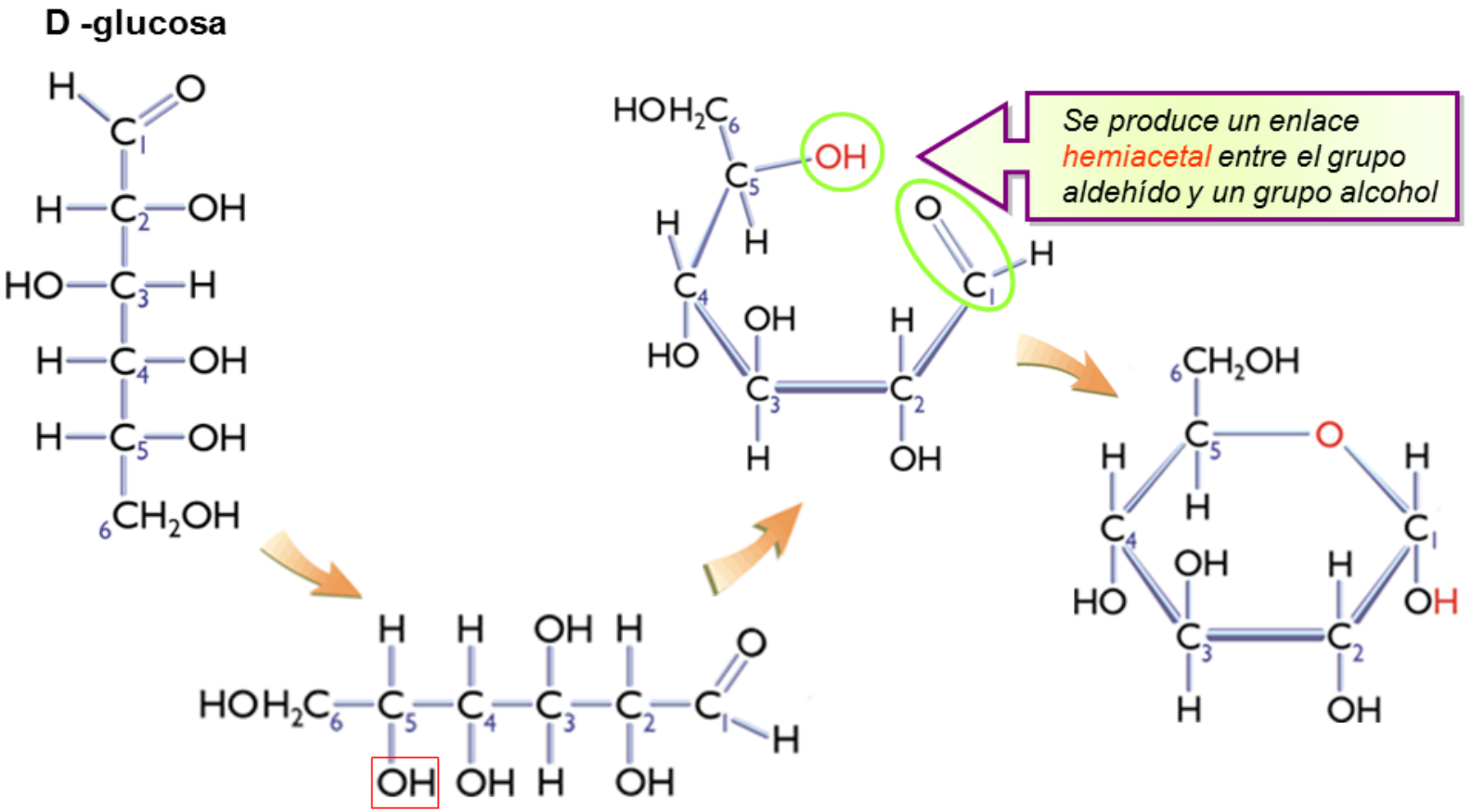
- Si el grupo hidroxilo está a la derecha es un **azúcar D**
- Si está a la izquierda es un **azúcar L**

Como los D azúcares son los más comunes, usualmente la letra D es omitida. Incluso, los isómeros D (excepto algunas excepciones) son los únicos presentes en los seres vivos.

Monosacáridos - Clasificación

Estructura cíclica

Los monosacáridos con cinco o más átomos de carbono en su cadena, suelen encontrarse en disolución acuosa en forma de estructura cíclica (en anillos).

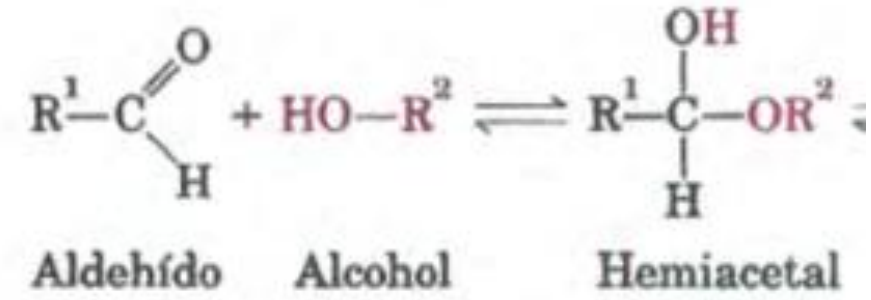


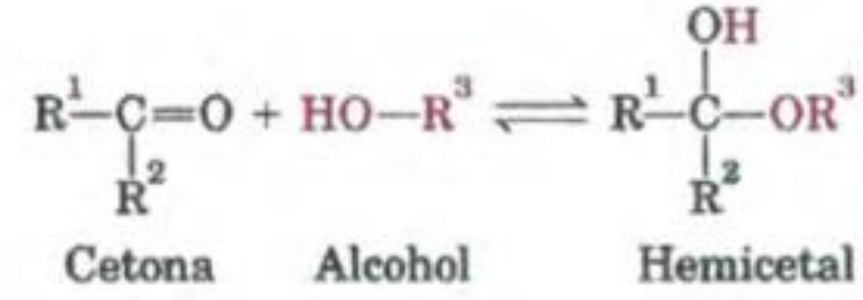
Estructura cíclica de la glucosa: el grupo carbonilo del C1 queda próximo al C5 y entre ellos reaccionan sus radicales en una reacción intramolecular.

Monosacáridos - Clasificación

Estructura cíclica

Los monosacáridos con cinco o más átomos de carbono en su cadena, suelen encontrarse en disolución acuosa en forma de estructura cíclica (en anillos).





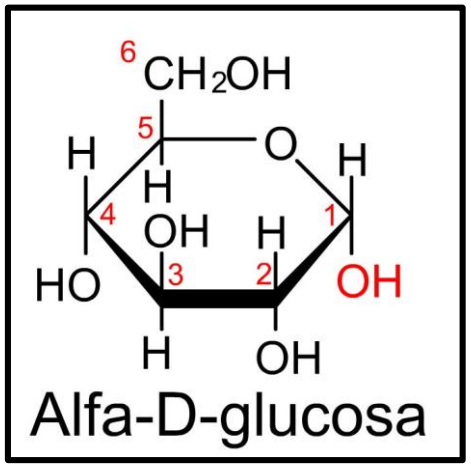
Enlace hemiacetal: reacción entre un aldehído y un grupo alcohol.

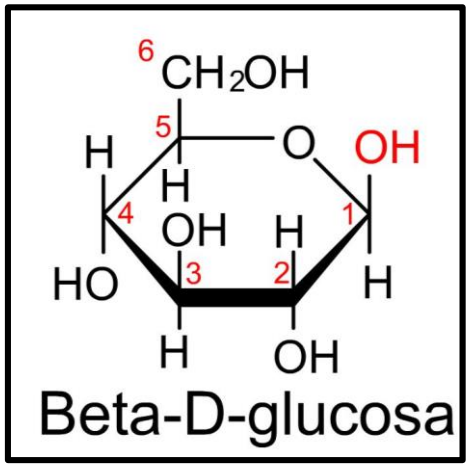
Enlace hemicetal: reacción entre una cetona y un grupo alcohol

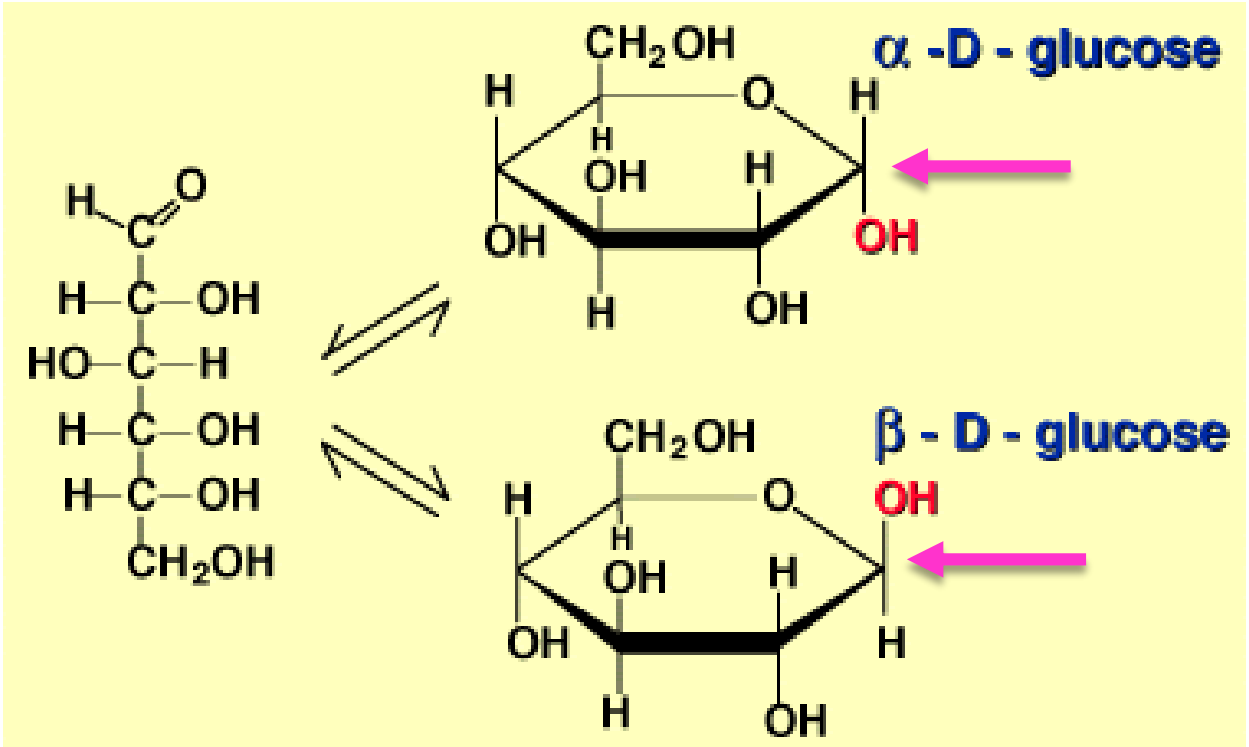
Monosacáridos - Clasificación

Según ubicación del –OH en el carbono anomérico: α y β

Los monosacáridos con cinco o más átomos de carbono en su cadena, suelen encontrarse en disolución acuosa en forma de estructura cíclica (en anillos).







Proyección de Fischer Proyección de Haworth

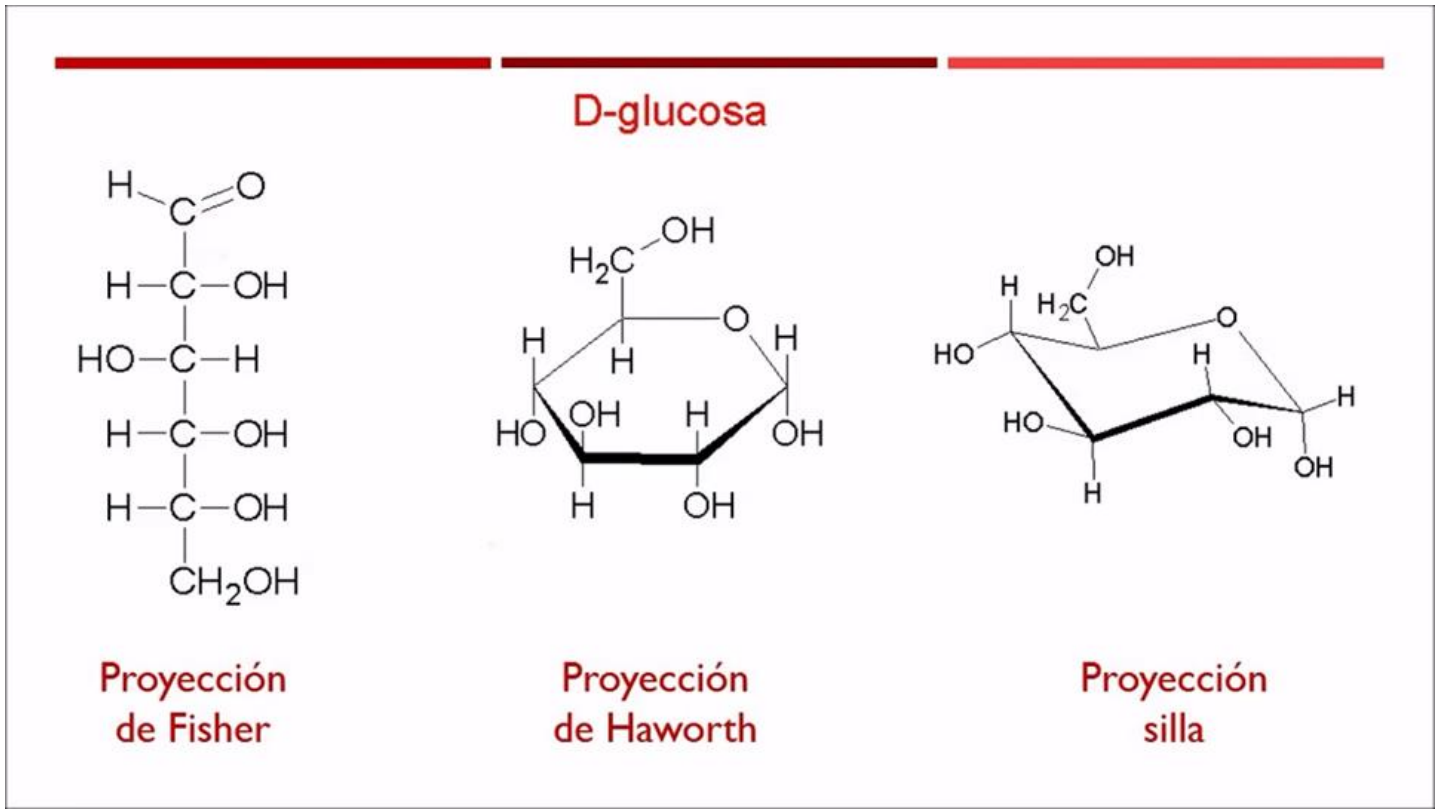
Carbono anomérico

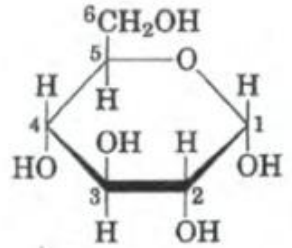
Monosacáridos - Clasificación

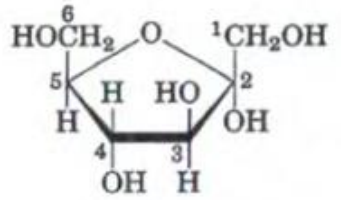
Según anillo que forman

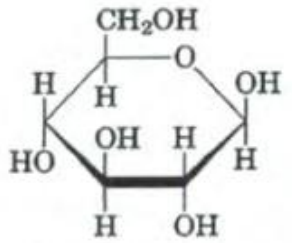
Los compuestos cíclicos de seis átomos se denominan **piranosas**, mientras que los anillos de cinco átomos se denominan **furanosas**.

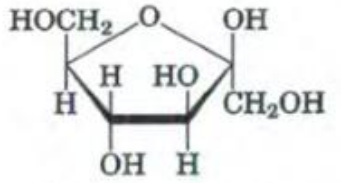
Formas en las que podemos encontrar escritos los carbohidratos

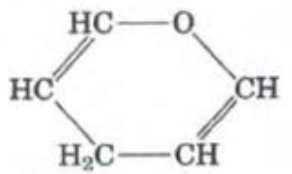


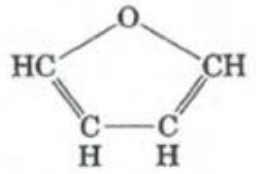

α-D-Glucopiranosa


α-D-Fructofuranosa


β-D-Glucopiranosa

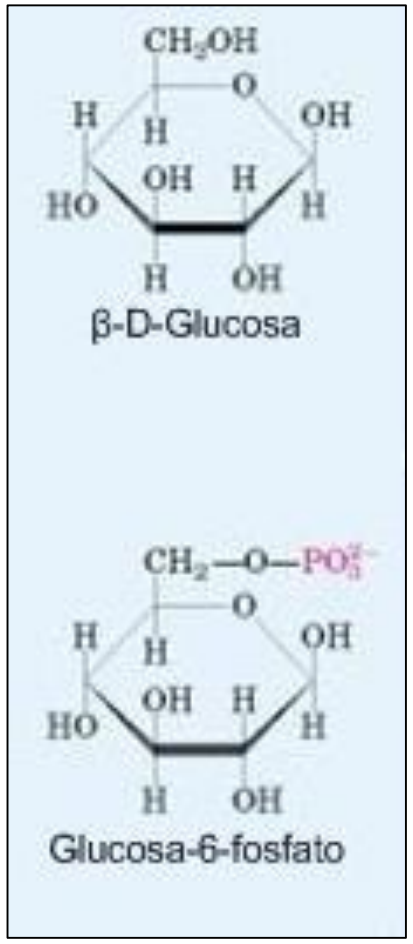

β-D-Fructofuranosa

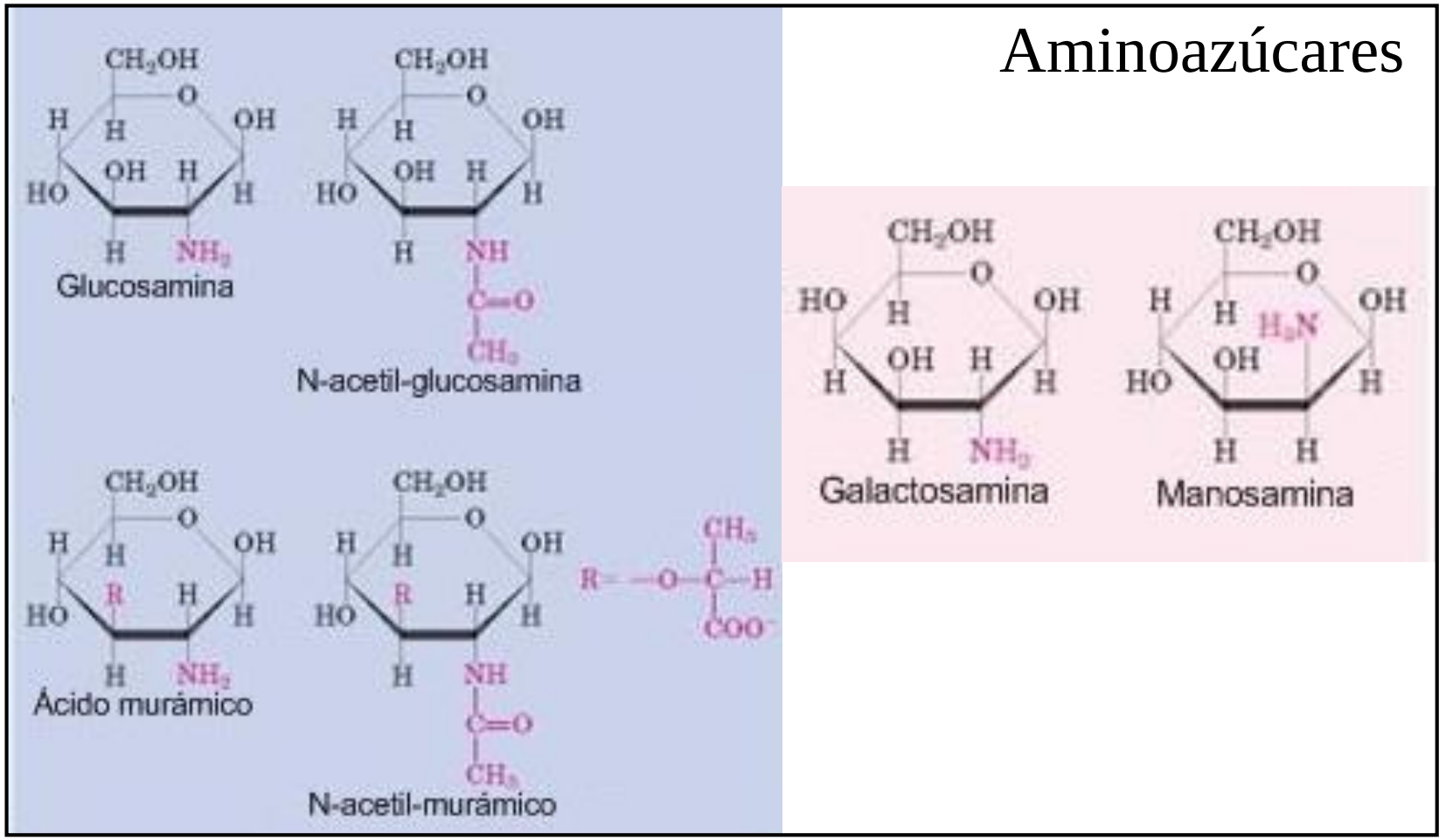

Pirano


Furano

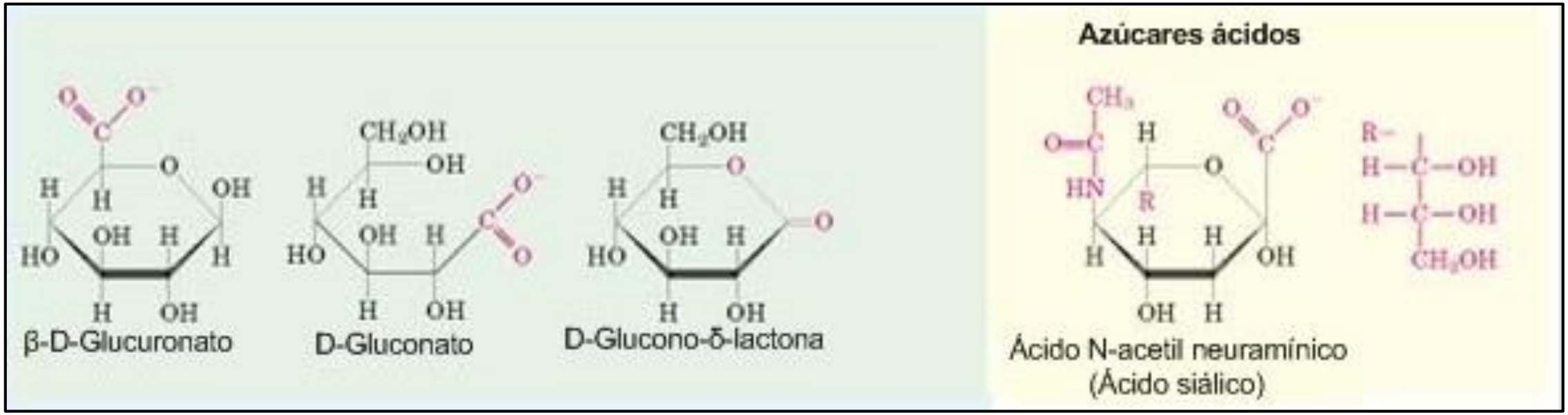
Monosacáridos - Derivados

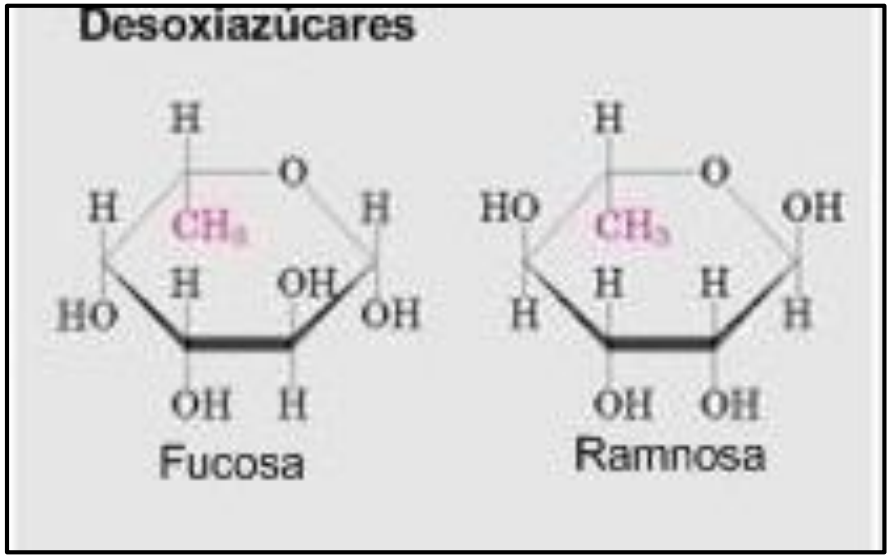
Además de las hexosas simples como la glucosa, la galactosa y la manosa, existen derivados de los azúcares, en los que un grupo hidroxilo del compuesto original está reemplazado por otros sustituyentes o bien uno de los átomos de carbono se encuentra oxidado en forma de grupo carboxílico.





Monosacáridos - Derivados





Monosacáridos - Importancia

GLUCOSA

- ✓ Es la **aldosa** más importante, también llamada dextrosa. La forma D-Glucosa es la única que se encuentra en la naturaleza.
- ✓ El modo más fácil de obtenerla es la hidrólisis de almidón o celulosa.
- ✓ Puede aislarse como uno de los productos hidrolíticos de la mayoría de los oligosacáridos y de otros muchos productos vegetales conocidos como glucósidos.
- ✓ Se encuentra libre en los jugos de plantas junto con la fructosa y la sacarosa.
- ✓ La miel contiene principalmente glucosa y fructosa.
- ✓ Se la puede encontrar en cantidades de hasta 0,1 % en la sangre de los mamíferos normales.
- ✓ En forma libre o combinada es probablemente el compuesto orgánico más abundante.

Monosacáridos - Importancia

FRUCTOSA

- ✓ La D-FRUCTOSA la cetosa más abundante.
- ✓ Es el más dulce de los azúcares.
- ✓ Se encuentra libre con glucosa o sacarosa en jugos de frutas y en la miel y combinada con otros azúcares en los oligosacáridos.
- ✓ Es el producto principal de la hidrólisis del polisacárido inulina, sustancia de reserva parecida al almidón presente en algunos vegetales.

Monosacáridos - Importancia

- ✓ La principal función de la glucosa en el organismo es la de servir como combustible a las células, su oxidación produce energía utilizable para la realización de trabajo.
- ✓ También es utilizada como materia prima para algunas síntesis.
- ✓ El proceso de digestión humana degrada a los glúcidos de los alimentos hasta el estado de monosacáridos.
- ✓ Sólo este tipo de compuestos se puede absorber en la mucosa intestinal y metabolizar luego en las células.

Disacáridos

Están formados por dos monosacáridos unidos covalentemente mediante un enlace glucosídico

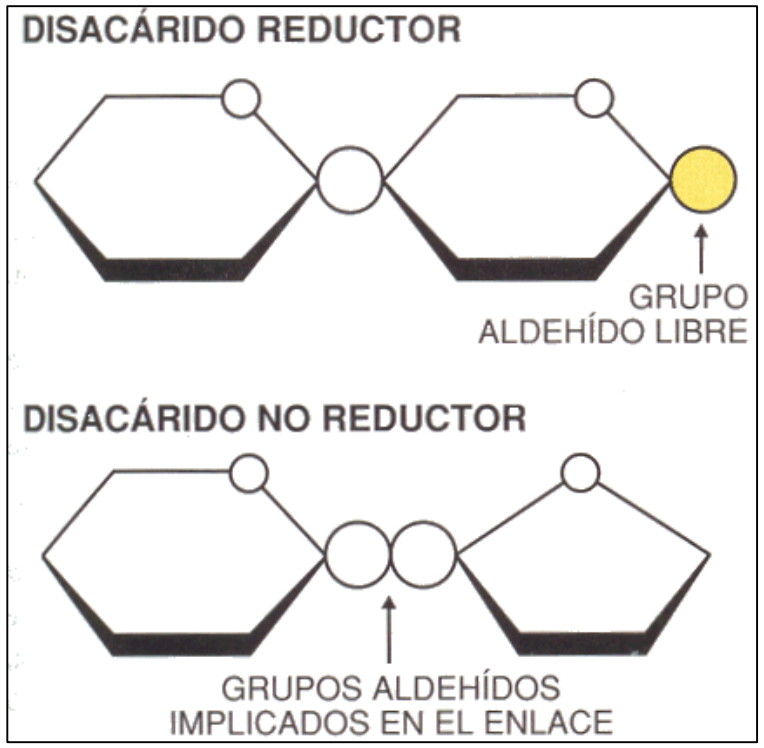
Disacáridos - Clasificación

Poder reductor

REDUCTORES

Se une el –OH del **carbono anomérico** del primer monosacárido y un – OH de un carbono **no anomérico** del segundo monosacárido.

- Lactosa
- Maltosa
- Isomaltosa
- Celobiosa



NO REDUCTORES

Se unen los –OH de los **carbonos anoméricos** de los dos monosacáridos

- Sacarosa
- Trehalosa

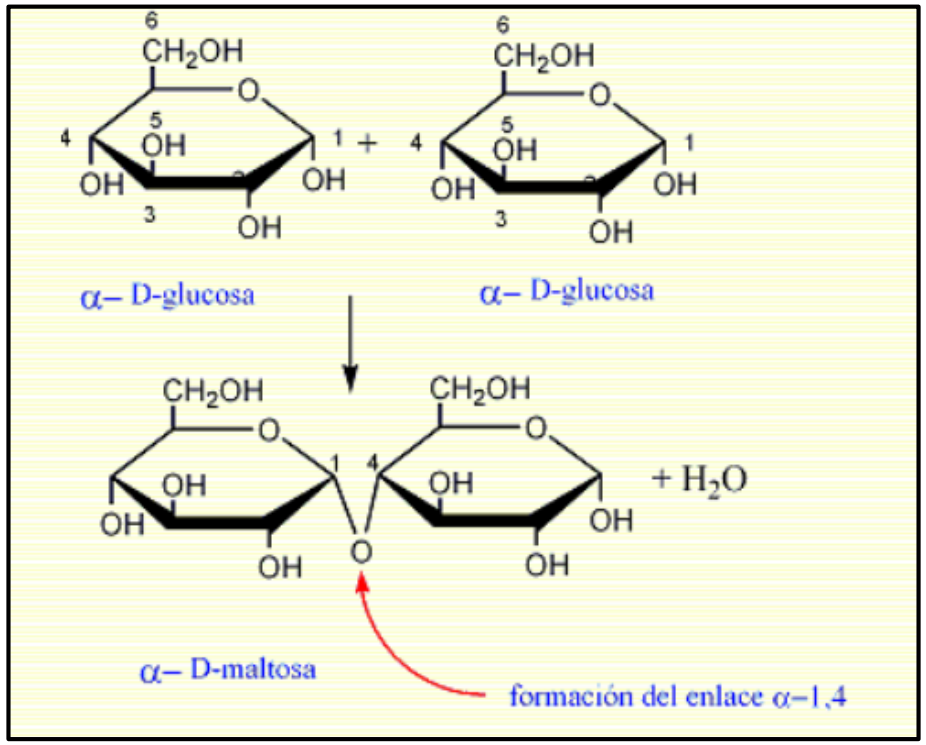
Disacáridos

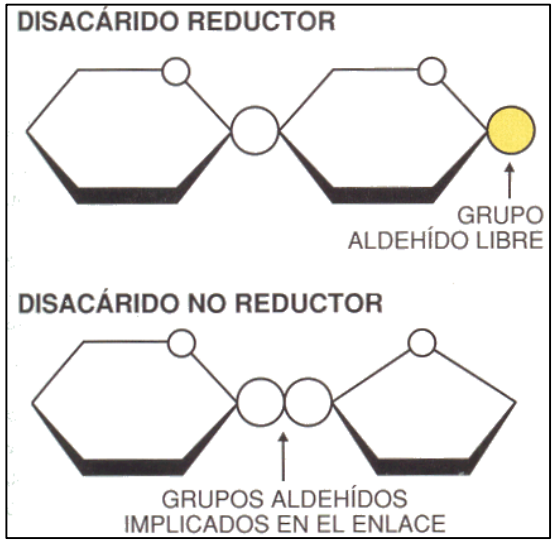
Están formados por dos monosacáridos unidos covalentemente mediante un enlace glucosídico

Disacáridos - Clasificación

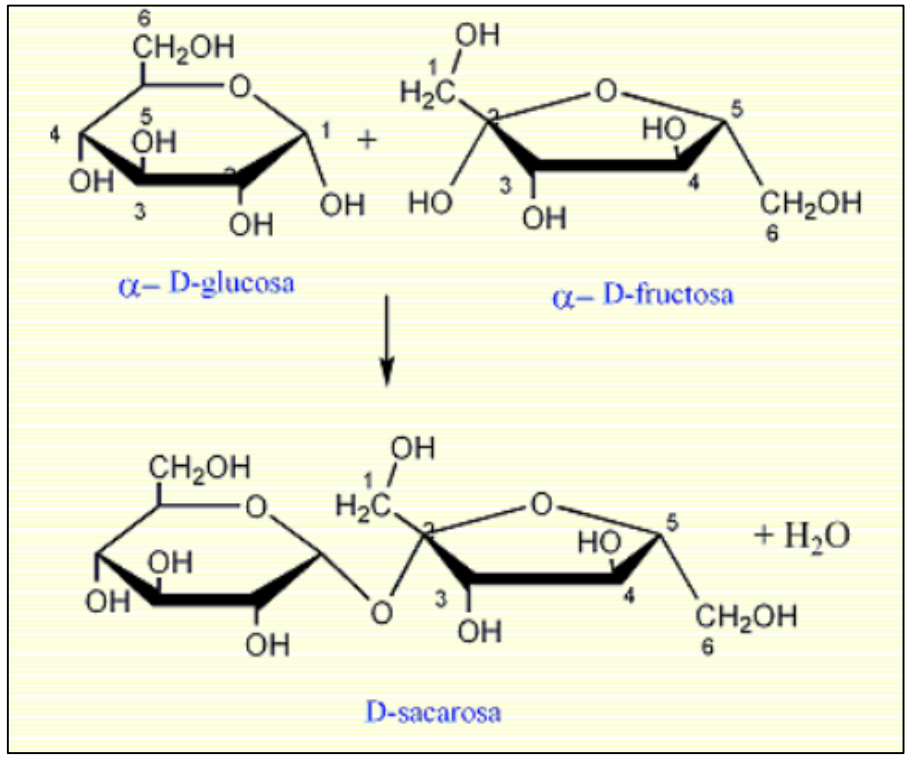
Poder reductor

REDUCTORES

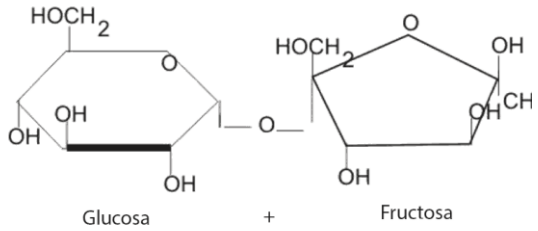




NO REDUCTORES

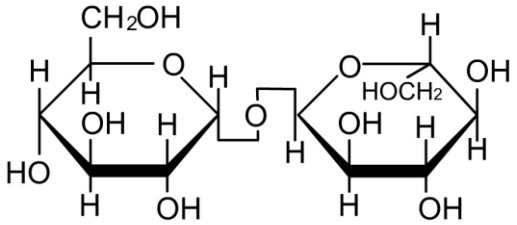


Disacáridos - Importancia



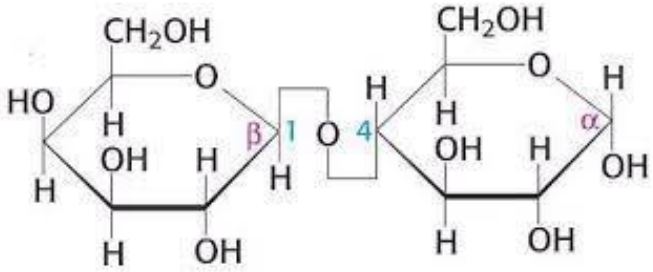
Sacarosa

Se sintetiza en plantas y no en animales.
Principal producto intermediario de la fotosíntesis.
Transporte de azúcar de las hojas al resto de la planta.



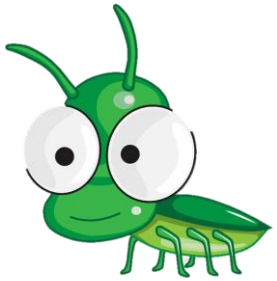
Trehalosa

Constituyente principal del fluido circulante (hemolinfa) en insectos.
Es la forma de transporte de azúcar con papel de reserva energética.
Los hongos también la contienen.



Lactosa

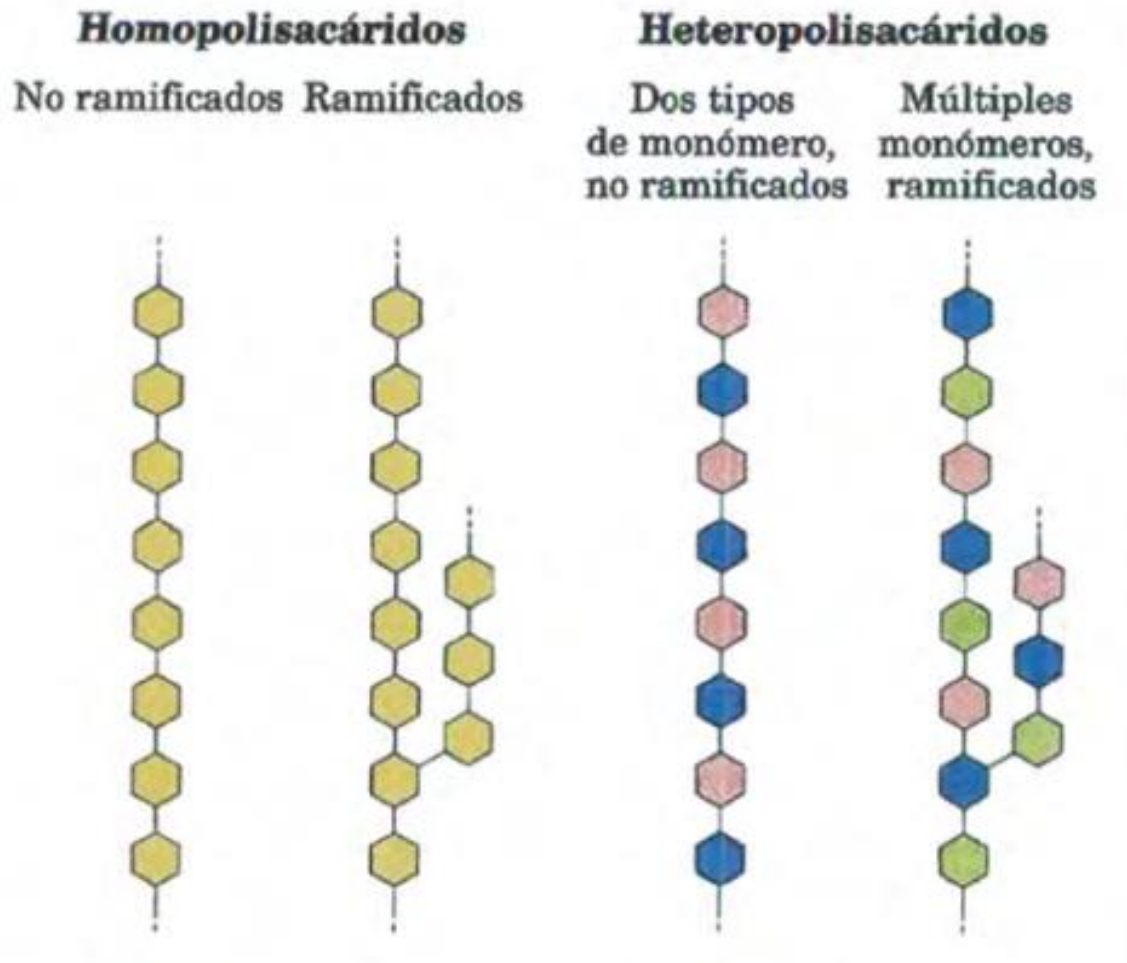
Se forma por una galactosa y una glucosa.
Es un disacárido reductor.
Azúcar común de la leche.



Polisacáridos

Son polímeros formados por unidades glucosídicas. Son carbohidratos de alto peso molecular.

Polisacáridos - Clasificación



Homopolisacáridos y Heteropolisasacáridos

Los homopolisacáridos contienen un único tipo de monómero, mientras que los heteropolisacáridos contienen dos o más tipos diferentes. A su vez, estos polisacáridos pueden clasificarse en Ramificados y No Ramificados, de acuerdo a la estructura que posean.

Polisacáridos - Clasificación

Los polisacáridos pueden cumplir funciones **de reserva** o **estructurales**.

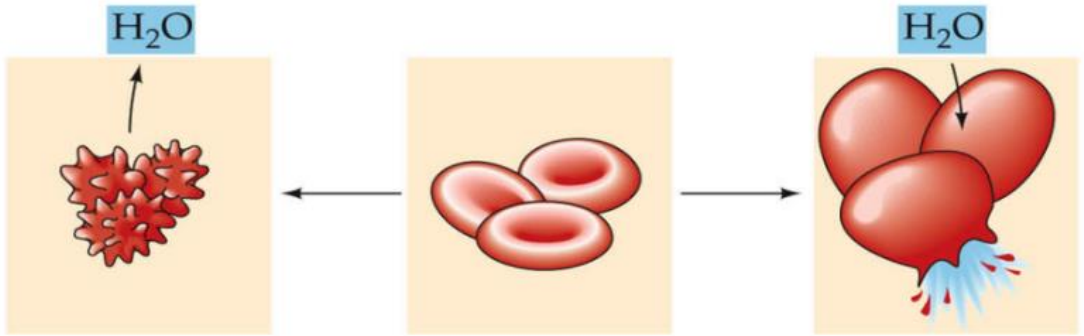
Glucógeno - Almacenamiento

* Es un **homopolisacárido**. Es la principal forma de almacenamiento del azúcar en la mayoría de los animales

* Cuando hay un exceso de glucosa en el torrente sanguíneo, el hígado forma glucógeno

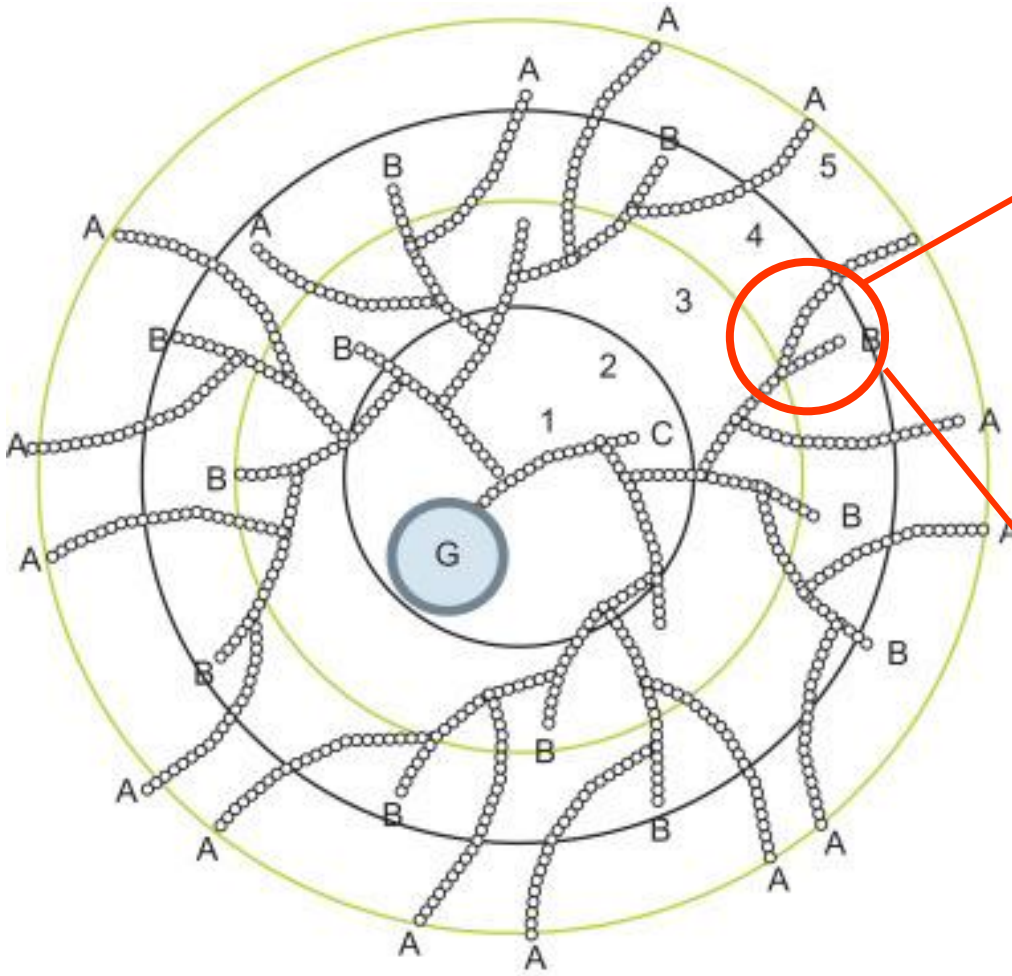
* Una sola molécula de glucógeno puede contener más de 120 mil monómeros de glucosa

Gracias a la capacidad de almacenamiento de glucógeno, se reducen al máximo los cambios de presión osmótica que la glucosa libre podría ocasionar tanto en el interior de la célula como en el medio extracelular.

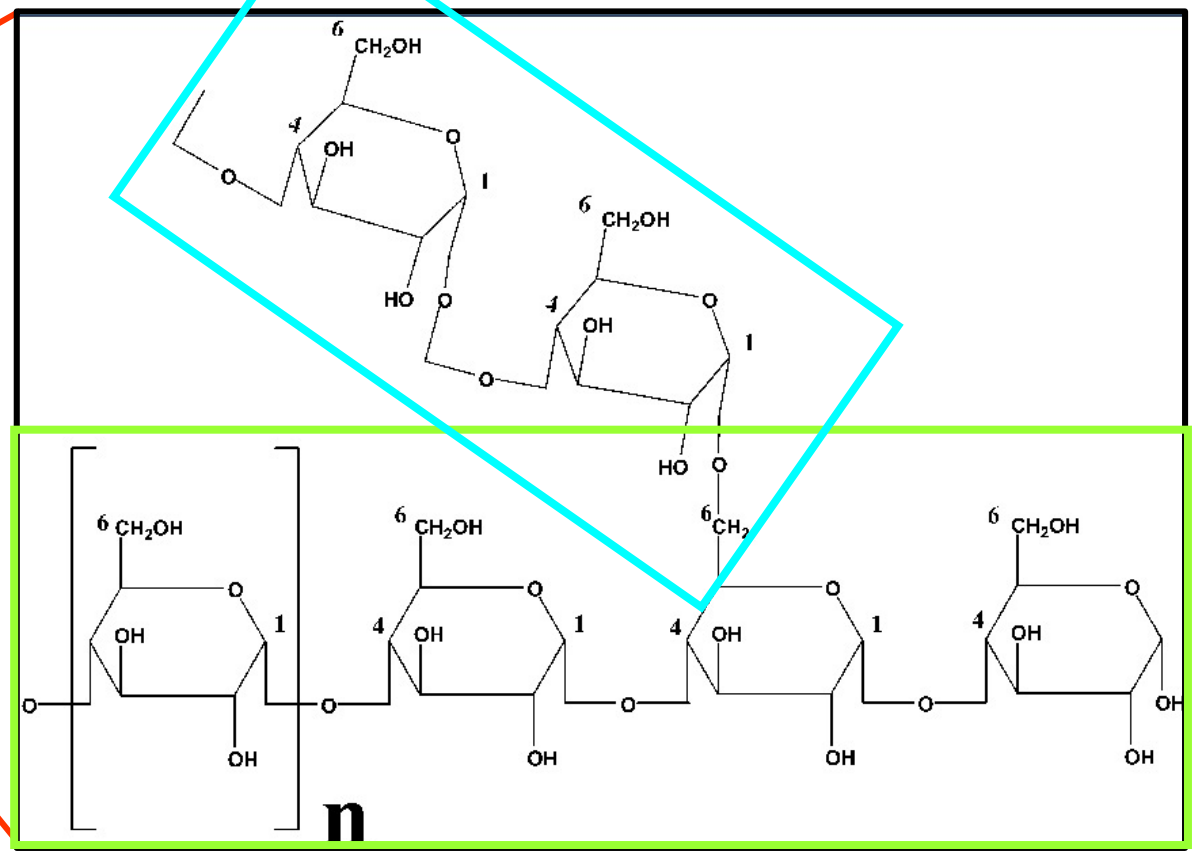


Polisacáridos - Clasificación

Glucógeno - Almacenamiento



Ramificación unidas por enlace α-1,6 a la cadena lineal



Cadena lineal de glucosas unidas por enlaces α-1,4

Polisacáridos - Clasificación

Almidón - Almacenamiento

* Es la principal reserva alimenticia en las plantas.

* Contiene generalmente una fracción soluble en agua llamada amilosa (alrededor de un 20%) y el 80% restante de una insoluble, la amilopectina.

* Son dos carbohidratos diferentes de alto peso molecular.

* Tanto amilosa como amilopectina están constituidas por unidades de D-glucosa (homopolisacárido).

* Se diferencian en que la amilosa es una cadena lineal mientras que la amilopectina presenta una ramificación cada 12 moléculas de glucosa unida mediante enlace α (1→6).

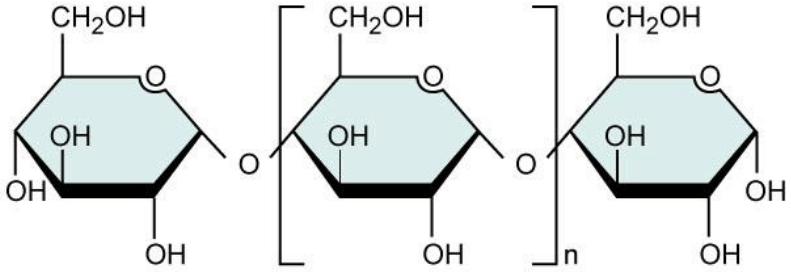
* Se halla en forma de gránulos, de forma y tamaño característicos de la planta de la cual se obtiene.

* Los gránulos intactos son insolubles en agua fría. Cuando se rompe su membrana externa se hinchan en agua fría y forman un gel.

Polisacáridos - Clasificación

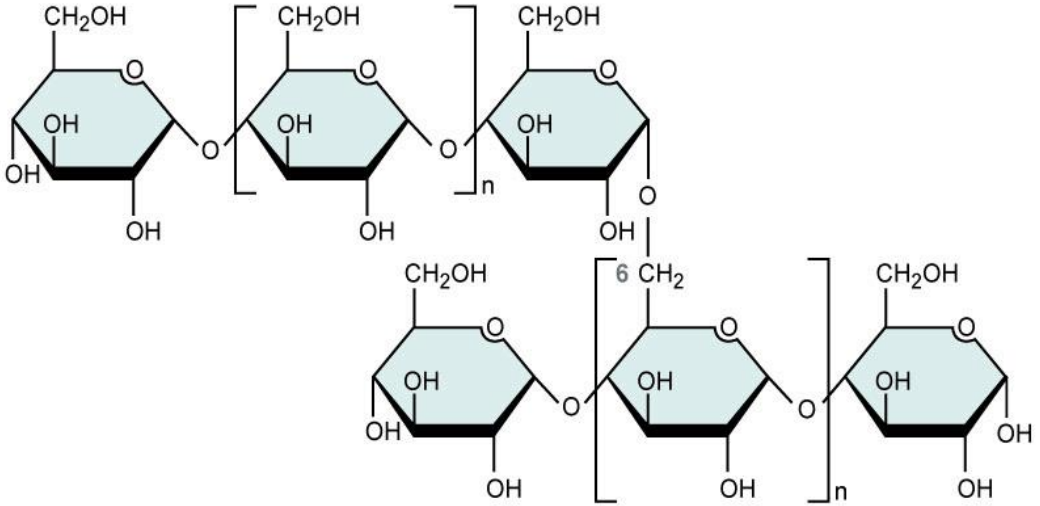
Almidón - Almacenamiento

Amilosa



Cadena lineal de glucosa unida por **enlaces α-1,4**
Constituye aproximadamente el 25-30% del almidón

Amilopectina



Cadena lineal de glucosa unida por **enlaces α-1,4** y con ramificaciones **α-1,6**
Representa el 70-75% restante

Polisacáridos - Clasificación

Celulosa - Estructural

* Es la principal molécula estructural en plantas.

* Forma las paredes celulares de las plantas superiores.

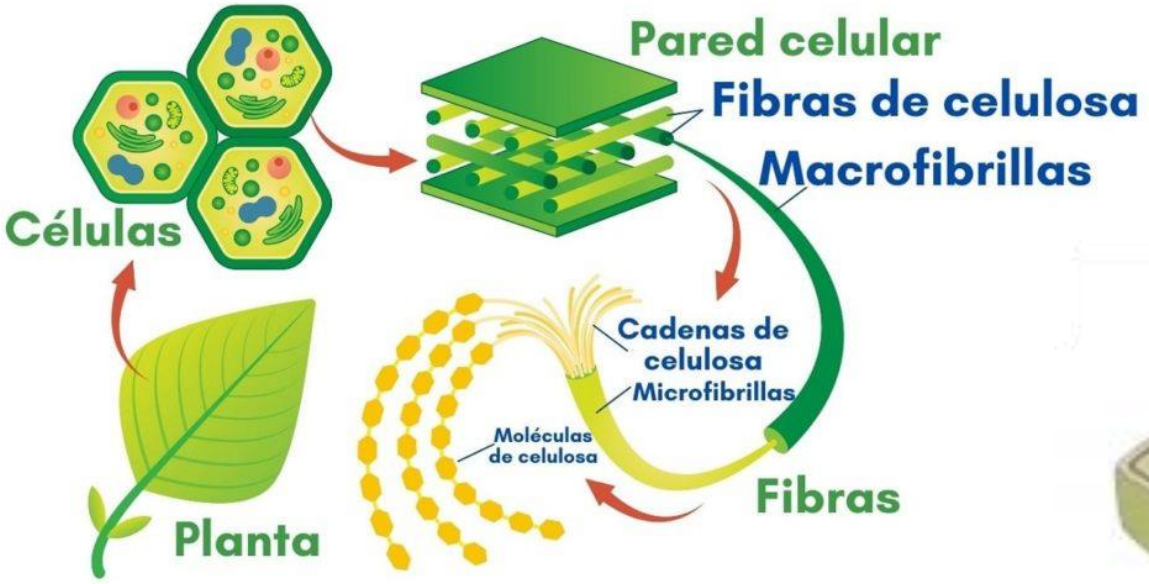
* Está constituida por cadenas de unidades D- glucosa, como el almidón, con la diferencia de que todos sus enlaces son β (homopolisacárido).

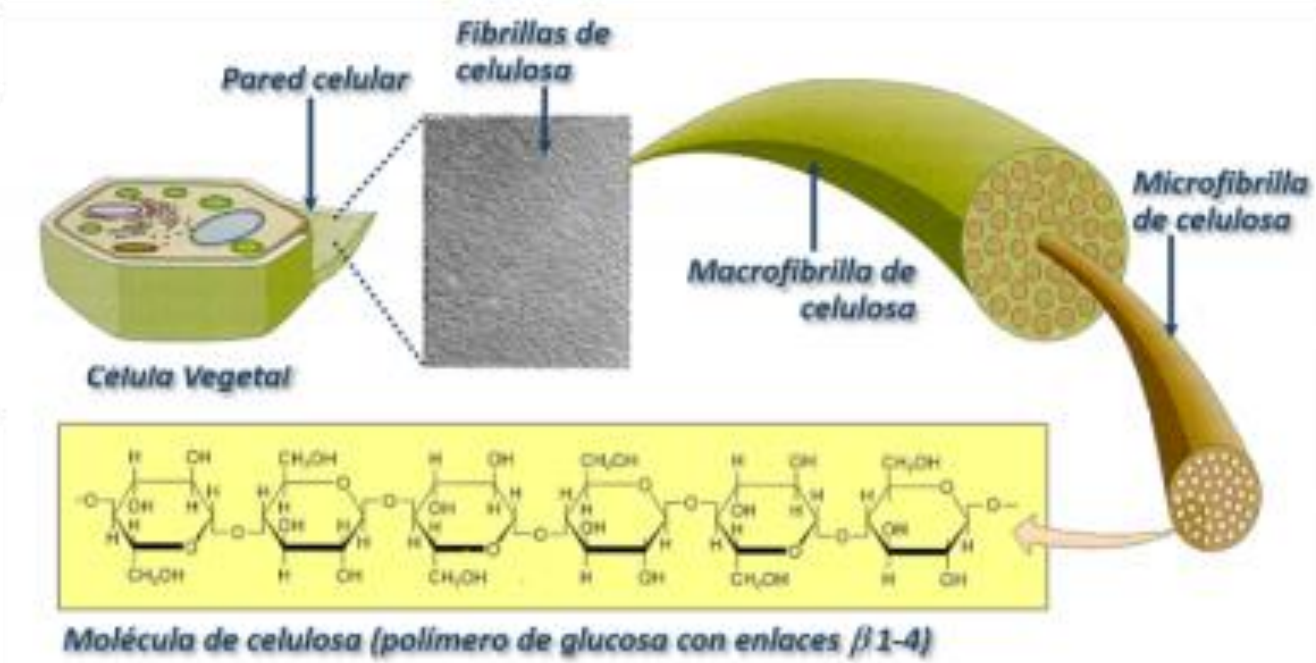
La madera es aproximadamente 50% de celulosa

El algodón es celulosa prácticamente pura

Polisacáridos - Clasificación

Celulosa - Estructural





Cadena lineal de glucosas unidas por enlaces β-1,4

Polisacáridos - Clasificación

Celulosa - Estructural

Sólo unos pocos microorganismos (ciertas bacterias, protozoarios y hongos) pueden hidrolizar la celulosa

Pueden utilizar celulosa como fuente de energía sólo gracias a los microorganismos que habitan en sus aparatos digestivos

Polisacáridos - Clasificación

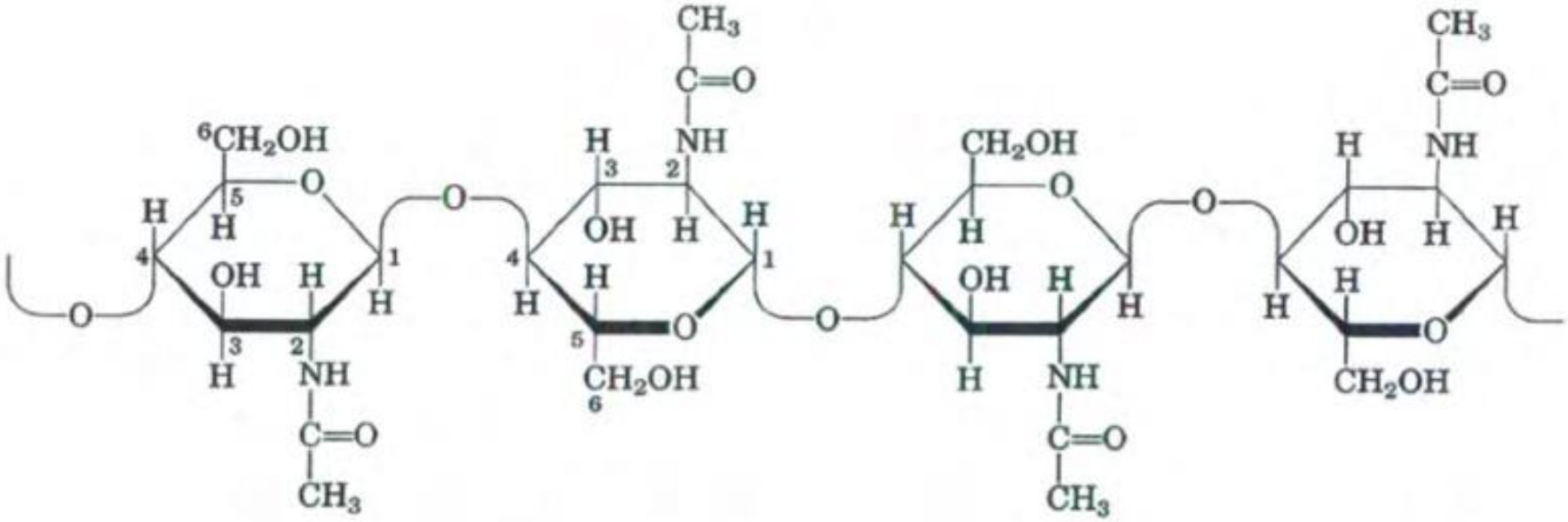
Quitina - Estructural

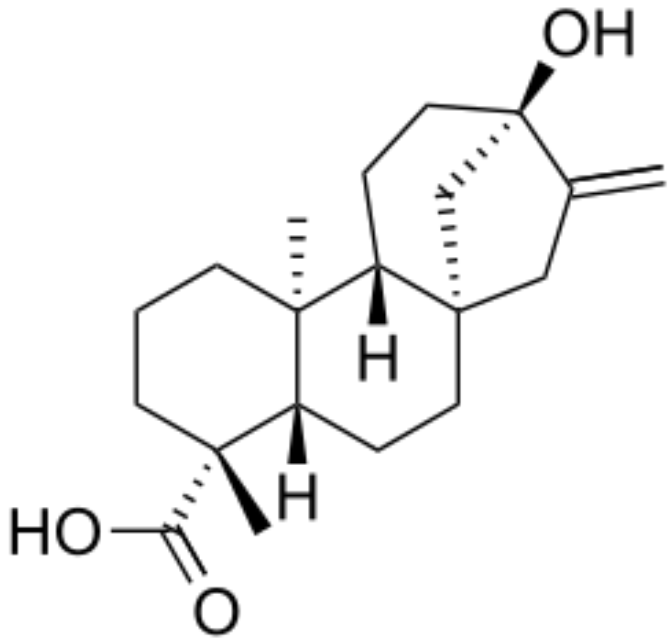
* Es el componente principal de los duros exoesqueletos de especies de artrópodos (insectos, cangrejos, langostas, otros).

* Homopolisacárido lineal compuesto por residuos de N-acetilglucosamina unidos por enlaces β-1,4.

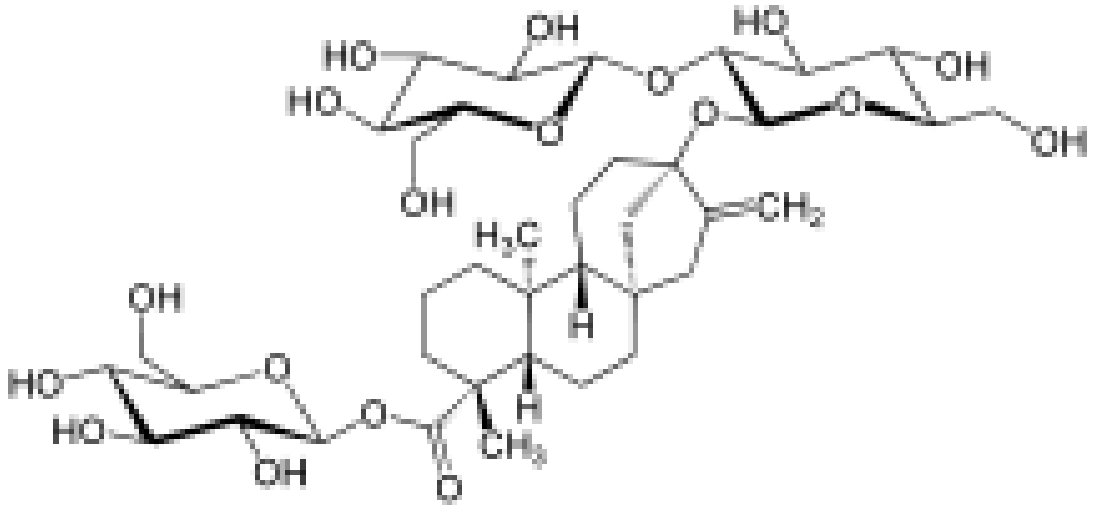
* Forma fibras extendidas similares a la celulosa

* No es digerible por los vertebrados. Es el segundo polisacárido más abundante en la naturaleza, después de la celulosa.



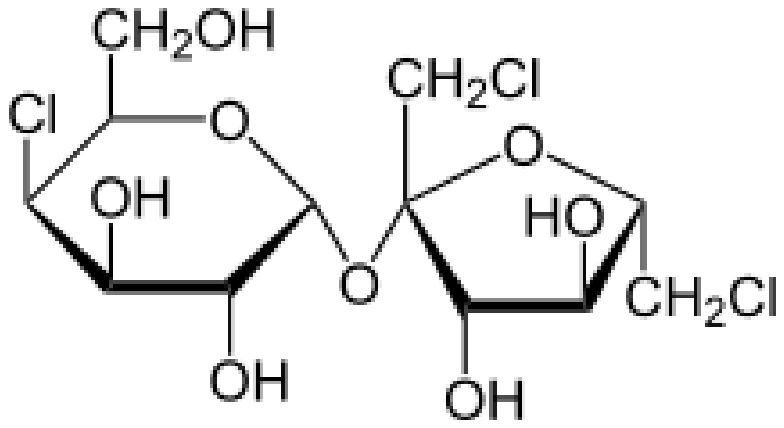


Esteviol
Componente básico de los glucósidos dulces de la estevia (estreviósidos)



El **estreviósido** es uno de los azúcares obtenidos naturalmente de la *Stevia rebaudiana*

No aumenta la concentración de glucosa en sangre (lo que lo hace apto para diabéticos). Por este motivo se utiliza como endulzante no calórico. Es entre 250 y 300 veces más dulce que la sacarosa.



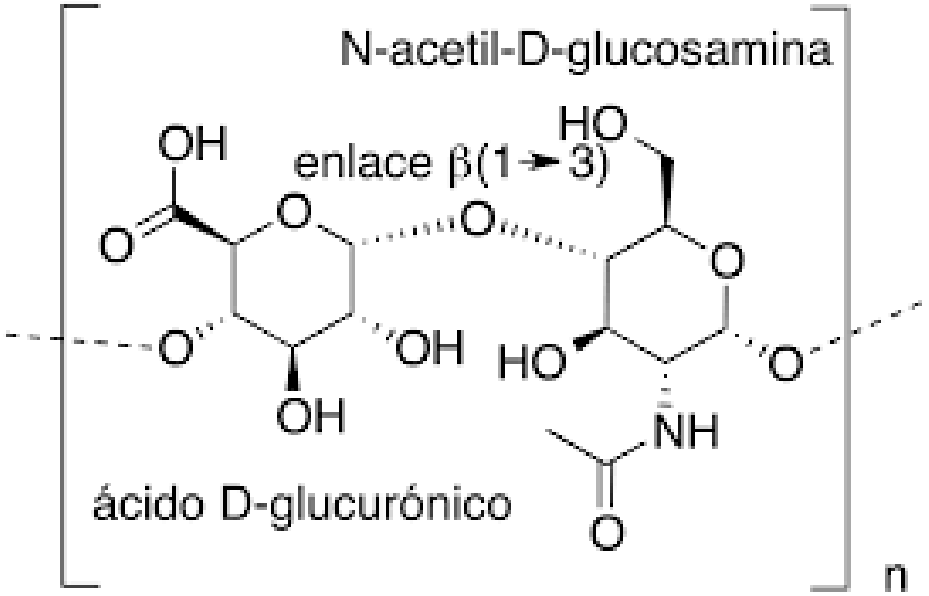
La **sucralosa** es un organoclorado utilizado como edulcorante artificial y sustituto del azúcar.

Se sintetiza por halogenación selectiva de sacarosa, reemplazando los tres grupos hidroxilo de la molécula por 3 átomos de cloro

Polisacáridos - Clasificación

Heteropolisacáridos

- **Ácido hialurónico.** Es un glucosaminoglucano compuesto por unidades repetidas del disacárido formado por ácido-D-glucurónico y N-acetil-D-glucosamina unidos por enlaces β-1,3. Se distribuye ampliamente en células tanto procariotas como eucariotas. En el ser humano, es abundante en la piel, y está presente en el humor vítreo, el cordón umbilical, el líquido sinovial, el tejido esquelético, entre otros. Contrarresta el efecto del envejecimiento en la piel, en particular la formación de arrugas, reemplazando el volumen de líquido perdido; además incrementa la producción de colágeno



Polisacáridos - Clasificación

Heteropolisacáridos

- **Heparina.** Es un glucosaminoglucano muy sulfatado que se utiliza ampliamente como anticoagulante inyectable. En la naturaleza es un polímero con una cadena de tamaño variable.

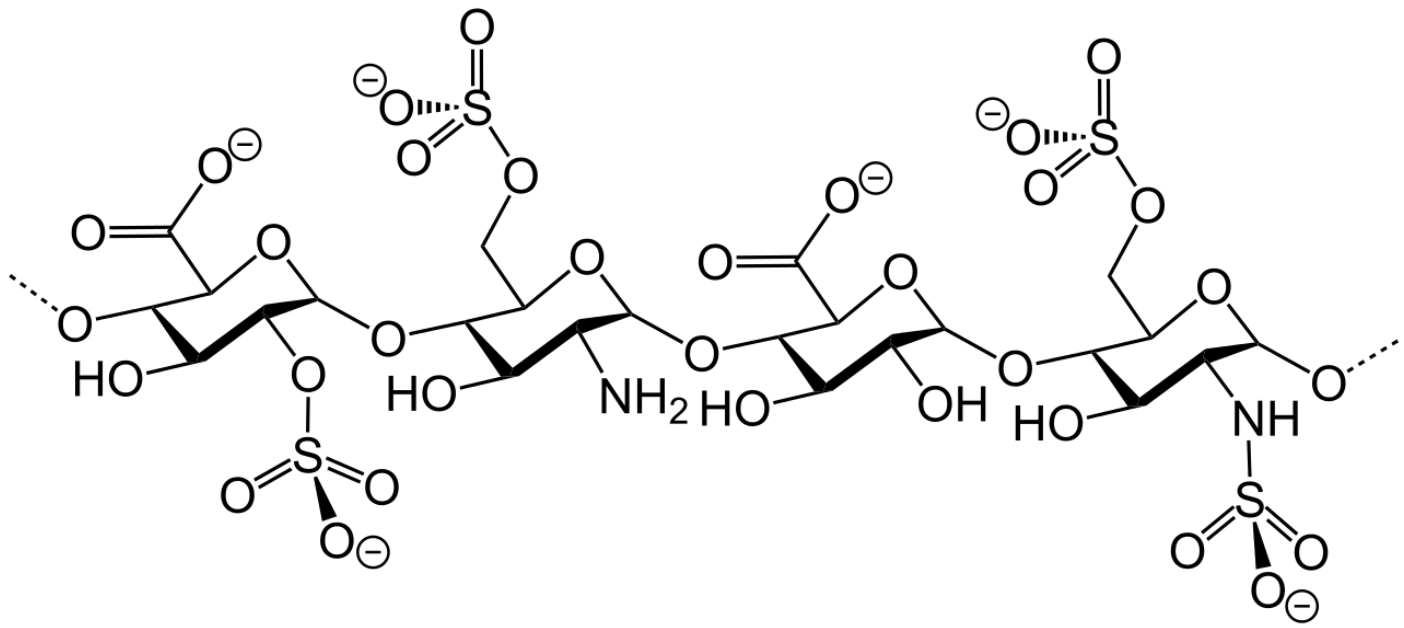


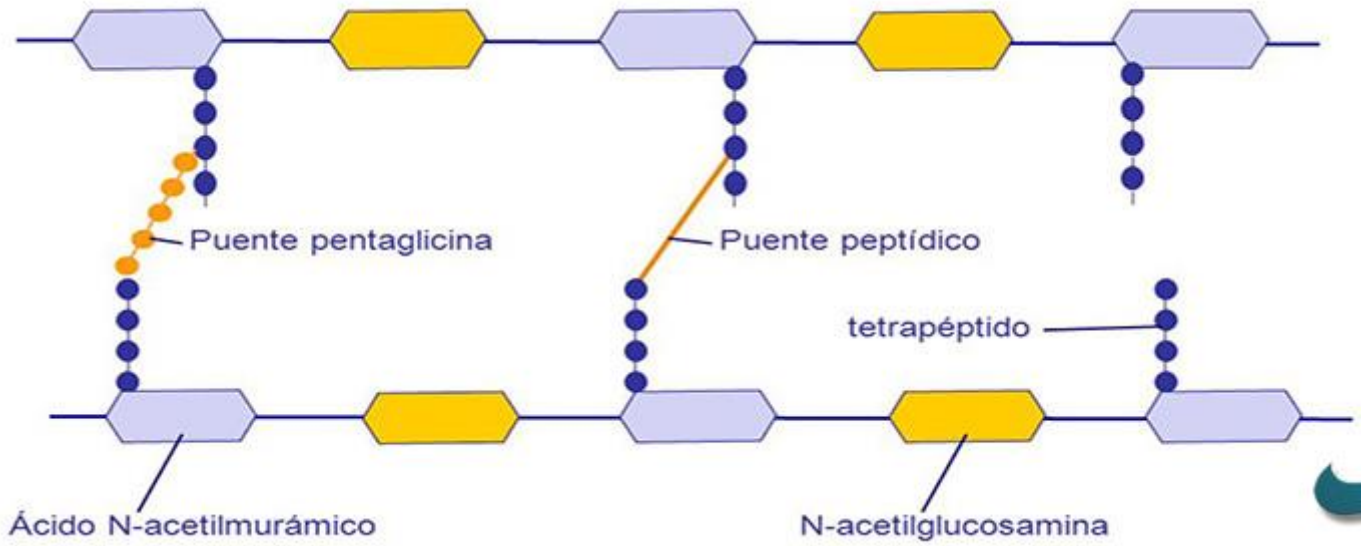
TABLA 7-2 Estructura y función de algunos polisacáridos

Polímero	Tipo*	Unidad repetitiva†	Tamaño (número de unidades de monosacárido)	Funciones/significado
Almidón				Reserva energética: en plantas
Amilosa	Homo-	(α1→4)Glc, lineal	50–5.000	
Amilopectina	Homo-	(α1→4)Glc, con ramificaciones (α1→6)Glc cada 24–30 residuos	Hasta 10^6	
Glucógeno	Homo-	(α1→4)Glc, con ramificaciones (α1→6)Glc cada 8–12 residuos	Hasta 50.000	Reserva energética: en bacterias y células animales
Celulosa	Homo-	(β1→4)Glc	Hasta 15.000	Estructural: confiere rigidez y resistencia a las paredes de células vegetales
Quitina	Homo-	(β1→4)GlcNAc	Muy grande	Estructural: confiere rigidez y resistencia a los exoesqueletos de insectos, arañas y crustáceos
Dextrano	Homo-	(α1→6)Glc, con ramific. (α1→3)	Muy grande	Estructural: adhesivo extracelular en bacterias
Peptidoglucano	Hetero-; péptidos unidos	4)Mur2Ac(β1→4) GlcNAc(β1	Muy grande	Estructural: confiere rigidez y resistencia a la envoltura celular bacteriana
Agarosa	Hetero-	3)D-Gal(β1→4)3,6-anhidro-L-Gal(α1	1.000	Estructural: componente de la pared celular de las algas
Hialuronano (un glucosamino-glucano)	Hetero-; acídico	4)GlcA(β1→3) GlcNAc(β1	Hasta 100.000	Estructural: en vertebrados forma parte de la matriz extracelular de la piel y tejido conjuntivo; viscosidad y lubricación en articulaciones

Polisacáridos - Clasificación

Heteropolisacáridos

- **Peptidoglucano.** Es el componente rígido de las paredes bacterianas. Es un heteropolímero de unidades de N-acetilglucosamina y ácido N-acetilmurámico alternadas, unidas por enlaces β-1,4. En la pared celular las cadenas se disponen de manera paralela y entrecruzadas por péptidos cortos. Esta estructura recibe el nombre de mureína.

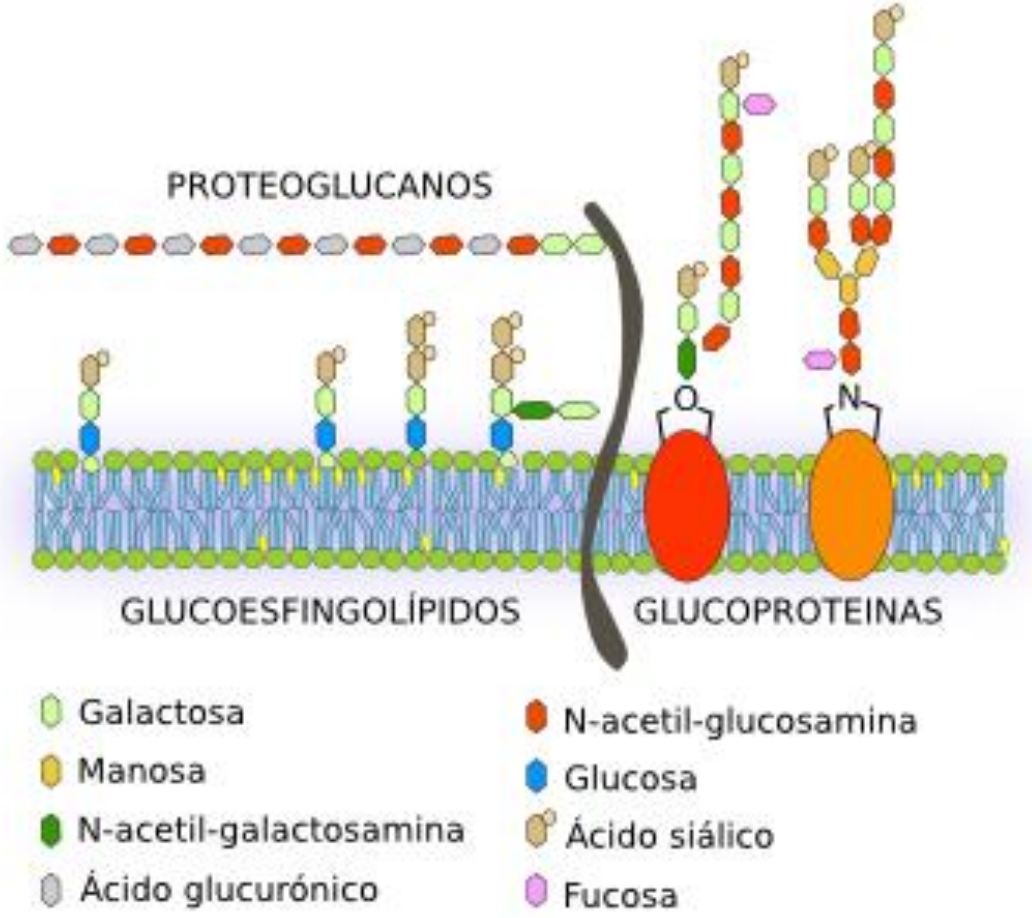


Polisacáridos - Clasificación

Heteropolisacáridos

- **Proteoglicanos.** Los glucosaminoglucanos se asocian a proteínas para formar proteoglicanos.

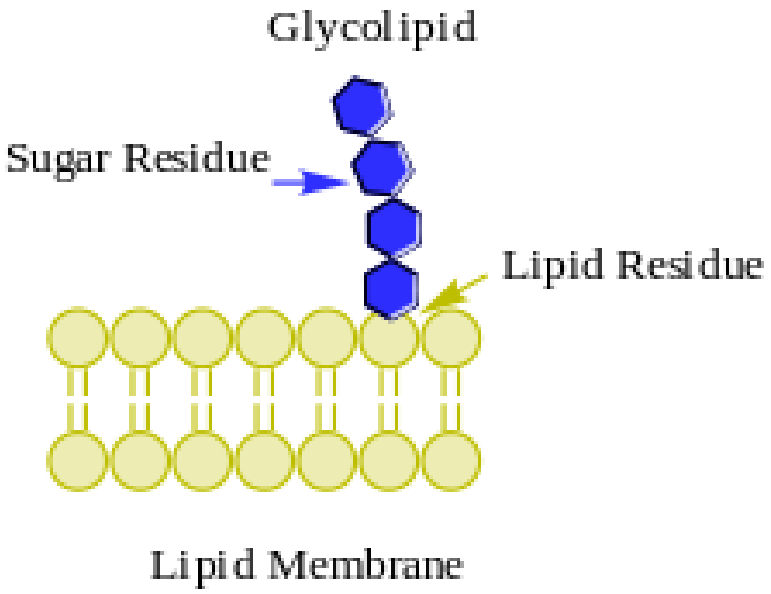
- **Glicoproteínas.** Son proteínas conjugadas con carbohidratos como grupo prostético (la definición también comprende a los proteoglicanos). Se diferencia de los proteoglicanos en que sus cadenas de azúcar son más cortas (oligosacáridos), pueden ser ramificadas. Casi todas las proteínas de la cara externa de la membrana de las células animales, la mayoría de las proteínas plasmáticas, algunas hormonas, muchas enzimas, entre otras, son glicoproteínas.

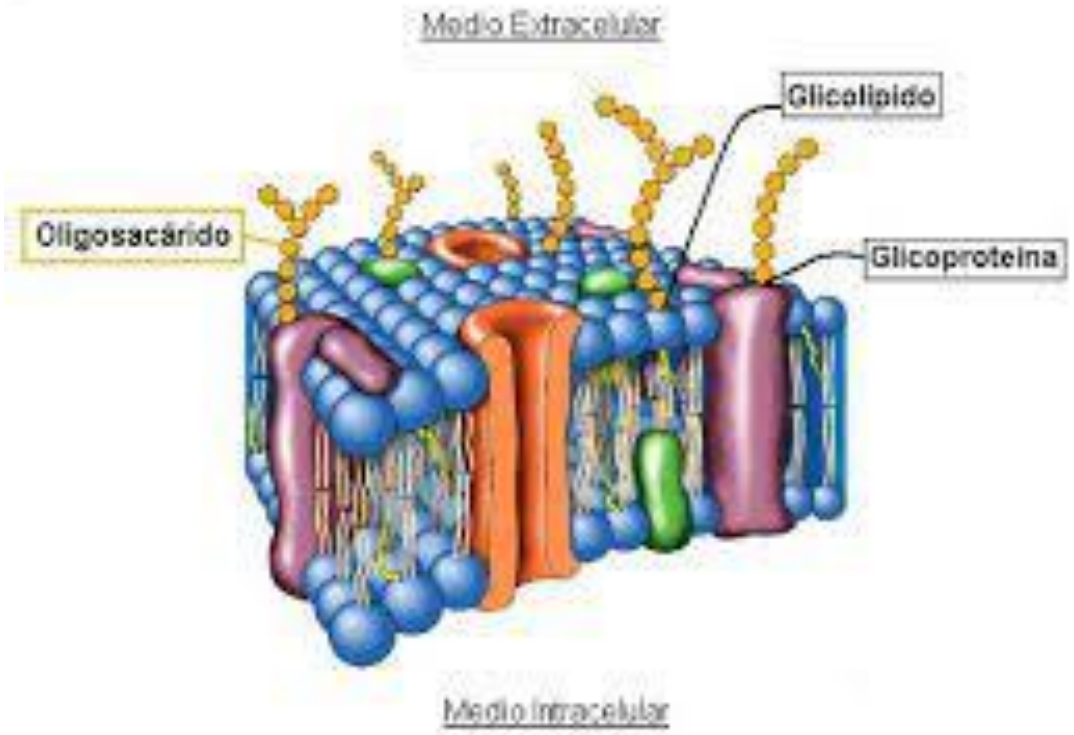


Polisacáridos - Clasificación

Heteropolisacáridos

- **Glucolípidos.** También llamados glucoesfingolípidos, están compuestos por una ceramida (esfingosina + ácido graso) y un glúcido de cadena corta; carecen de grupo fosfato. Forman parte de la bicapa lipídica de la membrana celular. En solución acuosa se comportan de manera similar a los fosfolípidos.

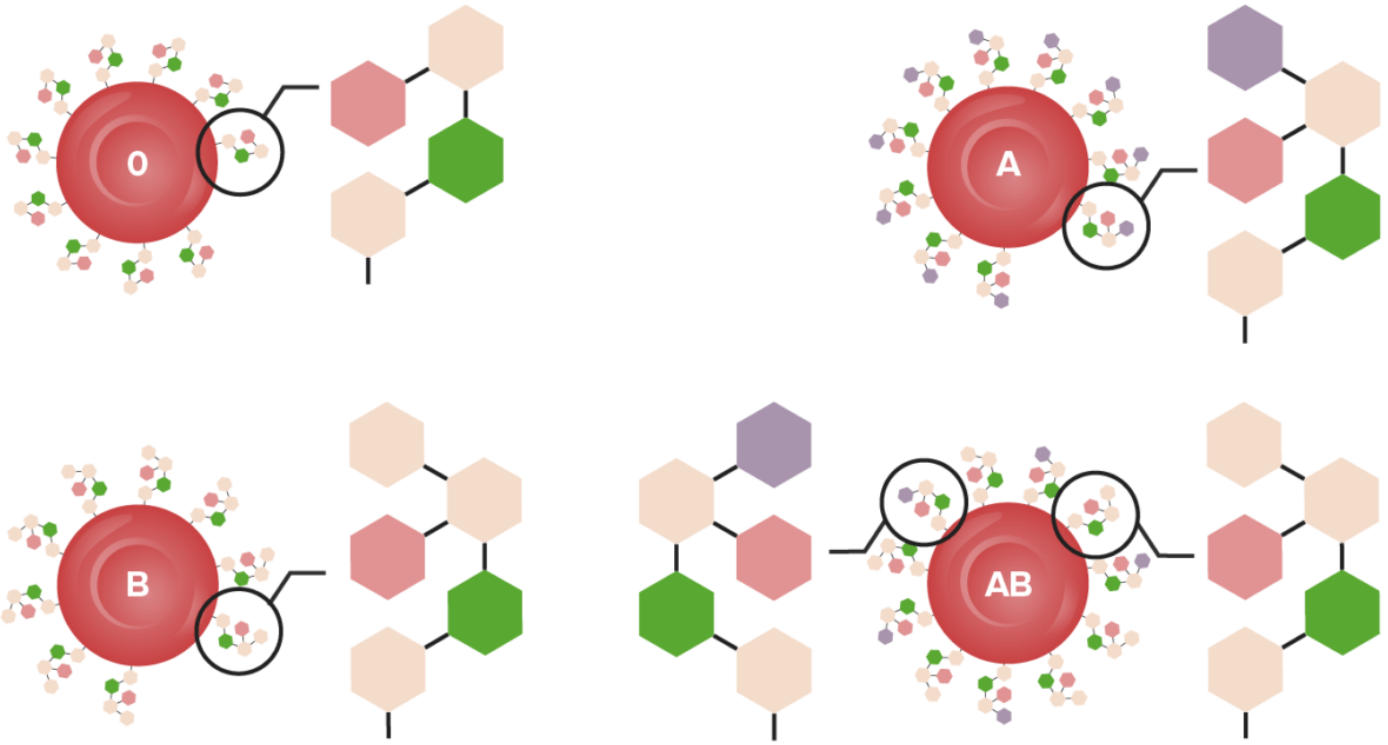




Polisacáridos - Clasificación

Heteropolisacáridos

- **Grupos sanguíneos.** La superficie de los glóbulos rojos y otras células poseen glicoproteínas y glicolípidos que actúan como antígenos. El determinante antigénico reside en la porción glucosídica, cuya estructura se determina genéticamente.



Todos las personas pueden sintetizar el antígeno O, pero para completar las cadenas A y B se requiere de una enzima que catalice la transferencia del monosacárido adicional en cada caso. Las personas del grupo O carecen de ambas enzimas.

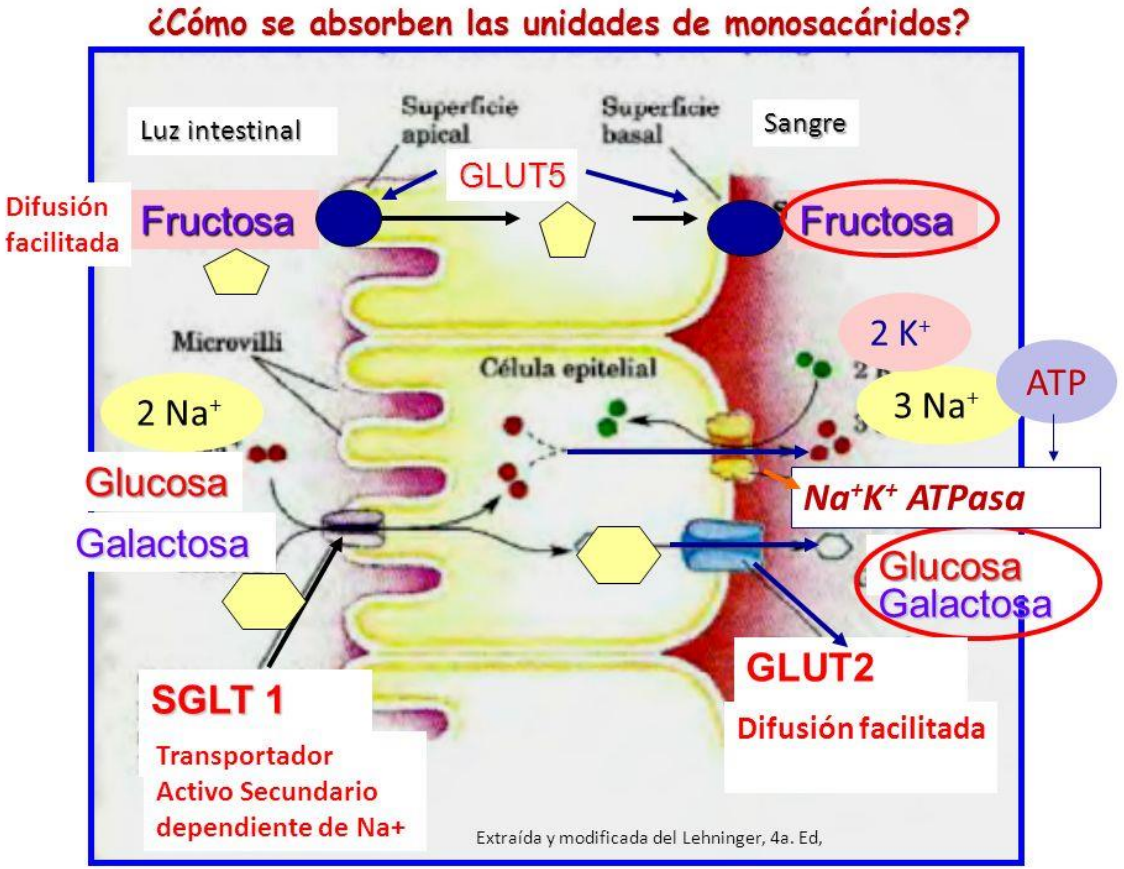
Cada individuo produce anticuerpos para el o los antígenos que no sintetiza.

Metabolismo de carbohidratos

Digestión y Absorción

De los alimentos que ingerimos en la dieta, sólo unos pocos son absorbidos sin cambios por la mucosa intestinal. Otros, deben ser enfrentados a un proceso de degradación o digestión, durante el cual las moléculas complejas son escindidas en sustancias más simples, que el organismo pueda incorporar y utilizar. Cuando se alcanza la separación en moléculas más simples, se produce la absorción.

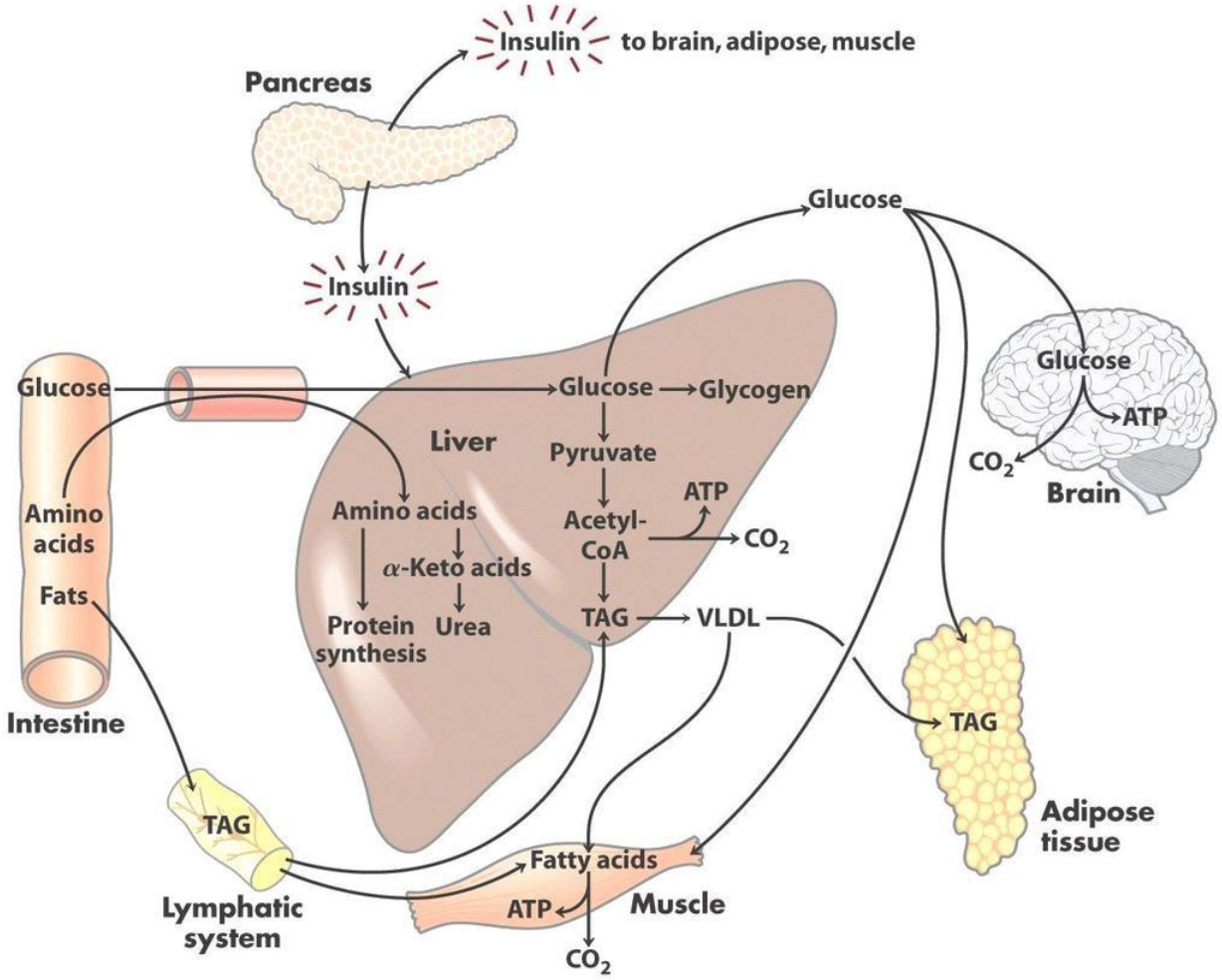
Aproximadamente el 50% de la energía provista por los alimentos en una dieta normal corresponde a los carbohidratos.
Los únicos carbohidratos que pueden ser absorbidos por las células de la mucosa intestinal son los monosacáridos.
Los más abundantes liberados en la digestión de los alimentos son la glucosa, fructosa y galactosa.



Metabolismo de carbohidratos

Digestión y Absorción

- Una vez absorbidos, los monosacáridos son transportados hacia el hígado. Allí, la galactosa y fructosa, son transformados en derivados de glucosa, por lo tanto los tres tienen un destino metabólico común.
- El hígado capta una gran parte de la glucosa absorbida y la transforma en glucógeno (*glucogenogénesis*), el resto pasa a circulación general.
- El músculo, también es un órgano capaz de sintetizar glucógeno, con la diferencia de que éste, no cede unidades de glucosa al torrente sanguíneo como sí lo hace el hígado.
- En músculo, la degradación del glucógeno da piruvato y lactato como productos finales.

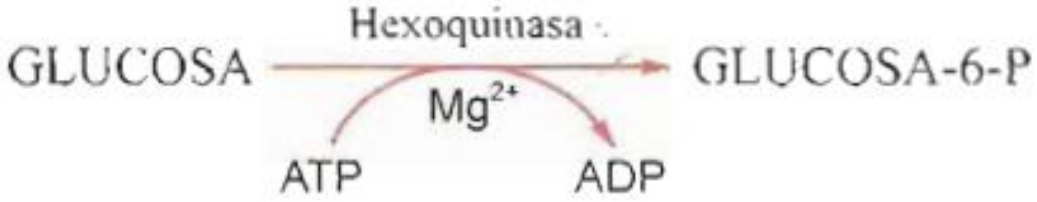


Glucólisis

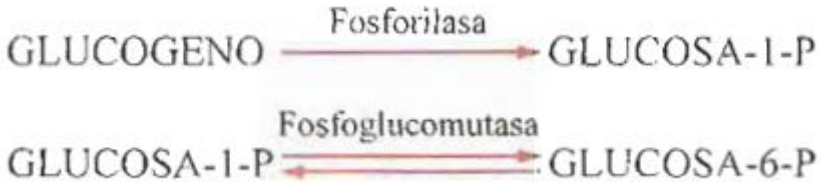
Es la **ruta central**, casi universal, para el **catabolismo de la glucosa** en la mayoría de las células. Esta vía metabólica, que consiste en **10 reacciones sucesivas** donde se degrada (**oxida**) una molécula de glucosa en una serie de reacciones catalizadas enzimáticamente, dando dos moléculas del compuesto de tres carbonos, **piruvato**.

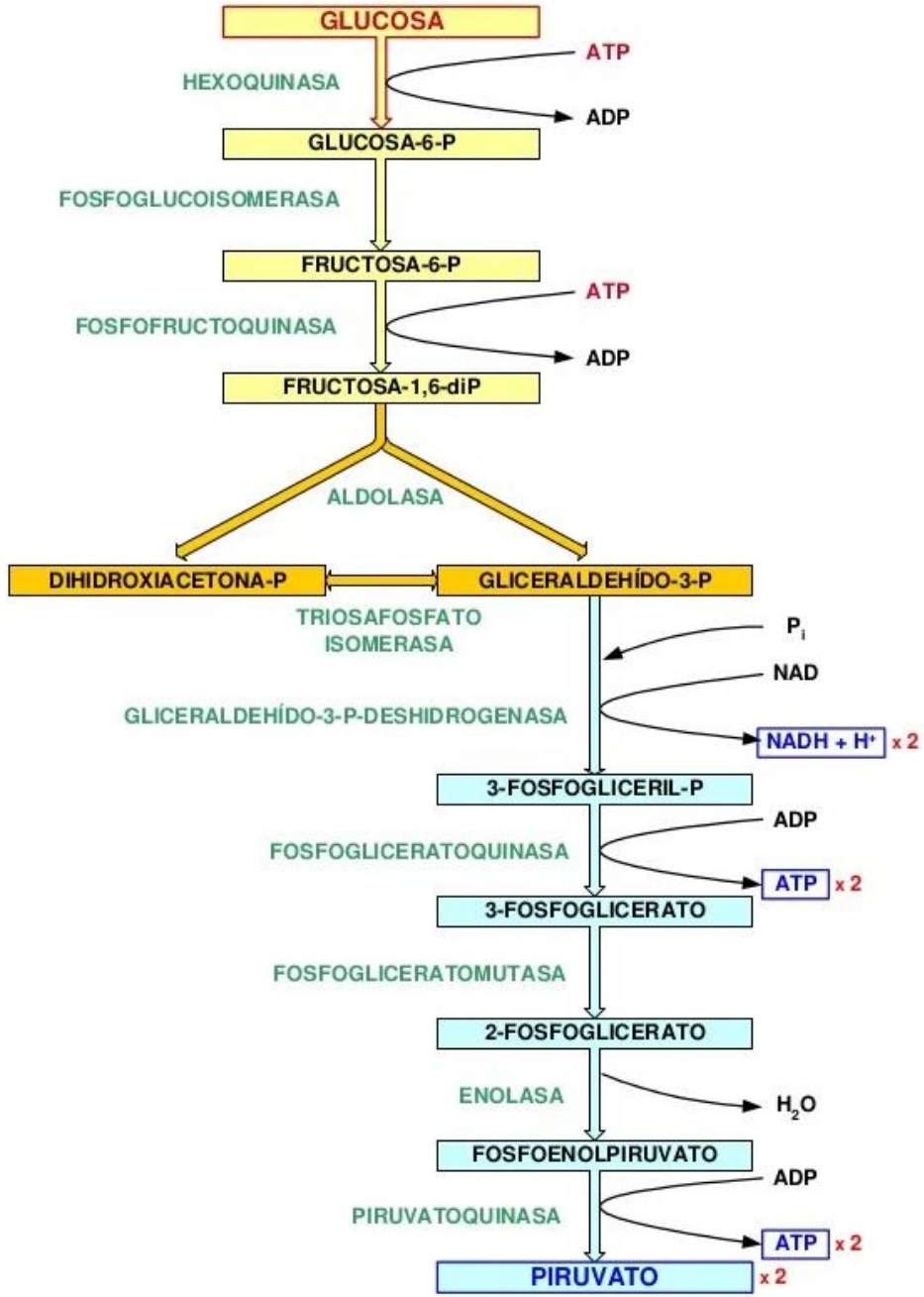
1. Formación de Glucosa-6P

Es la etapa inicial obligatoria para la utilización de la glucosa



Si la glucosa proviene de la degradación de glucógeno:

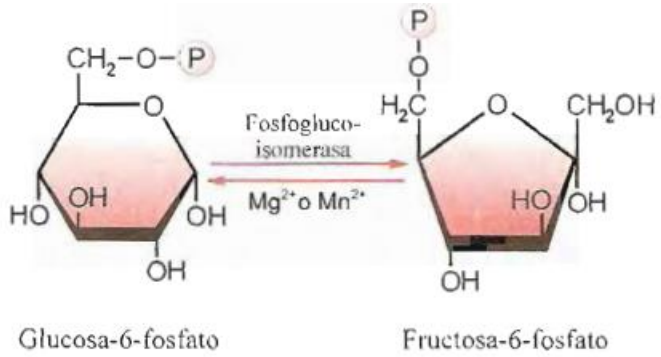




Glucólisis

2. Formación de Fructosa-6P

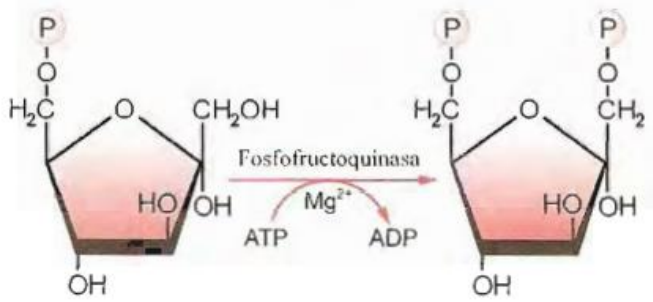
Esta reacción es reversible y catalizada por la fosfoglucosaisomerasa



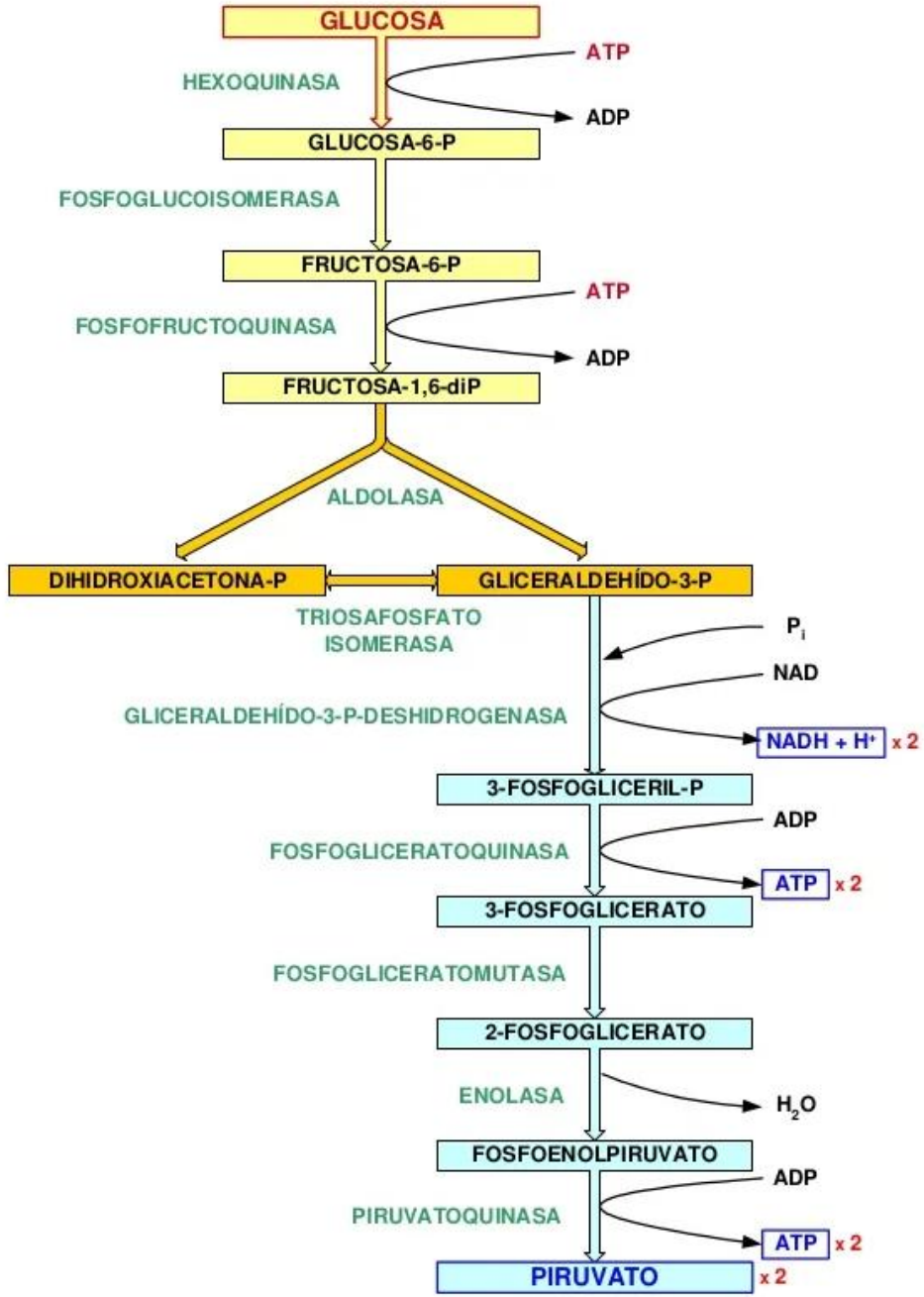
Glucosa-6-fosfato Fructosa-6-fosfato

3. Fosforilación de Fructosa-6P

La Fructosa-6P se fosforila en el carbono 1 y se transforma en Fru-1,6-bisP. La reacción requiere de ATP que dona el fosforilo



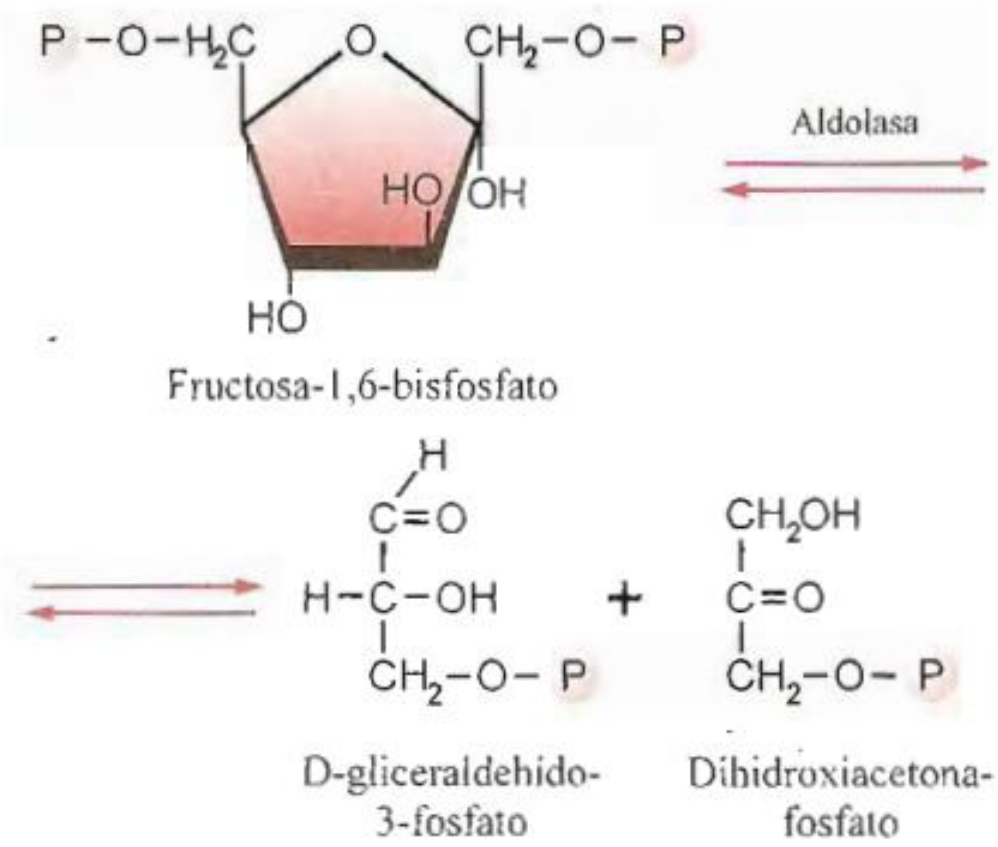
Fructosa-6-fosfato Fructosa-1,6-bisfosfato

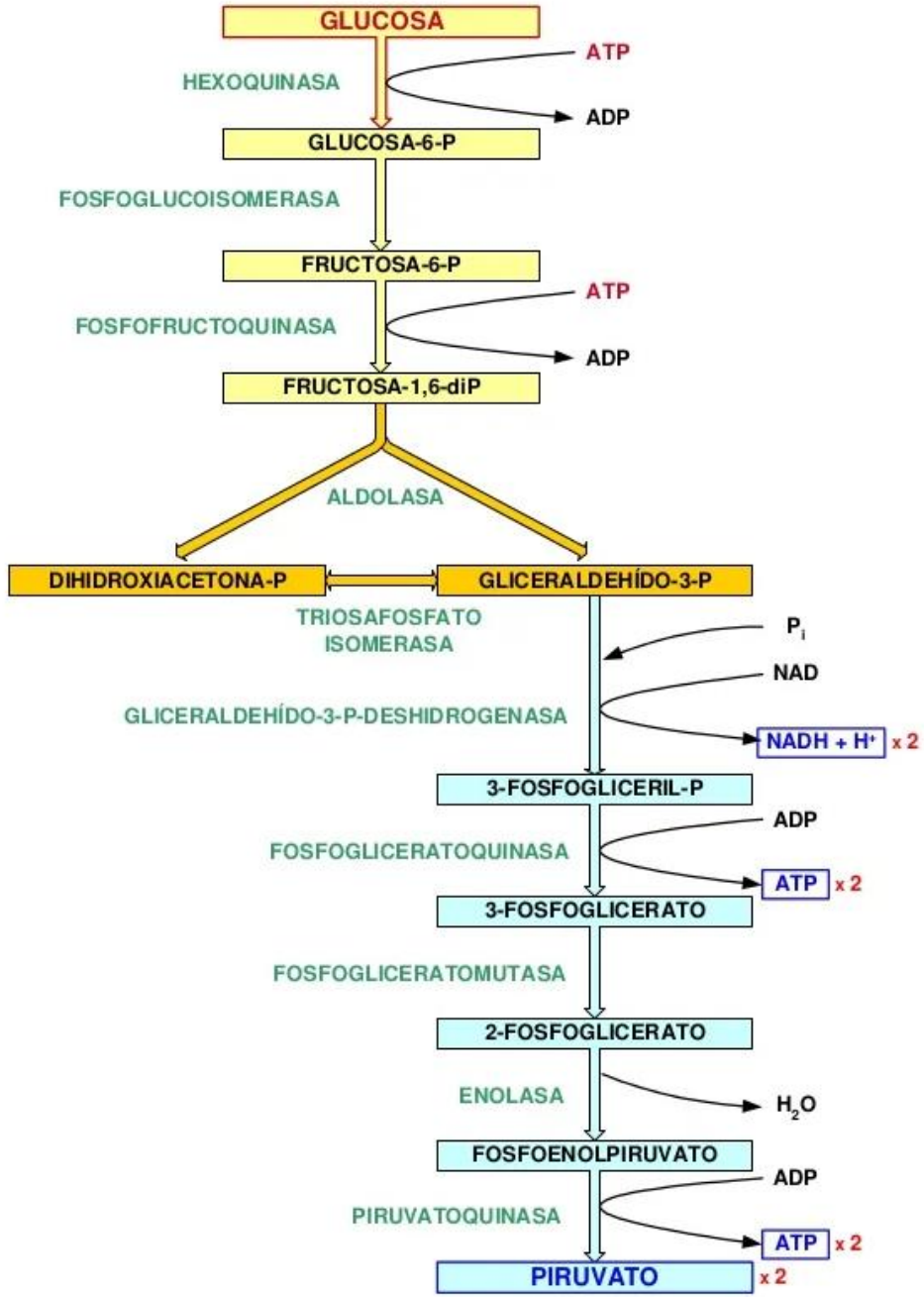


Glucólisis

4. Formación de Triosas-P

La Fru-1,6-bisP se escinde en dos triosas-fosfato: gliceraldehido-3P (G3P) y dihidroxiacetona-P (DHAP).

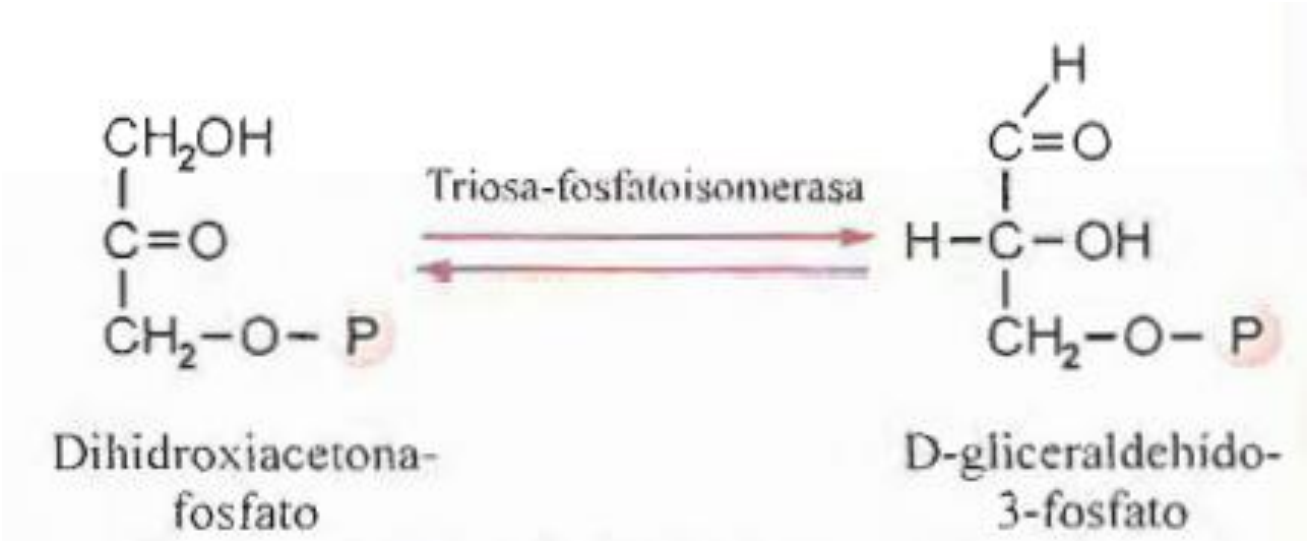


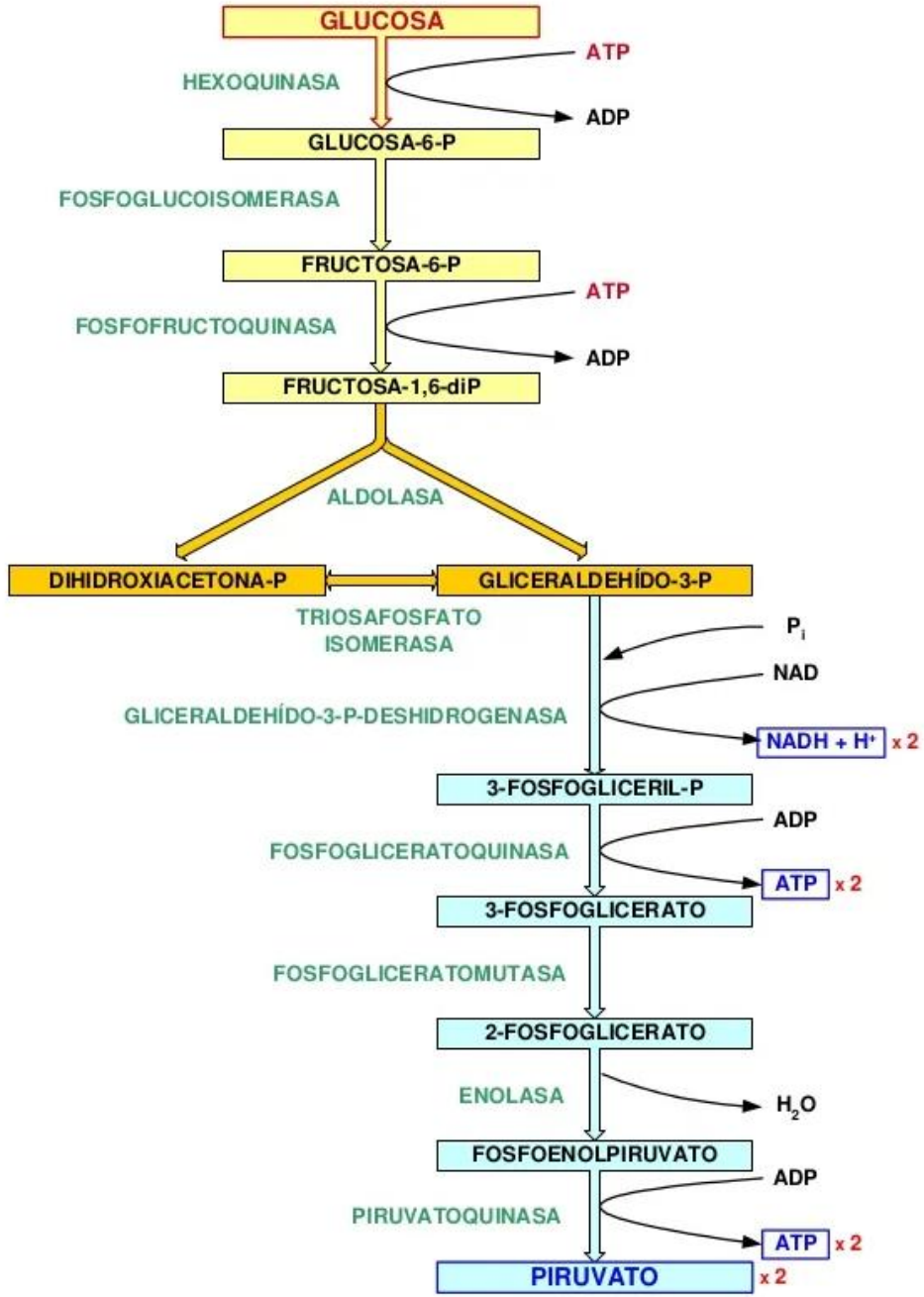


Glucólisis

5. Interconversión de triosas-P

De las triosas-P formadas en la etapa 4, sólo el G3P continúa en la vía metabólica de manera directa. La DHAP también continúa en la vía, pero para eso debe ser convertida en G3P. Por esto se considera que cada molécula de glucosa, da lugar a dos moléculas de G3P.

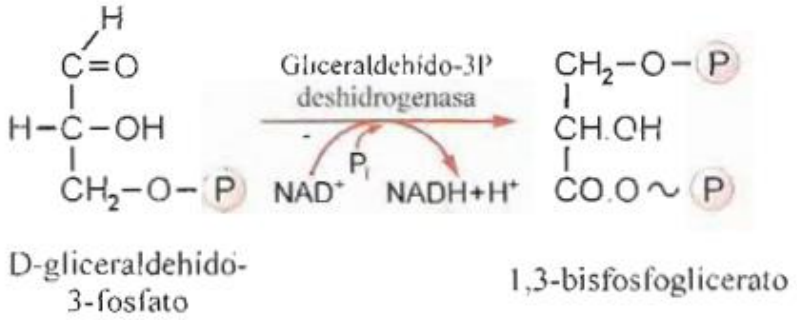




Glucólisis

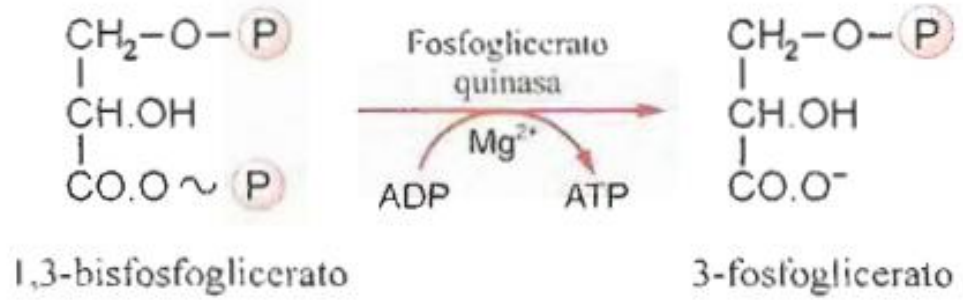
6. Oxidación y fosforilación del G3P

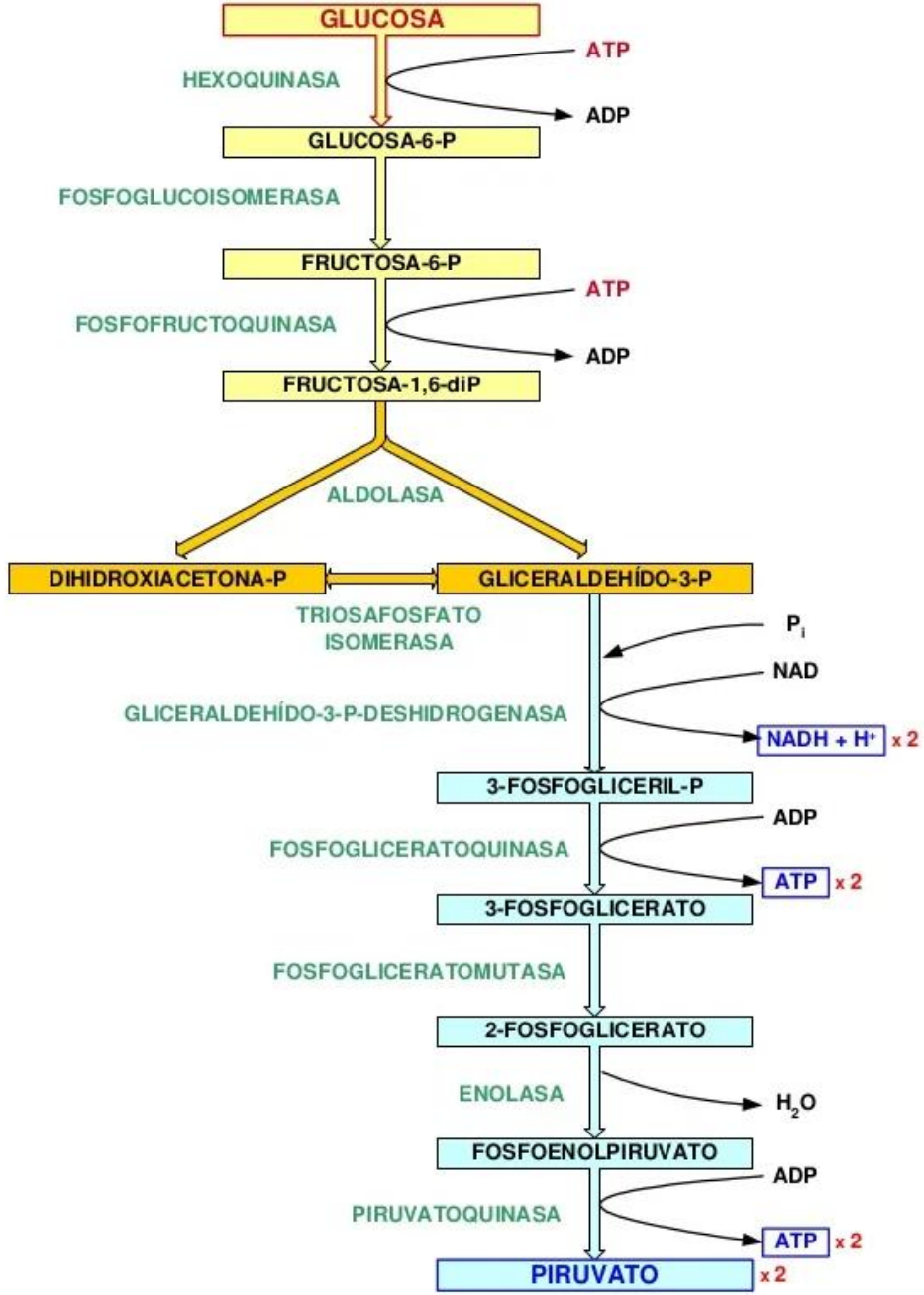
Es una etapa de gran importancia en la glucólisis. Se produce la deshidrogenación del G3P. Se forma 1,3-bifosfoglicerato.



7. Fosforilación a nivel de sustrato

El fosfato de alta energía del 1,3-bifosfoglicerato se transfiere al ADP para formar ATP y 3-fosfoglicerato.





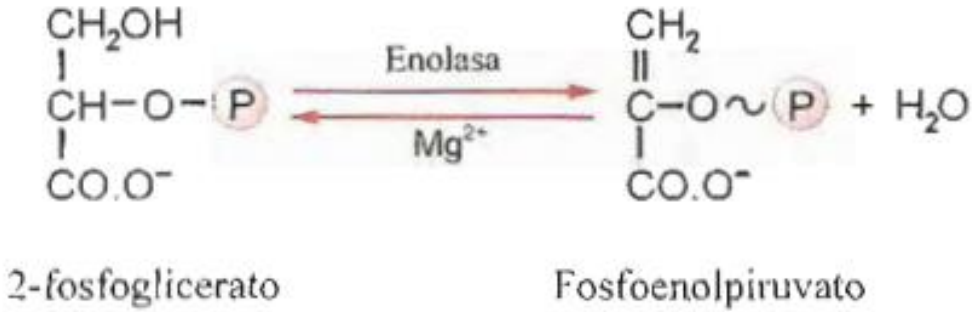
Glucólisis

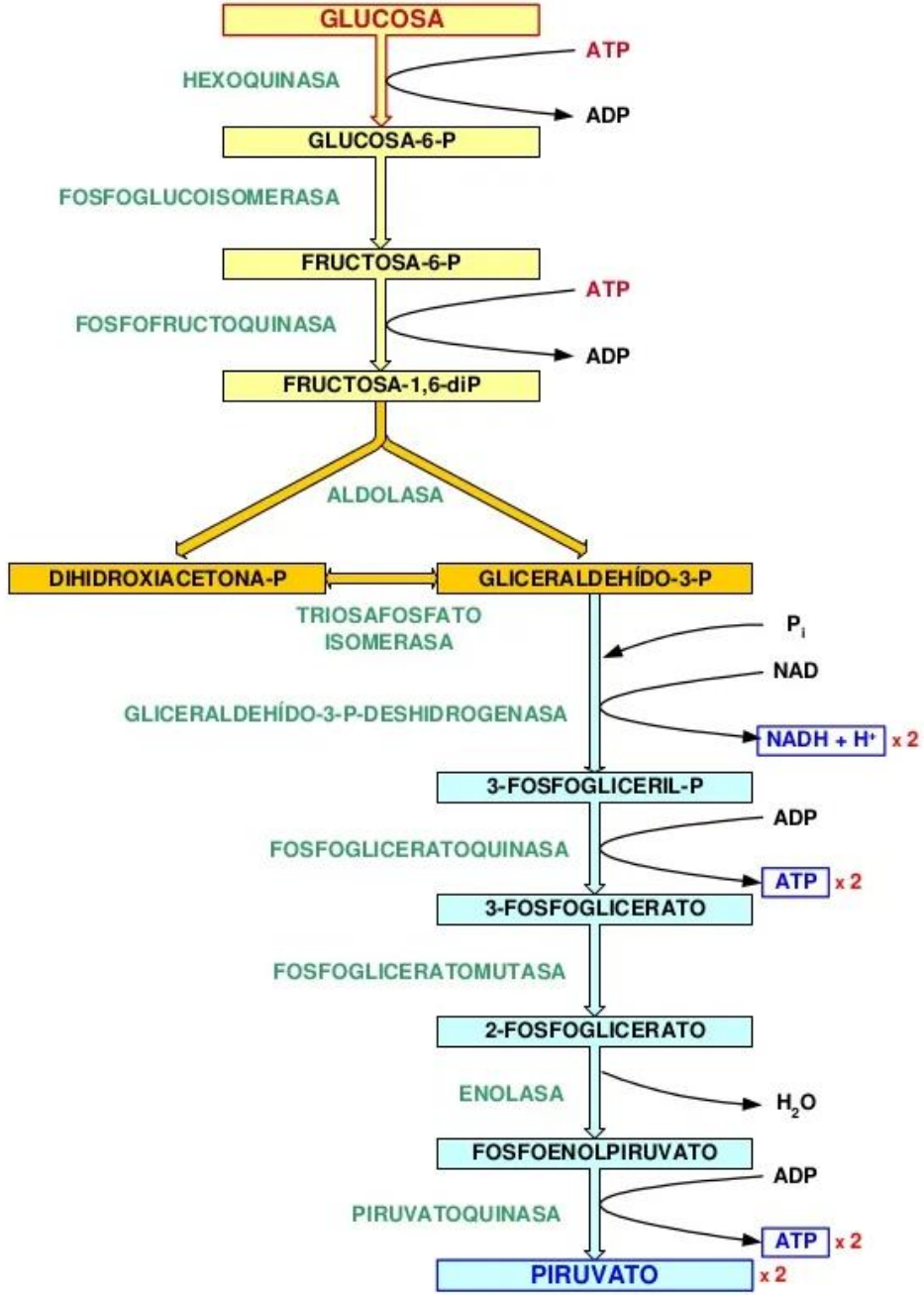
8. Formación de 2-fosfoglicerato

Se forma el 2-fosfoglicerato a partir del 3-fosfoglicerato de la etapa anterior.

9. Formación de fosfoenolpiruvato

Se produce una deshidratación y redistribución, para generar un compuesto rico en energía, el fosfoenolpiruvato (PEP).

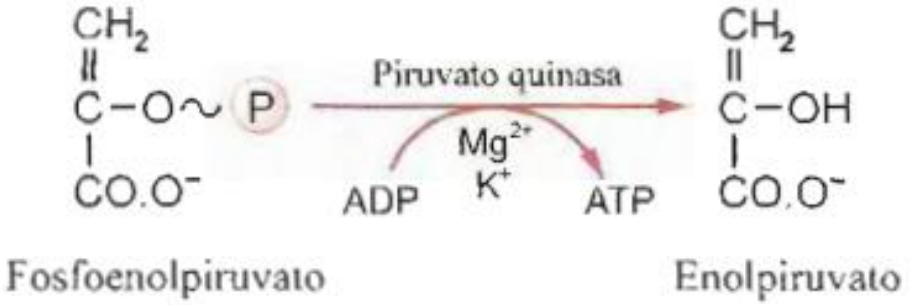


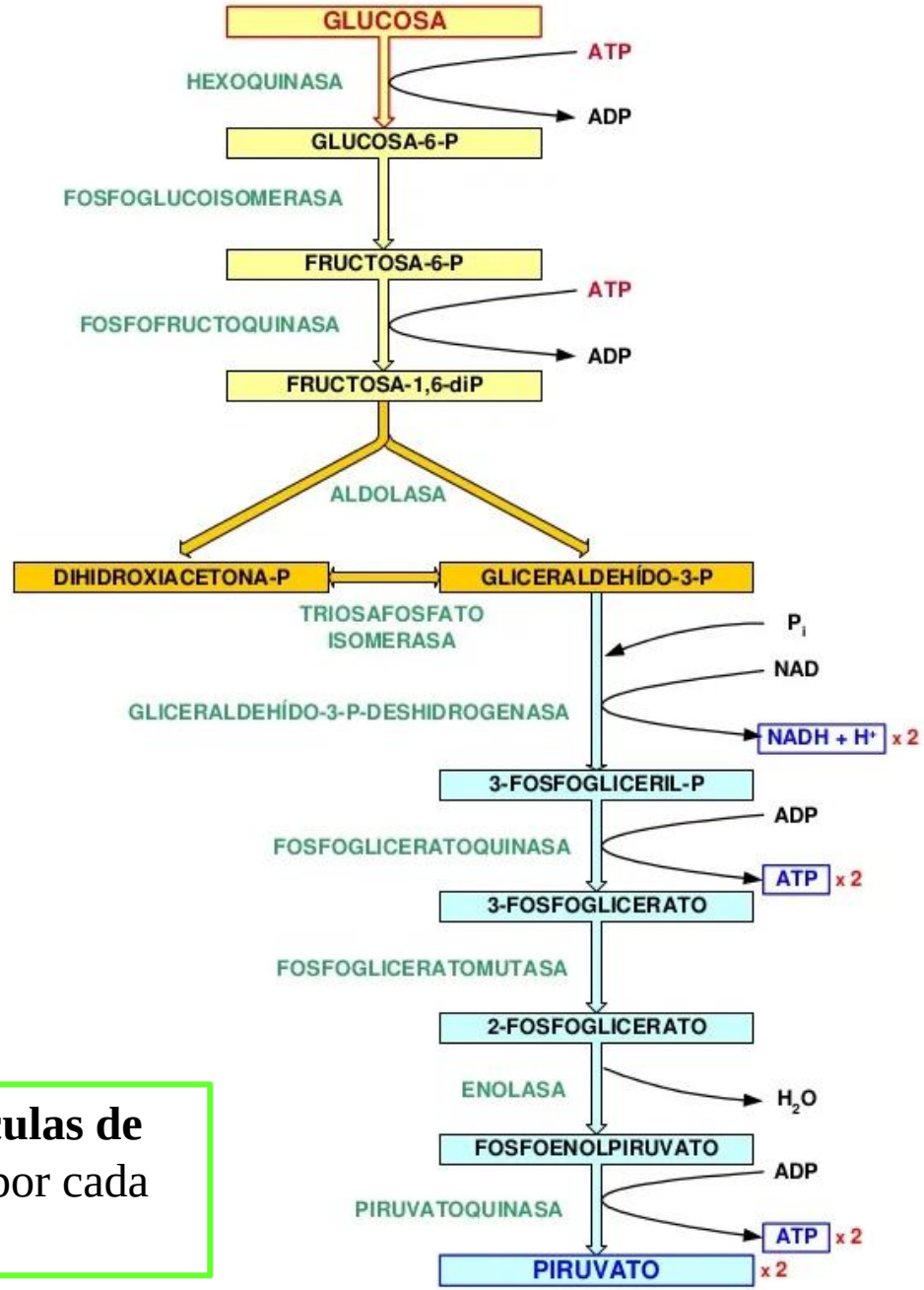


Glucólisis

10. Segunda fosforilación a nivel de sustrato

Se genera otra molécula de ATP por fosforilación a nivel de sustrato.



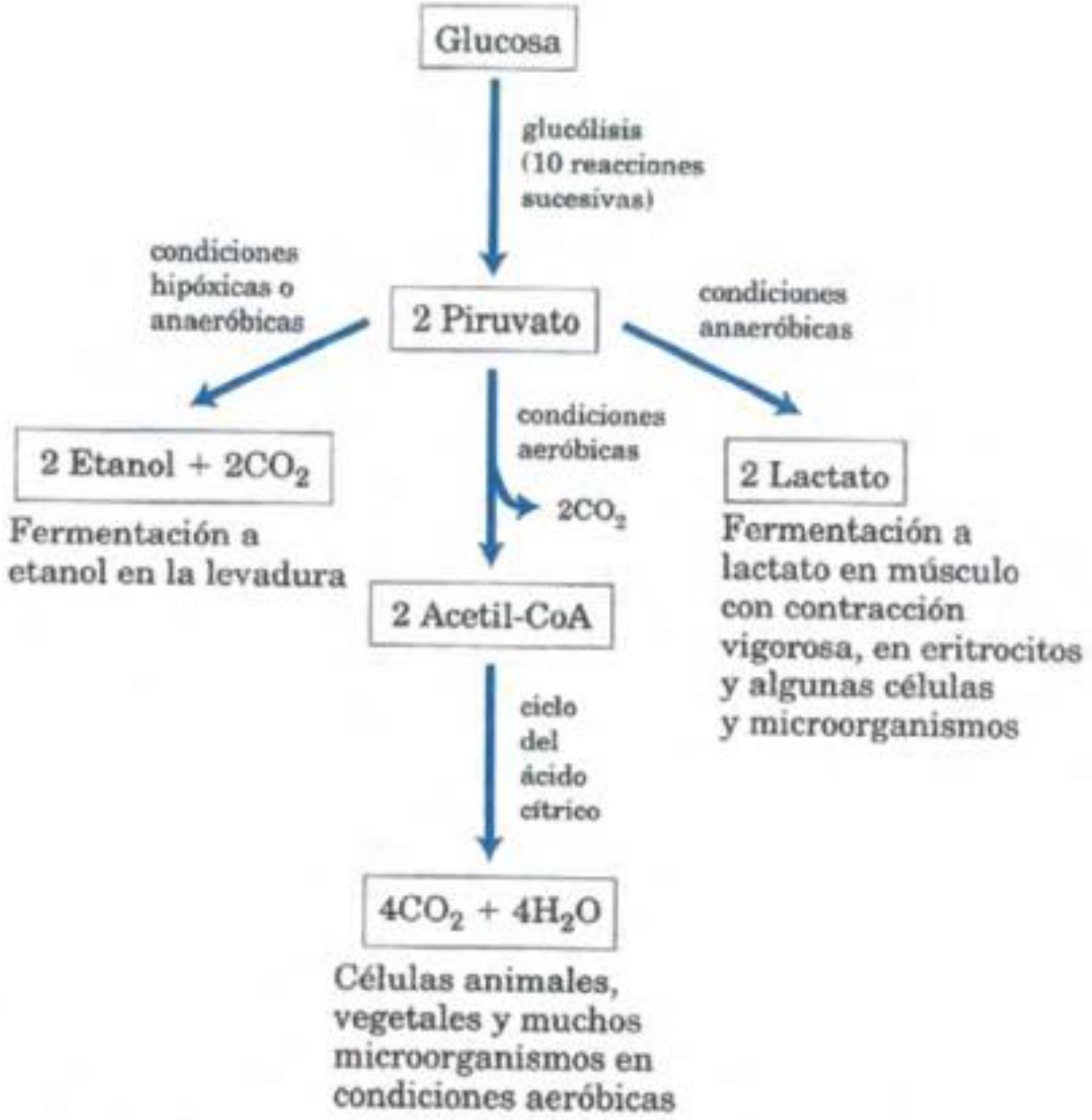


Tener en cuenta que por **cada molécula de glucosa**, se generan **dos moléculas de G3P**, por lo que las reacciones de la 6 en adelante se producen dos veces, por cada molécula de glucosa que ingresa a la vía glucolítica.

Destinos del piruvato

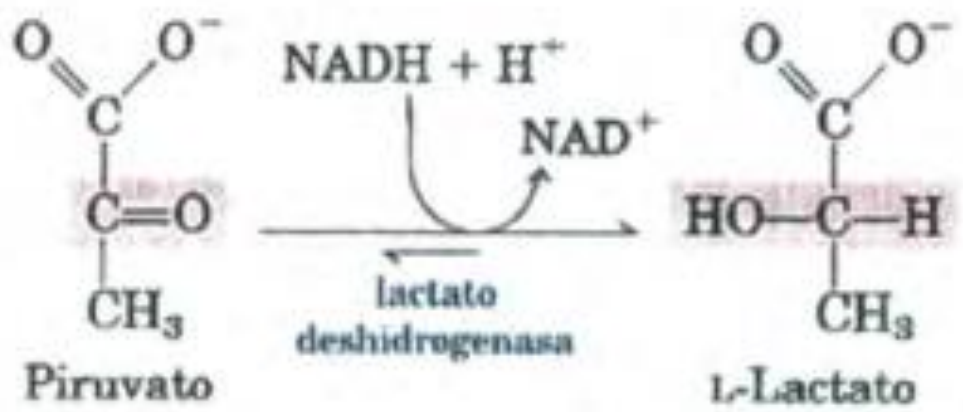
Salvo por algunas excepciones, el piruvato puede continuar siendo metabolizado siguiendo una de las tres principales rutas catabólicas diferentes.

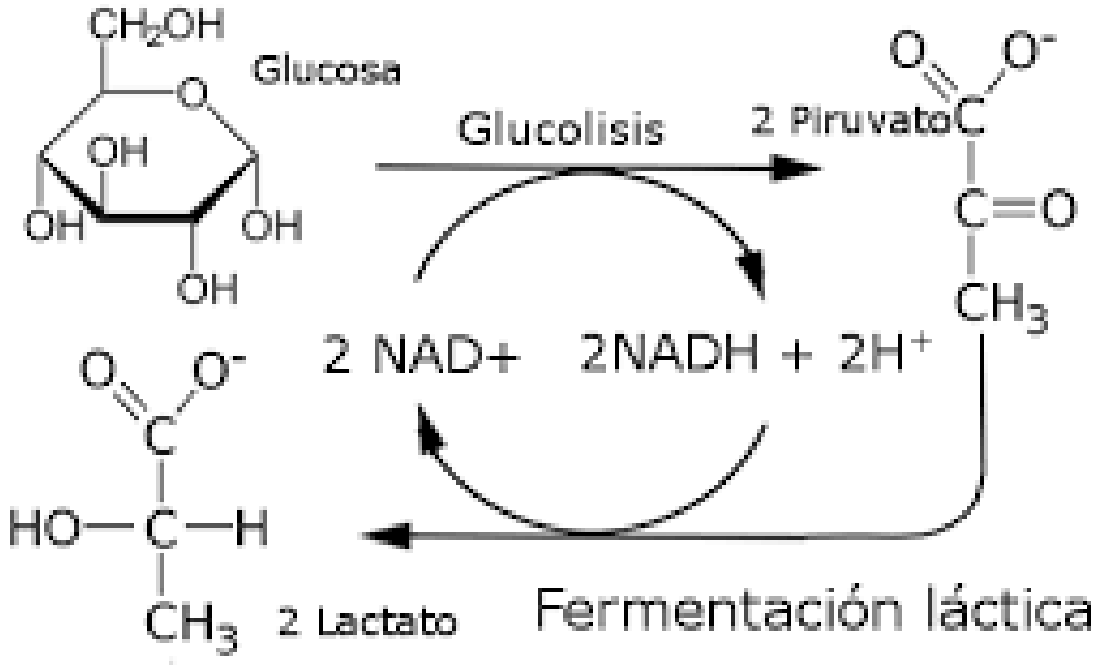
1. Fermentación láctica - Anaerobiosis
2. Fermentación alcohólica - Anaerobiosis
3. Respiración - Aeróbico



Destinos del piruvato – Fermentación láctica

En condiciones de hipoxia (baja concentración de oxígeno), como en los músculos esqueléticos muy activos, plantas sumergidas o bacterias del ácido láctico, el NADH generado en la glucólisis no puede ser reoxidado por el oxígeno para regenerar el NAD^+. Esta incapacidad detendría la vía glucolítica (donde el NAD^+ es necesario). Entonces, en condiciones anaeróbicas se puede generar la fermentación láctica, donde el Piruvato se reduce a lactato, con la generación de NAD^+.



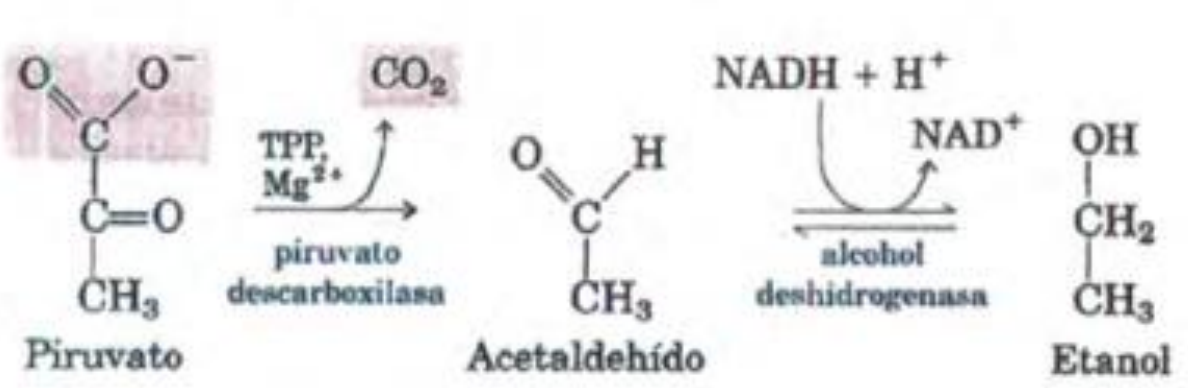


Destinos del piruvato – Fermentación alcohólica

Las levaduras y otros microorganismos, fermentan la glucosa a etanol y CO_2, en lugar de formar lactato. El piruvato obtenido durante la glucólisis, se transforma en etanol y CO_2 en un proceso de dos pasos.

1. Piruvato decarboxilasa

El piruvato se decarboxila en una reacción irreversible. La piruvato deshidrogenasa necesita de Mg^{2+} y un cofactor, la tiamina pirfosfato (TPP).



2. Alcohol deshidrogenasa

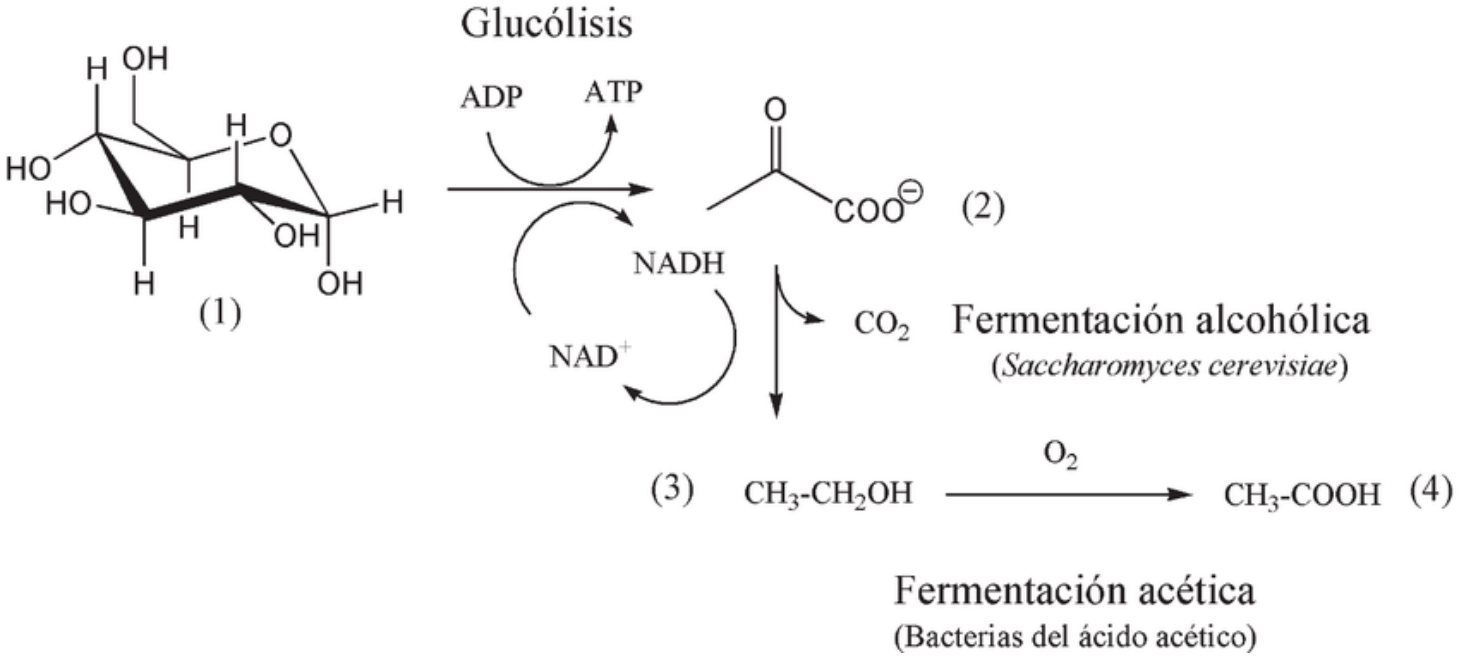
En esta reacción, el acetaldehído se reduce a etanol, con la consecuente oxidación del NADH a NAD^+.

La enzima **piruvato decarboxilasa** está ausente en los tejidos de vertebrados y de otros organismos que llevan a cabo la fermentación láctica.

La **alcohol deshidrogenasa** está presente en muchos organismos que metabolizan etanol, incluido el ser humano. En el hígado humano cataliza la oxidación del etanol, es decir, actúa en sentido opuesto al de la fermentación.

Destinos del piruvato – Fermentación acética

- Es la fermentación bacteriana por *Acetobacter*, un género de bacterias aeróbicas, que transforma el alcohol etílico en ácido acético, la sustancia característica del vinagre.
- Estas bacterias, a diferencia de las levaduras productoras de alcohol, requieren un suministro generoso de oxígeno para su crecimiento y actividad.
- El ácido acético es producido mediante la fermentación de varios sustratos, como solución de almidón, soluciones de azúcar, o productos alimenticios alcohólicos como vino o sidra, con bacterias de *Acetobacter.*



Otras fermentaciones de interés industrial

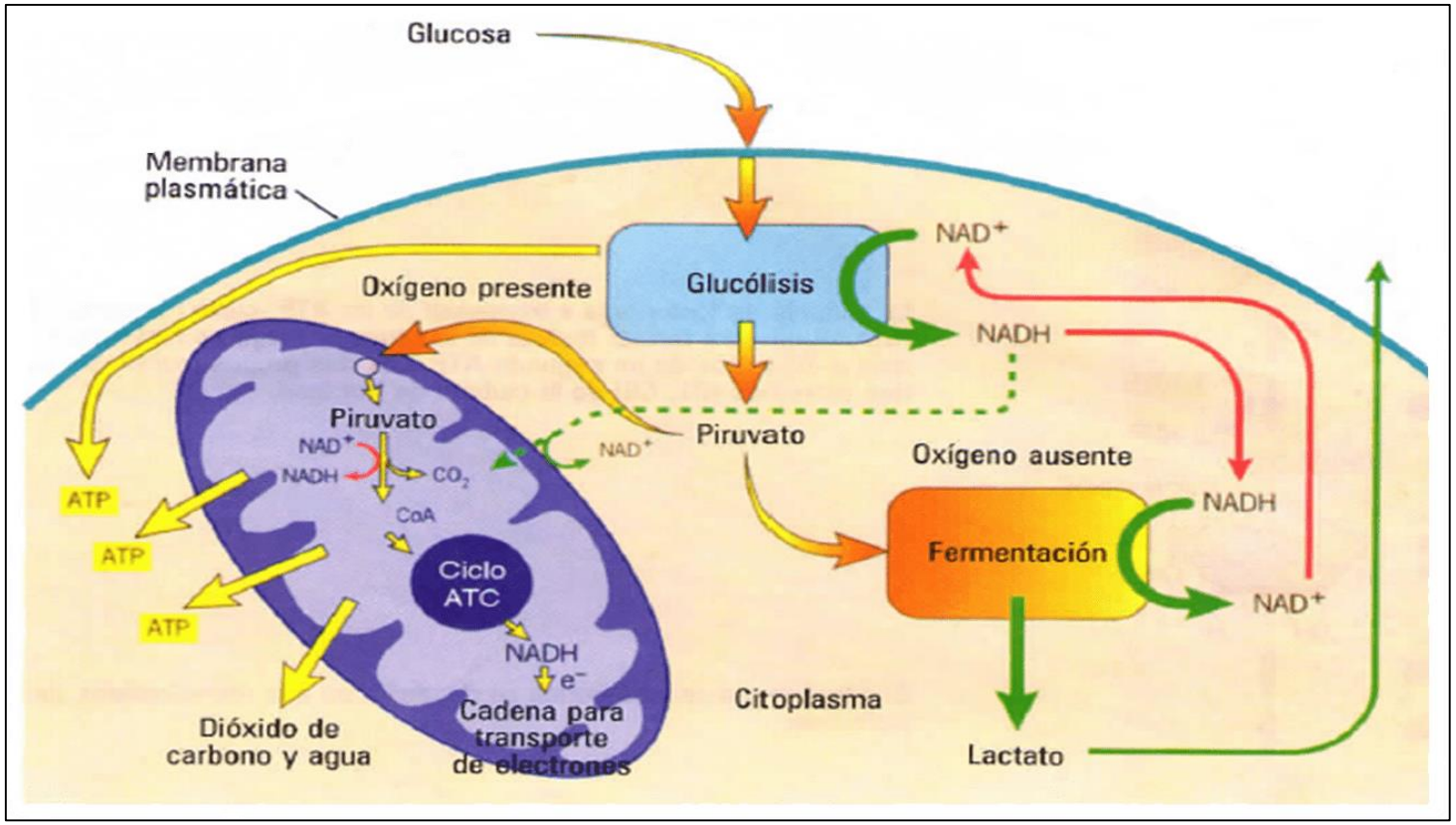
- ✓ *Lactobacillus bulgaricus* → fermenta azúcares de la leche, produciendo ácido láctico. El descenso de pH hace que precipiten las proteínas de la lecha, produciendo la textura espesa y el sabor amargo del yogurt sin azucarar.
- ✓ *Propionibacterium freudenreichii* → fermenta la leche generando ácido propiónico y CO_2, el ácido propiónico precipita las proteínas de la leche, mientras que las burbujas de CO_2 dan lugar a los agujeros característicos del queso suizo.
- ✓ En agricultura, ciertos productos vegetales (para alimentación animal) se almacenan en silos con acceso limitado de aire, entonces la fermentación microbiana que se genera produce ácidos que hacen disminuir el pH y esto permite conservarlos por mayores periodos de tiempo.
- ✓ Biocombustibles → el bioetanol se produce por fermentación microbiana

Destinos del piruvato – Respiración

Cuando existe **adecuada provisión de oxígeno**, el piruvato de la vía glucolítica, es oxidado a **dióxido de carbono y agua.**

Incluso, el lactato formado en la anaerobiosis sigue el mismo destino cuando hay disponibilidad e oxígeno.

El piruvato es degradado oxidativamente dentro de las mitocondrias

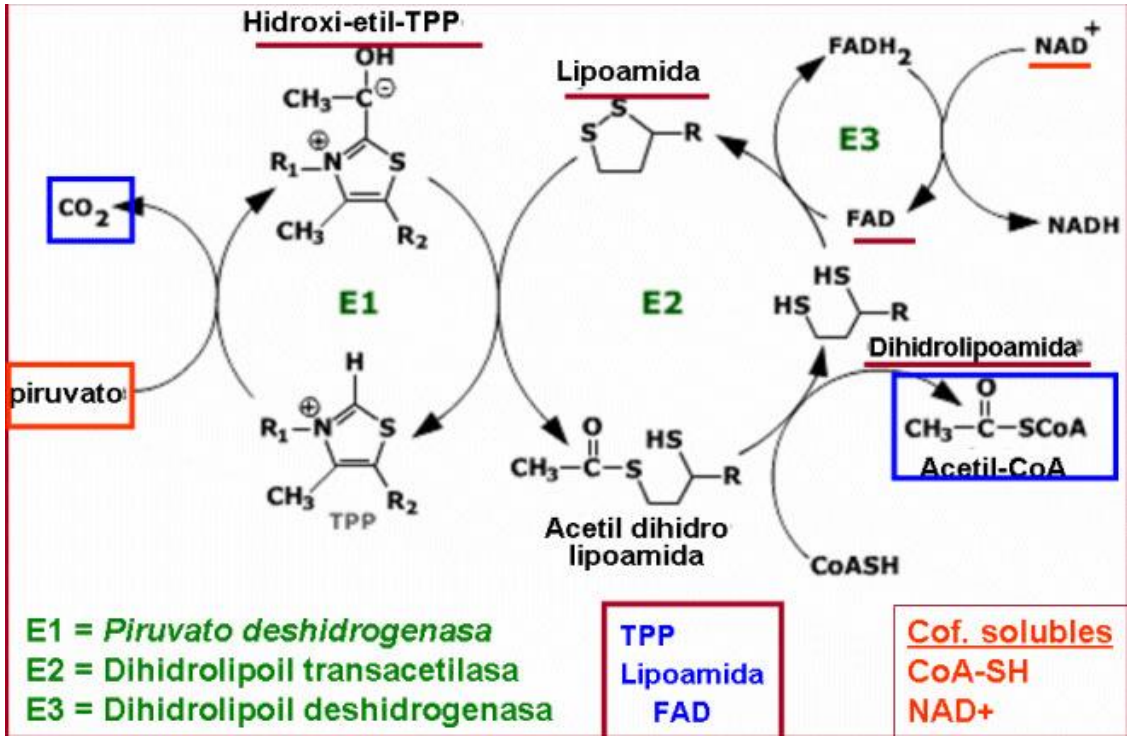


Destinos del piruvato – Respiración

1. Decarboxilación oxidativa del piruvato

Esta reacción es catalizada por un <u>complejo multienzimático</u> denominado complejo **piruvato deshidrogenasa**, la cual está constituida por tres enzimas:

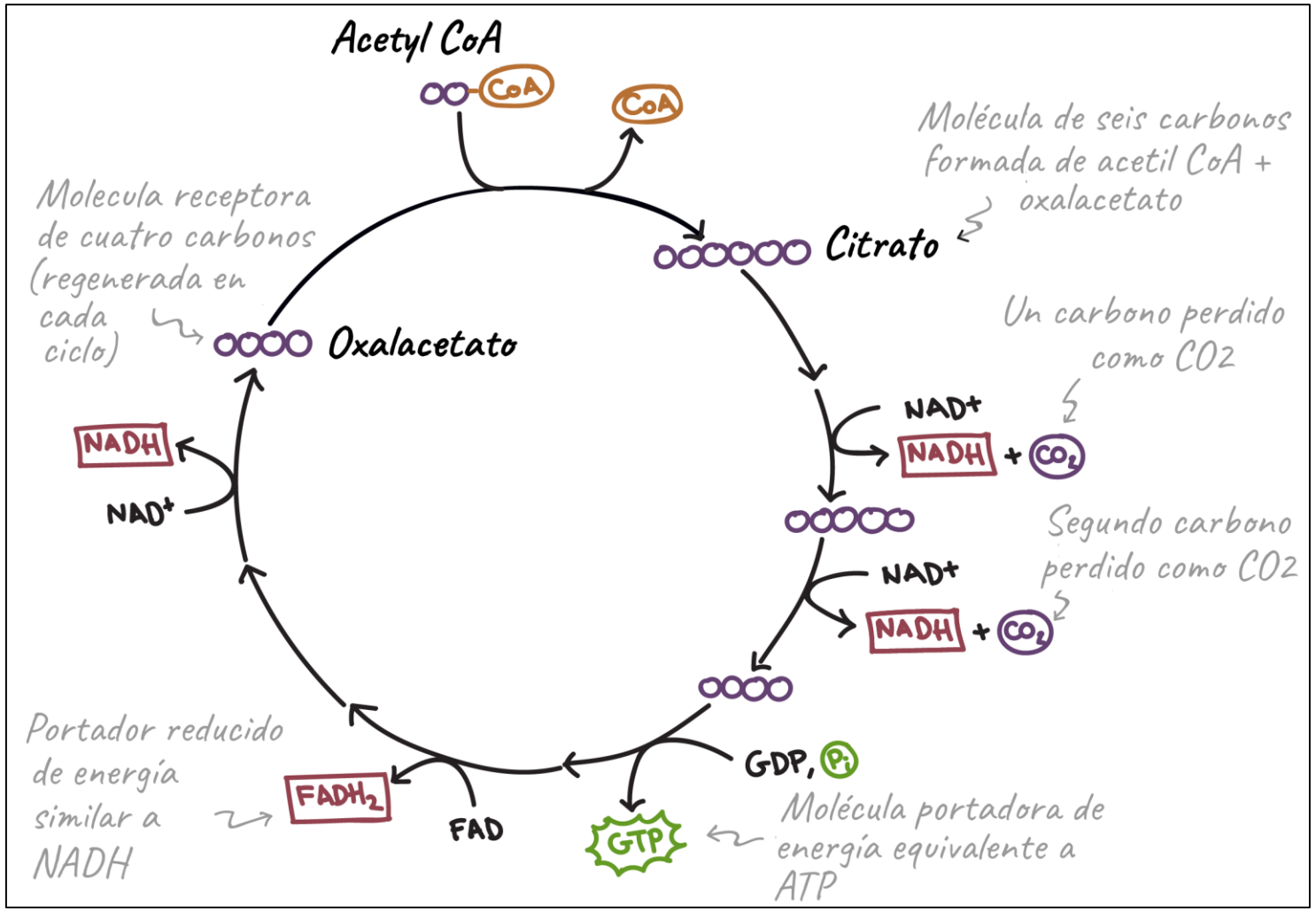
a. piruvato decarboxilasa o E1
b. dihidrolipoil transacetilasa o E2
c. dihidrolipoil deshidrogenasa o E3



Destinos del piruvato – Respiración

Ciclo del ácido cítrico, Ciclo de Kerbs o Ciclo de los ácidos tricarboxílicos

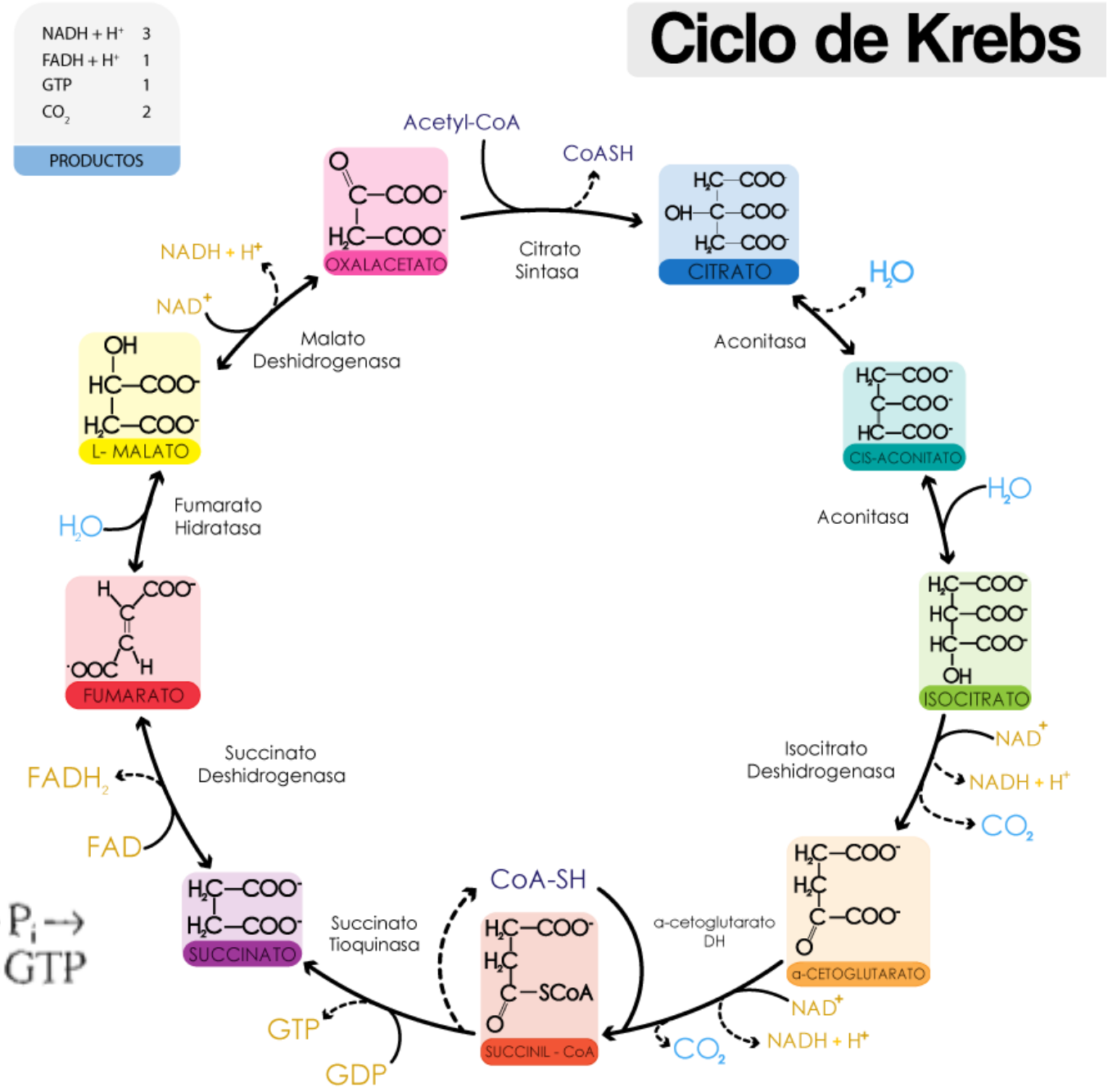
- Este ciclo se realiza completamente en el interior de las mitocondrias
- Comprende una serie de reacciones en la cual se produce la oxidación total de restos acetato procedentes de diferentes orígenes
- El Acetil-CoA es el "alimentador" del ciclo e inicia las reacciones



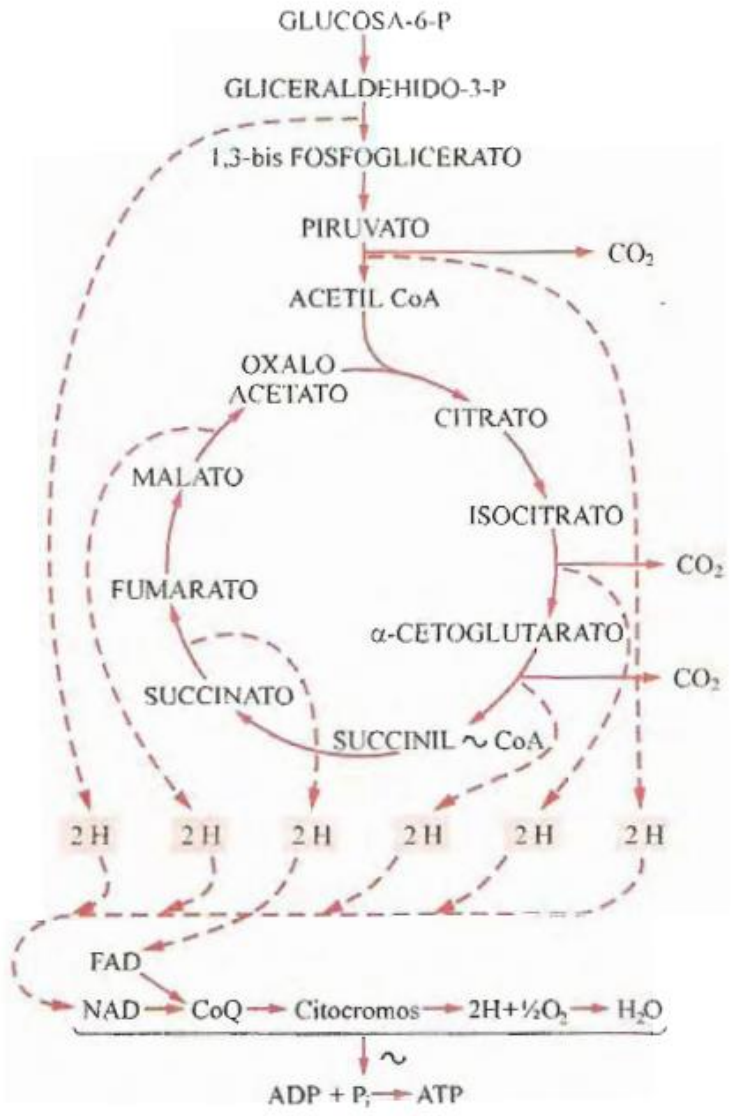
Ciclo del ácido cítrico, Ciclo de Kerbs o Ciclo de los ácidos tricarboxílicos

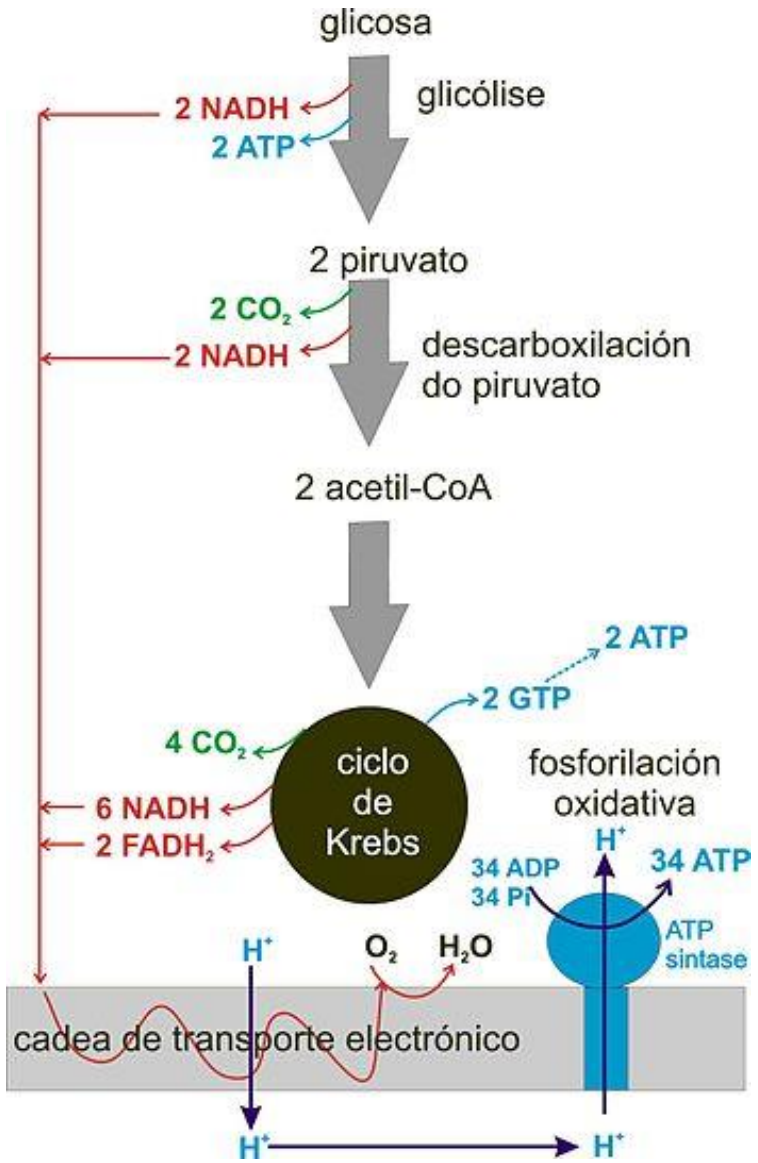
El ciclo consiste en 9 reacciones sucesivas, catalizadas por las correspondientes enzimas en cada una de estas etapas.
El balance global del ciclo es:

$$\text{Acetil-SCoA} + 3NAD^+ + FAD + 2H_2O + GDP + P_i \rightarrow$$
$$\rightarrow 2CO_2 + 3NADH + 3H^+ + FADH_2 + CoASH + GTP$$



Respiración – Cadena de transporte de electrones





Respiración – Balance energético

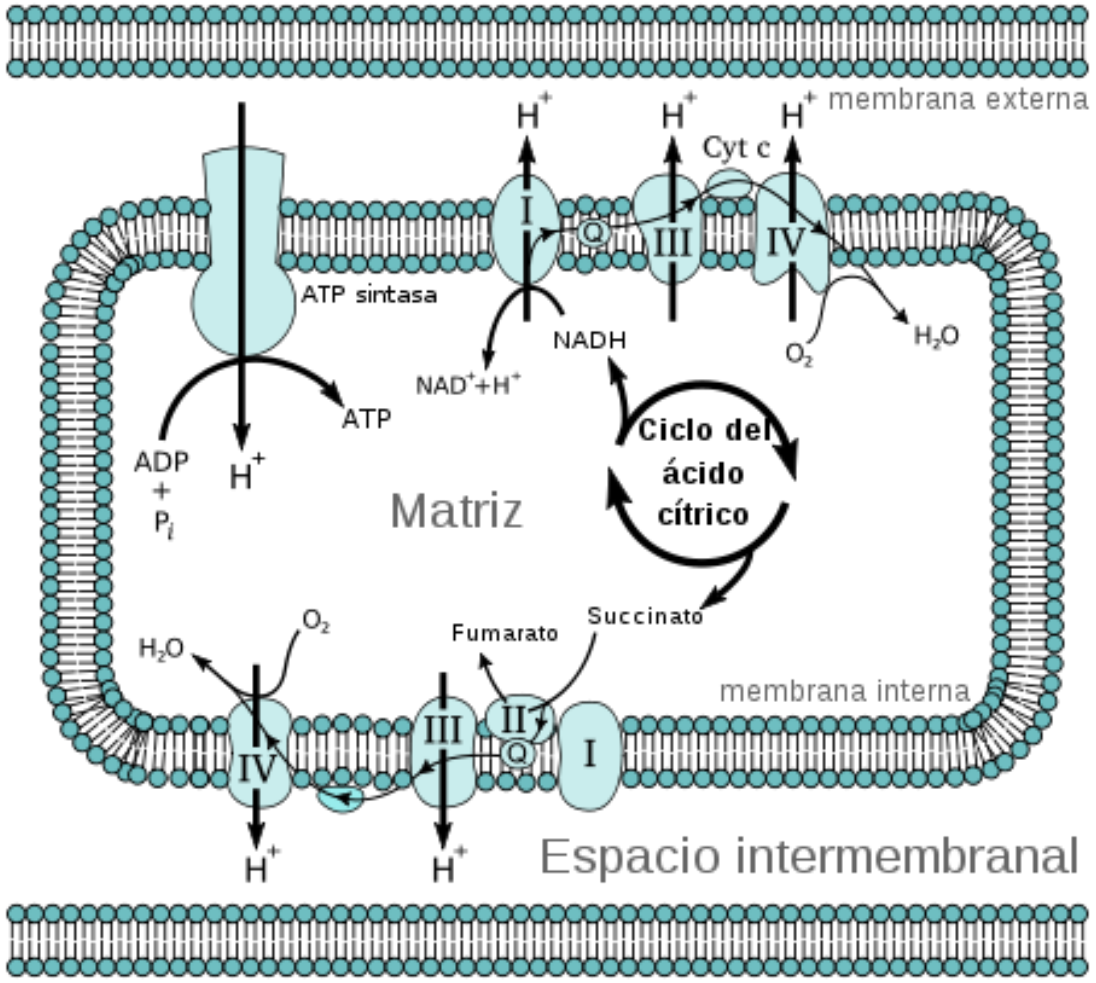
Las coenzimas reducidas generadas en el ciclo (NADH, $FADH_2$), ceden sus hidrógenos a la cadena respiratoria, en la cual el flujo de electrones se acopla con el bombeo de protones desde la matriz mitocondrial al espacio intermembrana y se crea un gradiente electroquímico. El retorno de los H^+ a través del canal de la ATP sintasa a favor del gradiente provee la energía para la síntesis de ATP.

Tabla 13-4. Balance energético de la oxidación de acetato en el ciclo del ácido cítrico

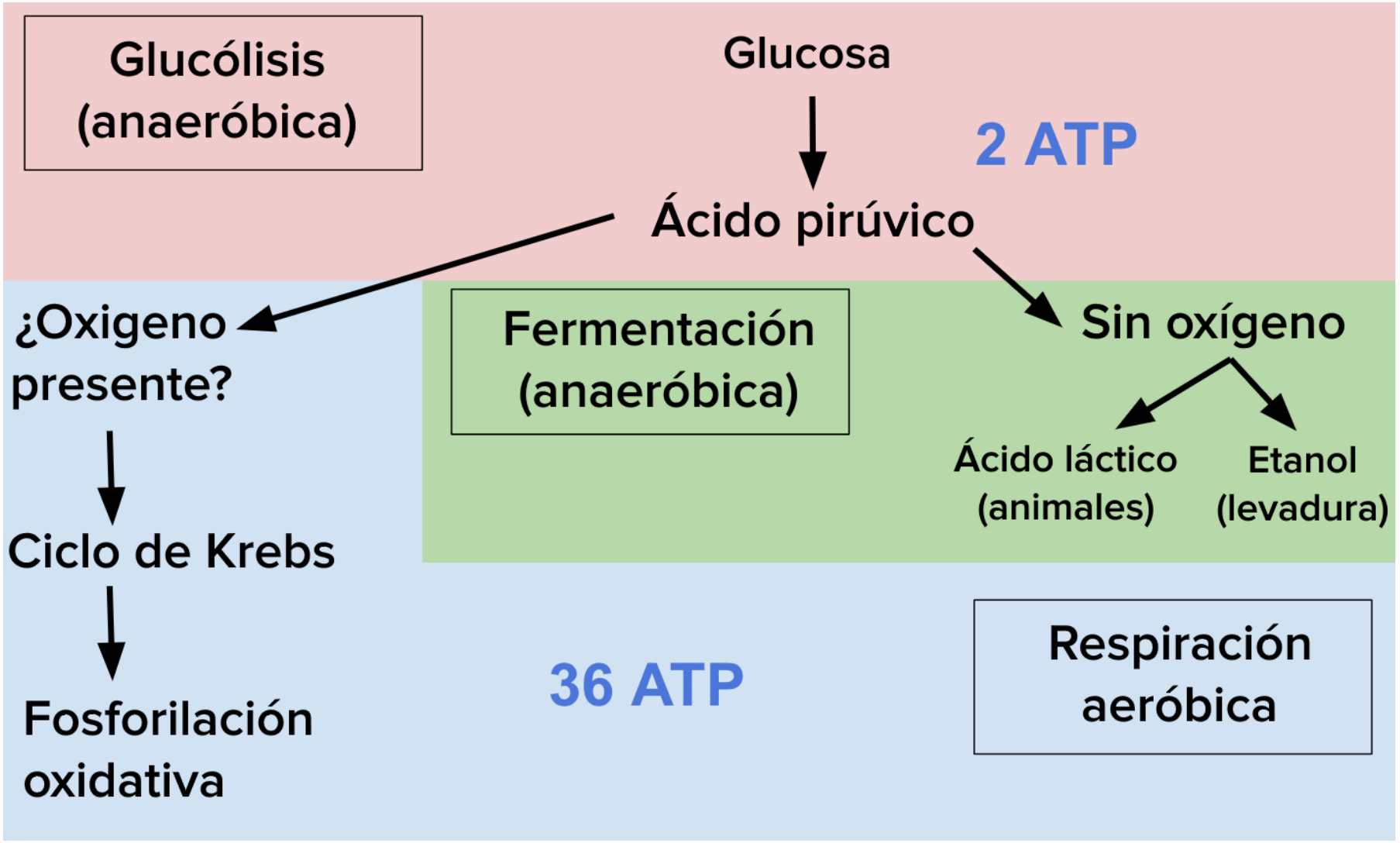
Isocitrato → Oxalosuccinato	(NADH)	3 mol ATP
α-Cetoglutarato → Succinil-CoA	(NADH)	3 mol ATP
Succinil-CoA → Succinato		1 mol ATP
Succinato → Fumarato	($FADH_2$)	2 mol ATP
Malato → Oxaloacetato	(NADH)	3 mol ATP
Total por mol de acetato		*12 mol ATP*

Tabla 13-5. Producción energética total de la oxidación de un mol de glucosa

Glucólisis	6 u 8 moles ATP*
Descarboxilación oxidativa piruvato	6 moles ATP
Ciclo del ácido cítrico	24 moles ATP
Producción total	*36 o 38 moles ATP*

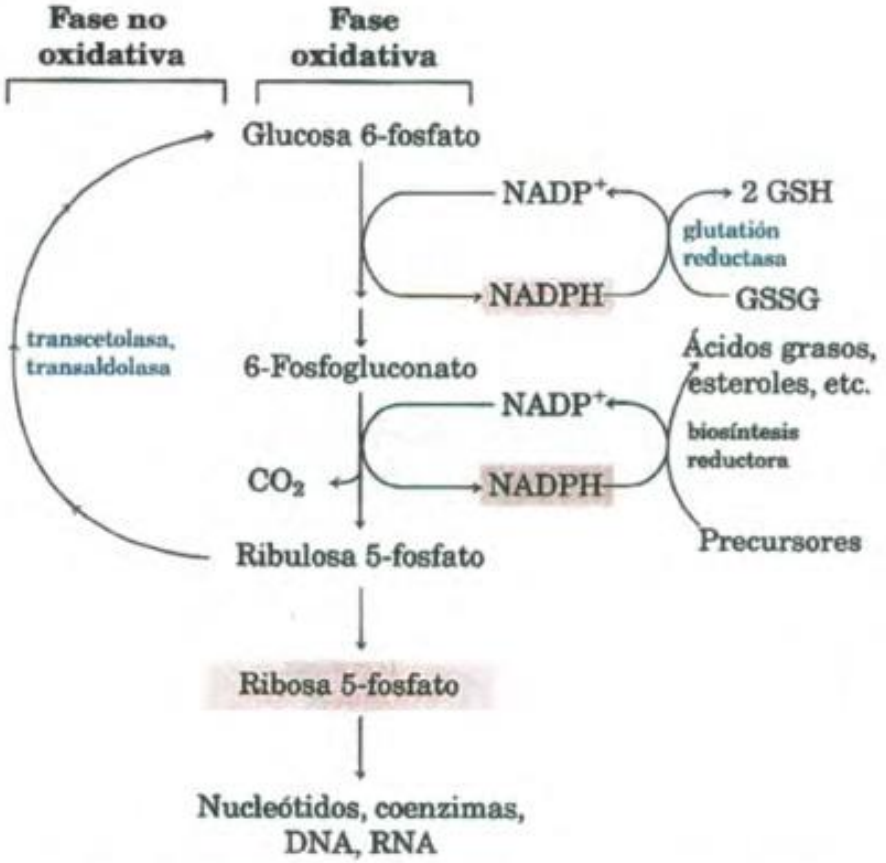


Respiración vs. Fermentación – Balance energético



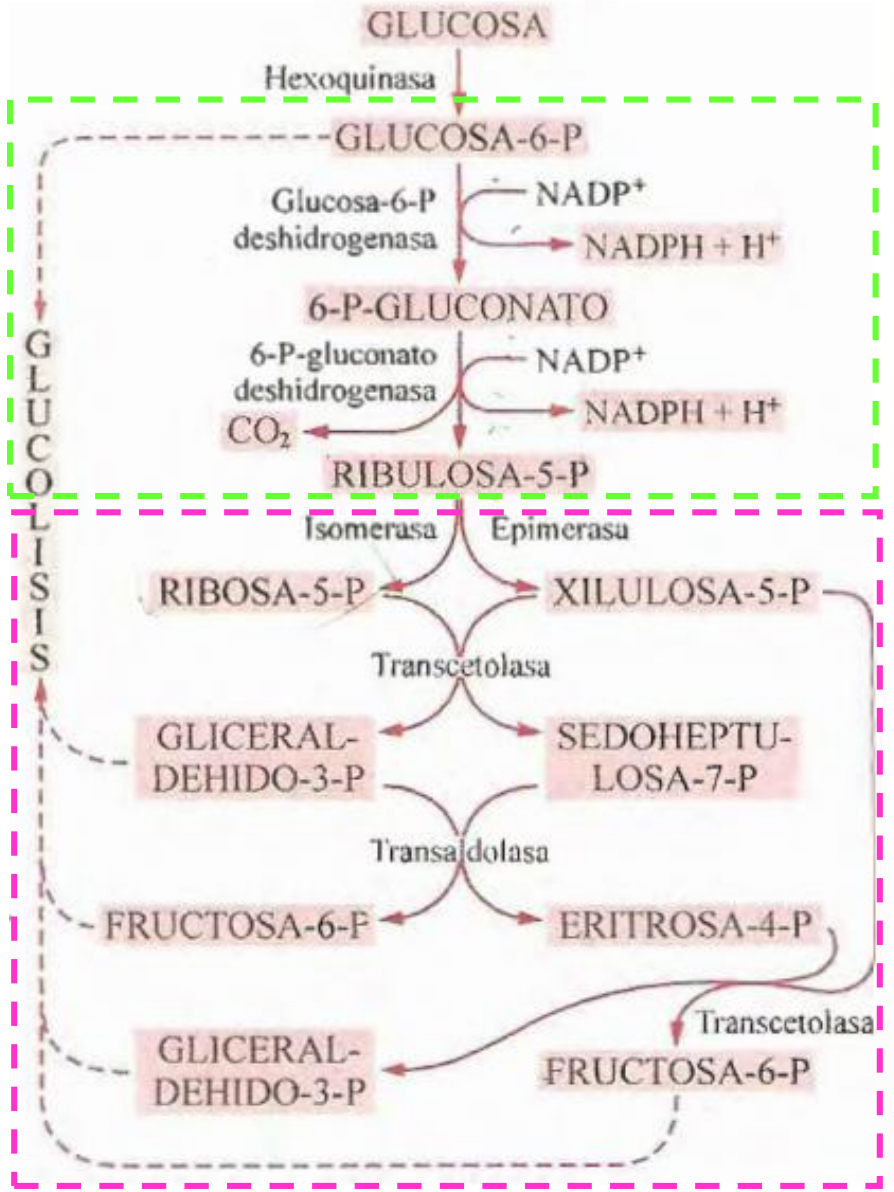
Vía de las Pentosas Fosfato

En la mayoría de los tejidos, el 80% o más del catabolismo de la glucosa se realiza vía glucólisis hasta piruvato. El resto, ingresa en una vía alternativa, llamada Vía de las pentosas fosfato.



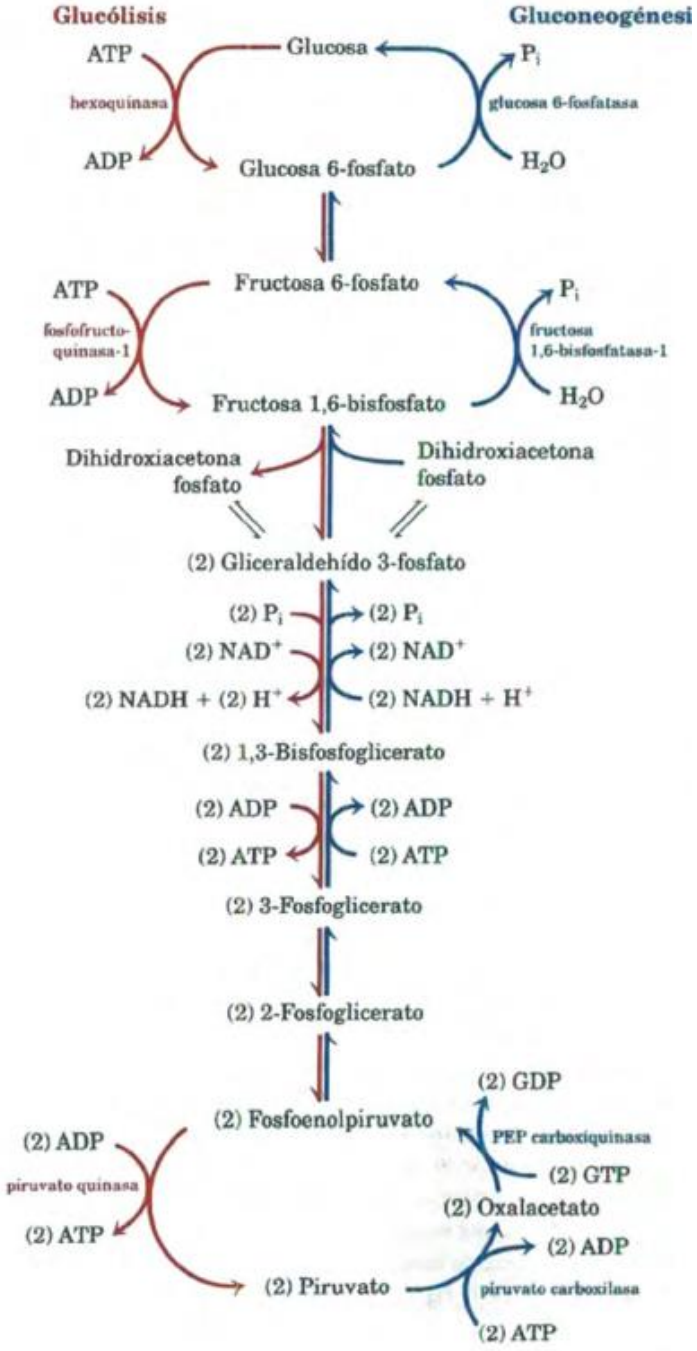
Fase oxidativa

Fase no oxidativa



Gluconeogénesis

- Es el proceso de síntesis de glucosa a partir de fuentes no glúcidas. Esto permite obtener glucosa cuando en la dieta no se ofrecen suficientes carbohidratos.
- La gluconeogénesis **NO es el camino inverso de la glucólisis**. En la vía glucolítica, las reacciones irreversibles no permiten volver hacia atrás pro la misma ruta. En tejidos con capacidad gluconeogénica (principalmente hígado y riñón en humanos), esas reacciones se efectúan en sentido inverso gracias a la existencia de desvíos.
- El proceso de la gluconeogénesis es "caro", dado que requiere de 4 ATP, 2 GTP y 2 NADH
- La glucólisis y la gluconeogénesis están reguladas recíprocamente para impedir el funcionamiento despilfarrador de ambas rutas al mismo tiempo.



Gluconeogénesis

3. Glu-6P a Glucosa.

Esta reacción es catalizada por la glucosa-6-fosfatasa

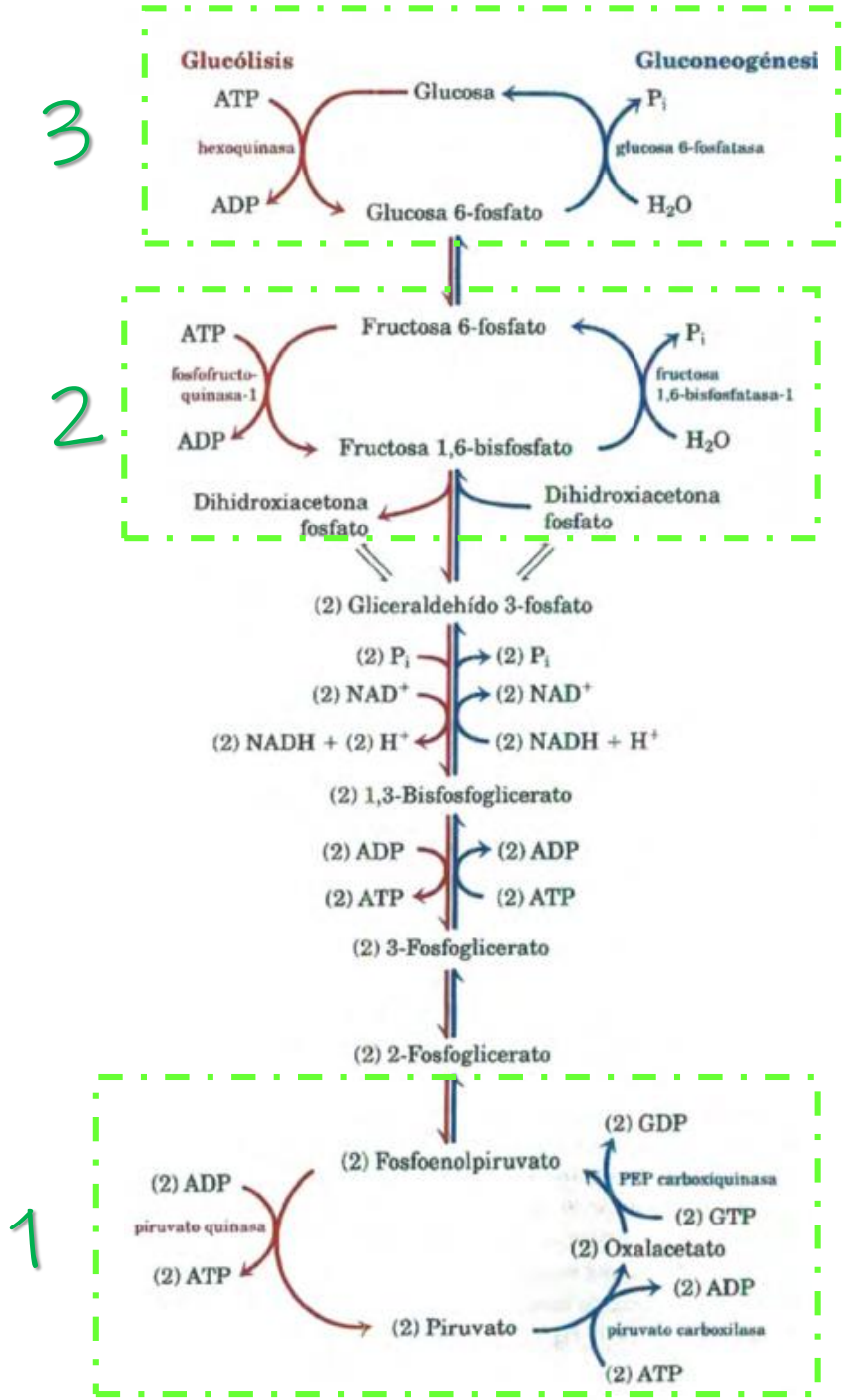
2. Fru-1,6-bisP a Fru-6P.

Esta reacción es catalizada por la Bisfosfofructosa fosfatasa

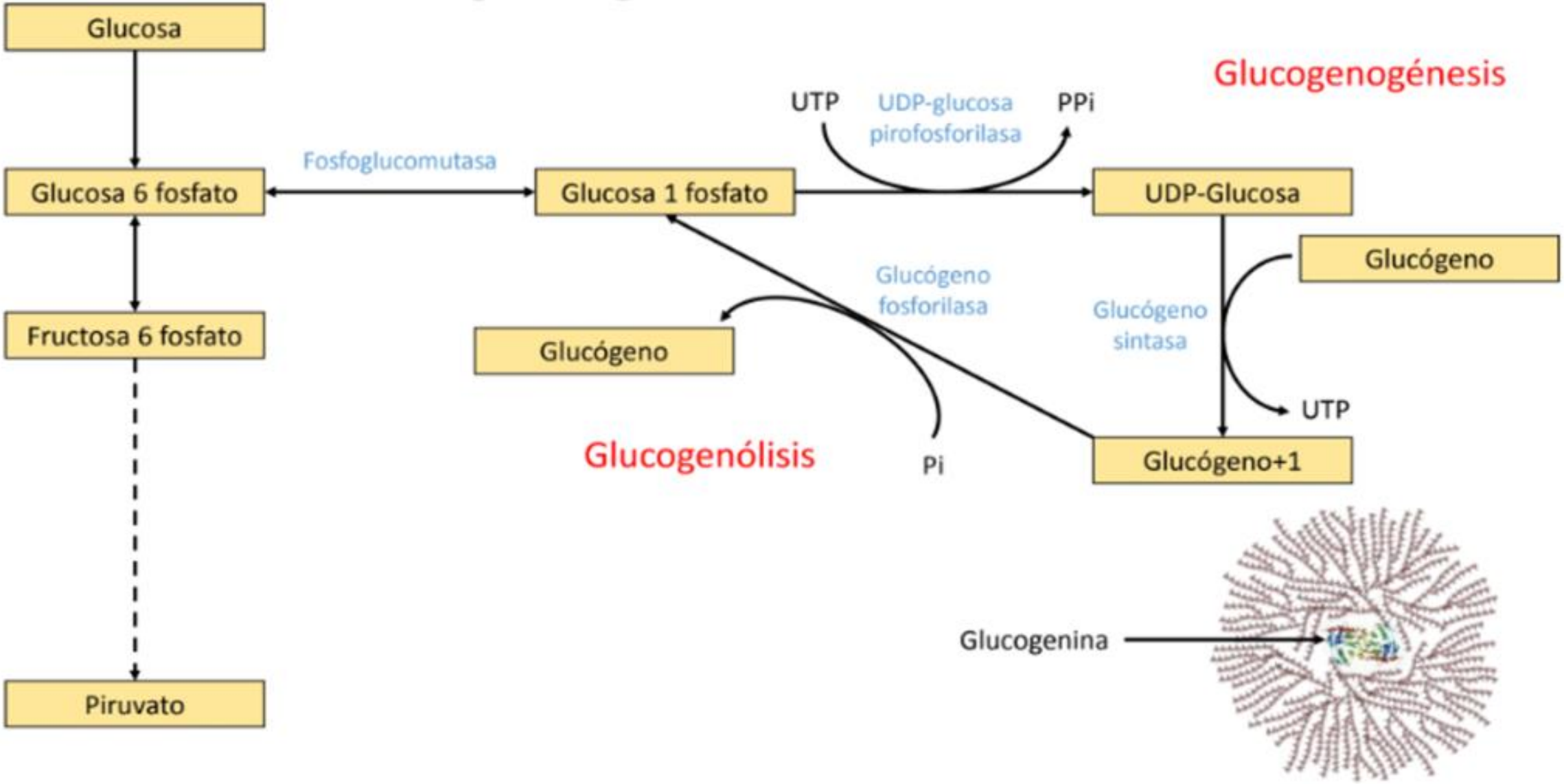
1. Piruvato a fosfoenolpiruvato.

Esto ocurre en dos reacciones:

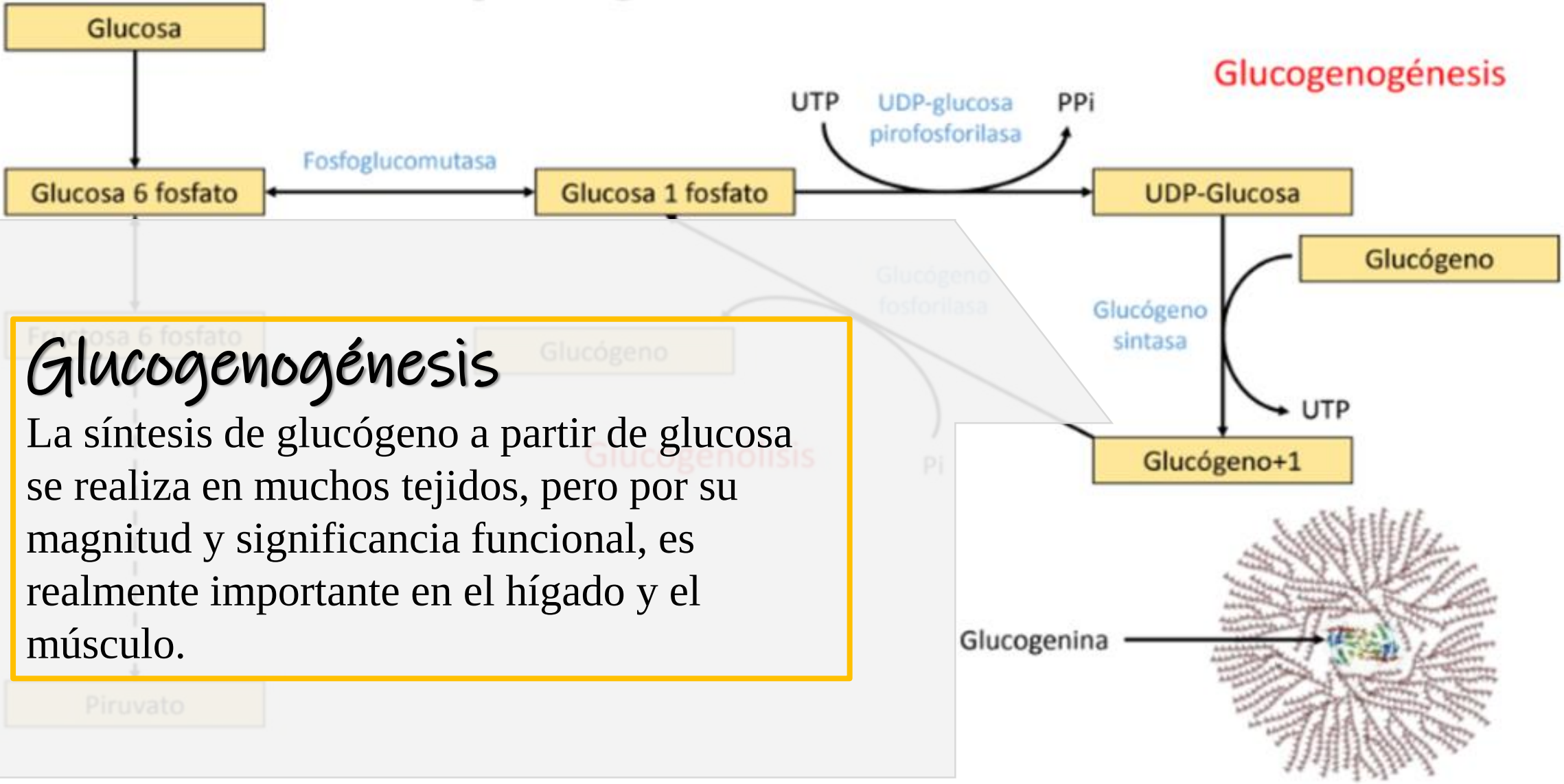
a. El piruvato es transformado en oxalacetato por la piruvato carboxilasa
b. El oxalacetato es convertido en fosfoenolpiruvato por la fosfoenolpiruvato carboxiquinasa



Síntesis y degradación de glucógeno



Síntesis y degradación de glucógeno



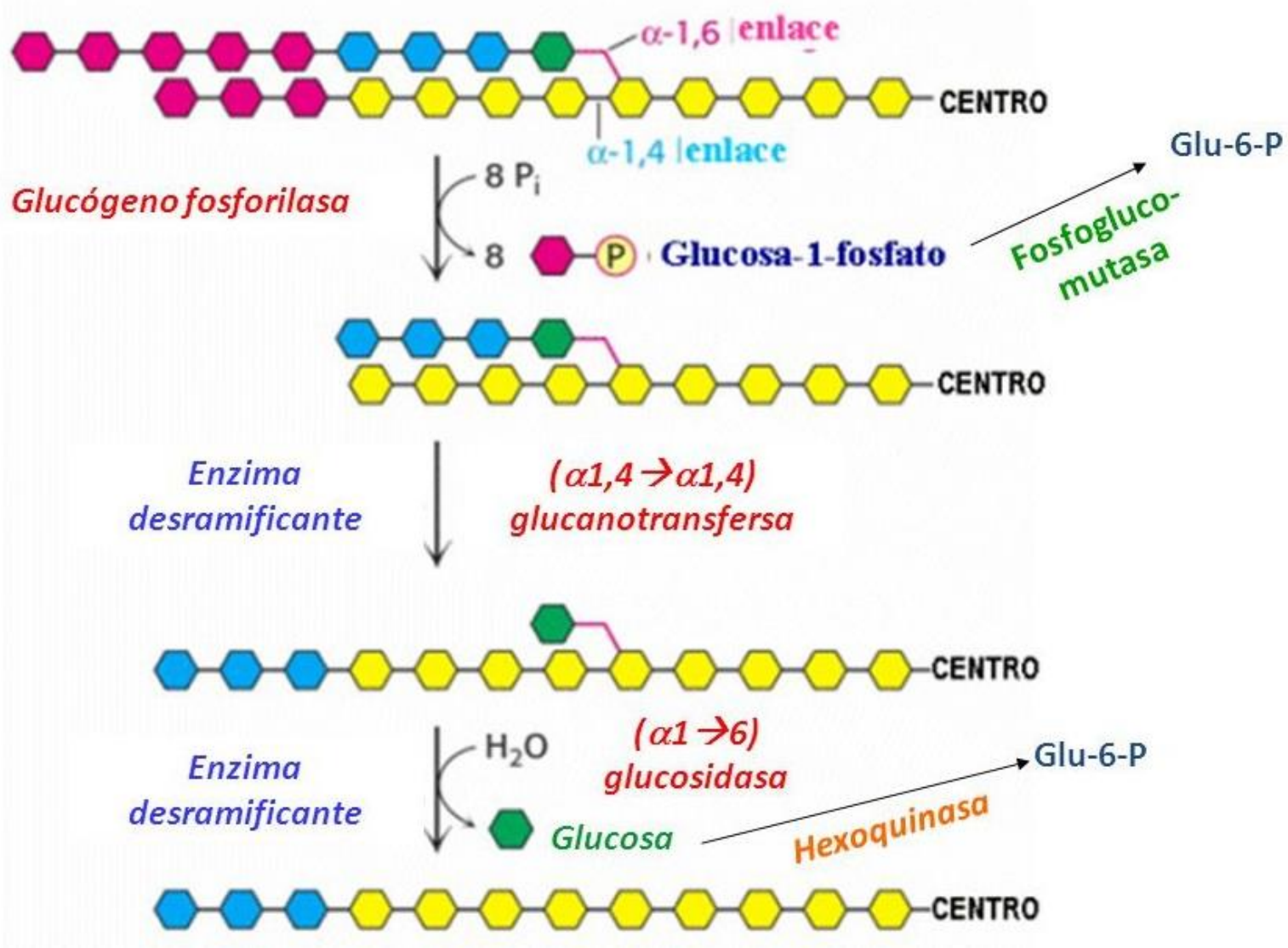
Glucogenogénesis

La síntesis de glucógeno a partir de glucosa se realiza en muchos tejidos, pero por su magnitud y significancia funcional, es realmente importante en el hígado y el músculo.

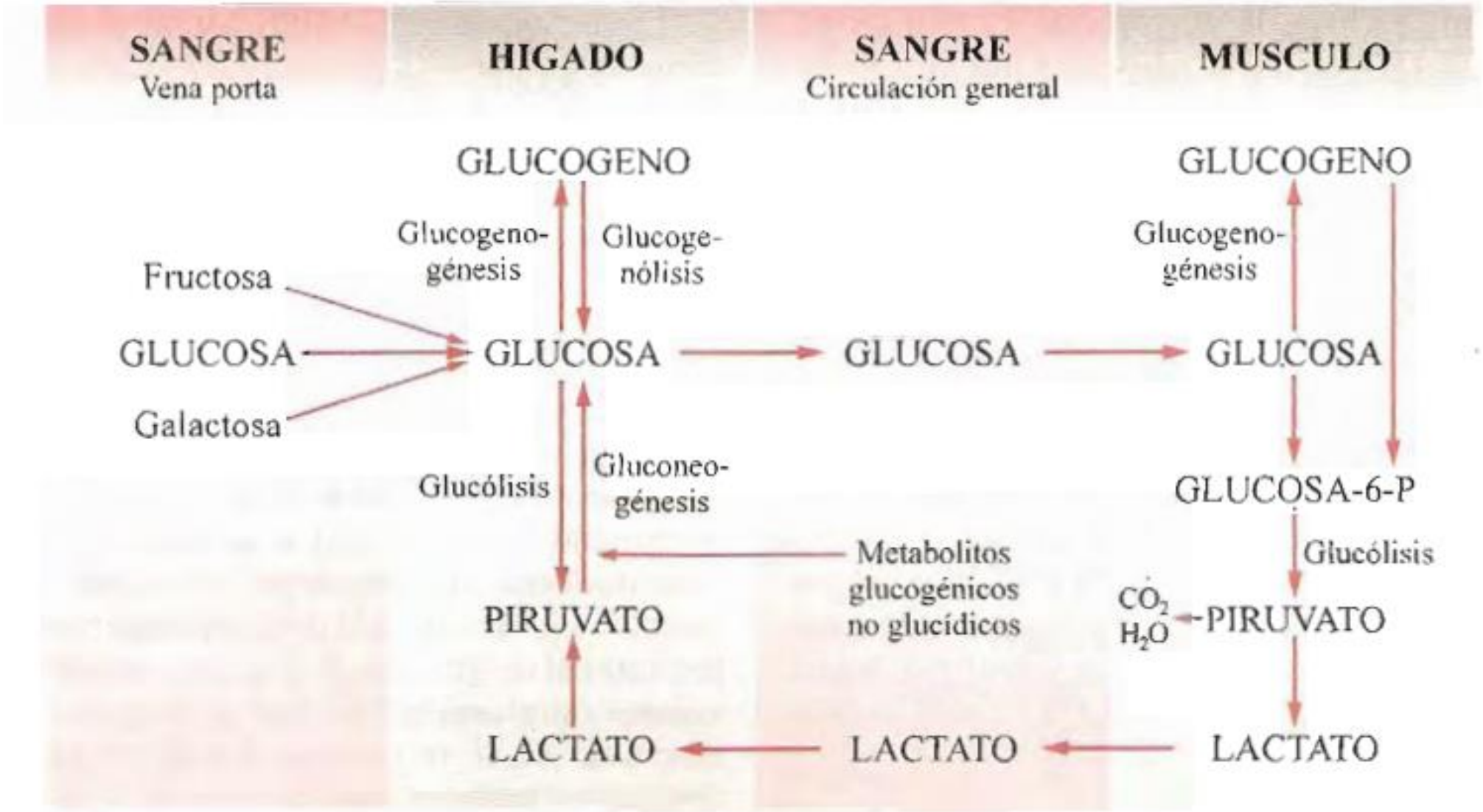
Síntesis y degradación de glucógeno

Glucogenólisis

Es el proceso de degradación del glucógeno para obtener unidades de glucosa.
Esta vía no es inversa a la Glucogenogénesis (síntesis de glucógeno).



Ciclo de Cori

El piruvato formado por degradación del glucógeno o glucosa en músculo es oxidado a CO_2 y H_2O en el propio tejido cuando el suministro de oxígeno es suficiente. Sin embargo, en actividad contráctil intensa, la provisión de oxígeno no alcanza para las necesidades de oxidación. Gran parte del piruvato es reducido a lactato, que pasa a la sangre y es captado por el hígado, donde se convierte en glucosa y glucógeno. Cuando la glucemia desciende, el hígado degrada su glucógeno y envía glucosa a la circulación, desde donde la toma el músculo para cubrir sus necesidades o restaurar sus reservas de glucógeno.

Resumen del metabolismo de carbohidratos