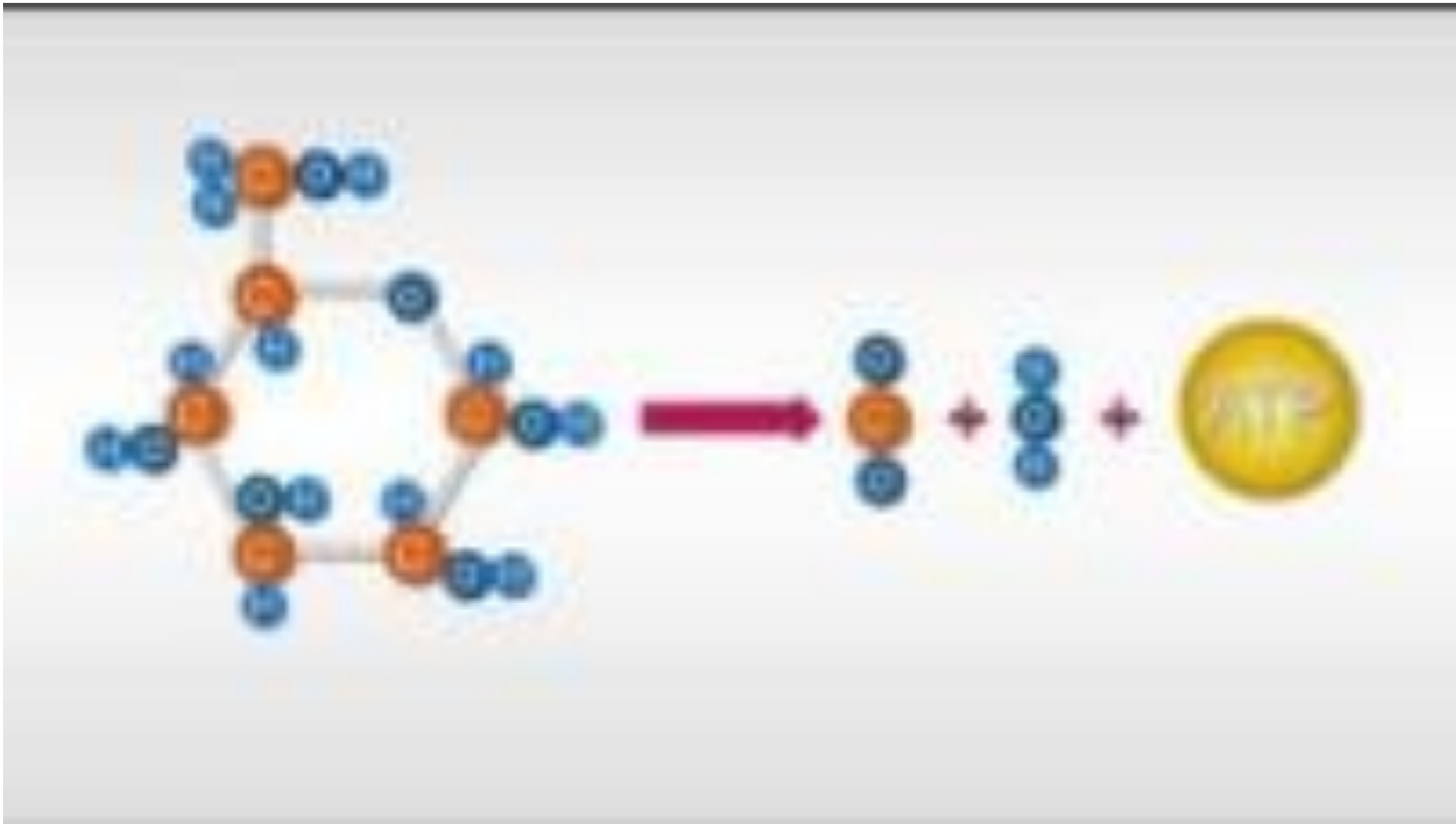


**Generalidades**

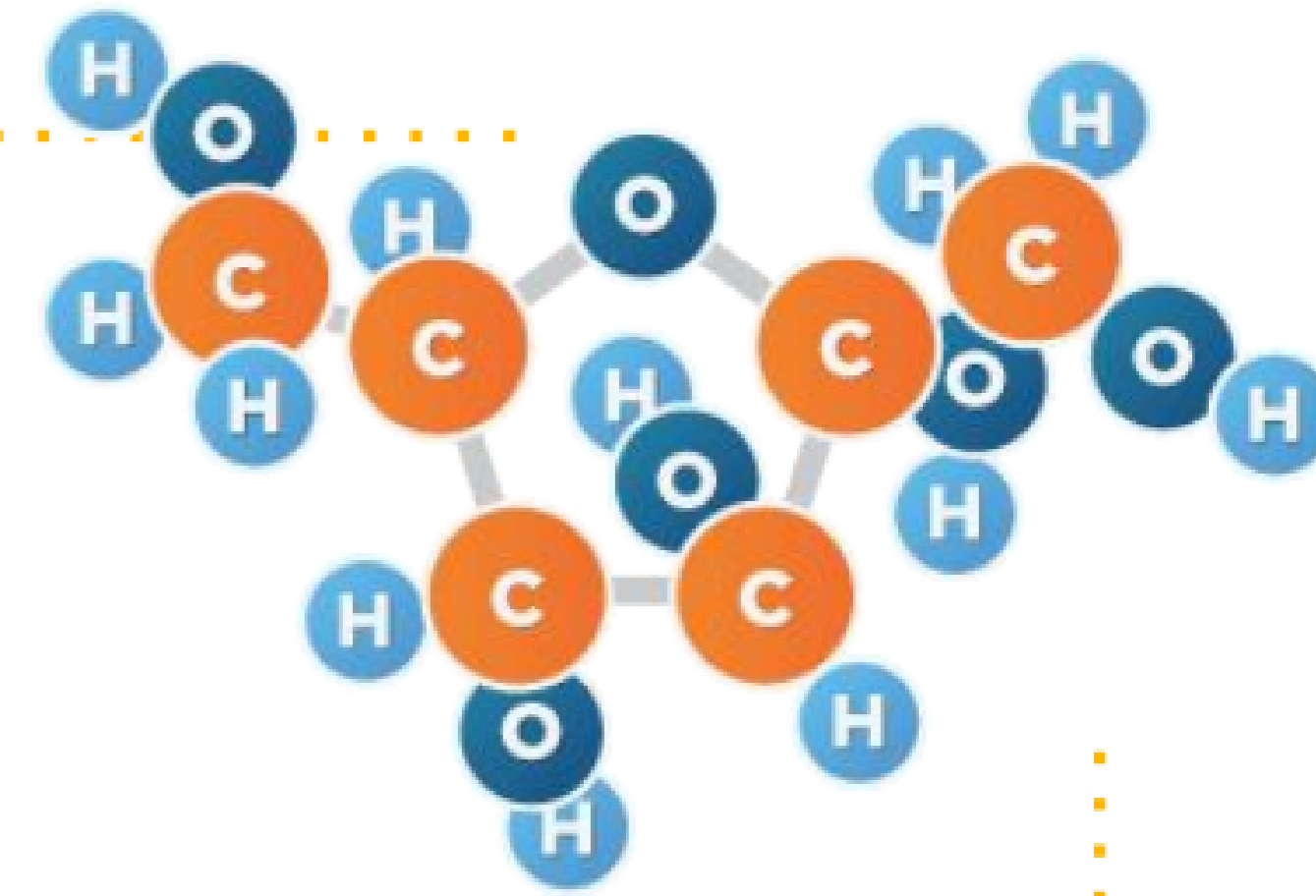
**HIDRATOS DE**

**CARBONO**



<https://www.youtube.com/watch?v=0AuiVh2phgc>

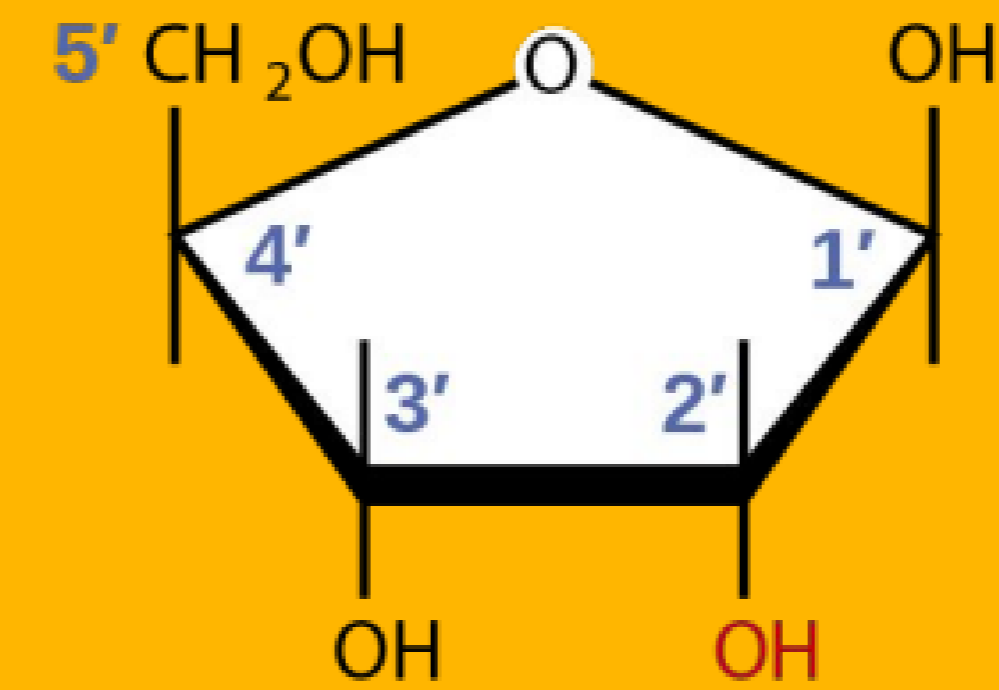
# Hidratos de carbono



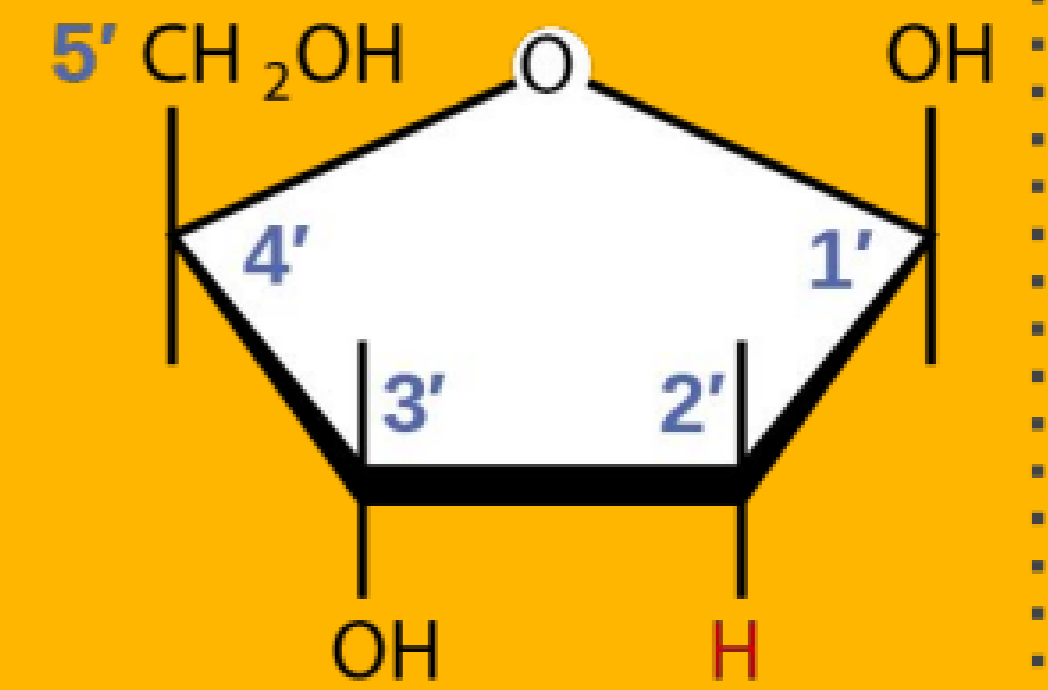
- Biomoléculas formadas por  $-(C_n H_{2n} O_n)-$
- Compuestos orgánicos más abundantes en la naturaleza.
- Sintetizados por las plantas y son una importante fuente de energía en la dieta.

“

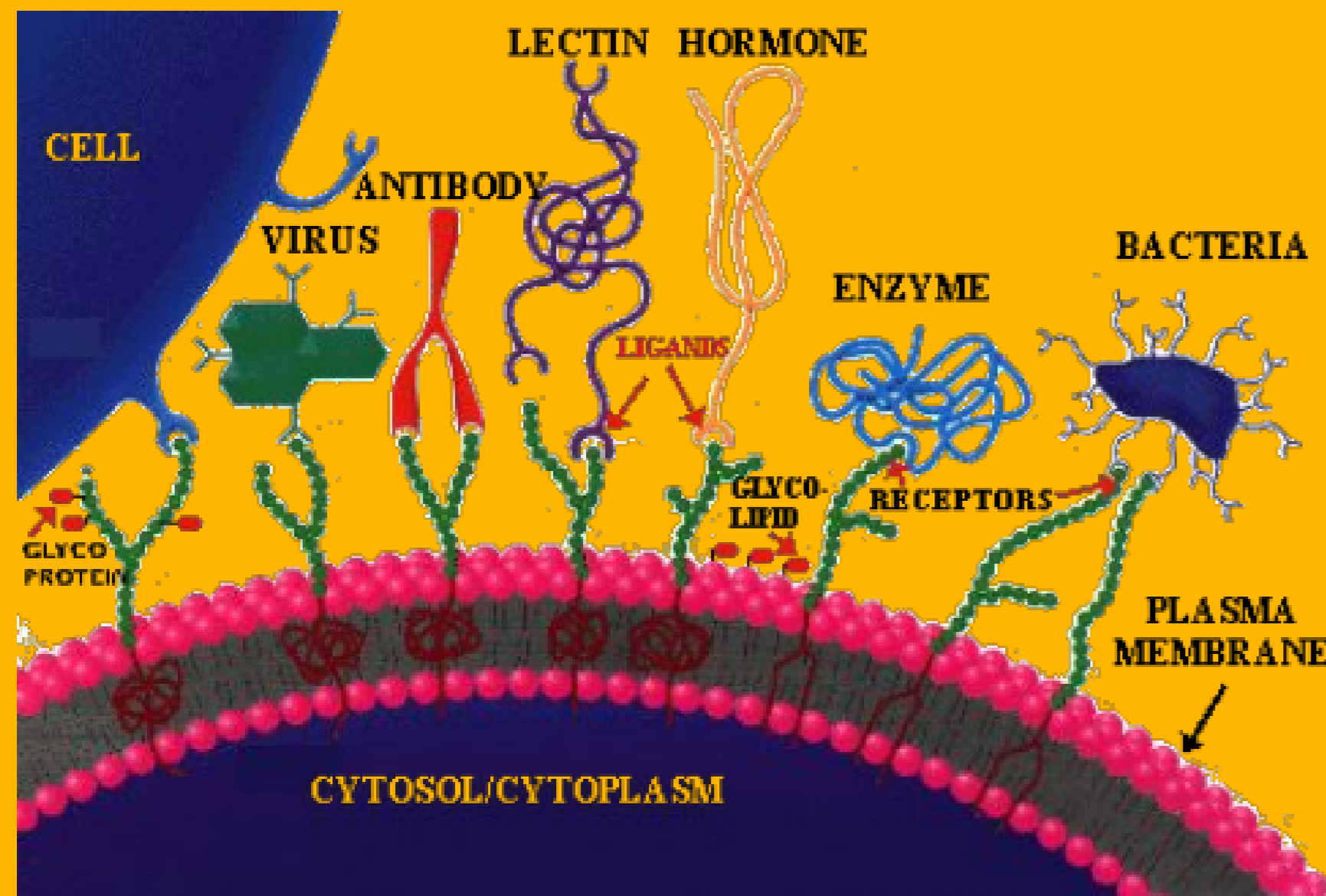
# Funciones biológicas



Ribosa



Desoxirribosa



# Funciones biológicas



- Aportan energía, 4 kcal/g
- Indispensables en la contracción muscular
- Impiden que las proteínas sean utilizadas como sustancias energéticas
- Parte de los mucopolisacáridos importantes en la estructura de los cartílagos y del mucus, presentes en muchos tejidos.
- El exceso de energía en forma de hidratos de carbono es transformado en grasa y triglicéridos
- La lactosa favorece la formación de bacilos lácticos en el intestino (flora benéfica para el organismo).

# CLASIFICACIÓN

	Moléculas	Nombre	Unión	Presente en:
<b>Monosacáridos</b>	1	Glucosa	-	Animales y plantas
		Fructosa	-	Frutas
		Galactosa	-	Leche
<b>Disacáridos</b>	2	Sacarosa	Glucosa + fructosa	Azúcar de caña
		Lactosa	Glucosa + galactosa	Leche
		Maltosa	Glucosa + glucosa	Azúcar de malta
<b>Polisacáridos</b>	>10	Celulosa	n-glucosas	Madera, algodón
		Almidón	n-glucosas	Cereales, papa
		Glucógeno	n-glucosas	Musculo, hígado



# Monosacáridos:

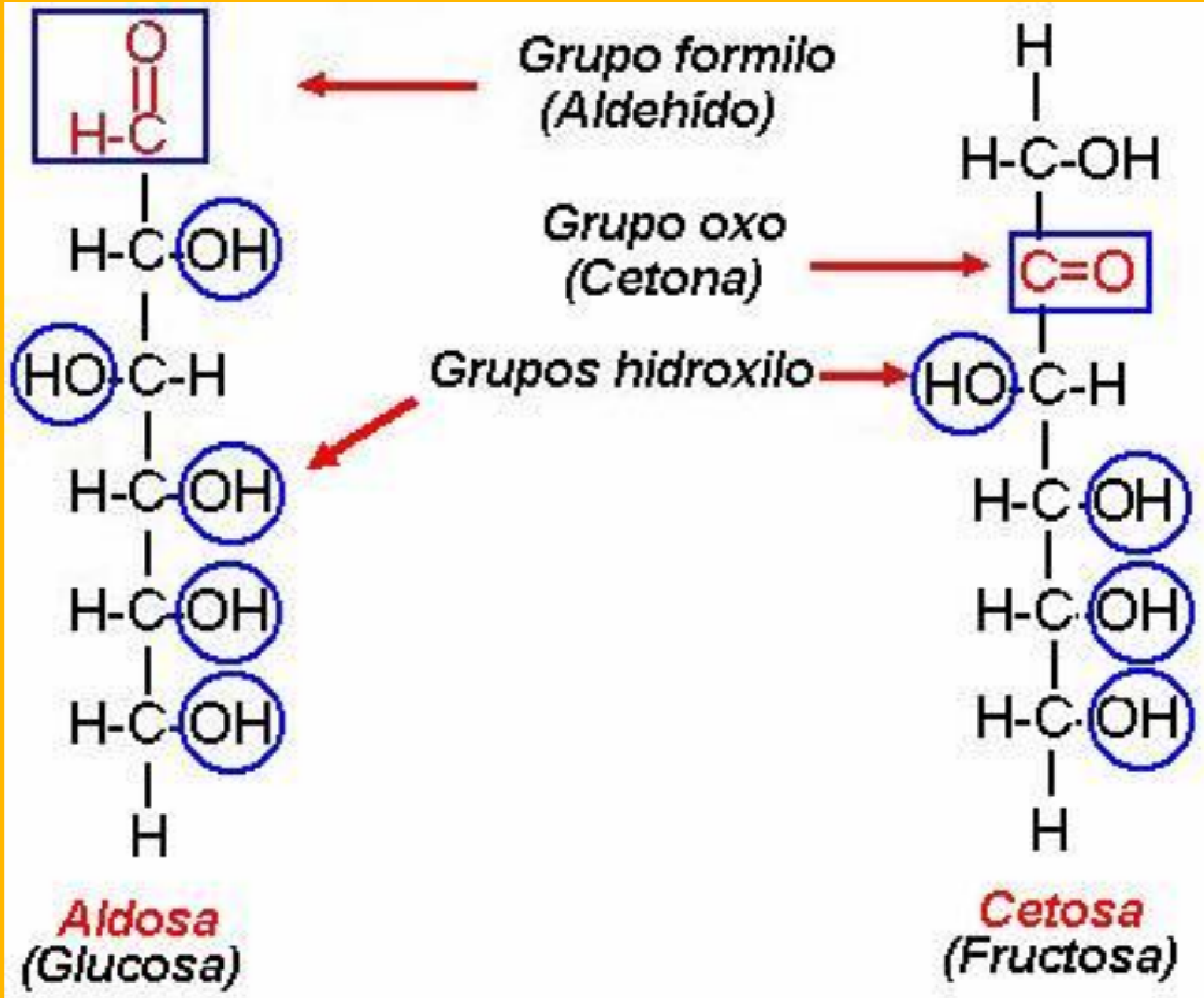
Moléculas simples constituidas por átomos de C H O

Constituidos por un azúcar simple

Formados por una sola molécula que tiene 3,4, 5 ó 6 átomos de carbono

Son hidrosolubles y de sabor dulce.

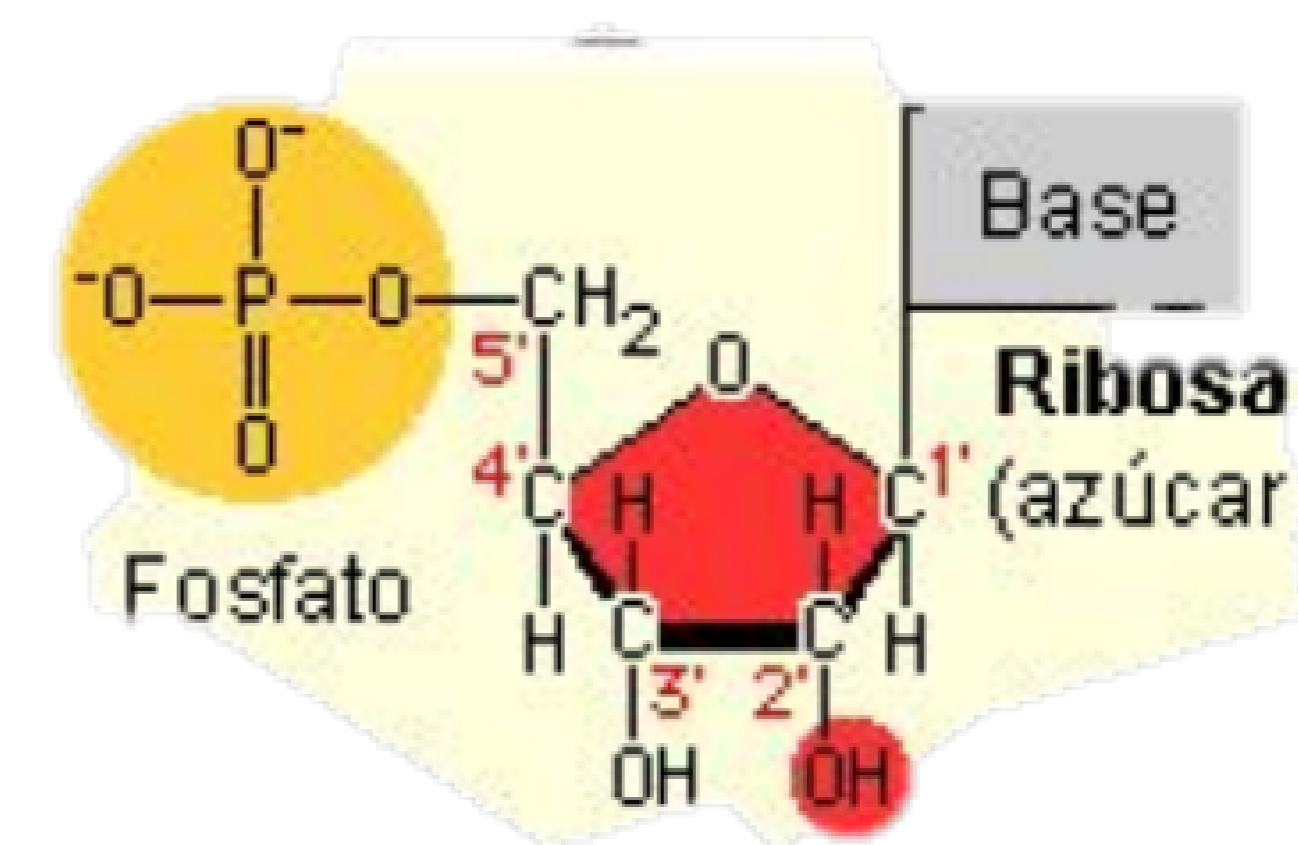
Ejemplos: glucosa, galactosa, fructosa, ribosa y desoxirribosa.



# Funciones biológicas monosacáridos

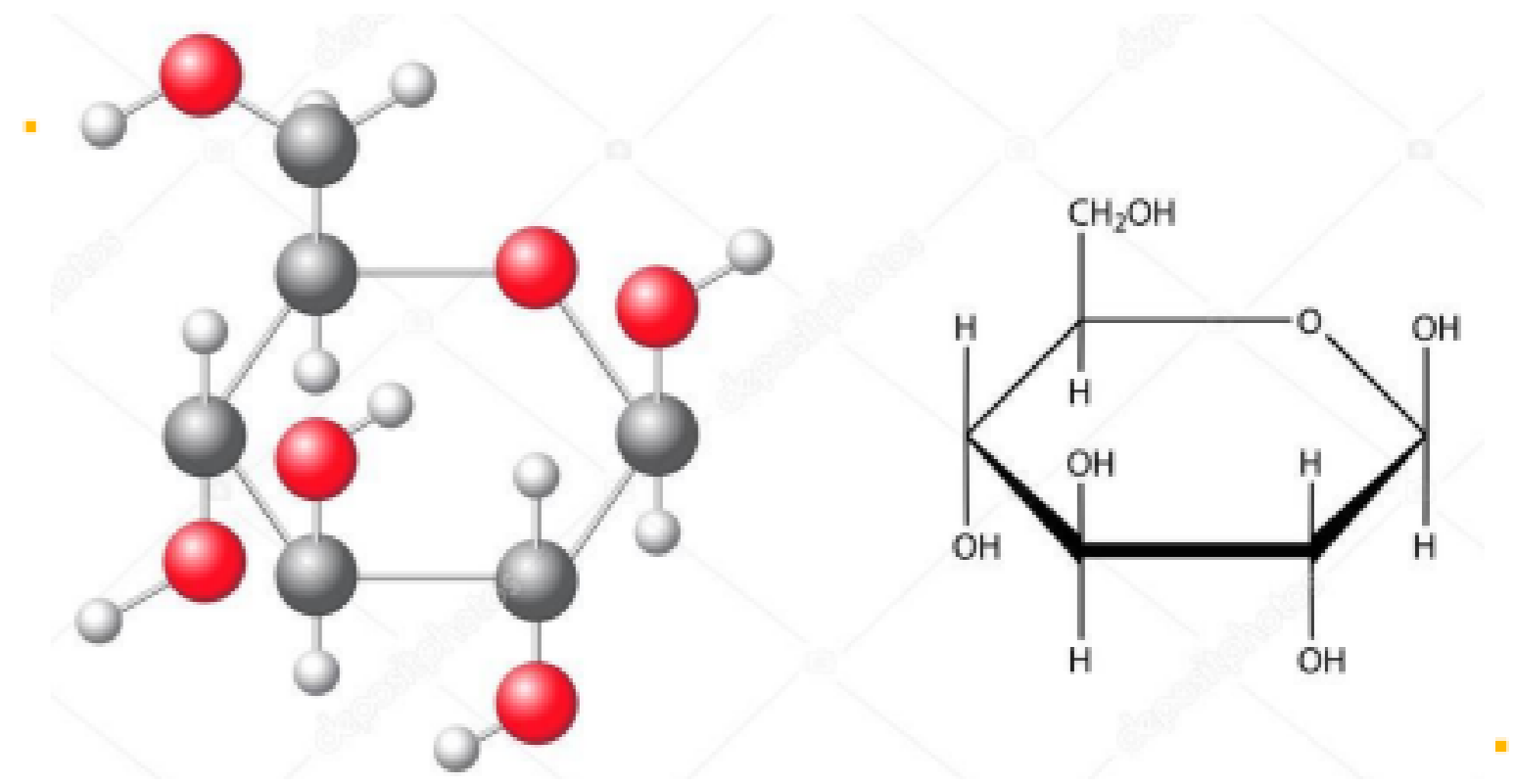


- Principal fuente de energía celular
- También forman parte de moléculas más complejas. Por ejemplo la ribosa y desoxirribosa, componentes de los ácidos nucleicos.
- Funciones estructurales.



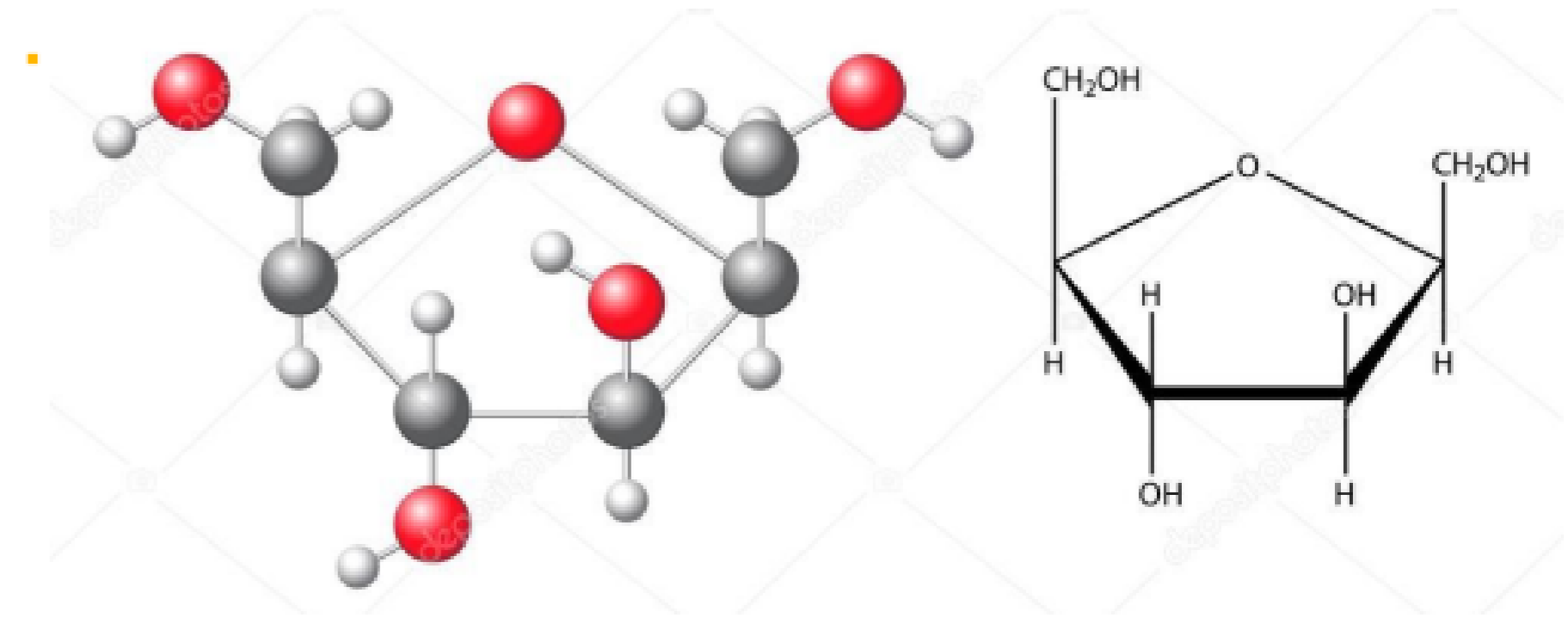
# Glucosa

- Es el azúcar más distribuido en la naturaleza
- Parte de los disacáridos y almidón
- Sabor dulce
- Absorbe al 100% de forma rápida
- Única fuente de energía no tóxica para el cerebro y sistema nervioso, eritrocitos y las células renales



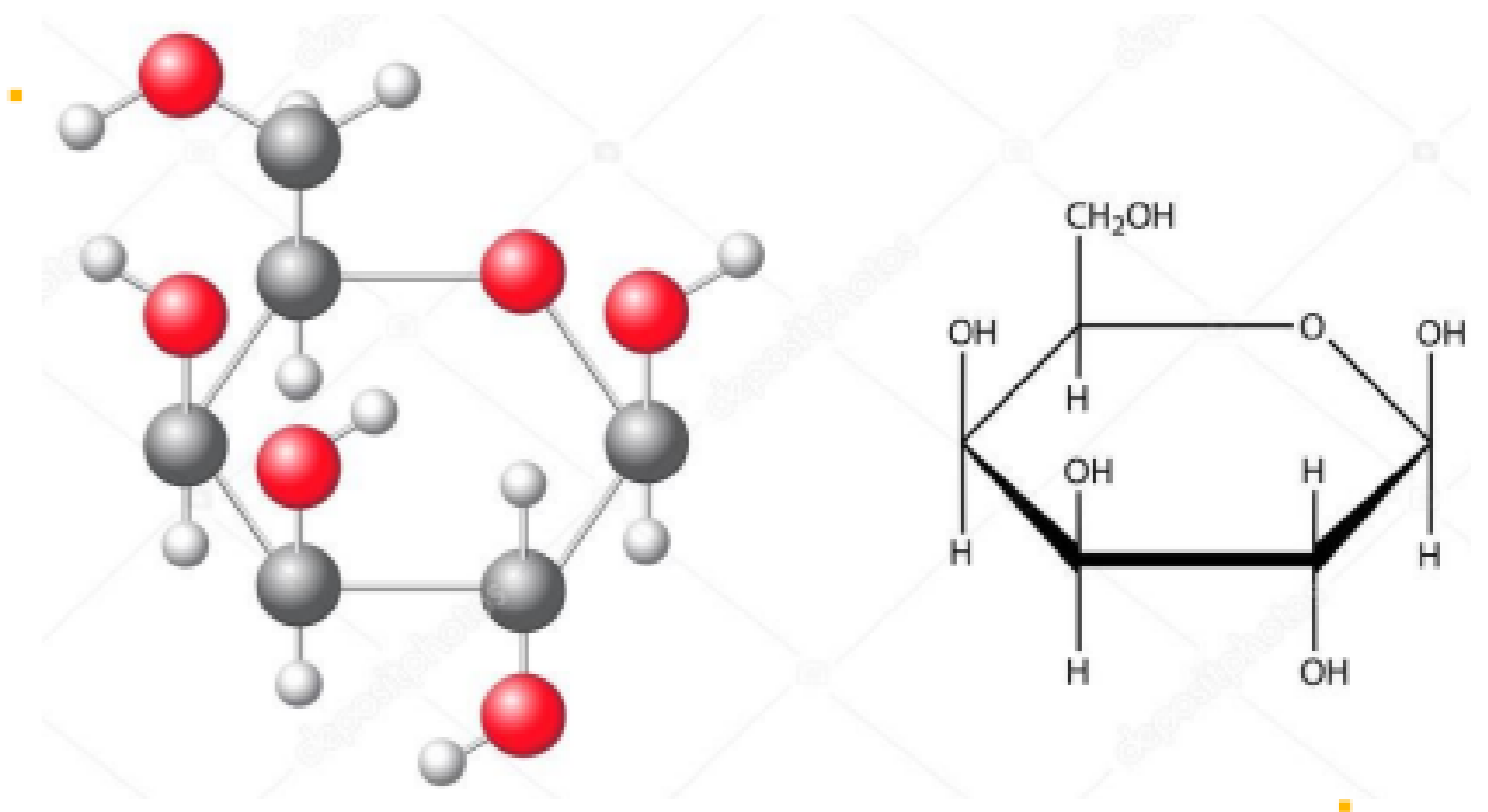
# Fructosa

- Levulosa o azúcar de fruta
- Más dulce de todos los monosacáridos,
- Frutas 1 a 7%
- Miel 40%
- Se absorbe con mayor lentitud 40%,



# Galactosa

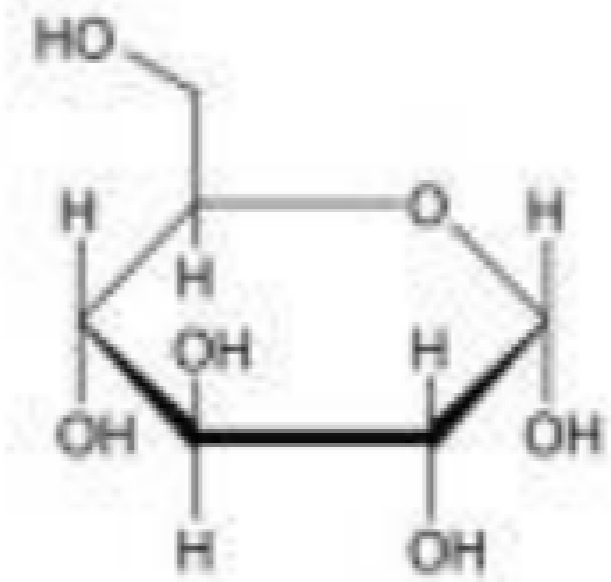
- Se transporta por la sangre y forma parte de los cerebrósidos
- Soluble en agua y tiene un sabor azucarado
- Producido por los animales.



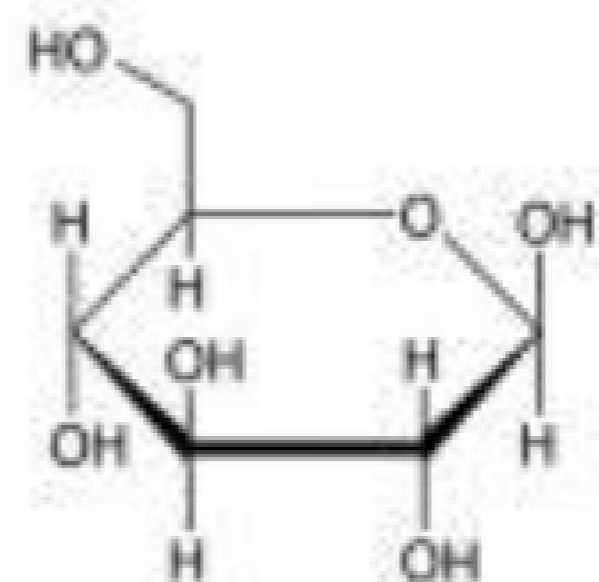
# Oligosacáridos/Disacáridos:

- Resultantes de la unión de 2 a 10 unidades de monosacáridos.
- Combinación de dos moléculas de monosacáridos con separación de una molécula de agua
- Hidrosolubles y de sabor dulce
  
- Sacarosa (glucosa+fructosa )
- Lactosa (glucosa+galactosa)
- Maltosa (glucosa+glucosa)

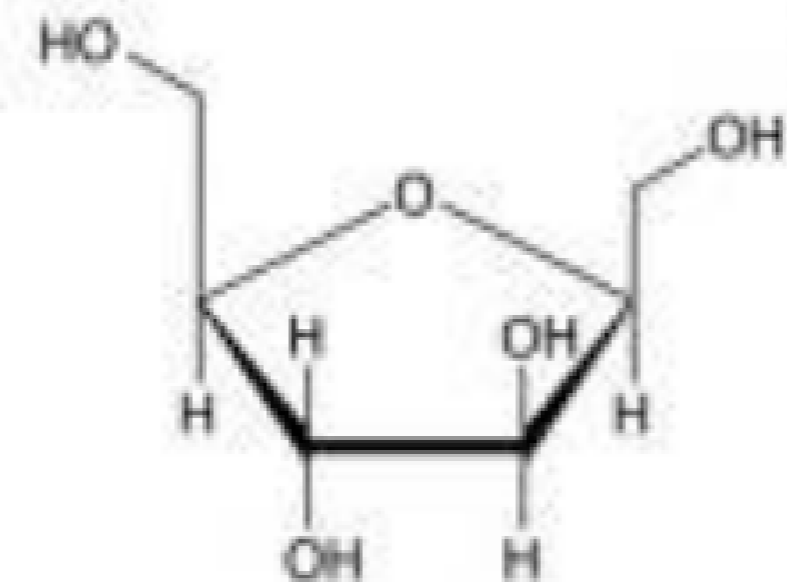
“



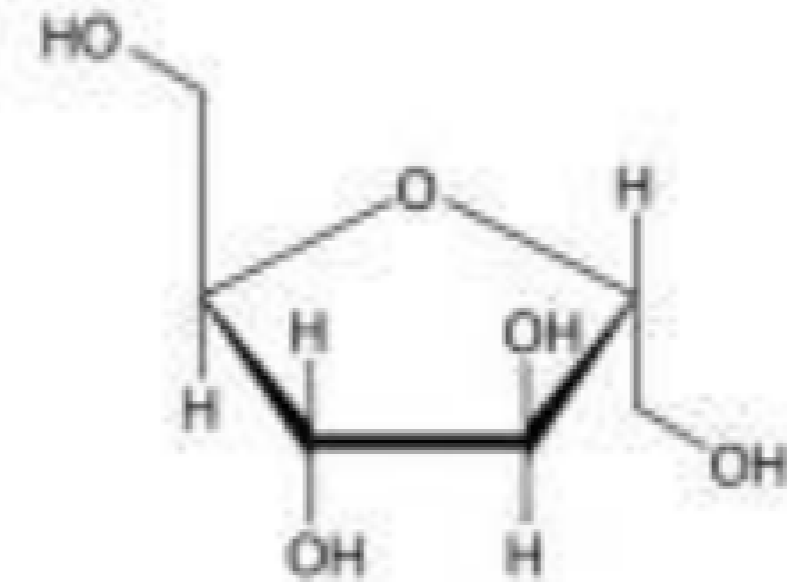
Alpha-D-Glucose



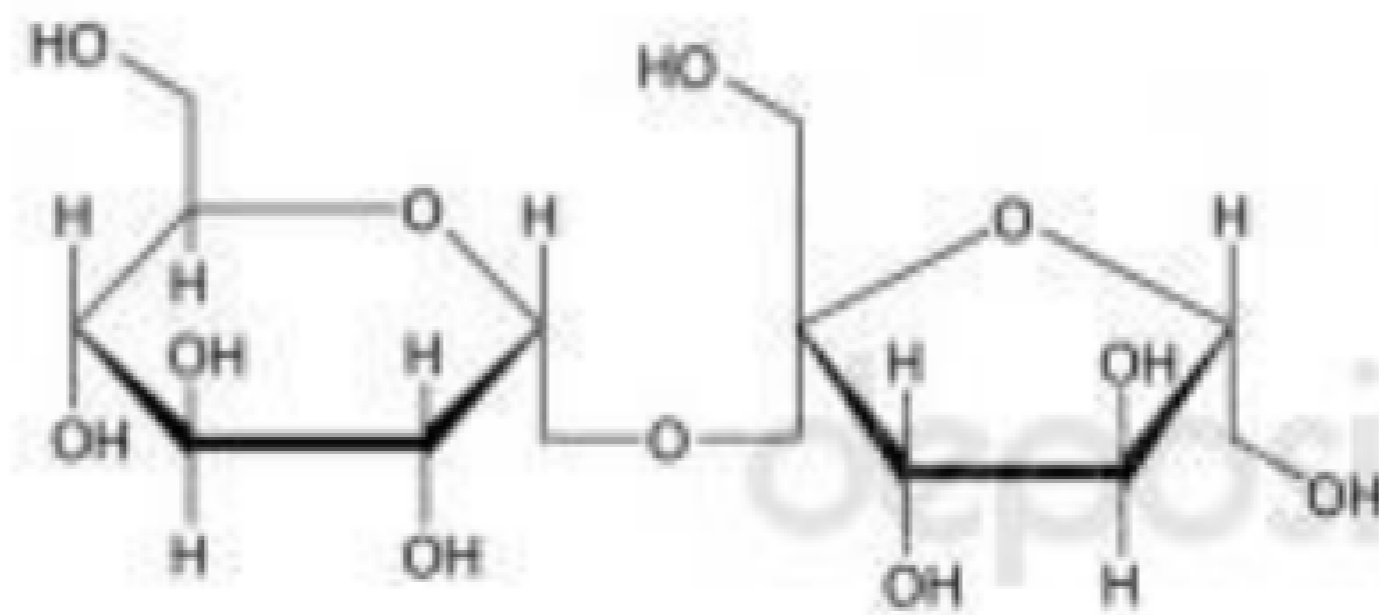
Beta-D-Glucose



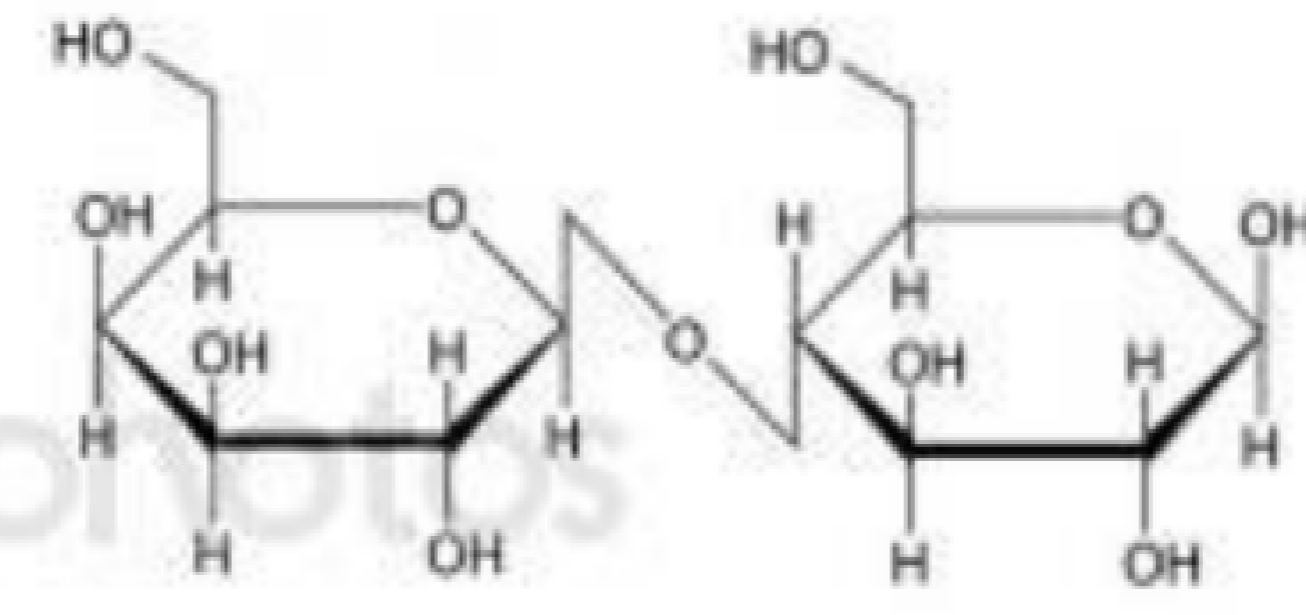
Alpha-D-Fructose



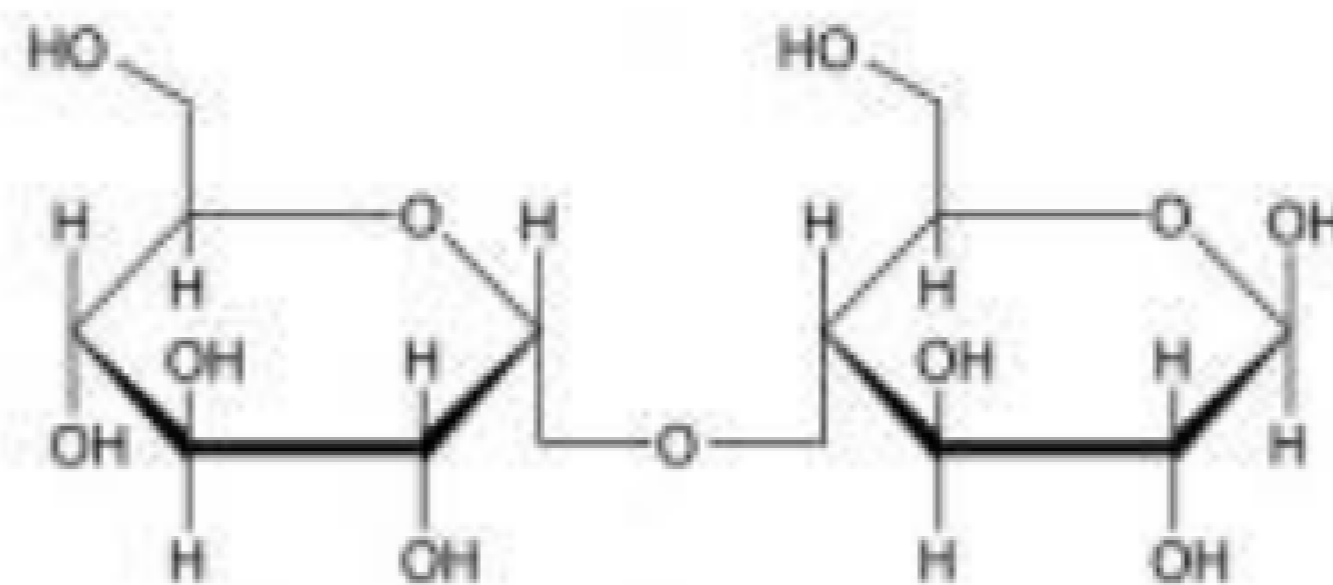
Beta-D-Fructose



Sucrose (saccharose)



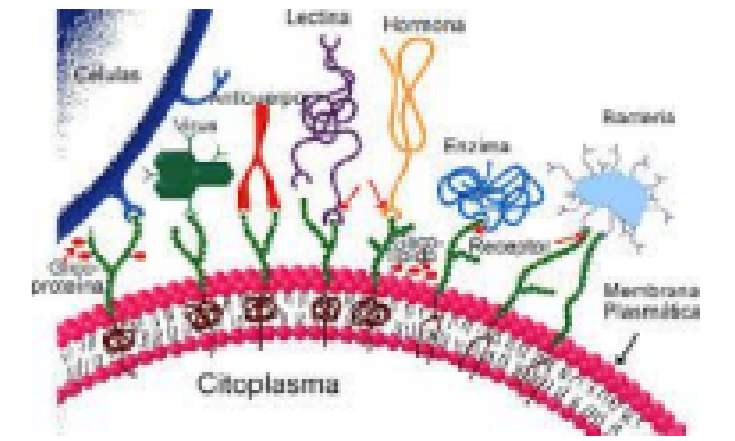
Lactose

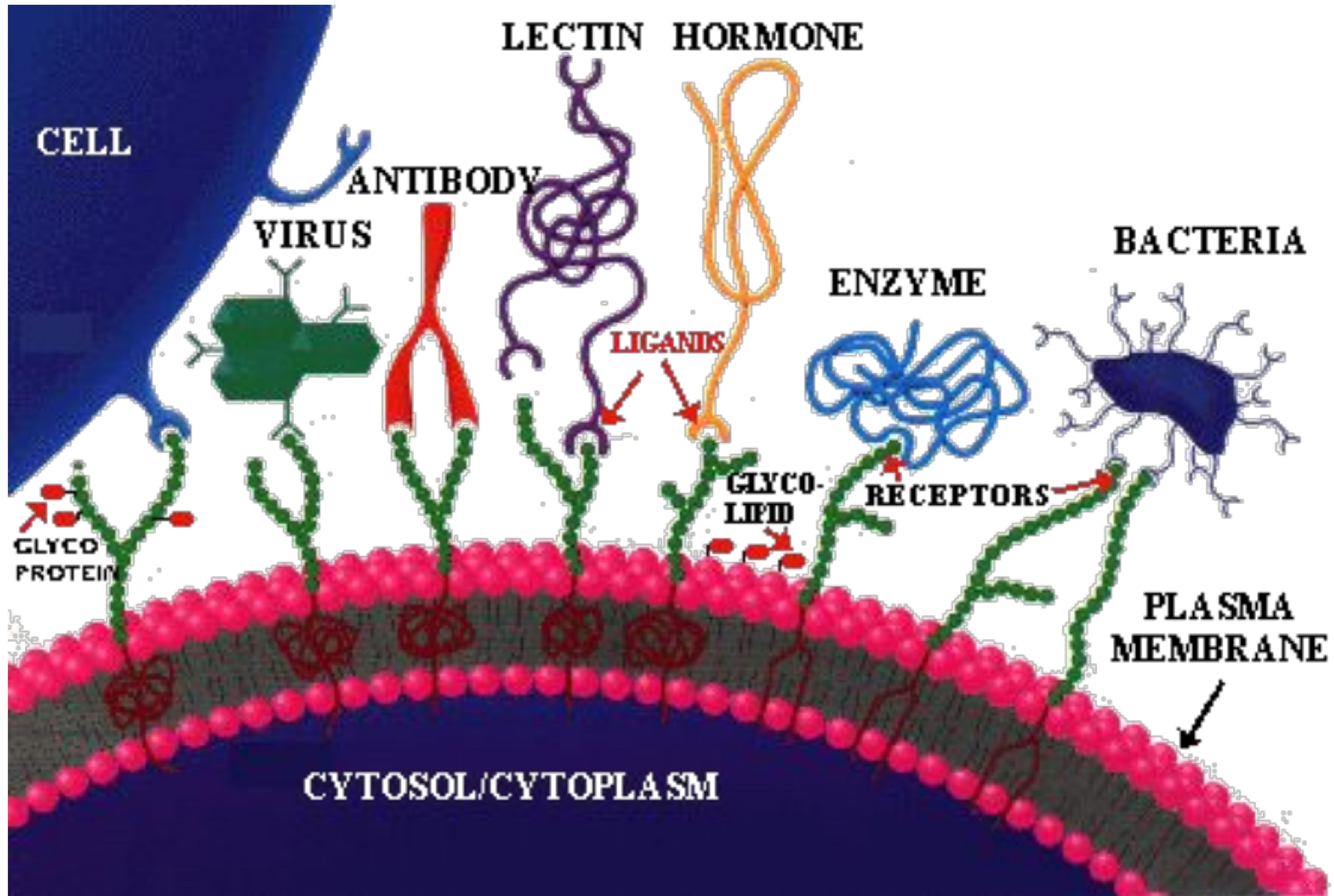


Maltose

# Funciones biológicas disacáridos

- Son formas de transporte en los vegetales y en algunos animales.
- Forman parte de moléculas más complejas, como las glucoproteínas y glucolípidos.
- Intervienen en la estructura de la membrana plasmática, participando en el reconocimiento celular.



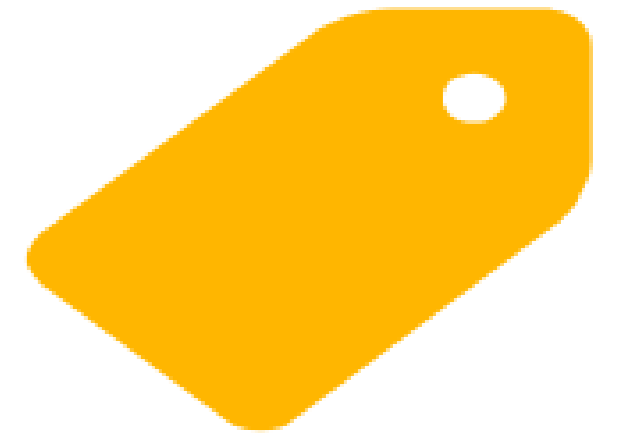




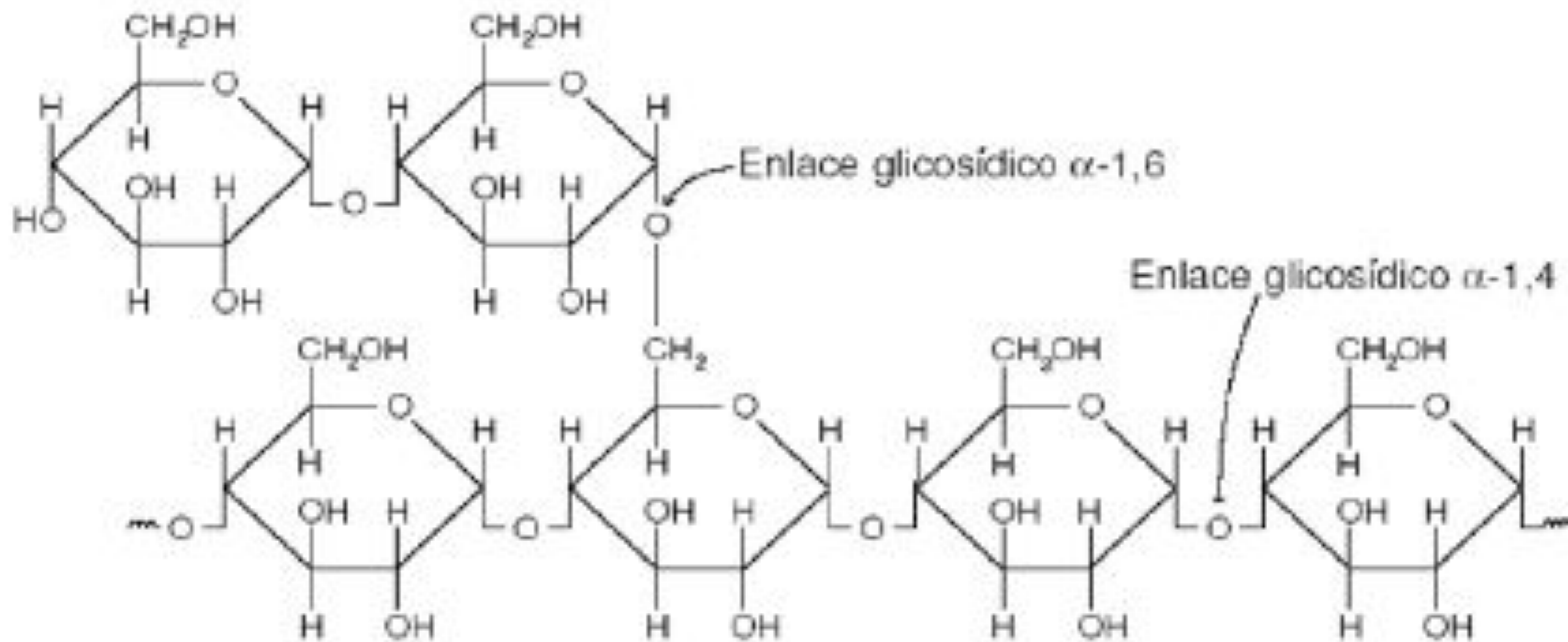
# Polisacáridos

- Muchas unidades de monosacáridos (más de 10). Lineales o ramificadas.
- Gran número de monosacáridos unidos mediante enlaces glucosídicos
- *Homopolímeros o heteropolímeros*
- Son insolubles en agua y no tienen sabor.
- Ejemplos: almidón, el glucógeno y la celulosa.

# Almidón



- Cadenas largas de glucosa
- Papas, tubérculos y el endospermo de los cereales.
- Almidones de digestión rápida □ semillas cocidas de cereales.
- Almidones de digestión lenta pero completa □ las semillas crudas de cereales.
- Almidones resistentes a la digestión □ papa cruda.





## Glucógeno

- El glucógeno constituye una importante reserva de energía para los animales y se almacena principalmente en el hígado y en los músculos

“

*GLUCÓLISIS*

# GLUCÓLISIS

- Secuencia de 10 reacciones que rompen 1molécula de glucosa en 2 moléculas de piruvato con la generación de 2 moléculas de ATP y NADH
- Localización: Todas las células
- Zona: Citosol

# RESPIRACIÓN AEROBIA Y ANAEROBIA

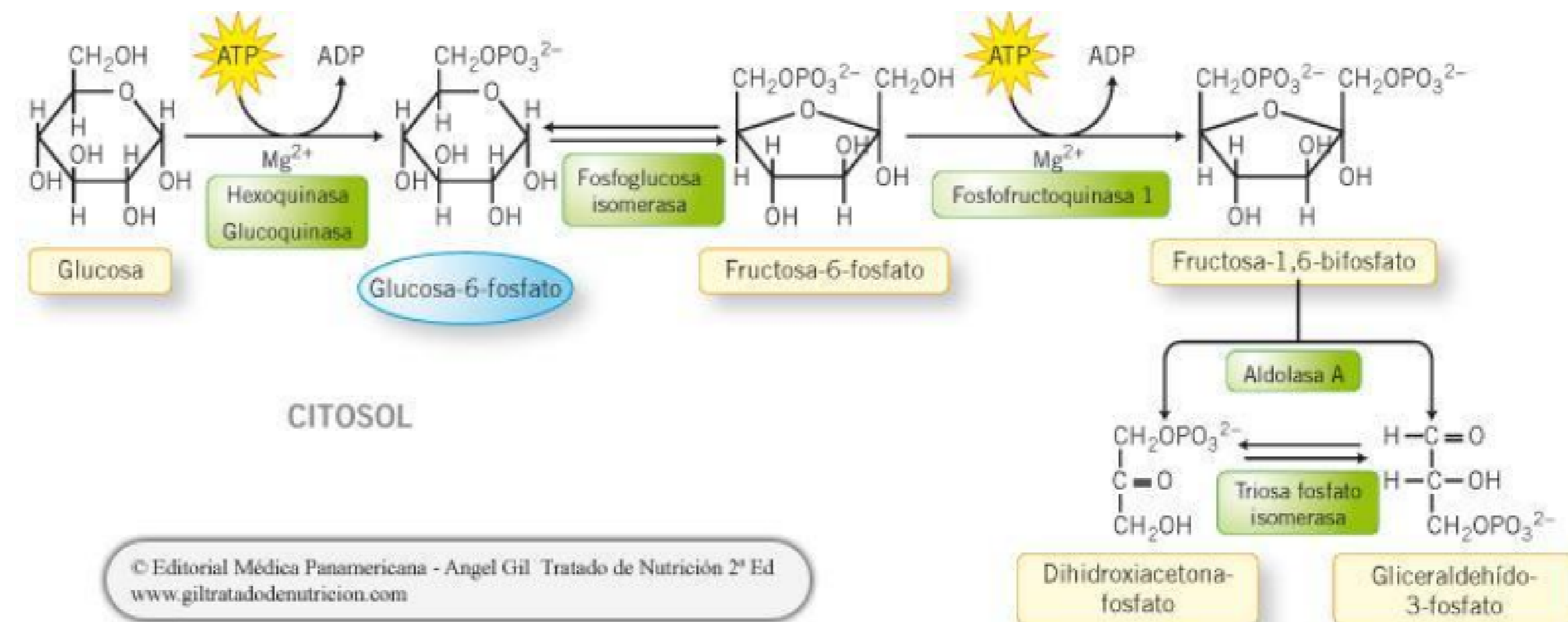
- La glucólisis puede producir ATP en condiciones aerobias y anaerobias.
- Aerobias: □ Piruvato □ mitocondria ATC y la fosforilación oxidativa a CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O = grandes cantidades de energía
- Anaerobia □ Piruvato reducido por NADH □ Lactato en citosol. = pequeña cantidad de energía

# Fases

2 Fases

## 1. Acumulo E

Fosforilación y división de la glucosa en 2 moléculas de gliceraldehído-3-fosfato. Se utilizan 2 ATP



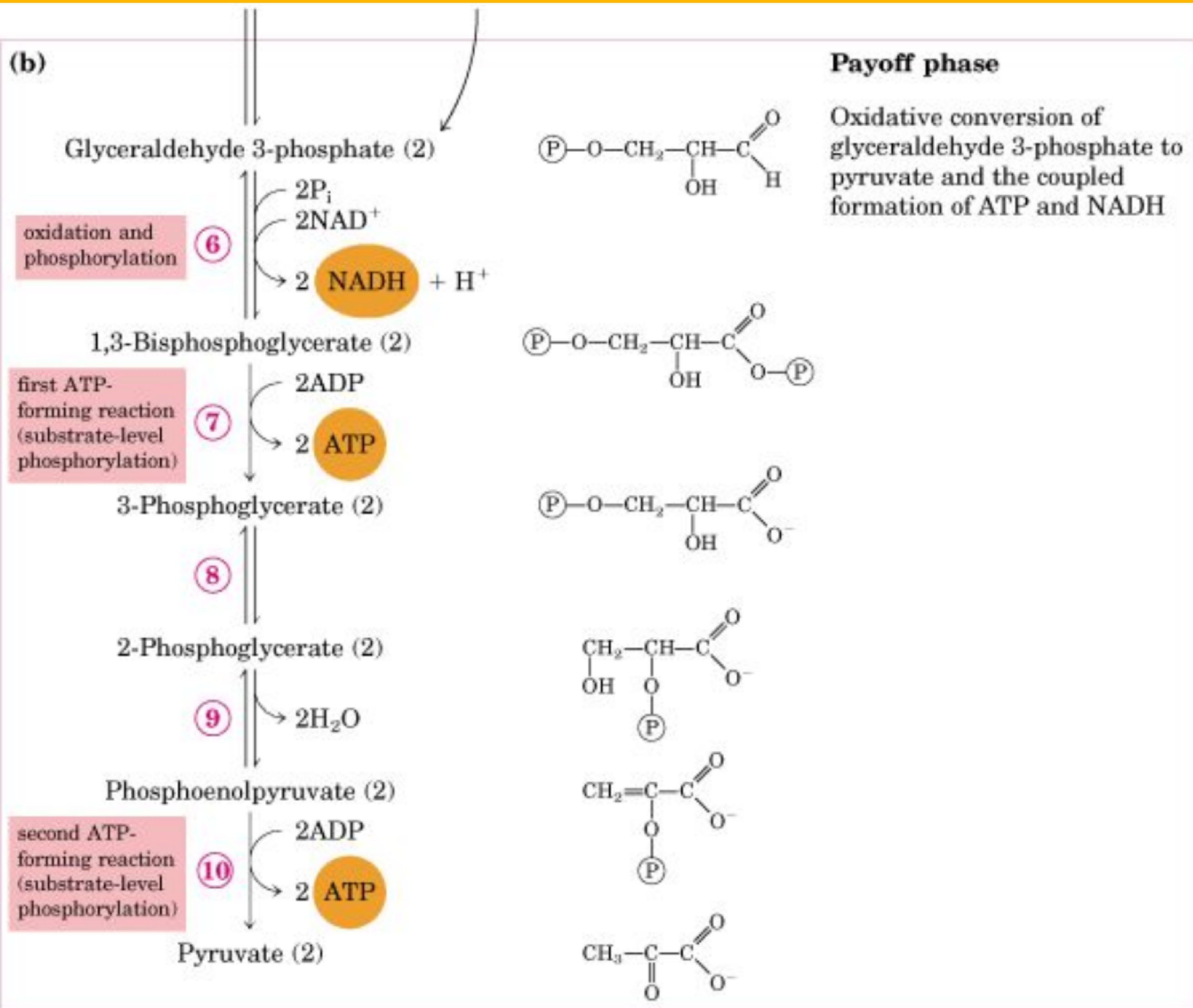
# Fases

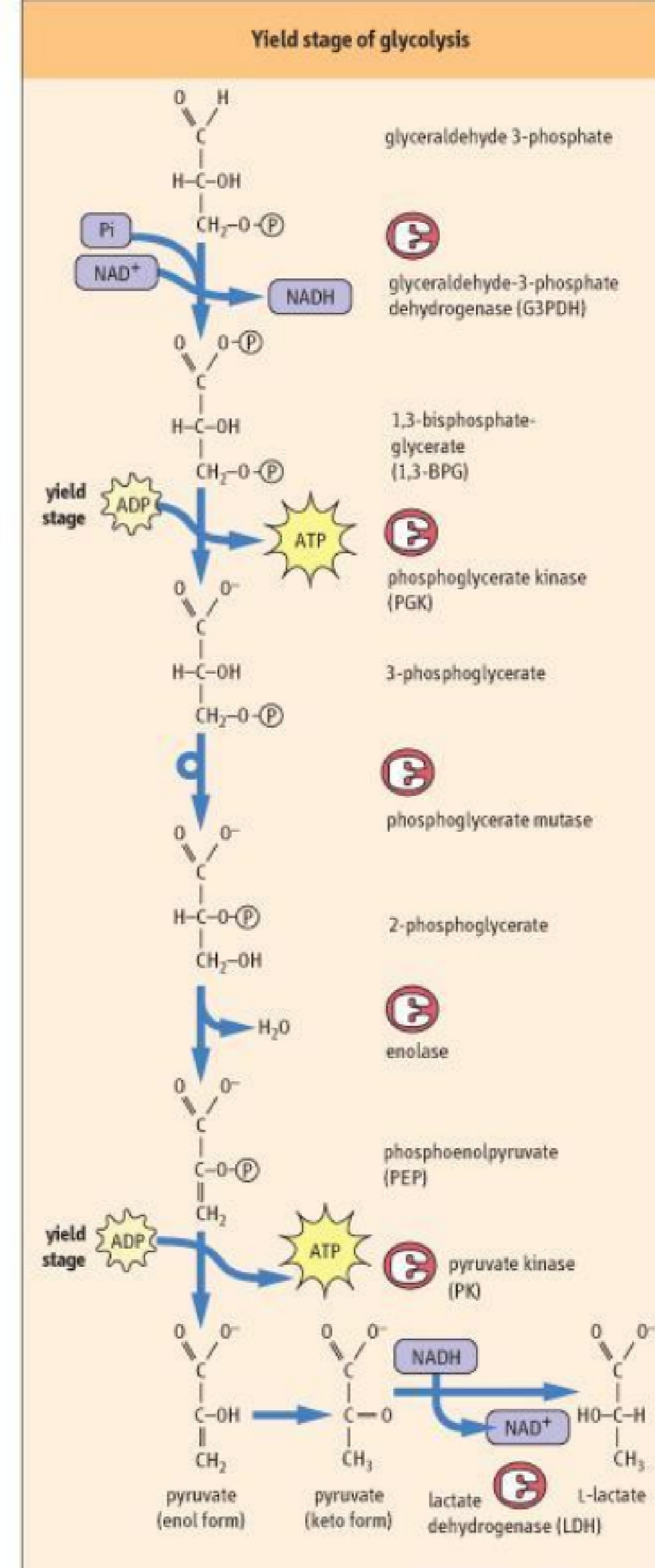
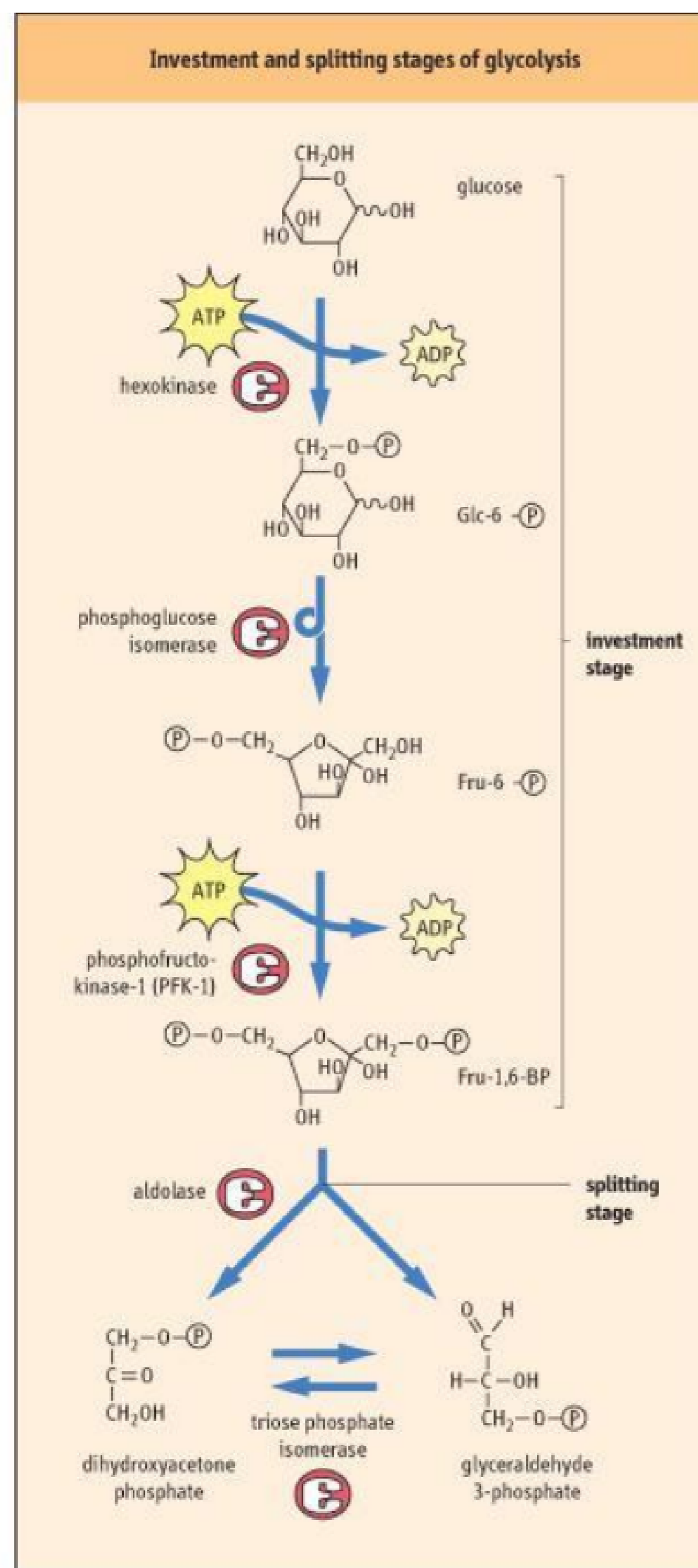
- 2.- Generación de E

2 gliceraldehidos-3-fosfato  $\rightarrow$  2 piruvato = generación de 4 ATP

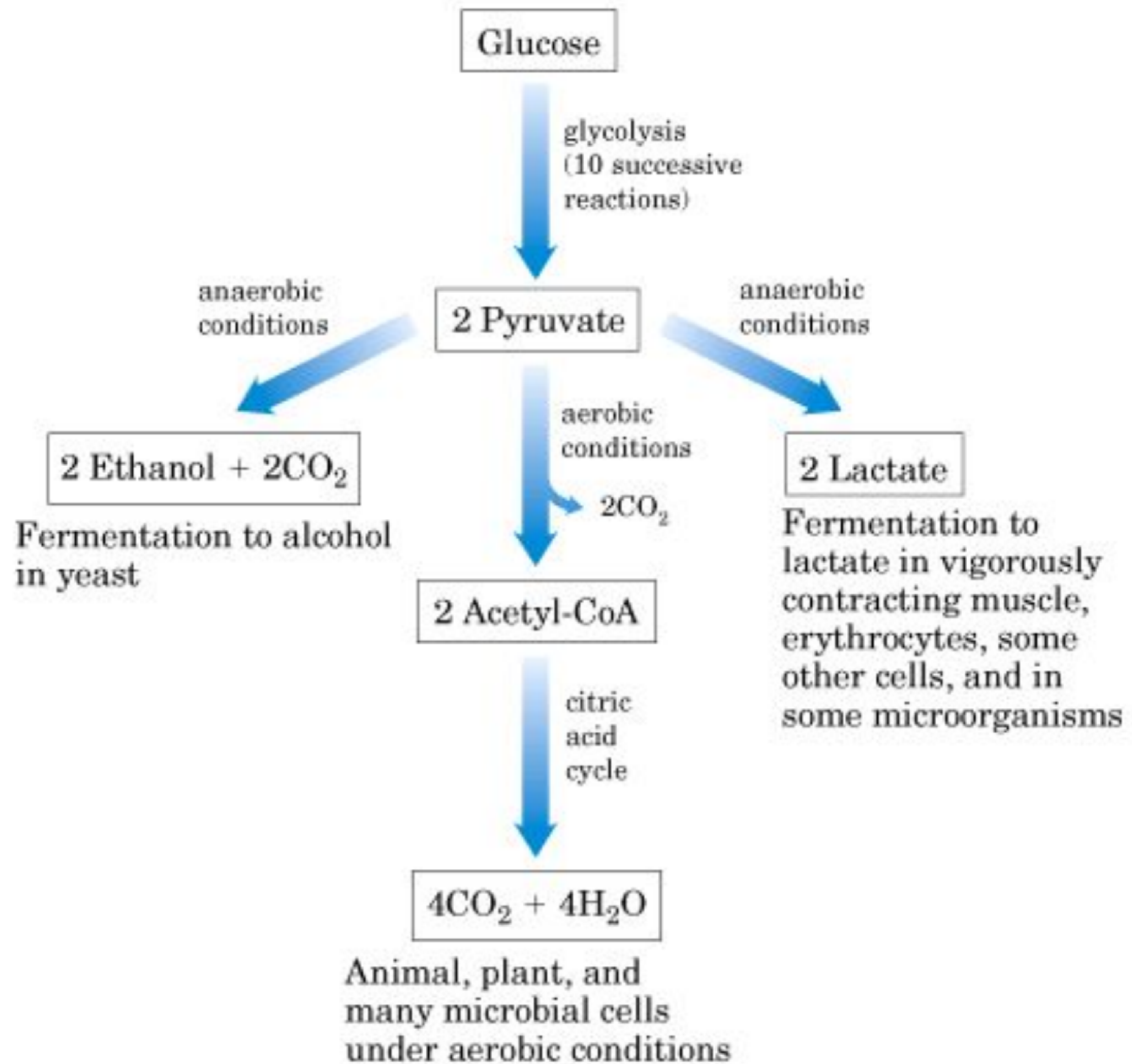
Glucosa + 2NAD + 2ADP + 2Pi  $\rightarrow$  2NADH + 2Piruvatos + 2ATP + 2H<sub>2</sub>O + 2H

(b)



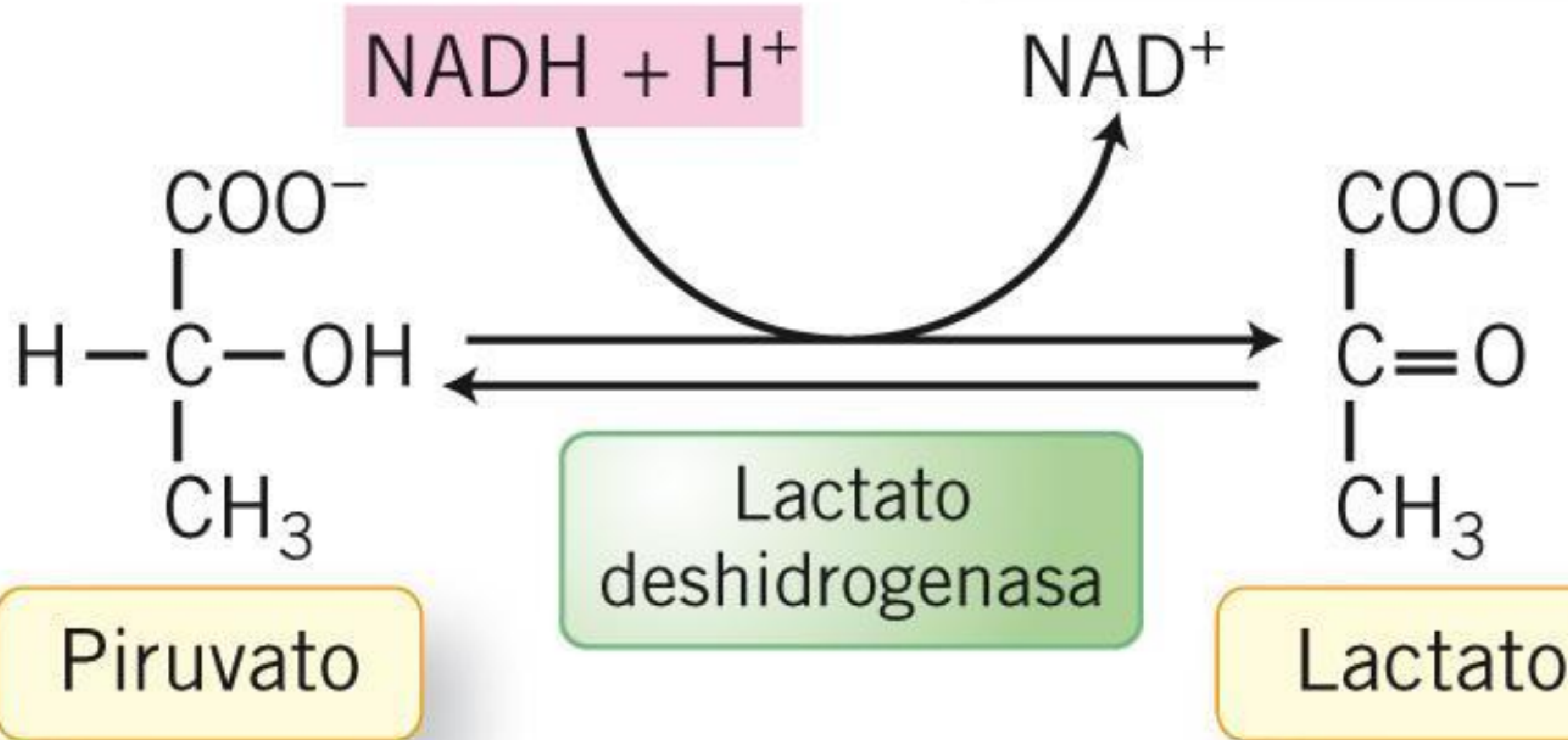


# Destinos del Piruvato

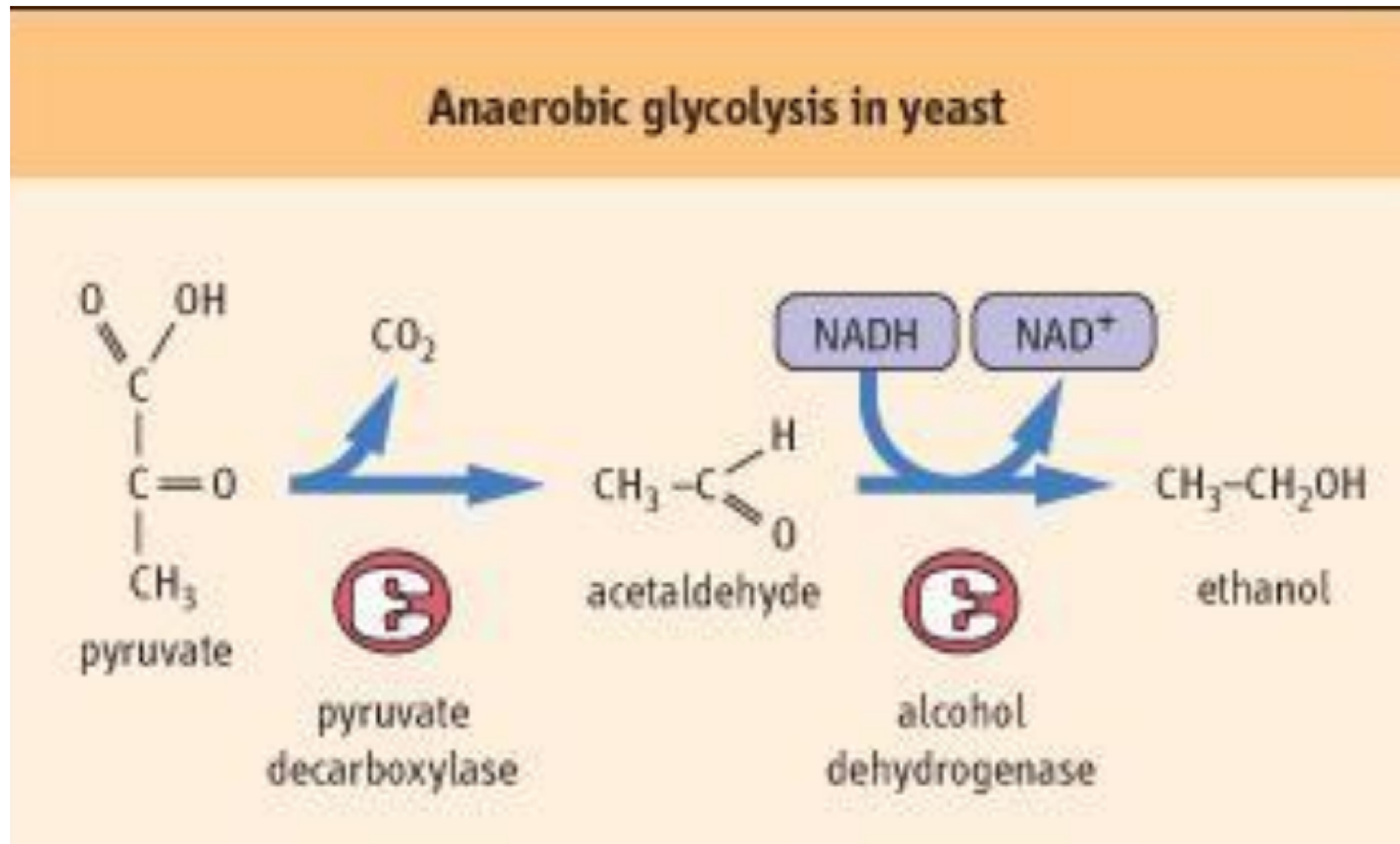


# Glucólisis Anaerobia

- $\text{Glucosa} + 2\text{P}_i + 2\text{ADP} \rightarrow 2 \text{lactato} + 2\text{ATP} + 2\text{H}_2\text{O}$
- Generan 2 ATP por 1 glucosa
- No hay NADH porque es utilizado por el lactato hidrogenasa para reducir el piruvato a lactato



- Anaerobias: Levadura (fermentación alcohólica) Piruvato se descarboxila a CO<sub>2</sub> y acetaldehído, que entonces es reducido por NADH para producir NAD<sup>+</sup> y etanol.

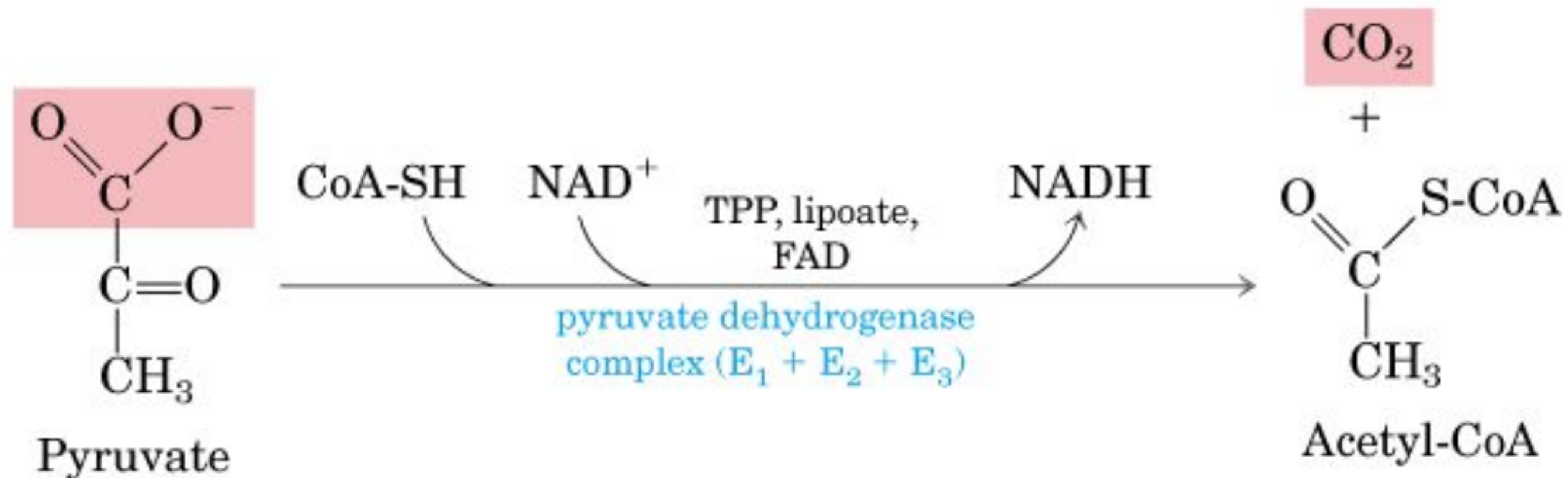


# Glucólisis Aerobia

- $\text{Glucosa} + 2\text{Pi} + 2\text{NAD} + 2\text{ADP} \rightarrow 2\text{Piruvatos} + 2\text{ATP} + 2\text{NADH} + 2\text{H} + \text{H}_2\text{O}$
- 2 NADH por 1 Glucosa
- Cada NADH se va cadena transportadora de electrones para producir 2.5 ATP
- Ganancia NETA ATP = 7

# Glucólisis Aerobia

Descarboxilación oxidativa del Piruvato y formación de Acetil-CoA  
Matriz mitocondrial

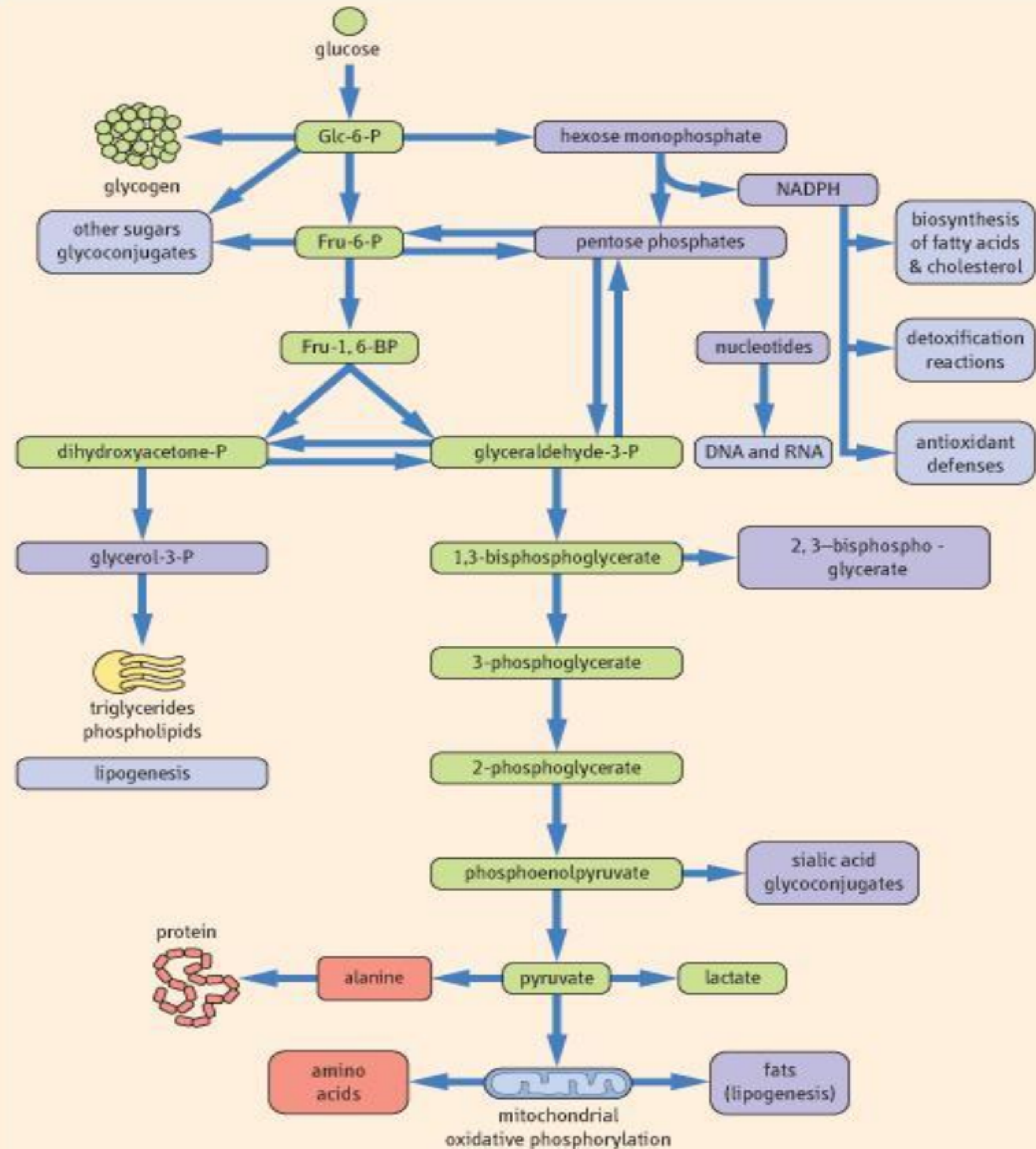


$$\Delta G'^{\circ} = -33.4 \text{ kJ/mol}$$



# RELACIÓN CON OTRAS VÍAS

Glycolysis and other metabolic pathways



# Estadios de la glucólisis

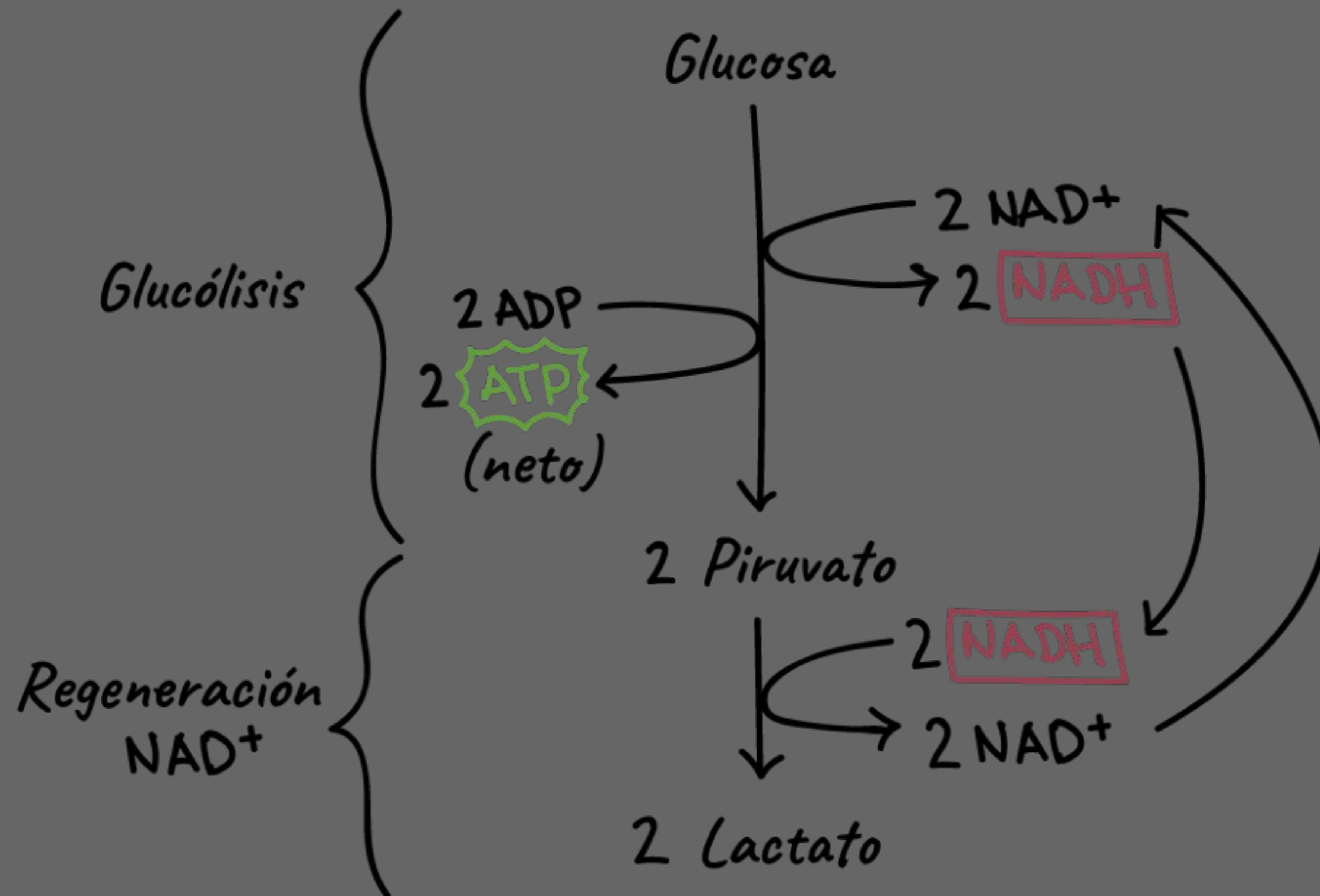
FASE I: Acopio de Energía		
Paso	Enzima	Tipo de reacción
1	Hexocinasa	Fosforilación Paso regulatorio irreversible
2	Fosfoglucosa isomerasa	Isomerización Aldosa $\rightleftharpoons$ Cetosa
3	Fosfofructocinasa-1 (PFK-1)	Fosforilación Paso irreversible limitante de la velocidad de la glucólisis
4	Aldolasa	Escisión FBP-(6C) $\rightleftharpoons$ DHAP (3C)+GAP (3C)
5	Triosa Fosfato isomerasa	Isomerización = 2 Moleculas de Gliceraldehido 3 fosfato

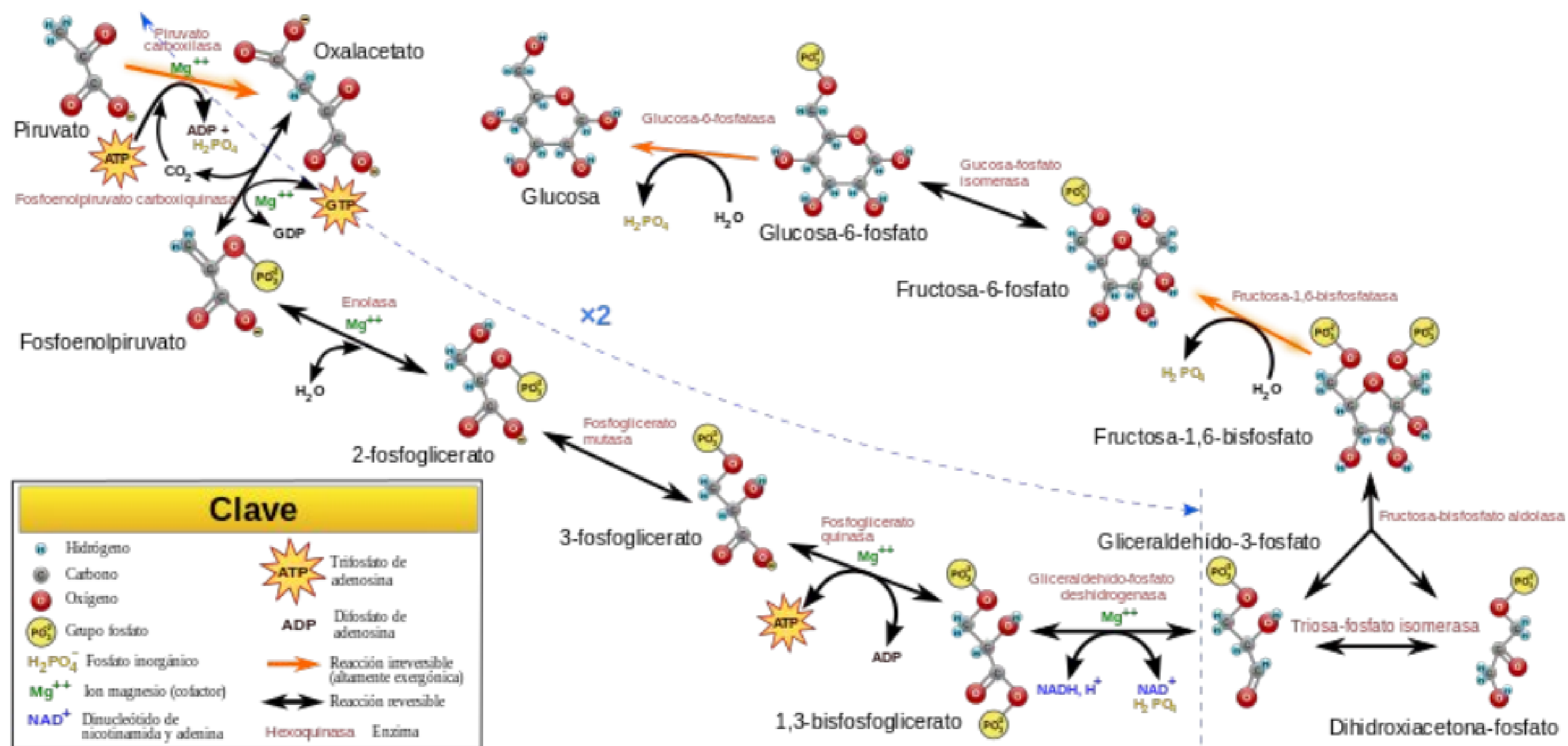
# Estadios de la glucólisis

<b>Fase II: Generación de Energía (x2)</b>		
6	Gliceraldehido-3-fosfato deshidrogenasa	Fosforilación oxidativa se generan 2 NADH por molécula de glucosa oxidada
7	Fosfoglicerato cinasa	Fosforilación a nivel sustrato
8	Fosfoglicerato mutasa	Transferencia del grupo fosfato de C3 a C2
9	Enolasa	Deshidratación
10	Piruvato cinasa	Fosforilación a nivel sustrato Paso regulatorio irreversible

**Todas las cinasas requieren Mg como cofactor**

[https://www.youtube.com/results?search\\_query=gluc%C3%B3lisis](https://www.youtube.com/results?search_query=gluc%C3%B3lisis)





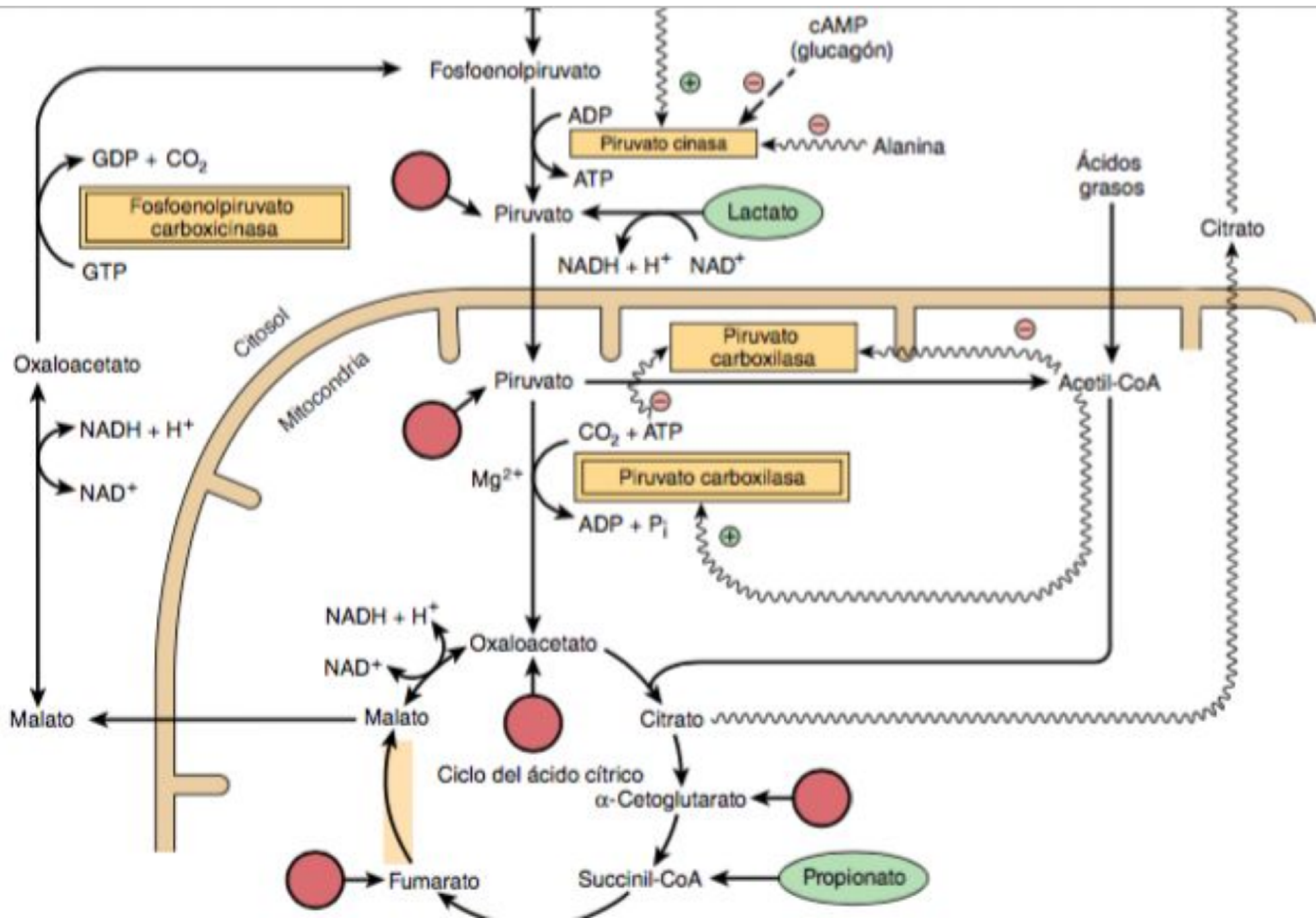
# GLUCONEOGÉNESIS

<https://www.youtube.com/watch?v=ydhr0QAyxYg>

<https://www.youtube.com/watch?v=ydhr0QAyxYg>

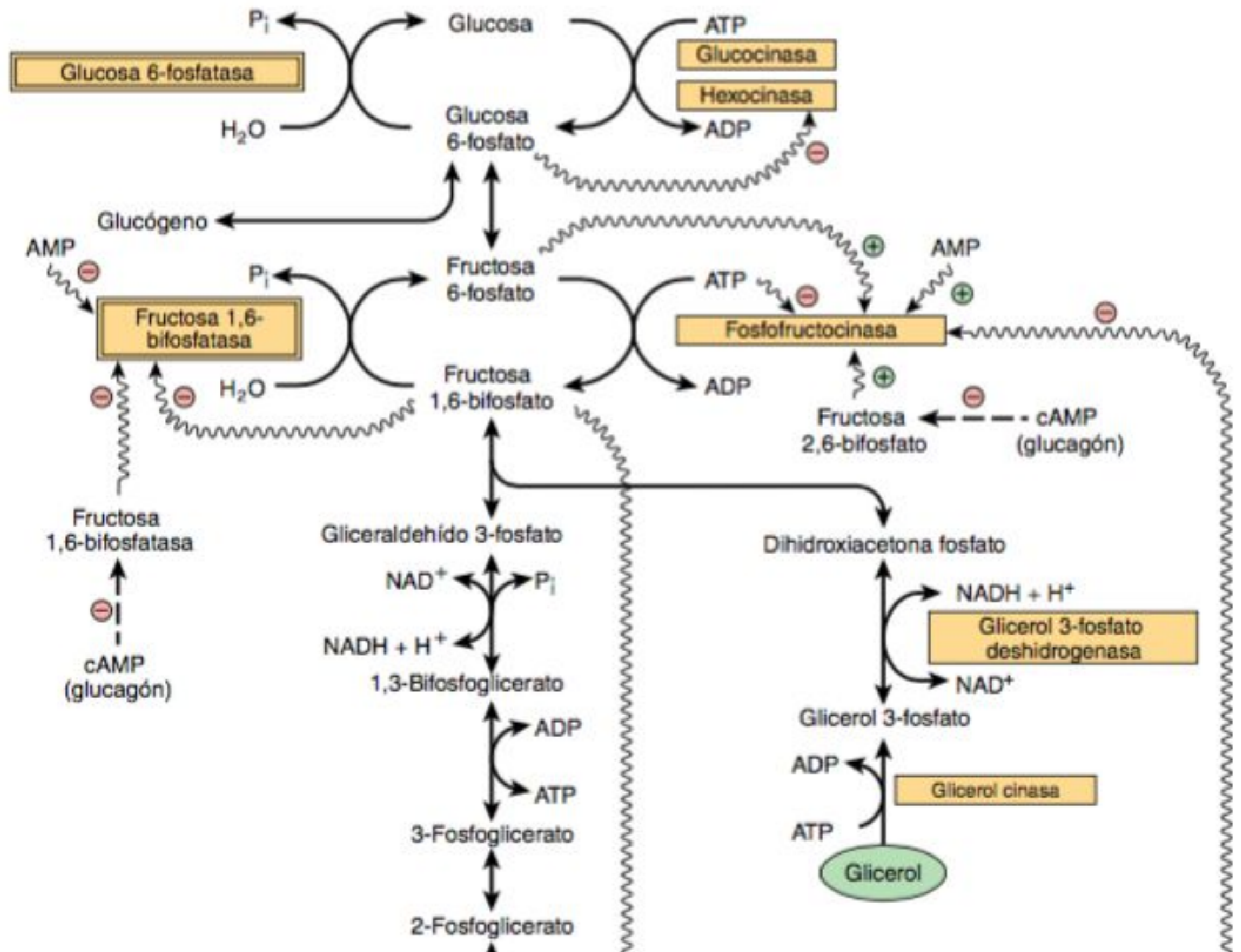
## ***Piruvato y fosfoenolpiruvato***

- En hígado y riñones, la reacción de la succinato tiocinasa en el CK produce GTP (en lugar de ATP como en otros tejidos), y este GTP se usa para la reacción de fosfoenolpiruvato carboxicinasa.

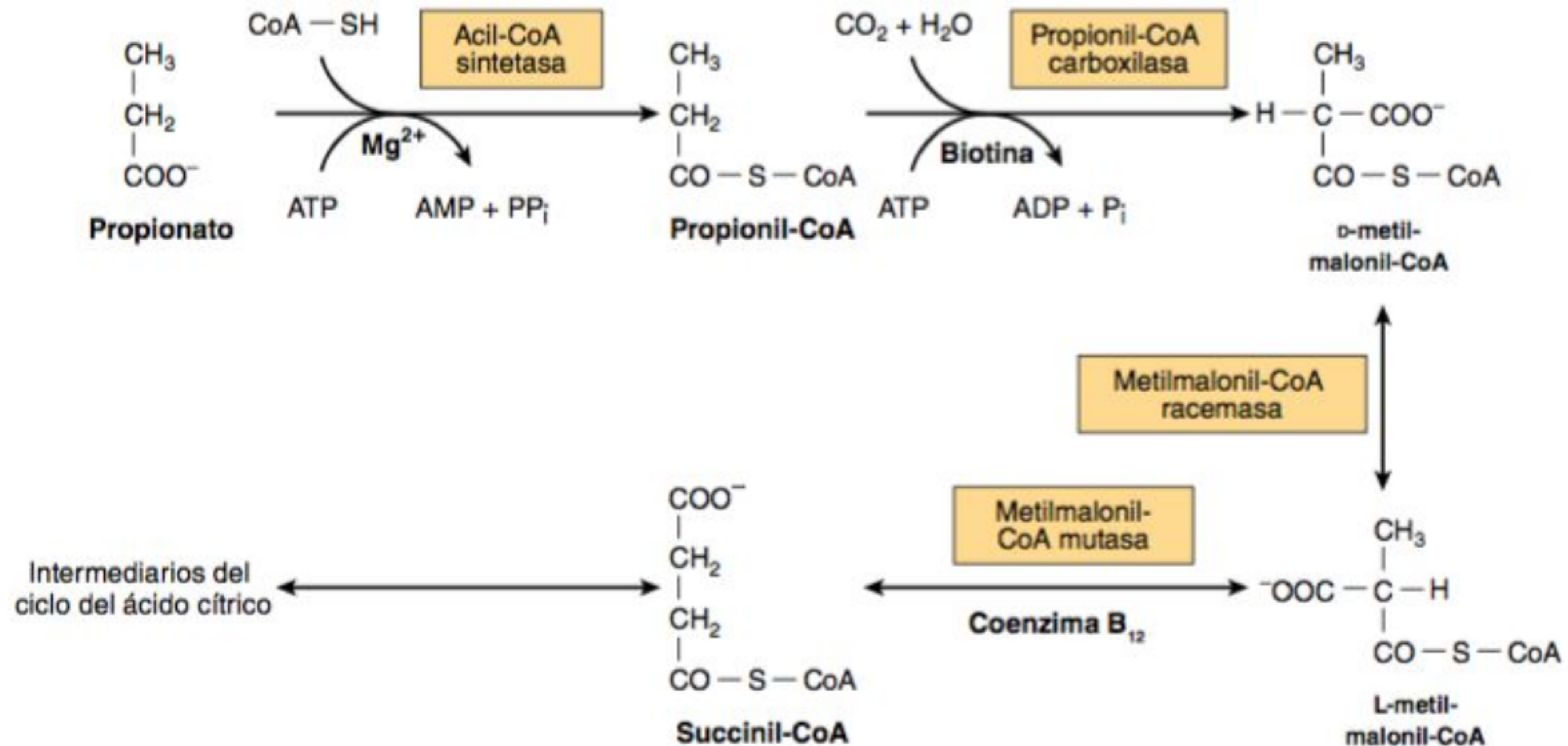


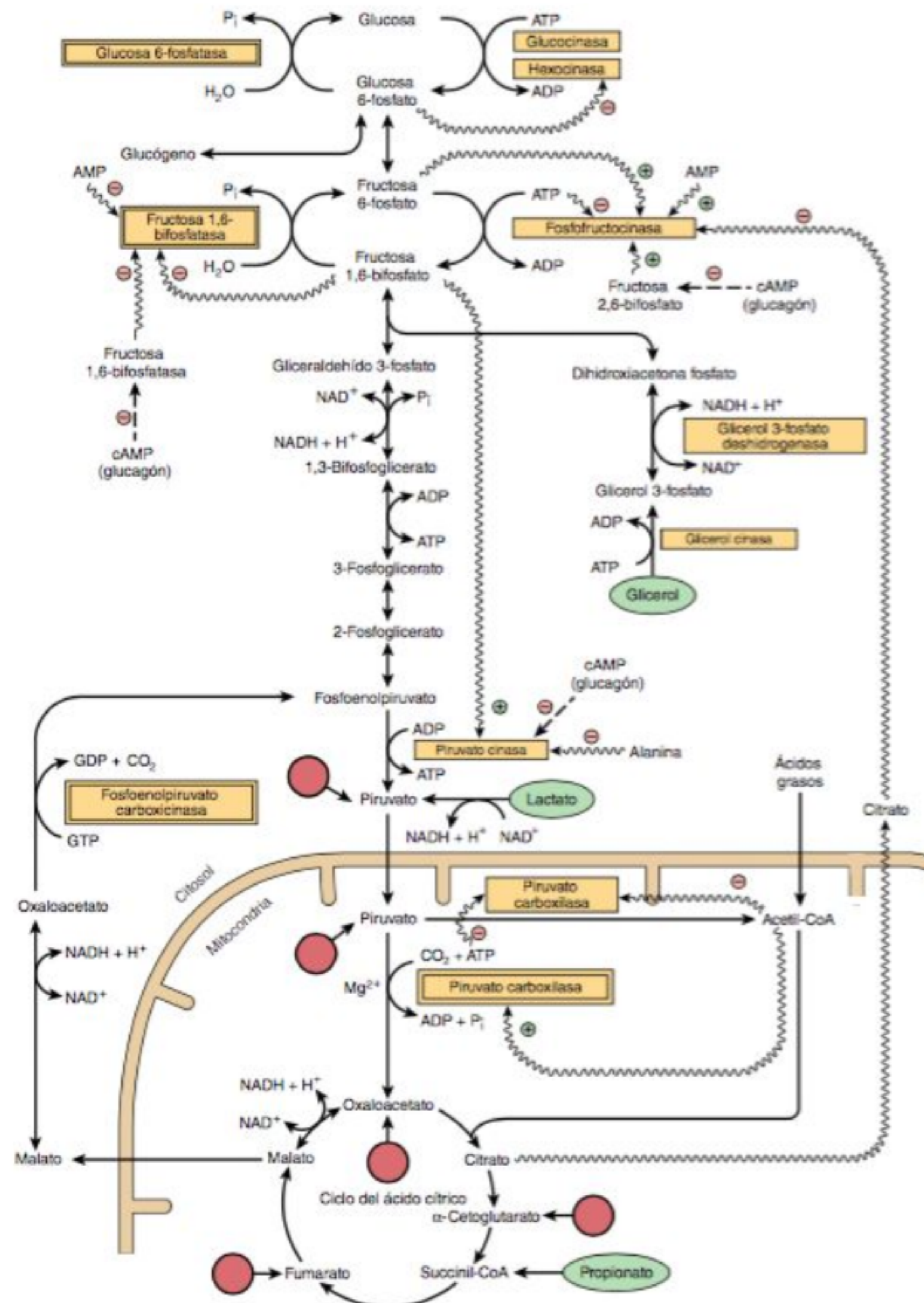
## ***Fructosa 1,6-bisfosfato y fructosa 6-fosfato***

- La fructosa 1,6-bisfosfatasa cataliza la conversión de fructosa 1,6-bisfosfato en fructosa 6-fosfato, para la reversión de la glucólisis.
- Su presencia determina si un tejido tiene la capacidad para sintetizar glucosa (o glucógeno)
- Presente en el hígado, los riñones y el músculo estriado, pero probablemente falta en el corazón y el músculo liso.



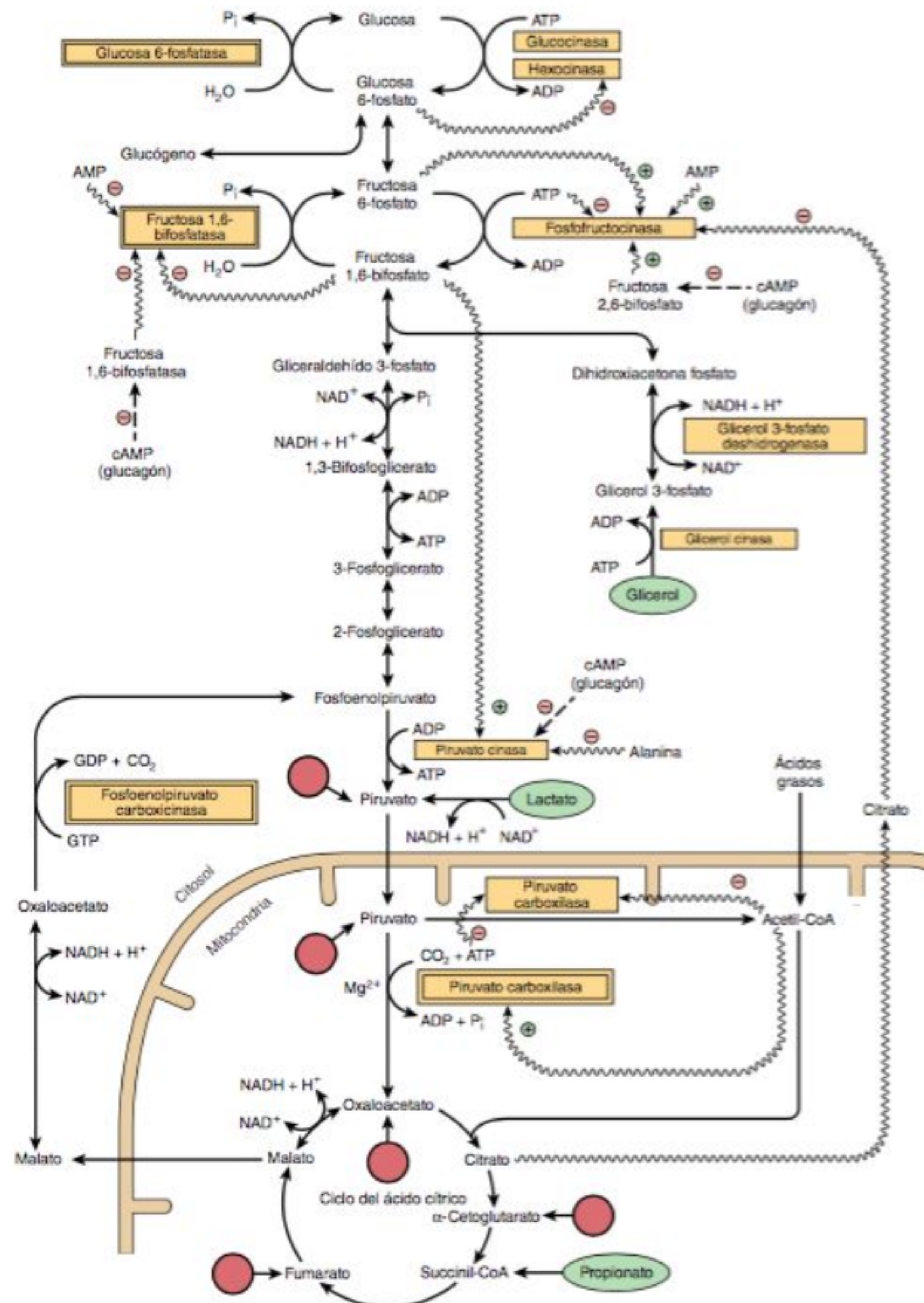
# Metabolismo propionato





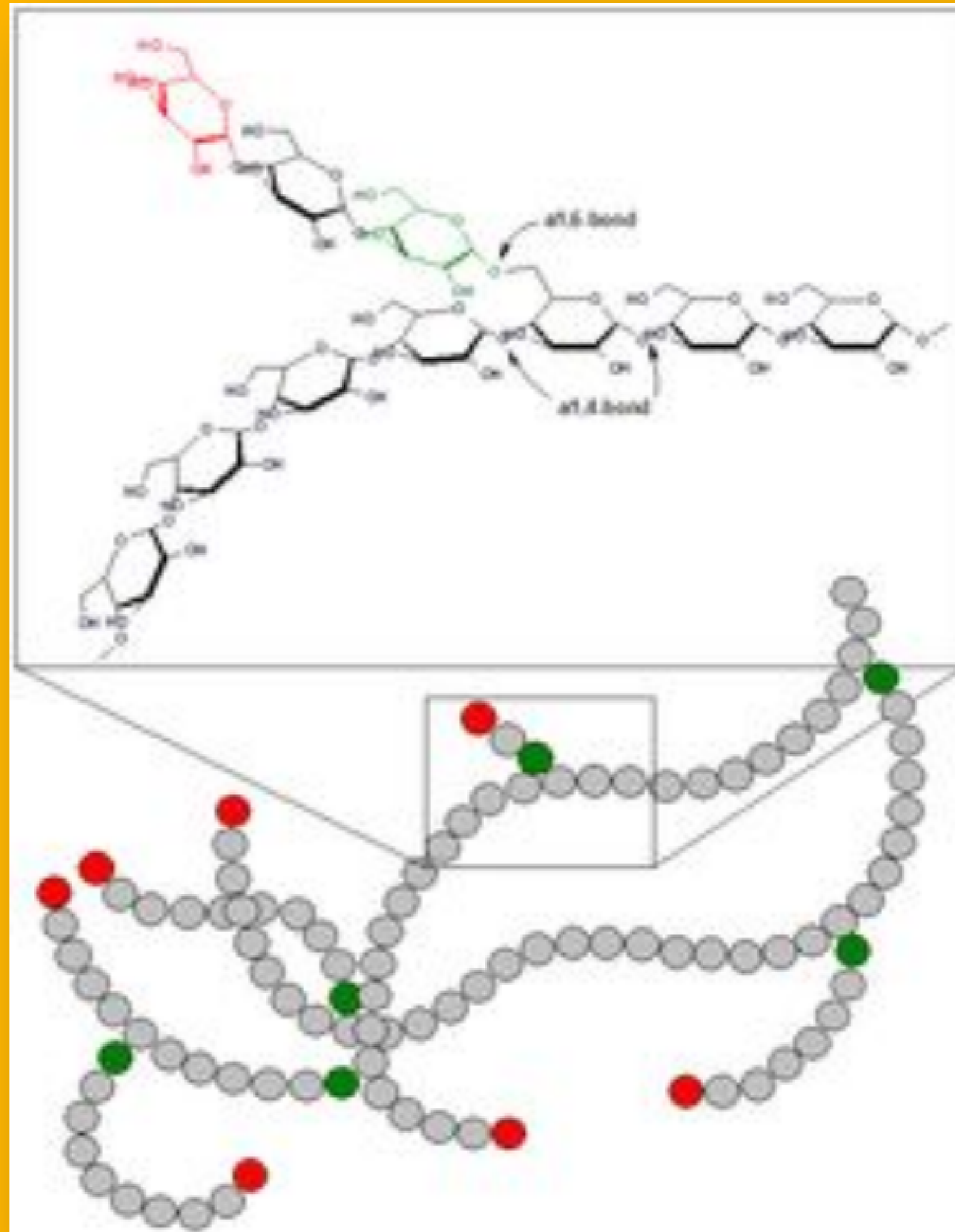
## Glicerol como sustrato

- El glicerol se libera a partir del tejido adiposo como resultado de lipólisis de lipoproteína triacilglicerol en el estado posprandial; puede usarse para reesterificación de ácidos grasos libres hacia triacilglicerol o el hígado, o puede ser un sustrato para la gluconeogénesis en el hígado.
- En el estado de ayuno el glicerol liberado a partir de la lipólisis del triacilglicerol del tejido adiposo se usa sólo como un sustrato para la gluconeogénesis en el hígado y los riñones.



**CUADRO 19-1** Enzimas reguladoras y adaptativas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos

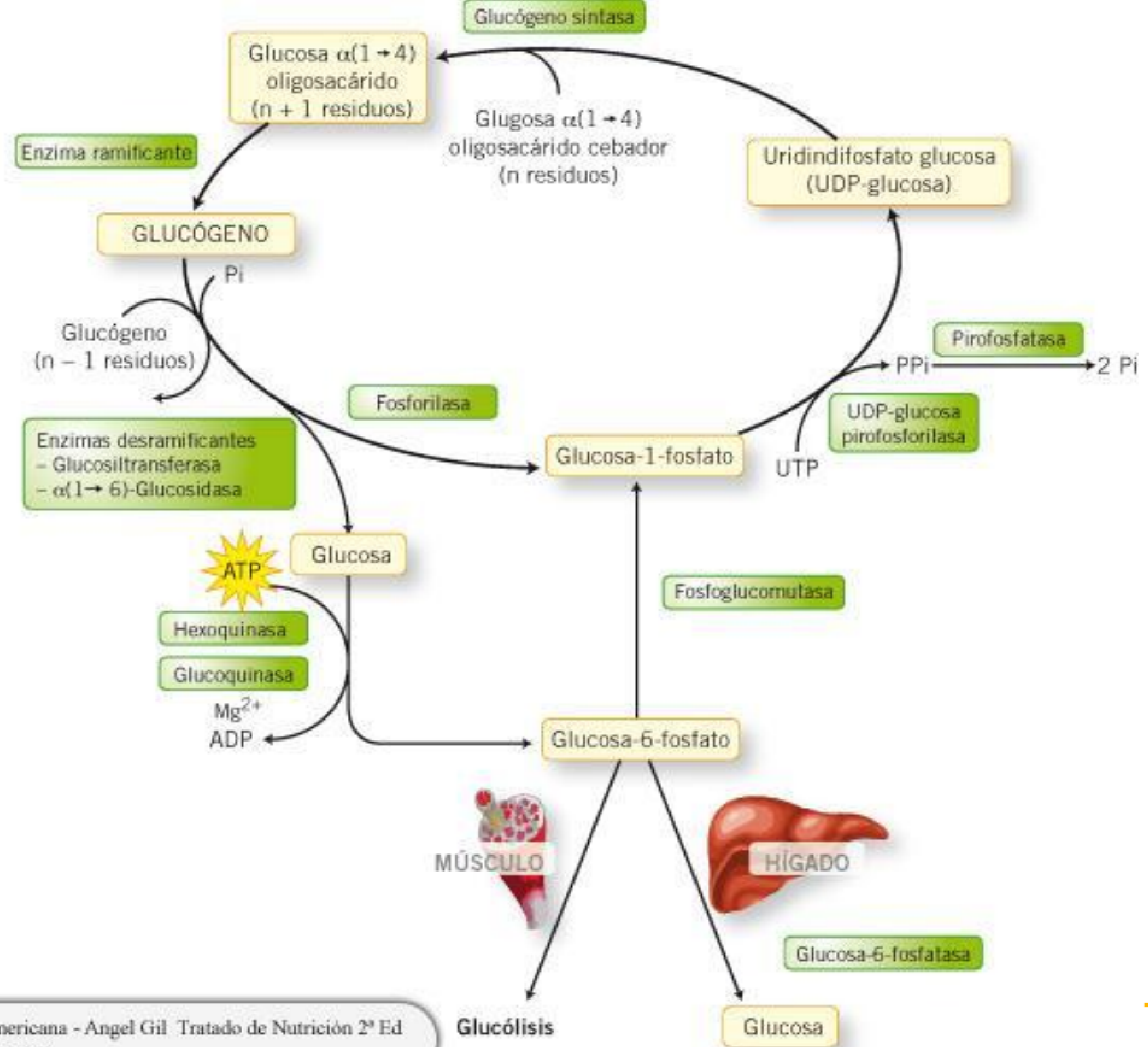
	Actividad en		Inductor	Represor	Activador	Inhibidor
	Alimentación de carbohidrato	Ayuno y diabetes				
<b>Gluconeogénesis</b>						
Piruvato carboxilasa	↓	↑	Glucocorticoides, glucagón, epinefrina	Insulina	Acetil CoA	ADP
Fosfoenolpiruvato carboxicinasasa	↓	↑	Glucocorticoides, glucagón, epinefrina	Insulina	¿Glucagón?	
Glucosa 6-fosfatasa	↓	↑	Glucocorticoides, glucagón, epinefrina	Insulina		



**SÍNTESIS DE GLUCÓGENO**

# **Glucogenogénesis**

<https://www.youtube.com/watch?v=fgkkY2yirlw>

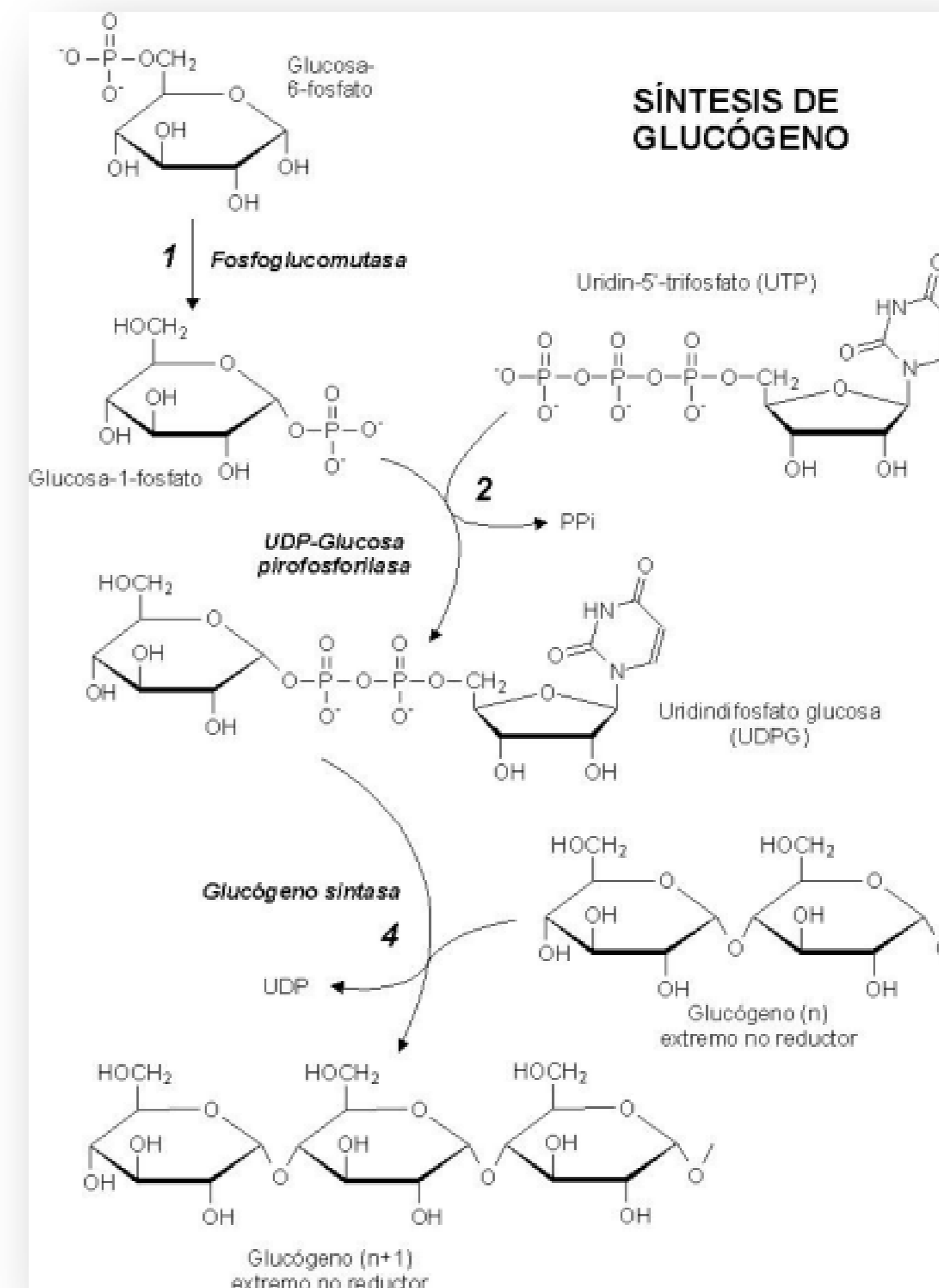


# Síntesis de glucógeno: glucogenogénesis

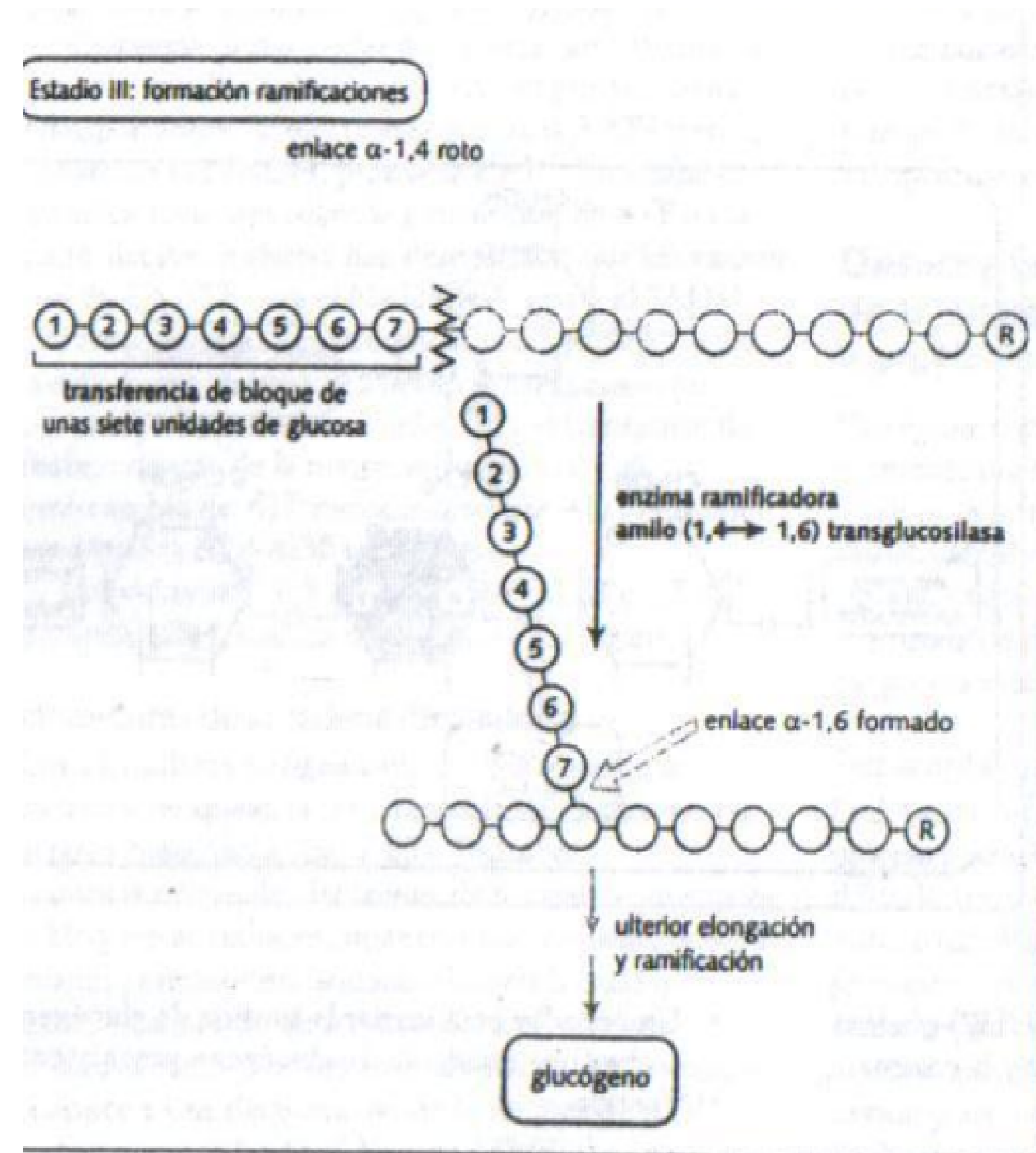
- Citoplasma

El proceso requiere

- 4 enzimas
  1. Fosfoglucomutasa
  2. Uridina difosfato (UDP)-glucosa pirofosforilasa
  3. Glucógeno sintasa
  4. La enzima ramificadora, amilo (1-4 $\rightarrow$ 1,6)



- Fase 4. Formación de ramas:
- La enzima ramificadora forma los enlaces que hacen las ramificaciones (enlaces 1-6)

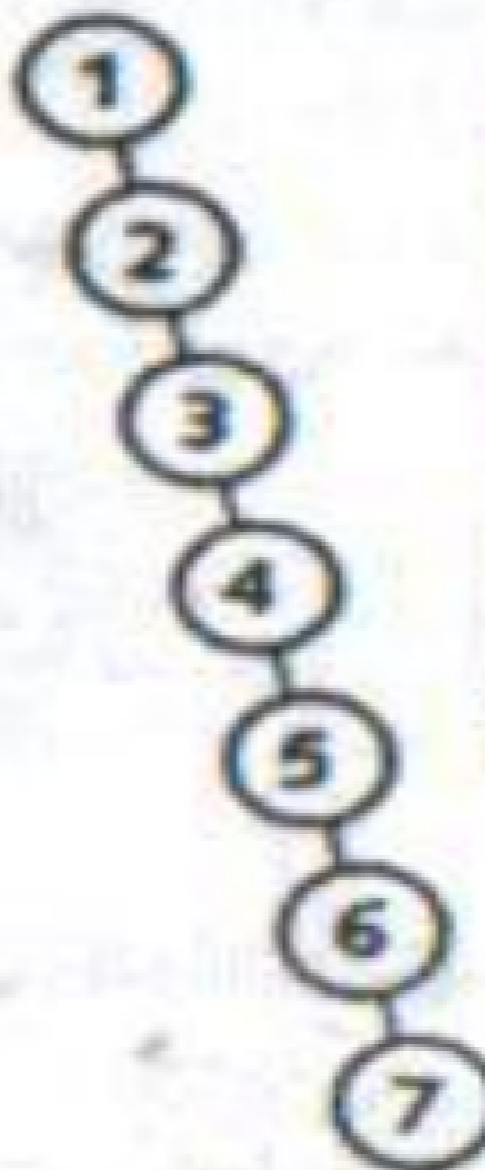


**Estadio III: formación ramificaciones**

enlace  $\alpha$ -1,4 roto



transferencia de bloque de unas siete unidades de glucosa



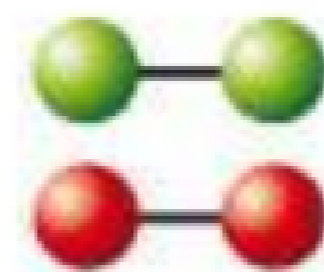
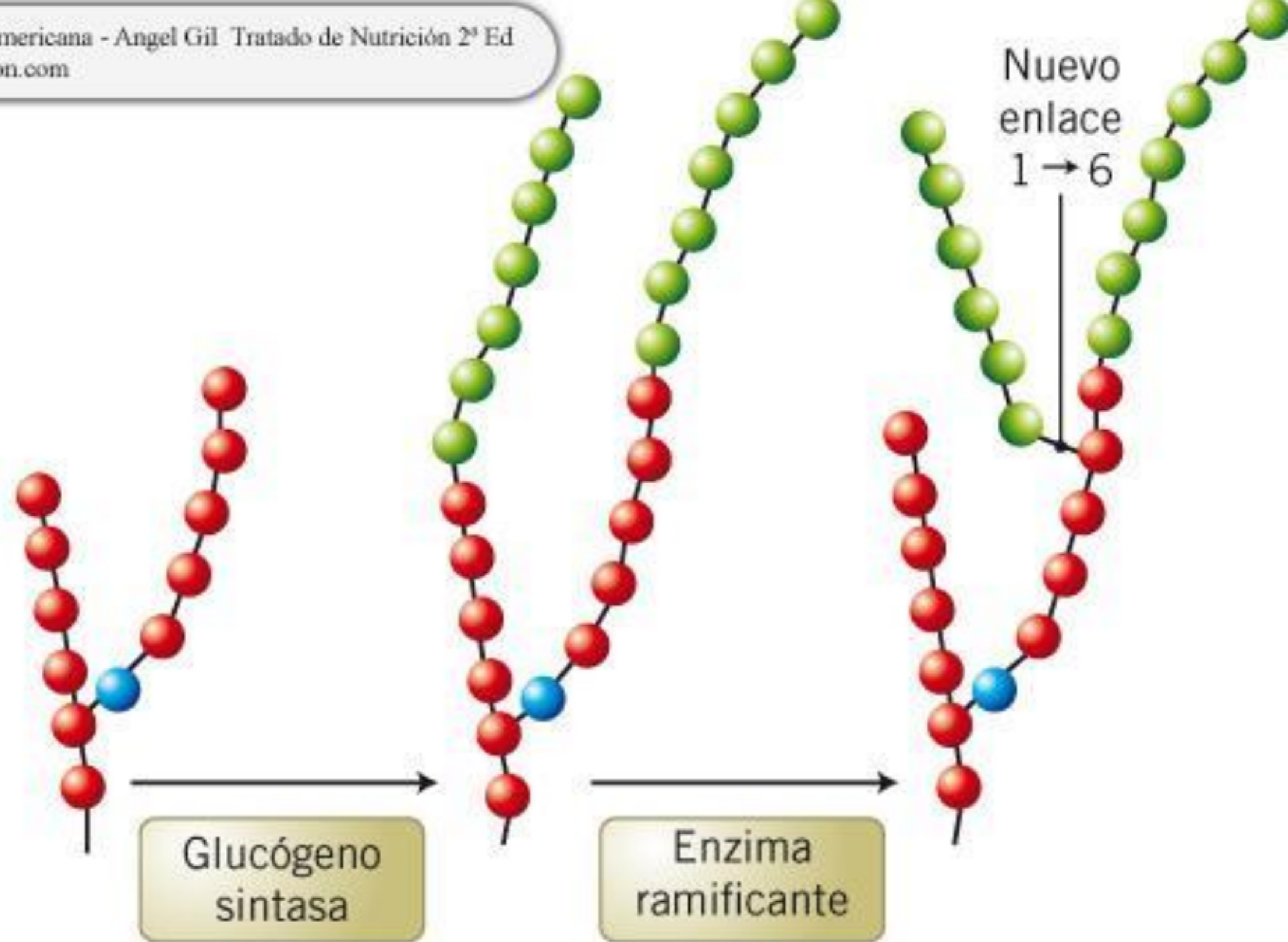
enzima ramificadora amilo (1,4  $\rightarrow$  1,6) transglucosilasa

enlace  $\alpha$ -1,6 formado

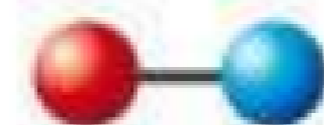


ulterior elongación y ramificación

glucógeno



Residuos de glucosa unidos por enlaces glucosídicos 1 → 4

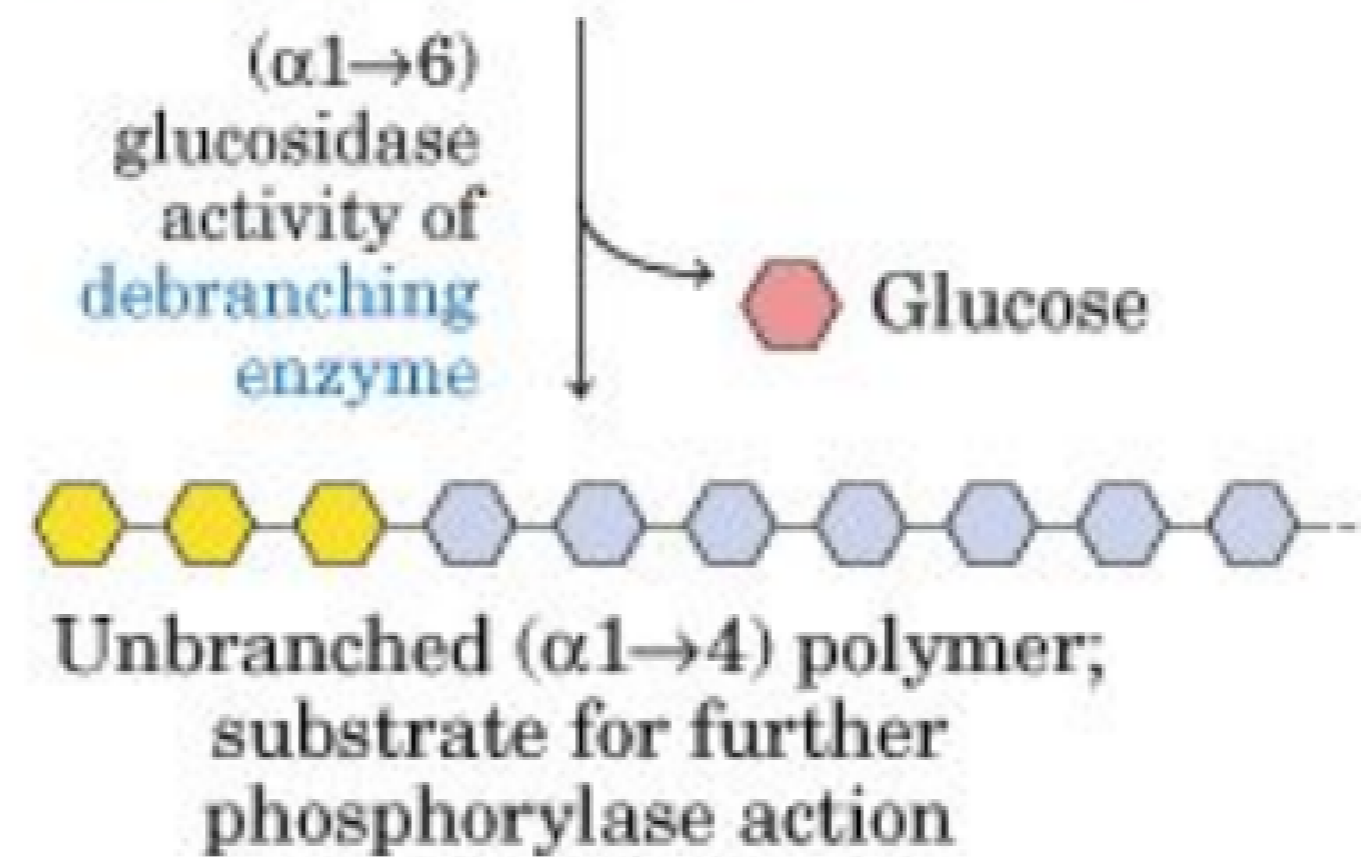
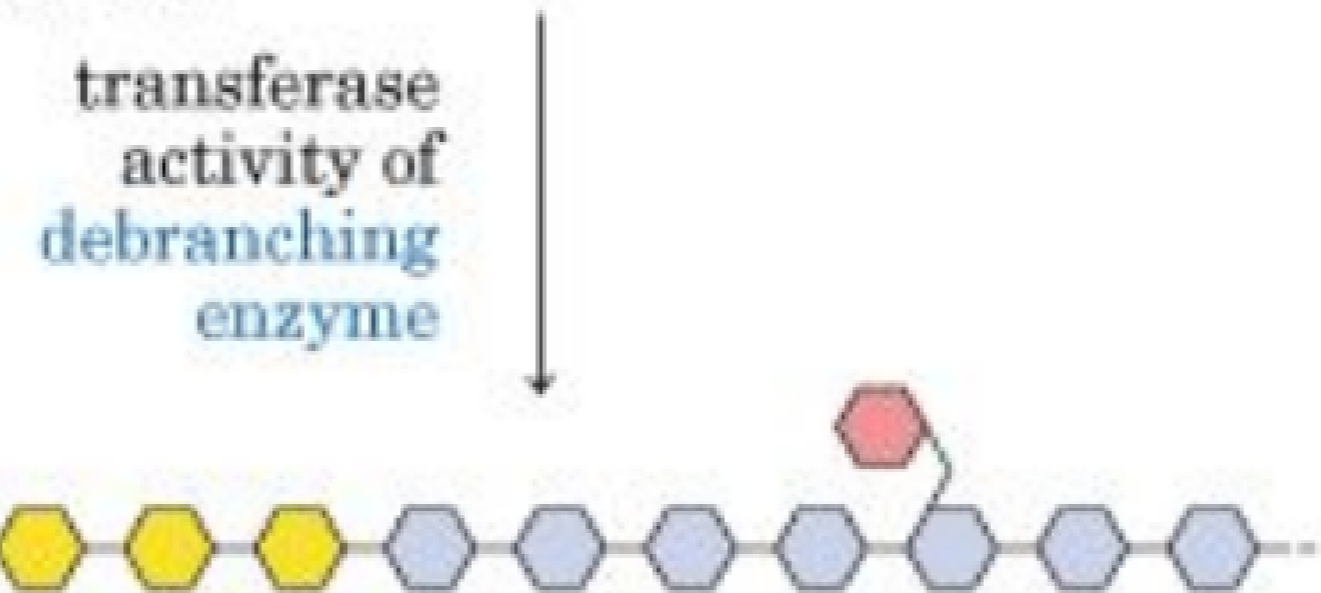
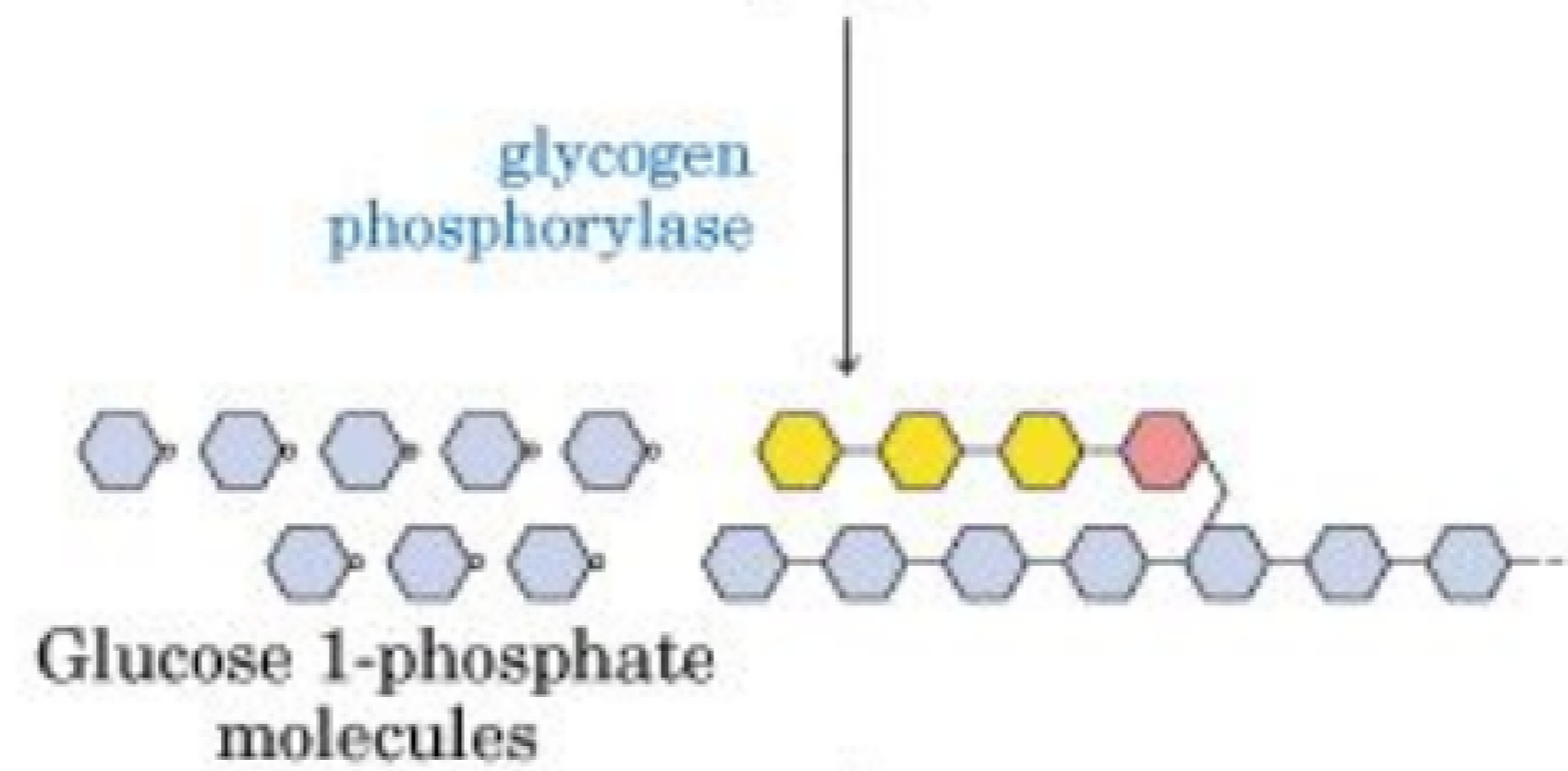
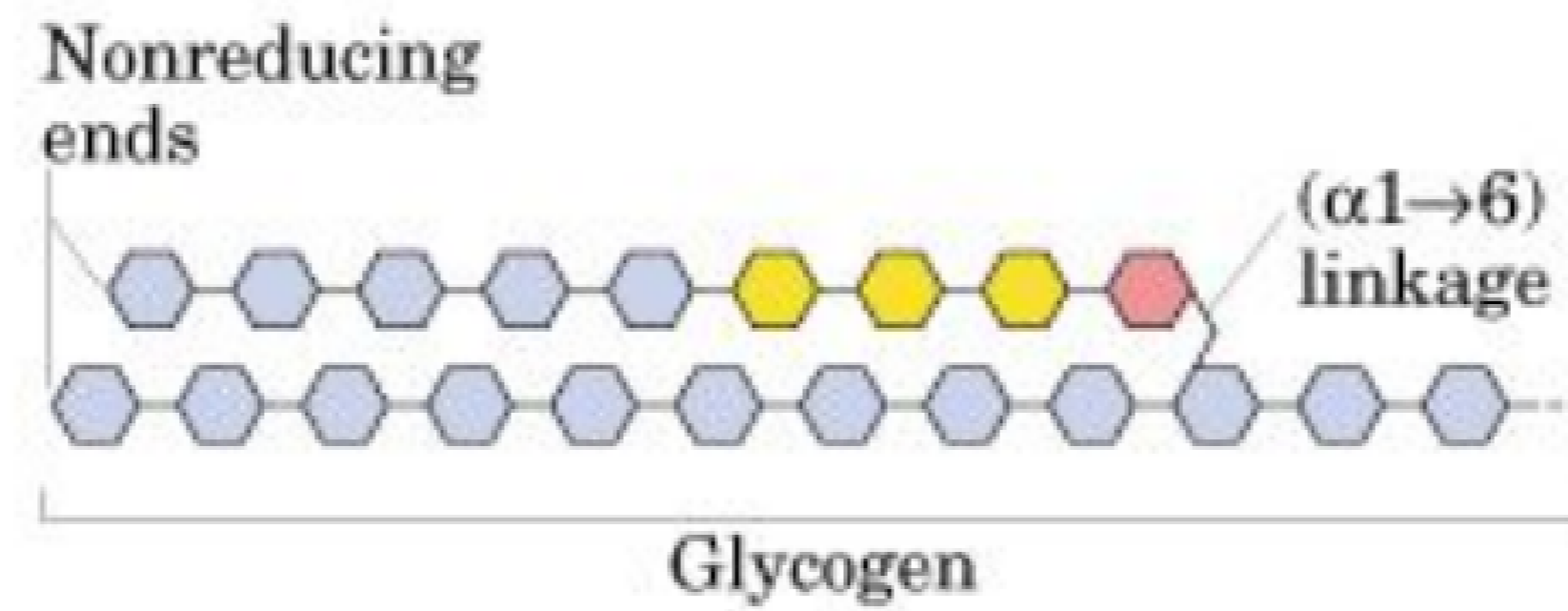


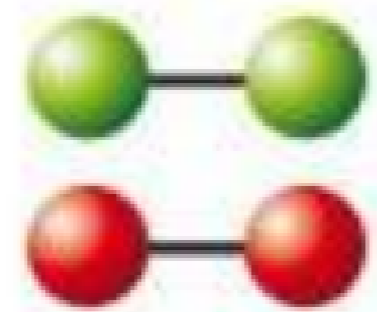
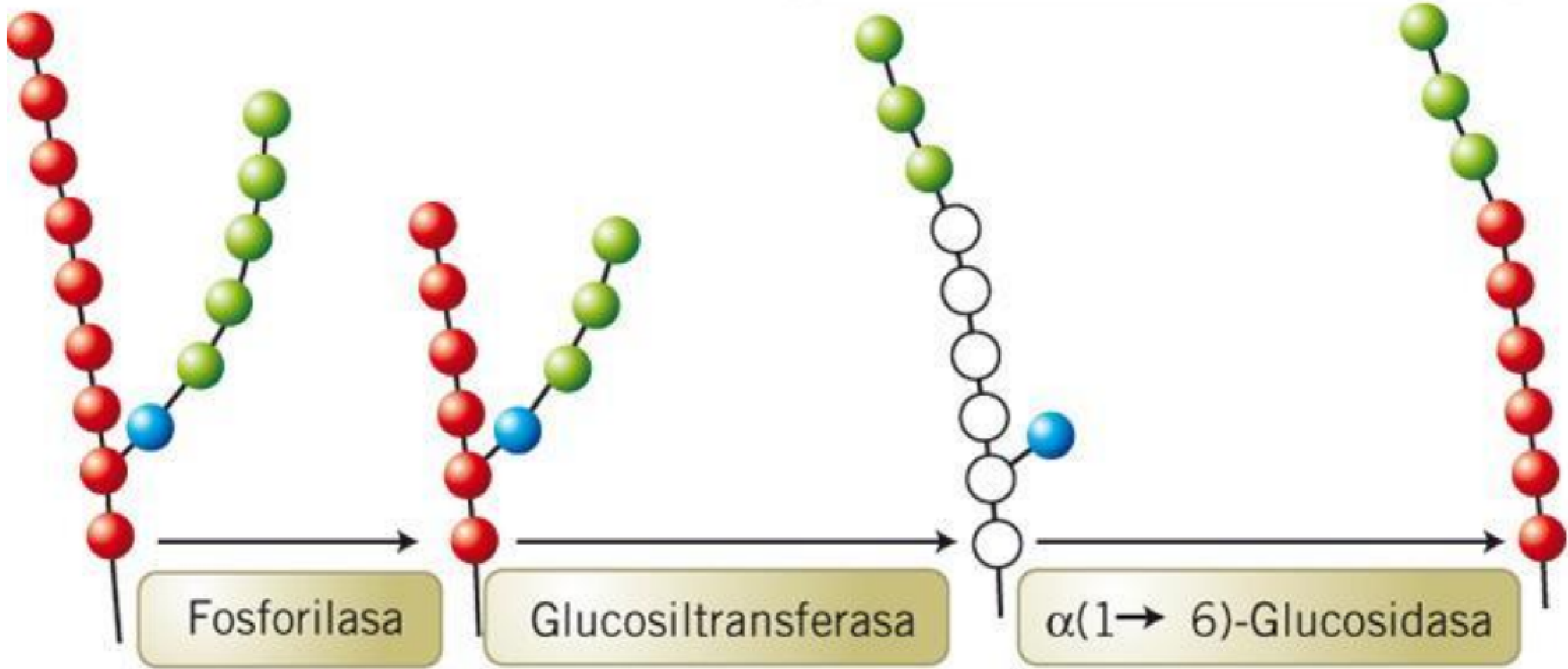
Residuos de glucosa unidos por enlaces glucosídicos 1 → 6

“

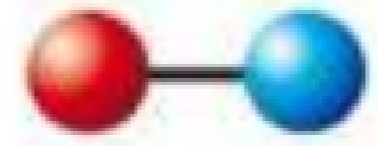
DEGRADACIÓN DEL GLUCÓGENO

**Glucogenólisis**

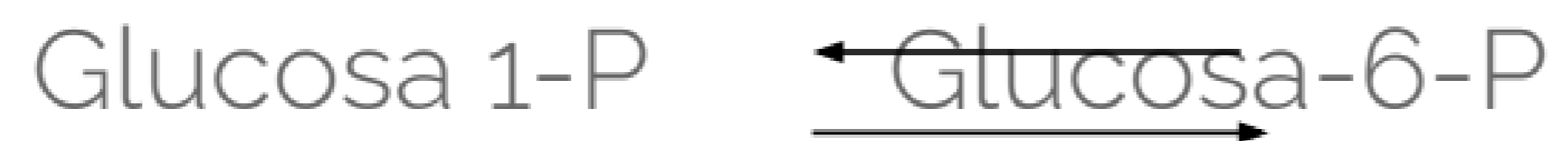




Residuos de glucosa unidos por enlaces glucosídicos  $1 \rightarrow 4$



Residuos de glucosa unidos por enlaces glucosídicos  $1 \rightarrow 6$



**Fosfoglucomutasa**



**Glucólisis**

## Regulación del metabolismo del glucógeno

Se almacena en momentos de plenitud.

Se utiliza en tiempos de necesidad p.e. ayuno, lucha, huida.

Regulación de glucógeno		
Enzima	Activador	Inhibidor
Glucógeno sintasa (glucogenogénesis)	Insulina Glucosa (hígado)	Glucagón Adrenalina Fosforilación
Glucógeno fosforilasa (glucogenólisis)	Glucagón Adrenalina Fosforilación Iones Ca <sup>+</sup> (músculo) AMP músculo)	Insulina Glucosa (hígado)

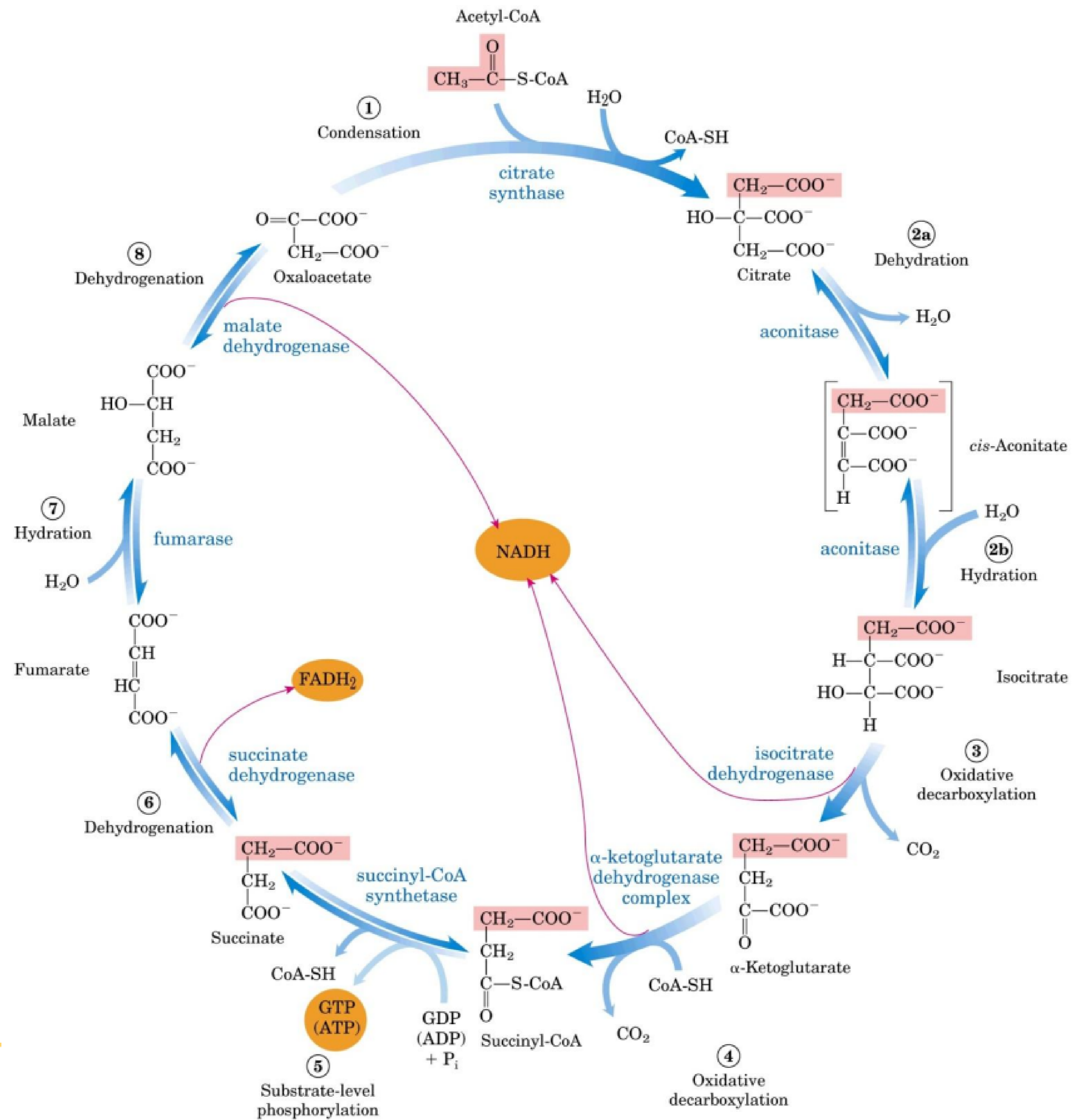
Fuente: Horton D y Dominiczak M. Lo esencial en metabolismo y nutrición. 4° ed. Elsevier, 2013

# Ciclo krebs

- Constituye una vía eficiente de aprovechamiento de E proveniente de los nutrimentos de la dieta.
- Ciclo anfibólico (anabólico y catabólico).
- Serie de 8 reacciones que oxidan 1 molécula acetil CoA, dando 2 moléculas de CO<sub>2</sub>, generando E en forma ATP o equivalentes reductores (NADH o FADH<sub>2</sub>)
- Localización: Todas las células mitocondria

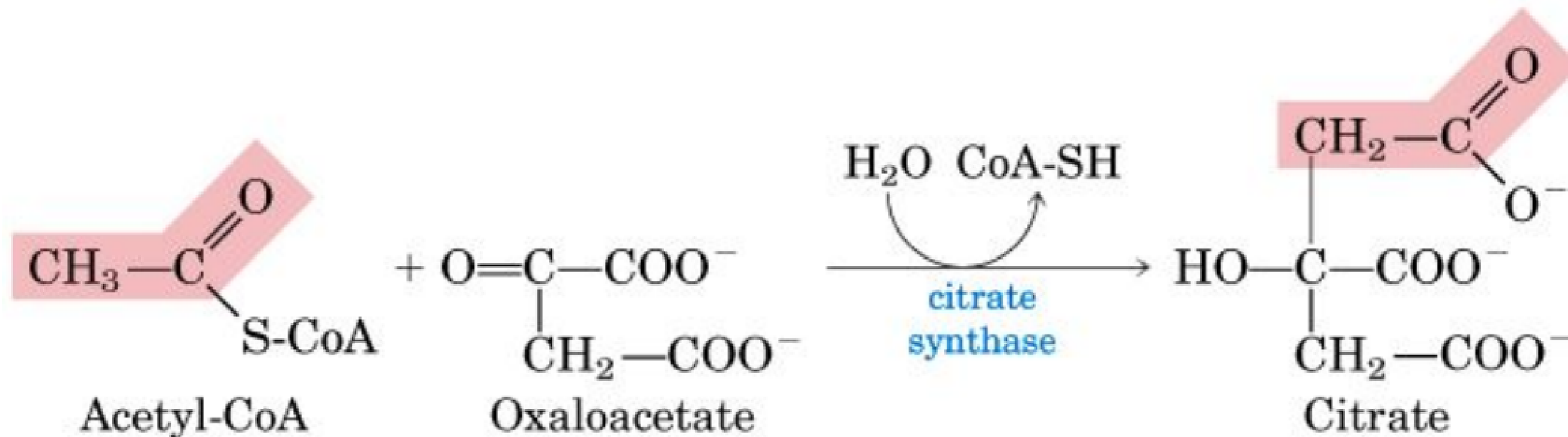
## La producción de ATP por cada molécula de acetil CoA oxidada (cada vuelta)

- 1 ATP directamente por fosforilación oxidativa
- 9 ATP indirectamente mediante la fosforilación oxidativa de 3 NADH ( $3 \times 2.5 \text{ ATP} = 7.5$ ) y un FADH<sub>2</sub> ( $1 \times 1.5 \text{ ATP}$ ) por la cadena transportadora de electrones. = 9 ATP
- = 10 ATP



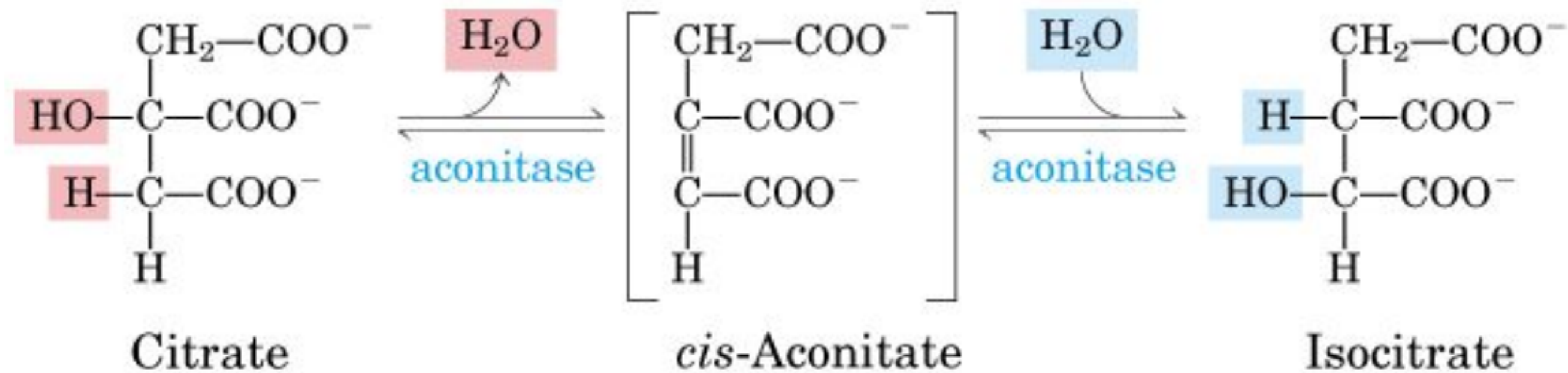
# 1.-Formación de citrato

Condensación de acetilCoA con oxaloacetato para dar citrato



$$\Delta G'^{\circ} = -32.2 \text{ kJ/mol}$$

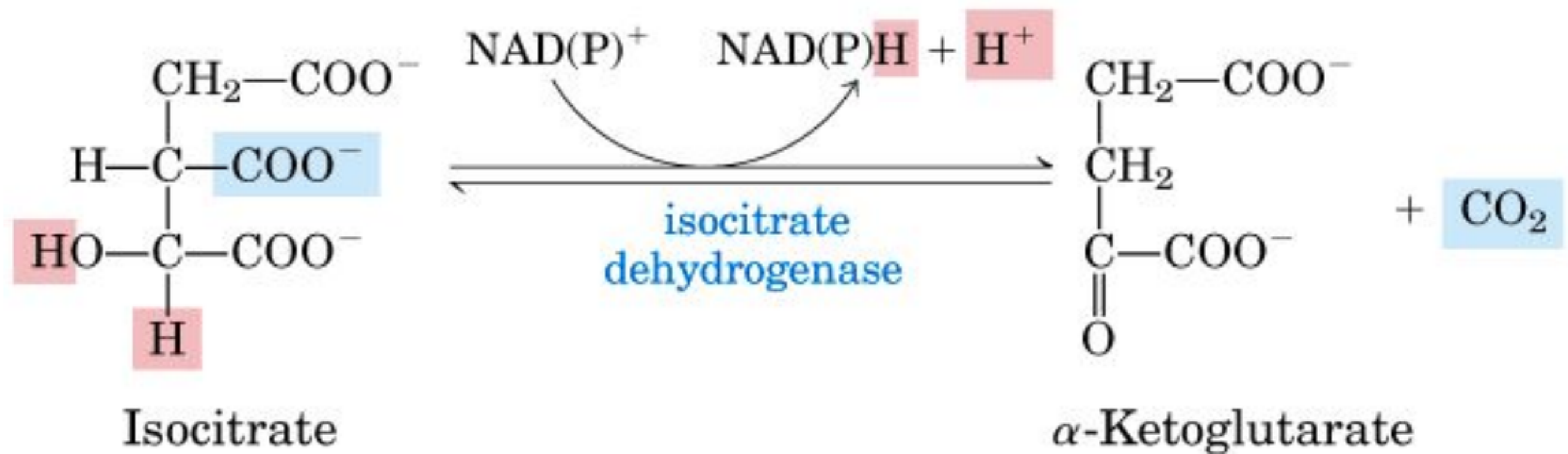
# 2.-Formación del Isocitrato



$$\Delta G'^{\circ} = 13.3 \text{ kJ/mol}$$

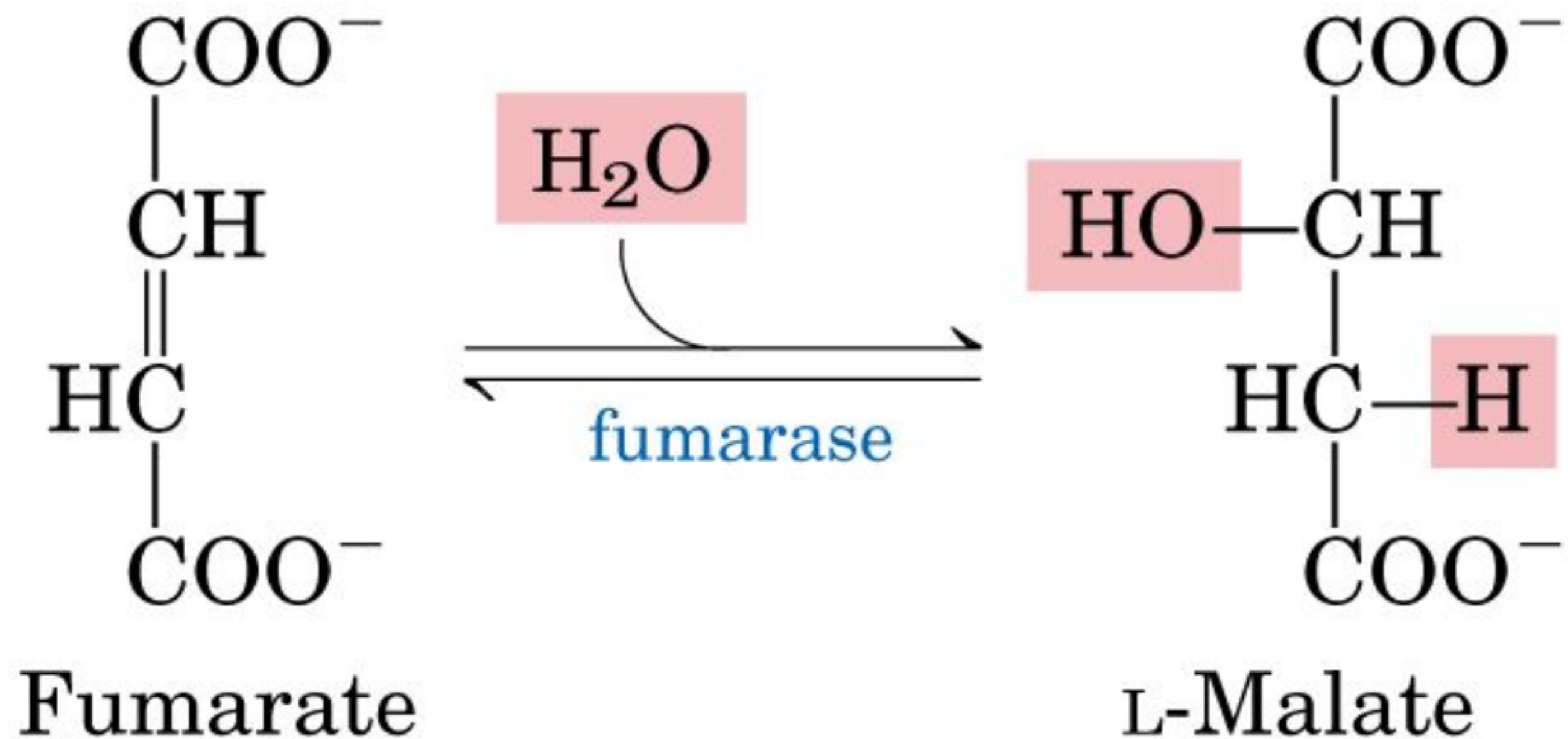
### 3.-Formación del $\alpha$ -cetoglutarato + NADH

Isocitrato se oxida para formar NADH y CO<sub>2</sub>



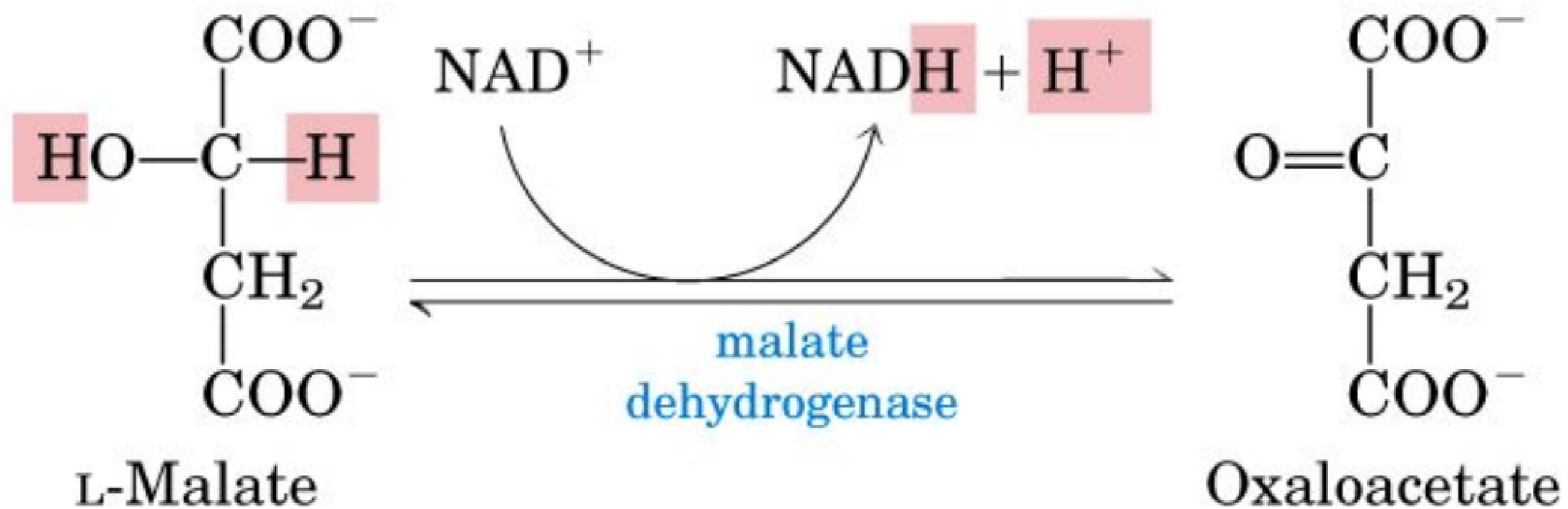
$$\Delta G'^{\circ} = -20.9 \text{ kJ/mol}$$

## 7.-Hidratación de fumarato para la Formación de Malato

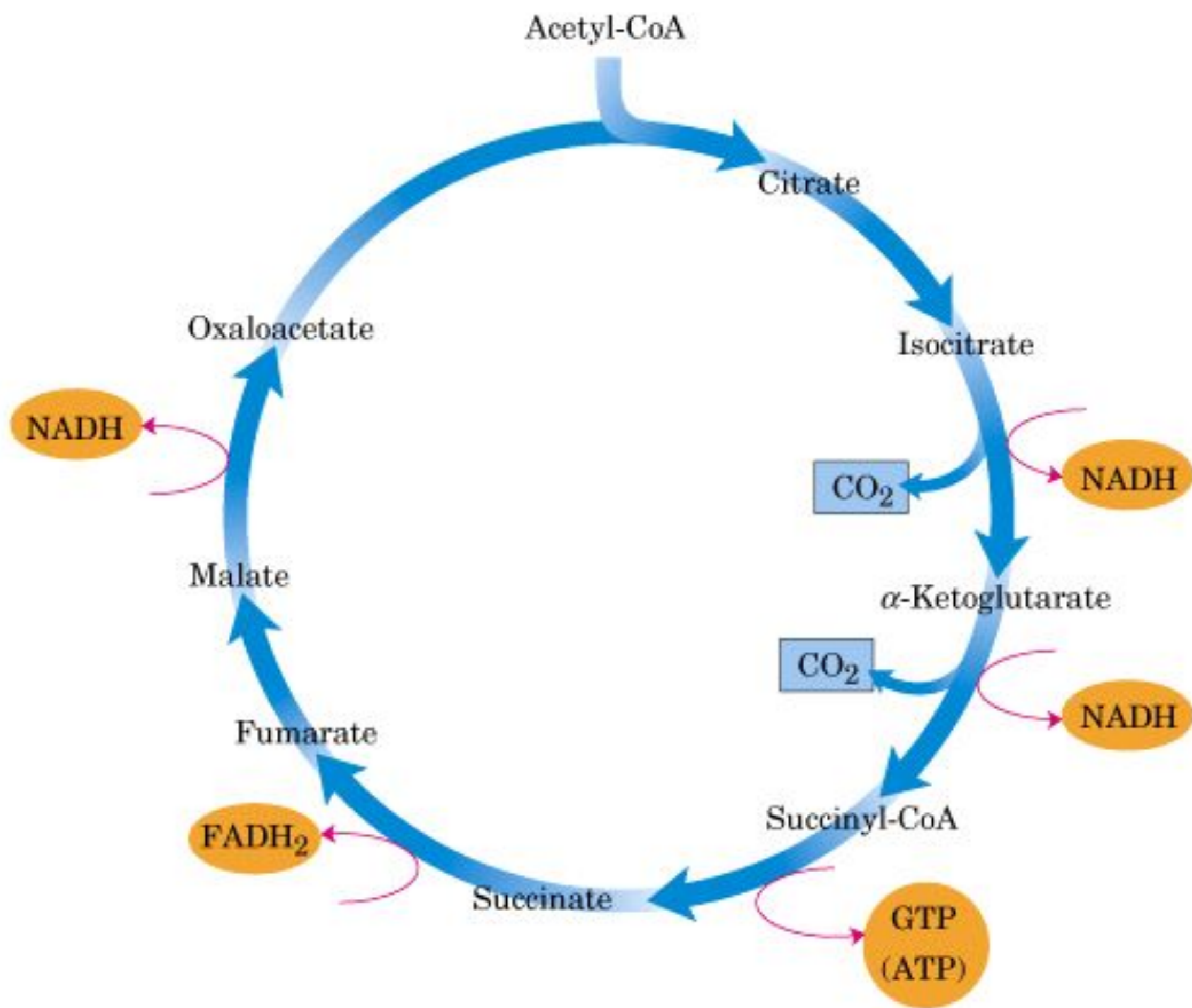


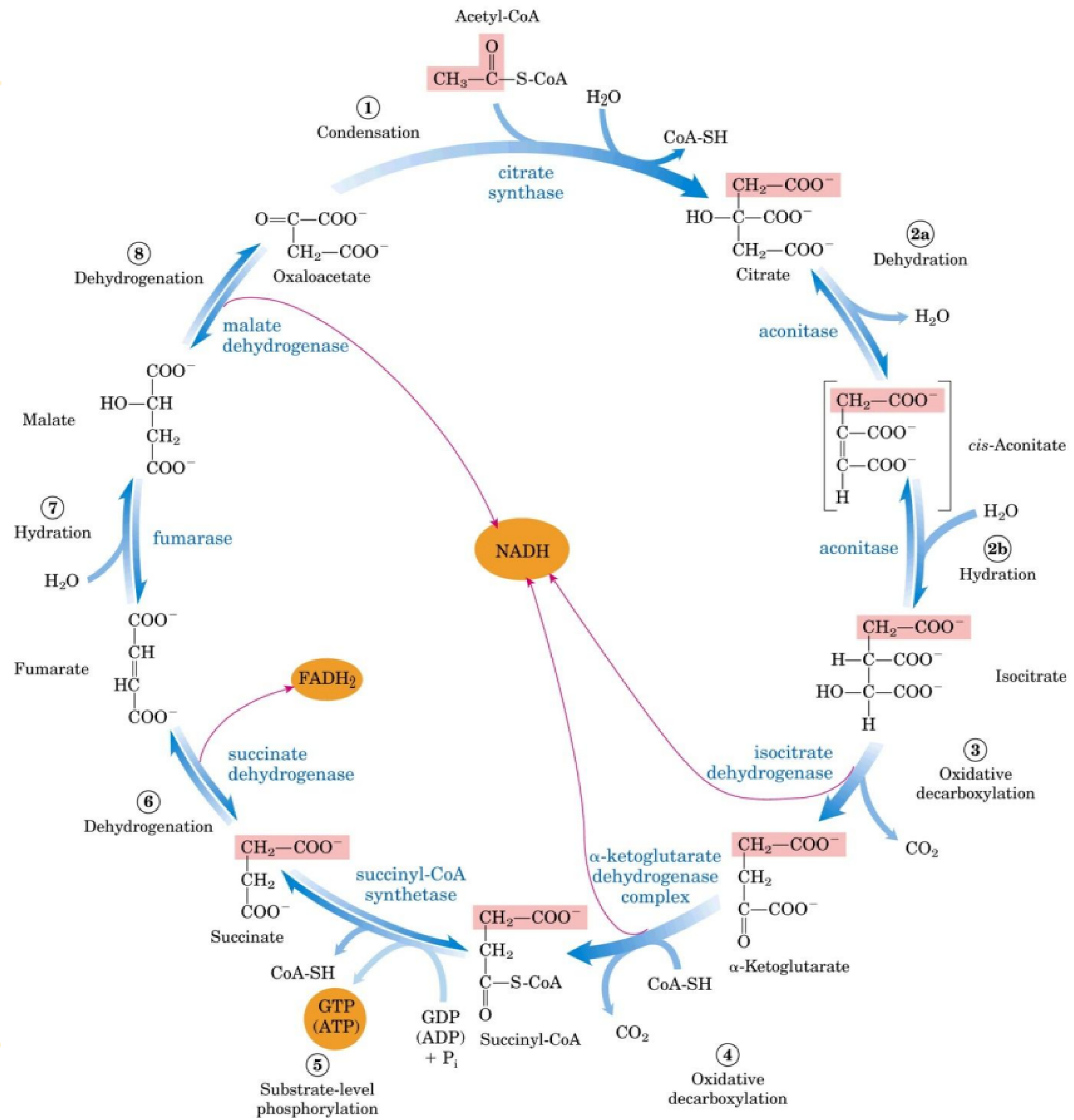
$$\Delta G'^{\circ} = -3.8 \text{ kJ/mol}$$

## 8.-Oxidación de malato para la Reconstrucción del oxalacetato.



$$\Delta G'^{\circ} = 29.7 \text{ kJ/mol}$$





# Ciclo del ácido cítrico anfibólico

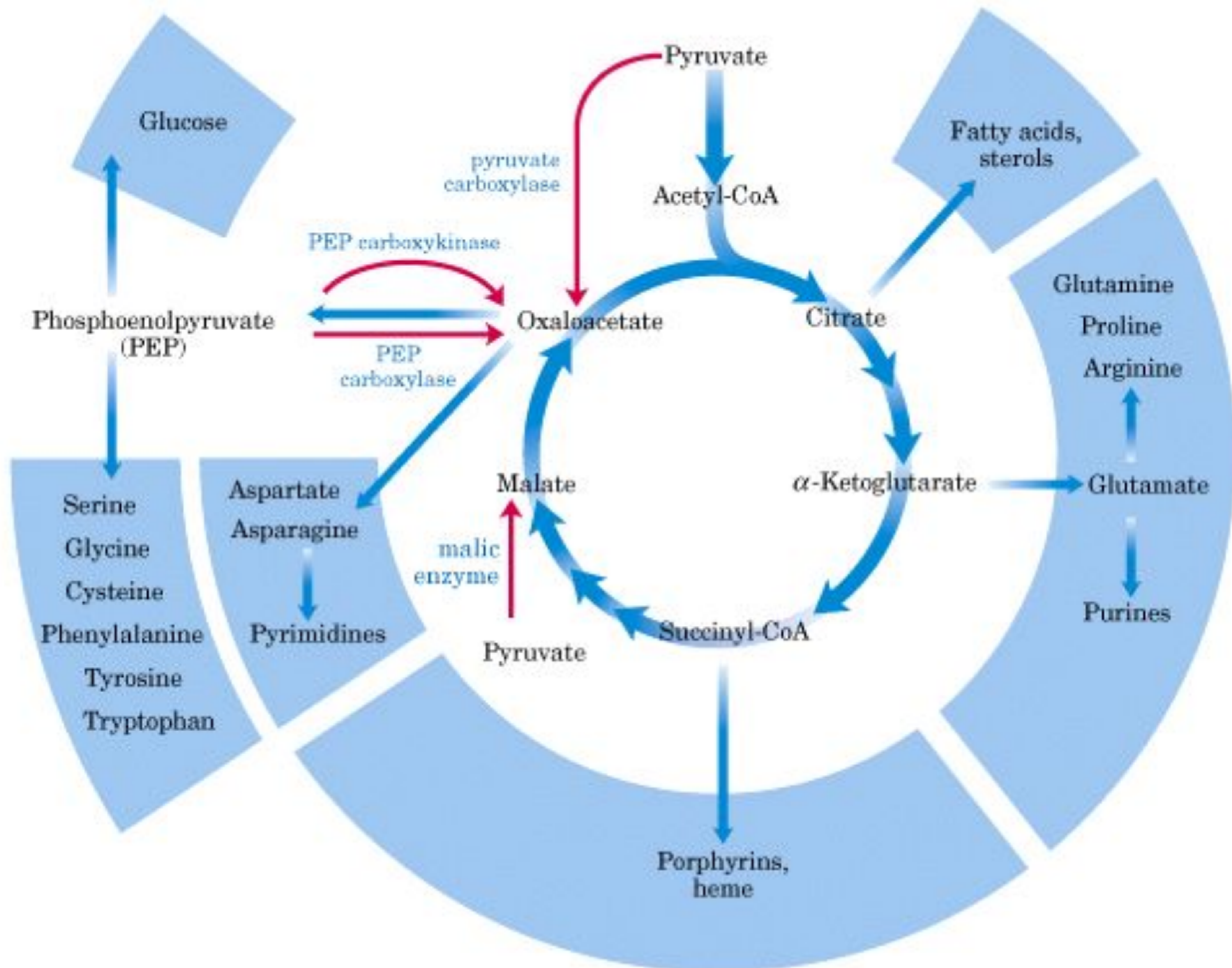
- Vías anfibólicas = procesos anabólicos o catabólicos

## Catabólicos

- Grupos acetilo se oxidan para dar CO<sub>2</sub>

## Anabólico

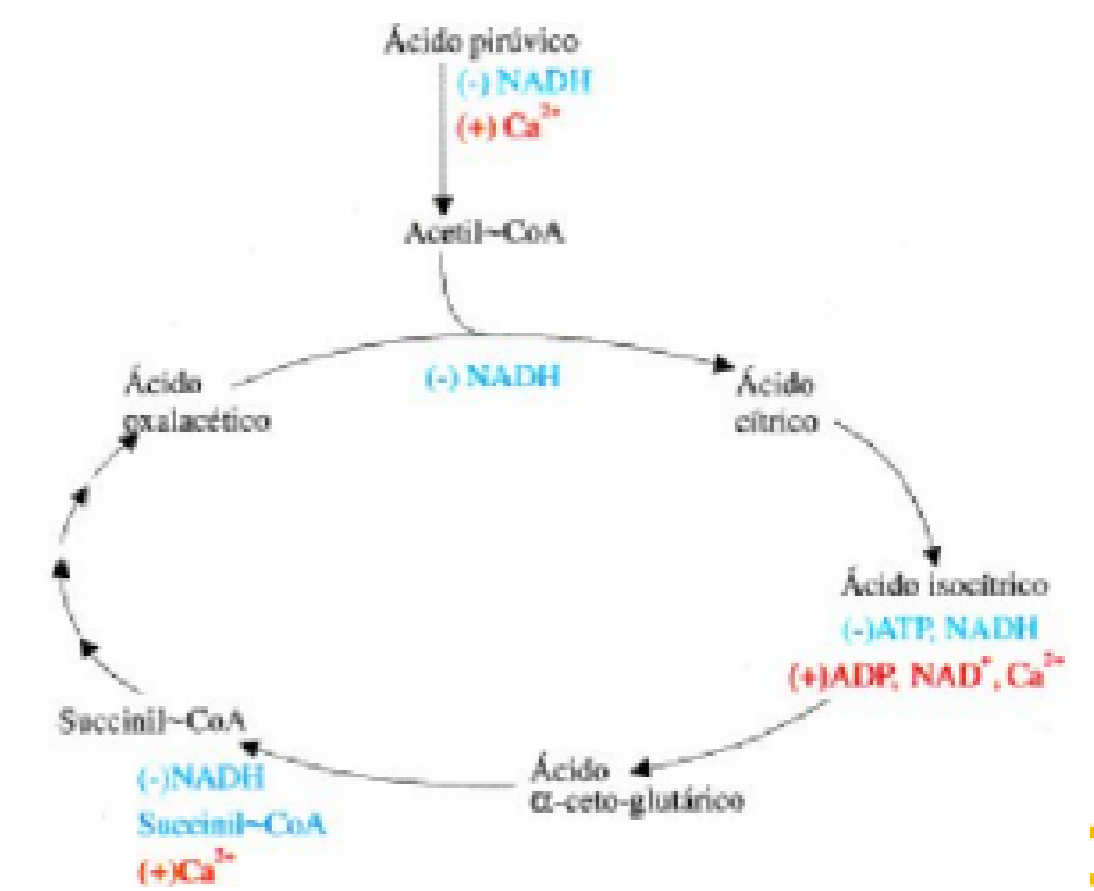
- Oxaloacetato se utiliza en gluconeogenesis y en síntesis aa
  - lisina treonina isoleucina y metionina
- $\alpha$  cetoglutarato □ glutamina, glutamato prolina y arginina
- Síntesis de porfirinas como el hem
- Síntesis de ácidos grasos y colesterol

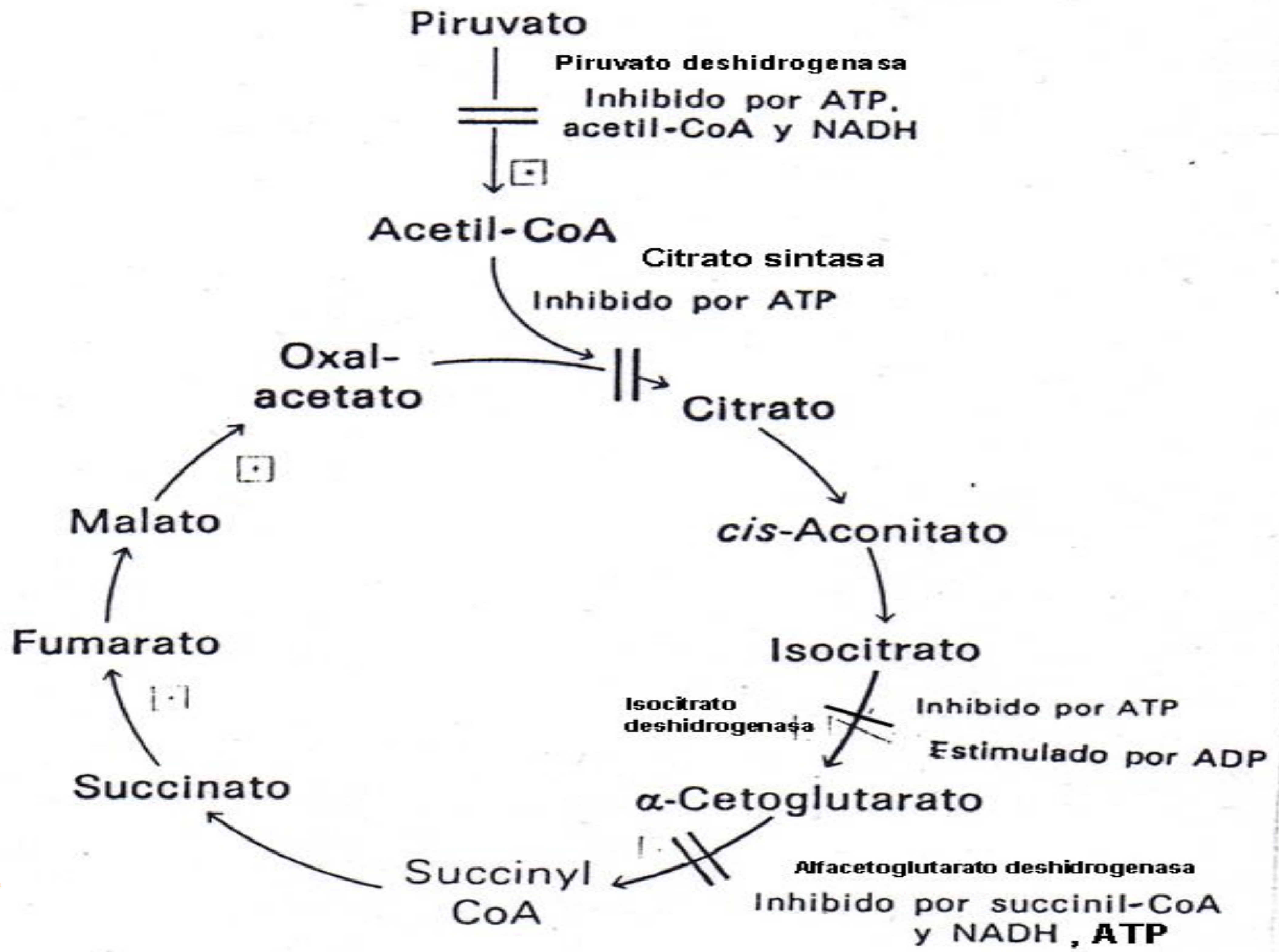


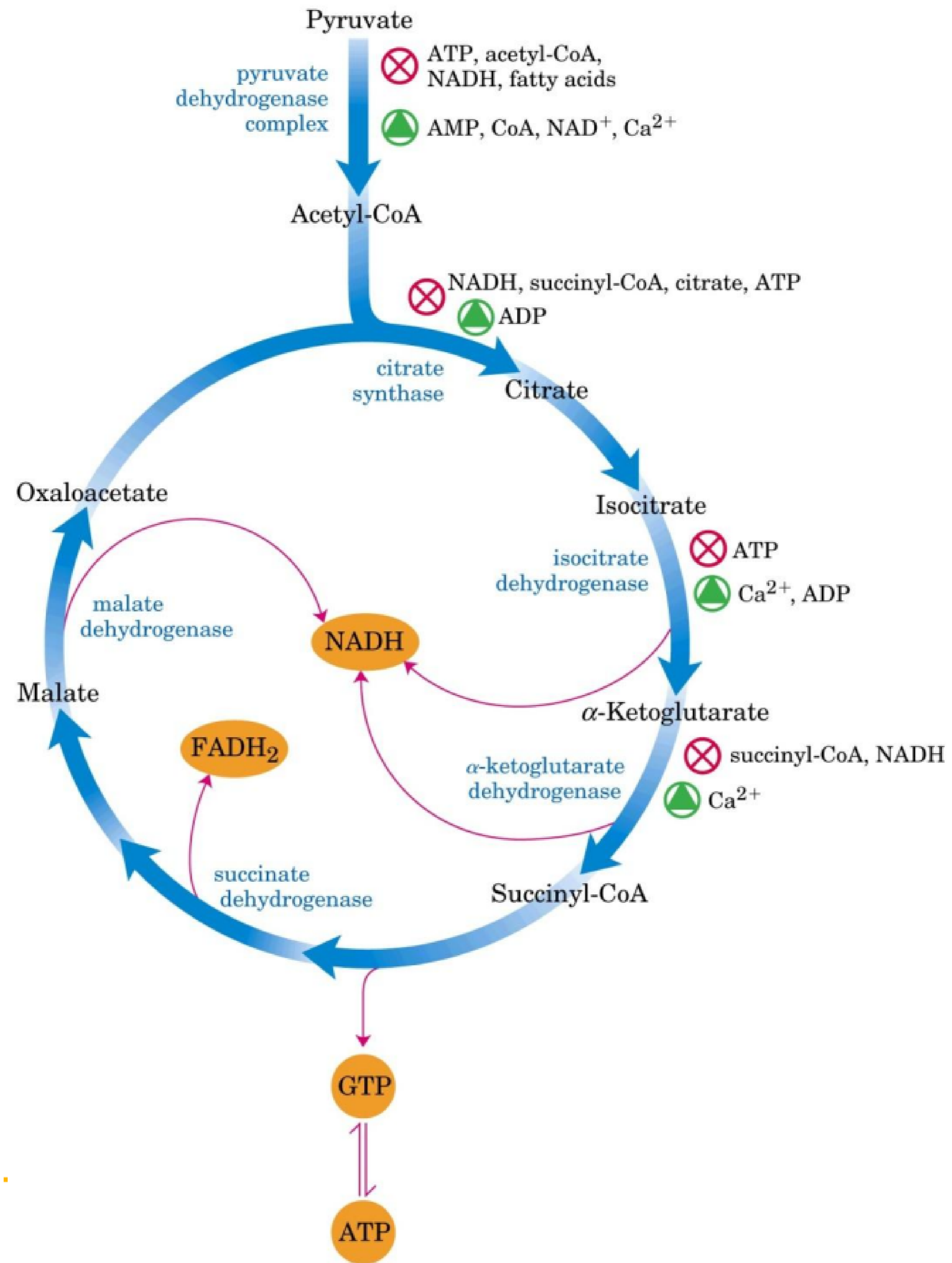
## Regulación a nivel del ciclo: regulación alostérica de las actividades enzimáticas

3 enzimas clave catalizan reacciones irreversibles

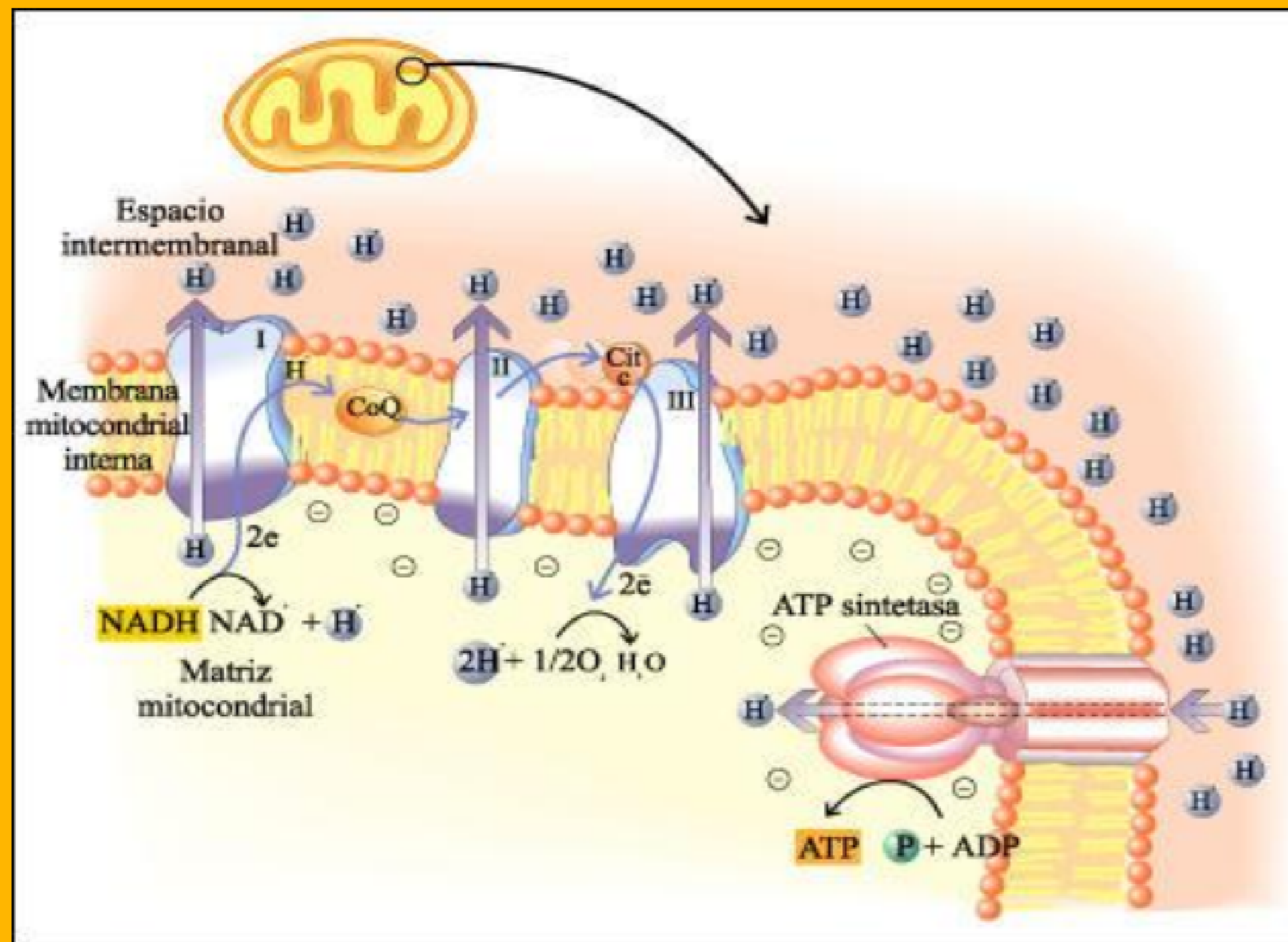
- CITRATO SINTASA
- ISOCITRATO DESHIDROGENASA
- $\alpha$  CETOGLUTARATO DESHIDROGENASA
- Todas se activan con  $\text{Ca}^{2+}$
- Contracción muscular  $\uparrow \text{Ca}^{2+} = \uparrow \text{ACT}$  y ATP
- $\uparrow \text{ATP}$  y  $\text{NADH} = \uparrow$  estado energético =  $<$  necesidad de E= inhibe ACT



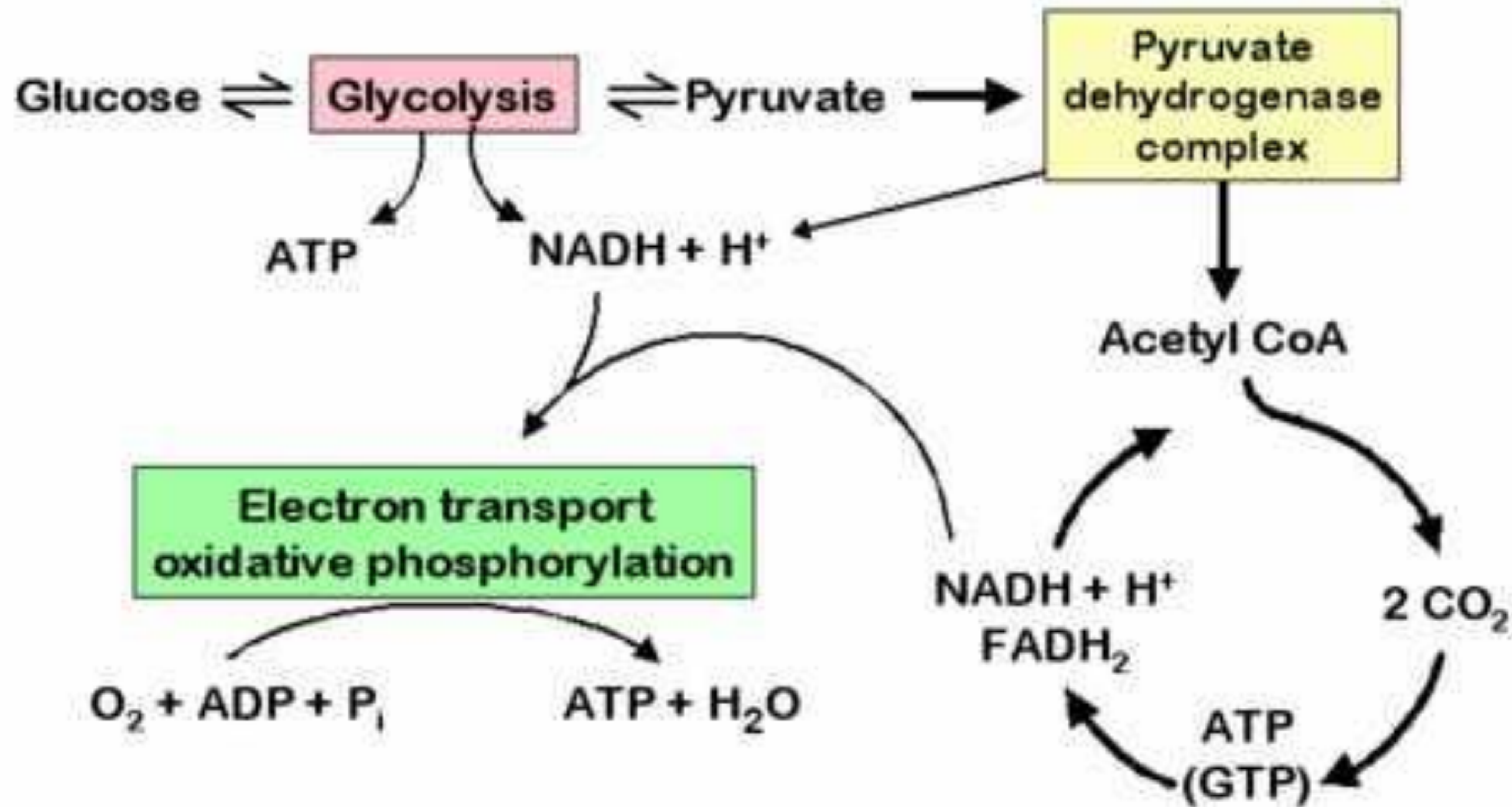




# CADENA TRANSPORTADORA DE ELECTRONES Y FOSFORILACIÓN OXIDATIVA

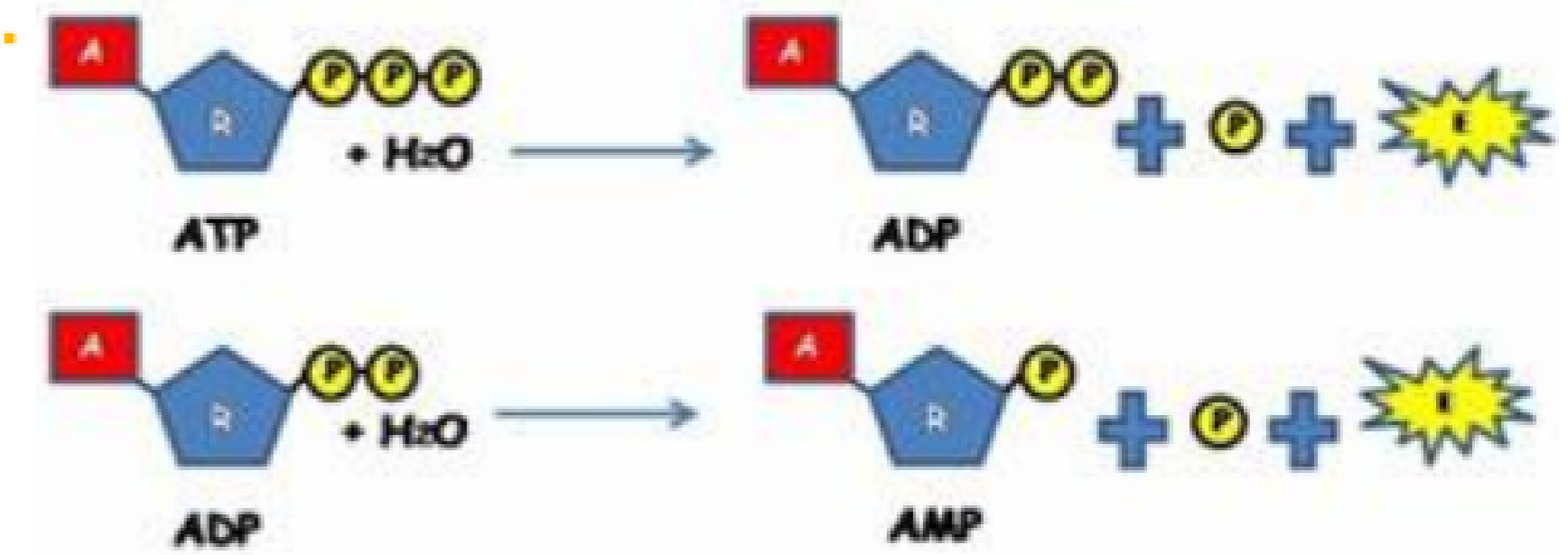


# Aerobic oxidation



# ATP

- Contiene enlaces fosfoanhídridos
- Cuando el ATP se hidroliza a ADP uno de estos enlaces se rompe, liberando una gran cantidad de energía.
- $\text{ATP} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{ADP} + \text{P}_i$
- La E liberada impulsa reacciones metabólicas





# Síntesis de ATP

El ATP se sintetiza a partir de ADP por 2 procesos

1. Fosforilación a nivel de sustrato
2. Fosforilación oxidativa

# FOSFORILACIÓN A NIVEL DE

## SUSTRATO

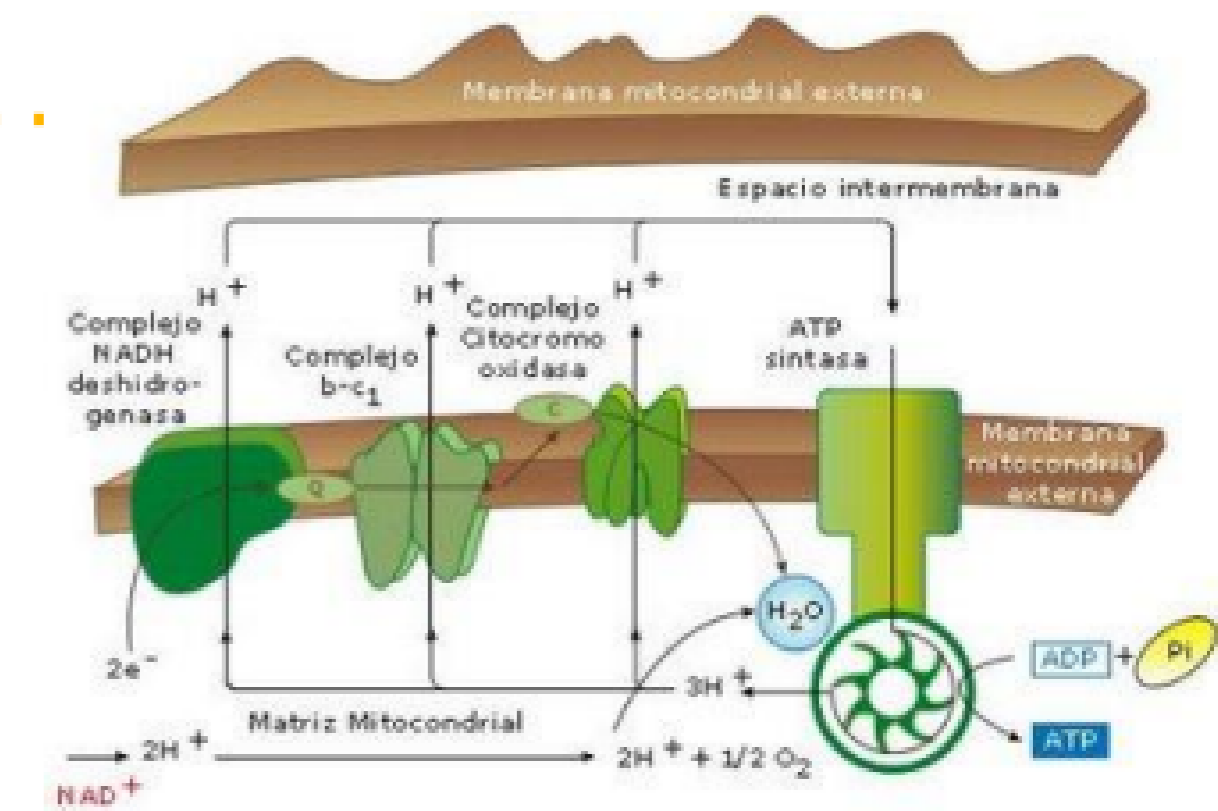
- Formación de ATP mediante la fosforilación directa del ADP
- No requiere O<sub>2</sub>
- $ADP + P_i = \square \quad ATP$



### Ejemplos de fosforilación a nivel de sustrato

Ejemplo	Reacción	Enzimas
Glucólisis	$1,3 \text{ DPG} + ADP \rightarrow 3\text{-PG} + ATP$ $PEP + ADP \rightarrow \text{Piruvato} + ATP$	Fosfoglicerato cinasa Piruvatocinasa
Ciclo ACT	$\text{Succinil CoA} + GDP \rightarrow \text{Succinato} + GTP$	Succinil CoA sintetasa

# FOSFORILACIÓN OXIDATIVA



- La mayor parte del ATP se forma a través de esta vía.
- Si Oxígeno
- Proceso en el que se forma ATP al transferirse electrones del NADH y  $FADH_2$ , al oxígeno molecular a través de una serie de transportadores de electrones que conforman la *cadena transportadora de electrones*.

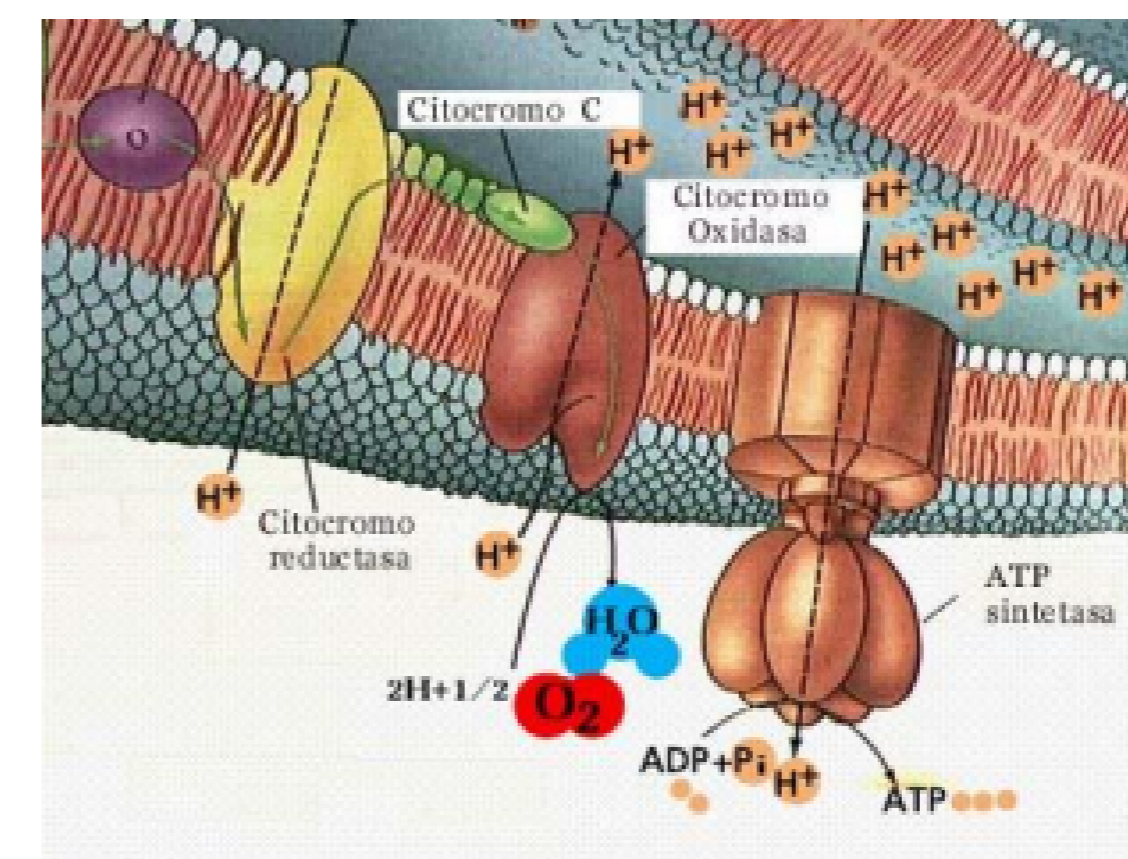
- La Energía de oxidación se utiliza para el transporte de protones creando gradiente de protones
- El ATP sintasa utiliza la energía del gradiente de protones para producir ATP

## Origen de los productos intermedios reducidos NADH y FADH<sub>2</sub>

- NADH □ Citosol por glucólisis  
Mitocondria por ciclo ATC
- FADH<sub>2</sub> □ Mitocondrias por ATC
- Los 2 donaran sus electrones a la cadena transportadora de electrones.

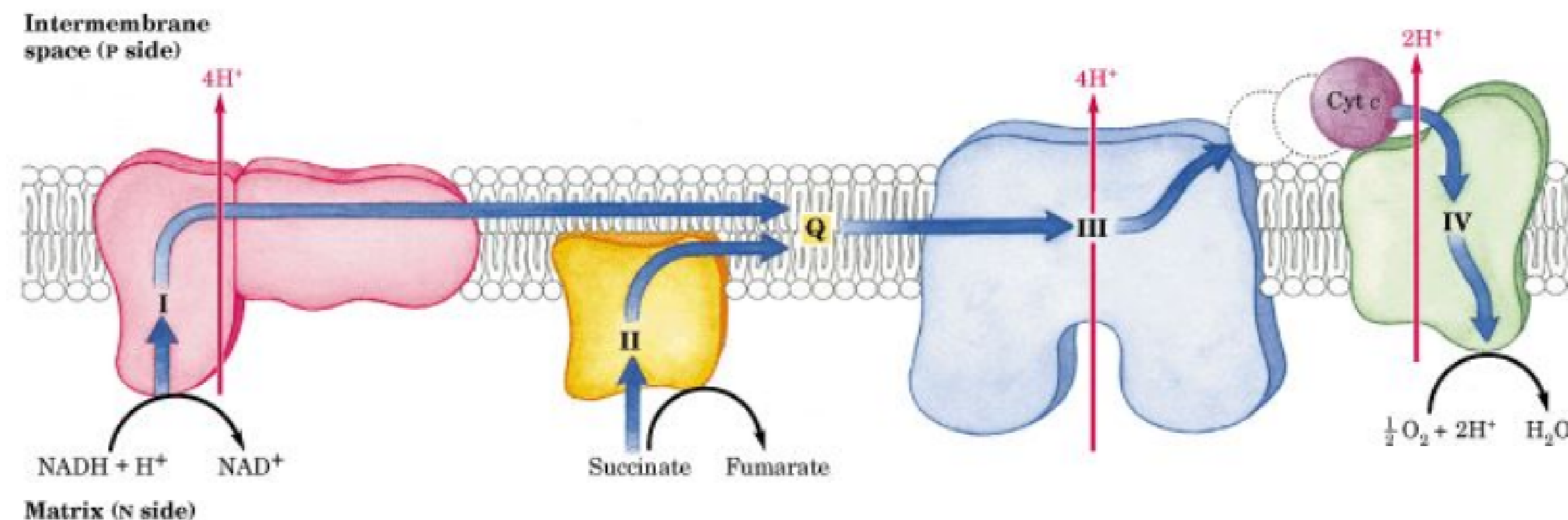
# **Cadena transportadora de electrones**

- Cadena de transporte electrónico mitocondrial (ETC)
- Sistema de transporte electrónico
- Conjunto de transportadores situados en la membrana interna (mitocondria), en orden de afinidad electrónica.



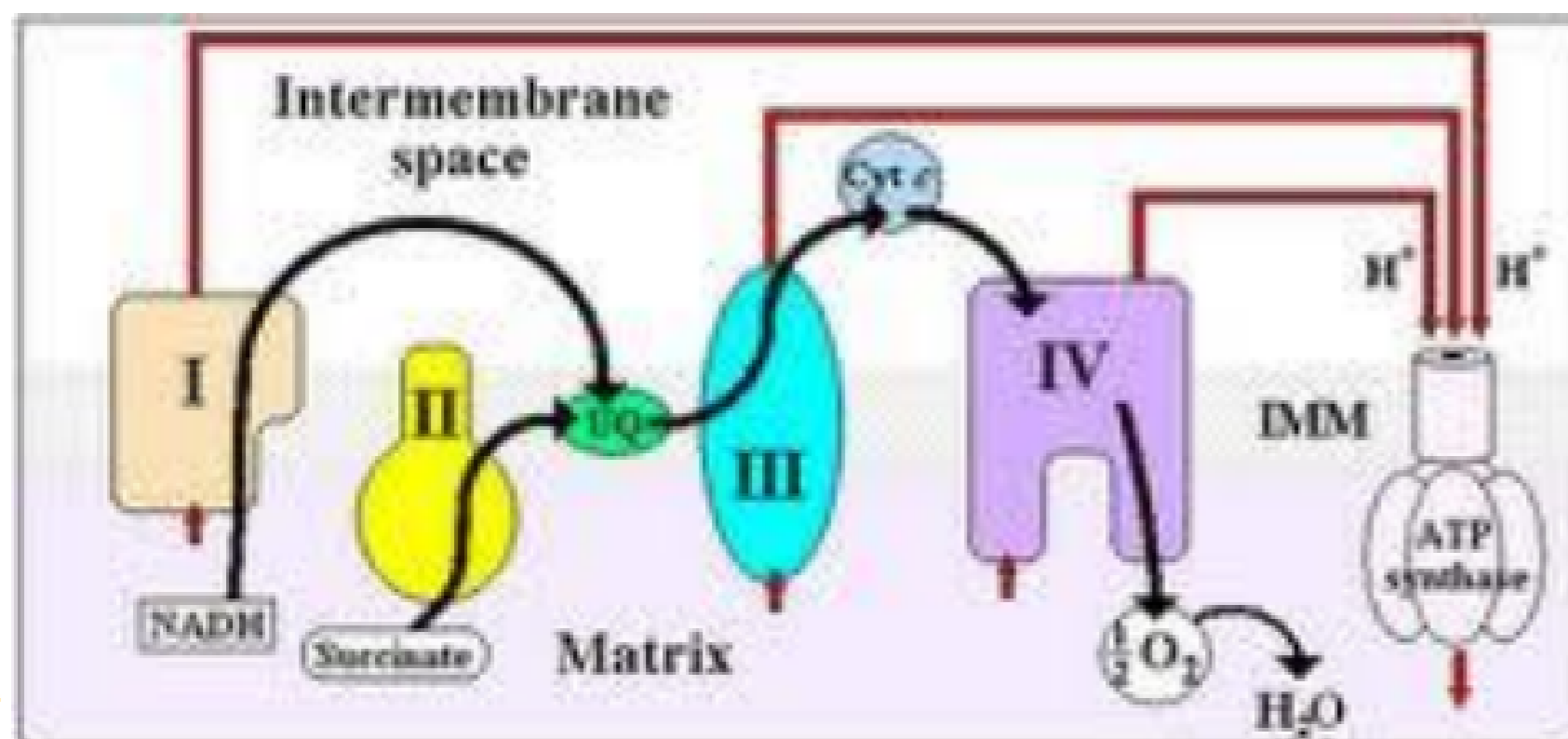
# Componentes de la cadena transportadora de electrones

- 4 Complejos proteicos
- Los grupos transportadores de electrones dentro de estos complejos son:
  - Flavinas
  - Proteínas
  - Hierro- azufre
  - Grupos hemo o iones de cobre



# Acarreadores de electrones

- Ubiquinona (Q) (CoQ)  
Molécula soluble en lípidos que se difunde dentro de la bicapa lipídica, acepta electrones de los complejos I y II y los pasa a III.
- Citocromo c  
Asociados con la cara externa de la membrana, transporta los electrones de III a IV



# REACCIONES DENTRO DE LA CADENA

1. La oxidación de ANDH o FADH, inicia el transporte de electrones a lo largo de la cadenas
2. Los electrones del NADH pasan al complejo I y los del FADH<sub>2</sub> al II por succinato deshidrogenasa parte del complejo II
3. Cada componente es alternativamente, oxidado y reducido al pasar los electrones a lo largo de la cadena
4. Finalmente los electrones se donan al O<sub>2</sub> molecular, reduciéndolo a agua

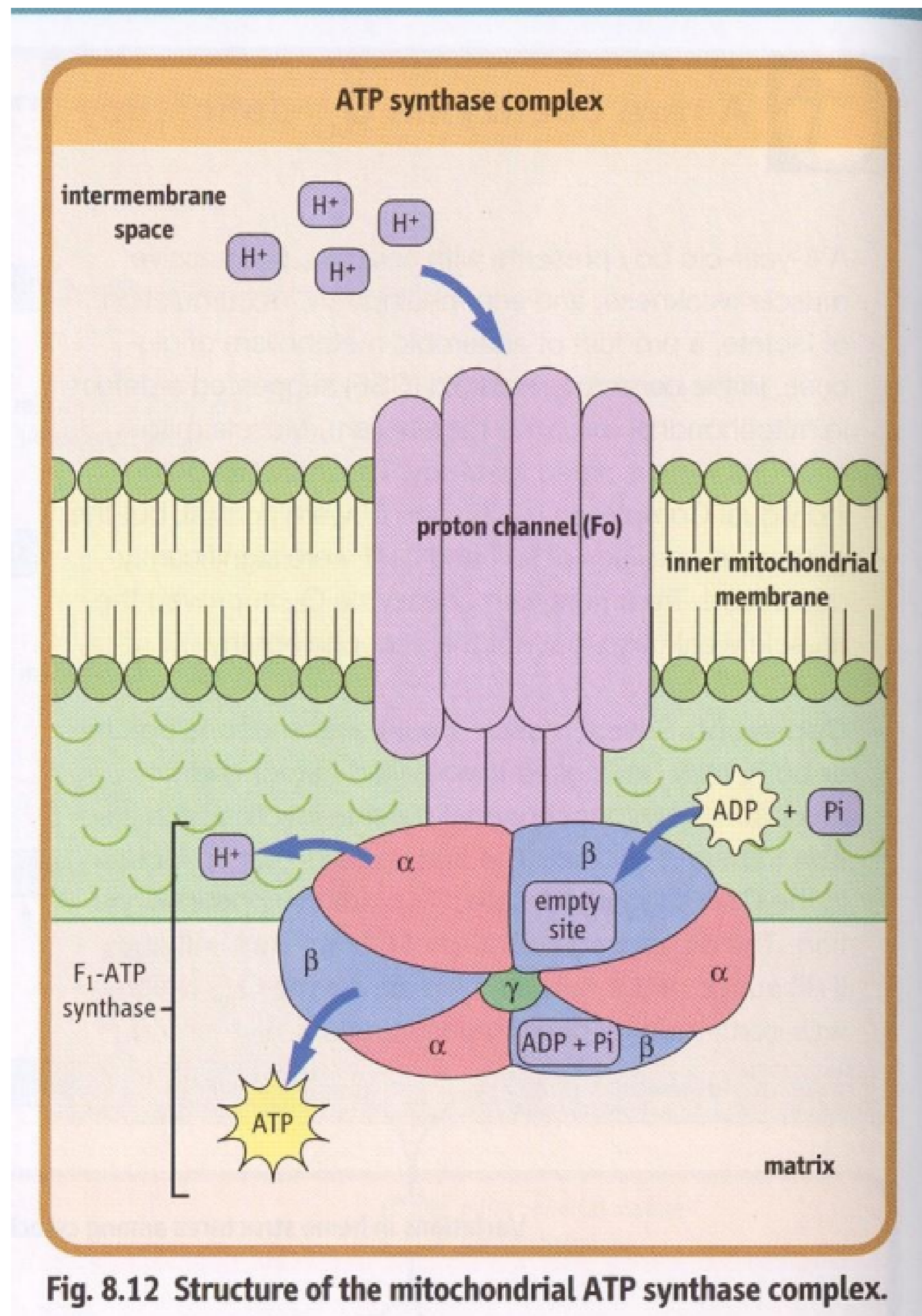
## Síntesis de ATP □ ATP sintasa

- Generación de ATP por medio de gradiente de protones

**F<sub>0</sub>F<sub>1</sub> ATP sintasa** utiliza la energía de gradiente de protones para la síntesis de ATP

Compuesto por un "mando-y tallo "  
**F<sub>1</sub> (perilla)** contiene las subunidades catalíticas

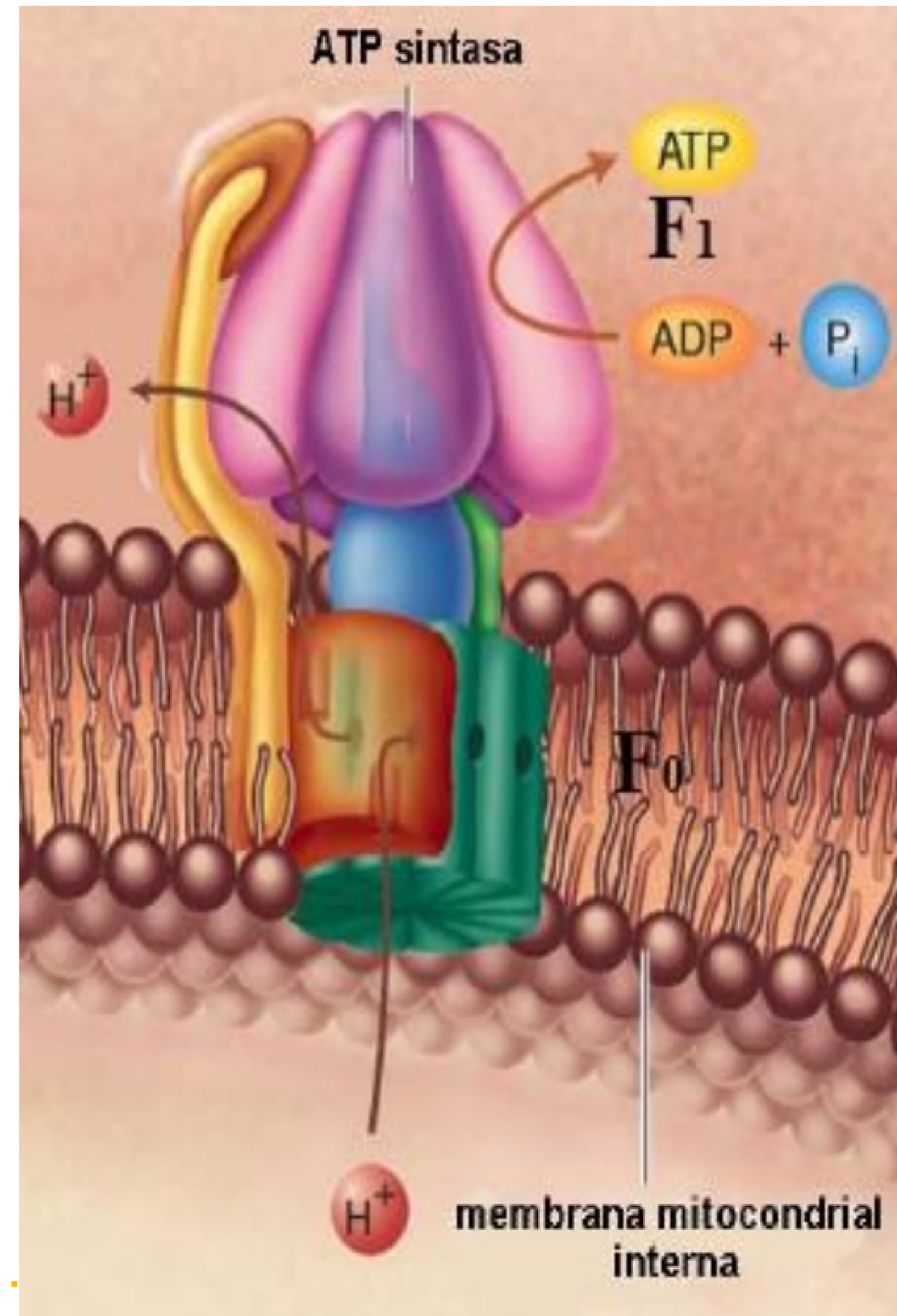
**F<sub>0</sub> (tallo)** tiene un canal de protones que atraviesa la membrana.



# ATP sintasa

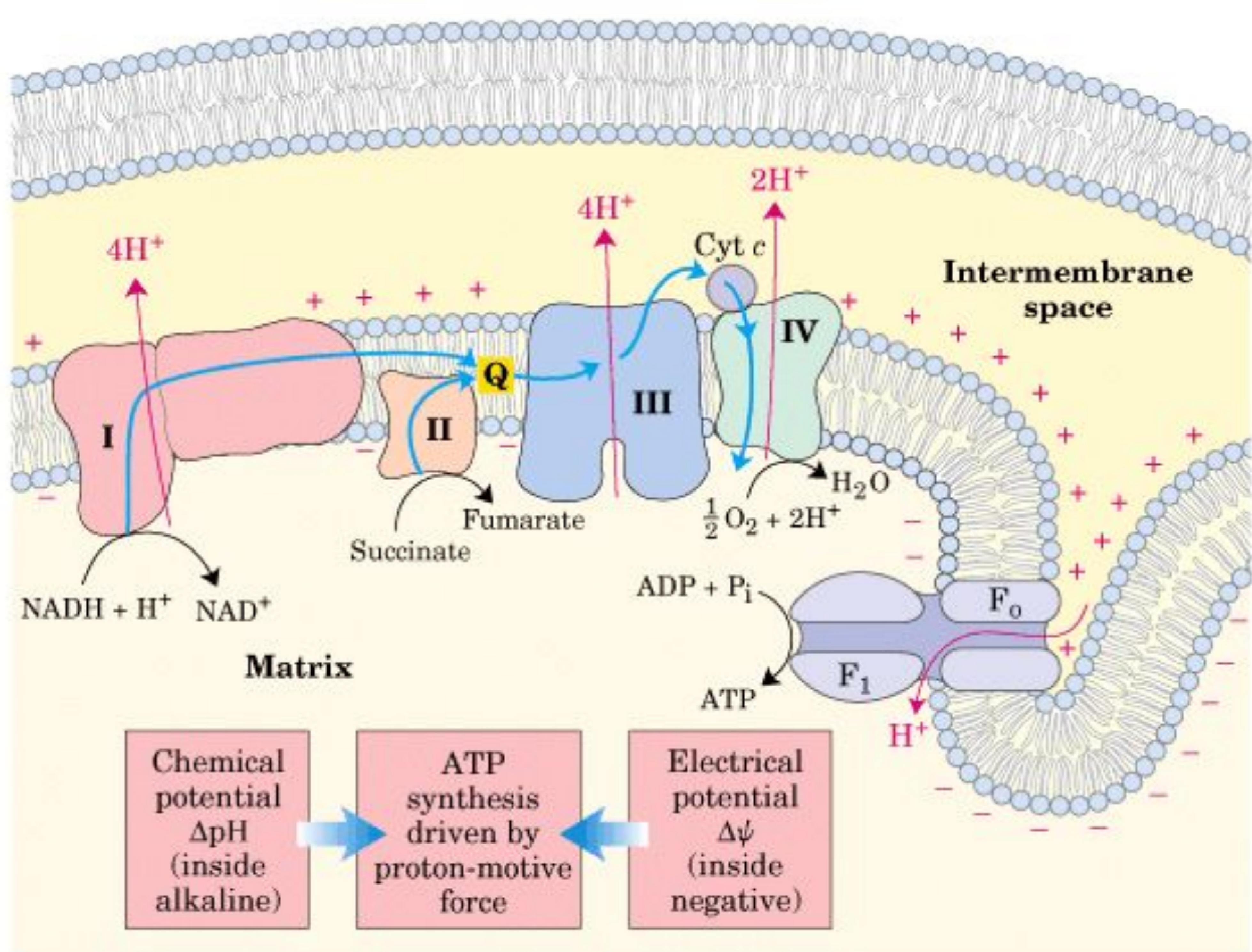
- FoF1 (F= Factor de acoplamiento).
- F = Acopla la fosforilación de ADP a la oxidación de sustratos de la mitocondria.
- F1= Cataliza la hidrólisis del ATP (ATPasa o ATPhidrolasa)
- Fo= canal de H<sup>+</sup>

El paso de H<sup>+</sup> esta acoplado a la formación de ATP.

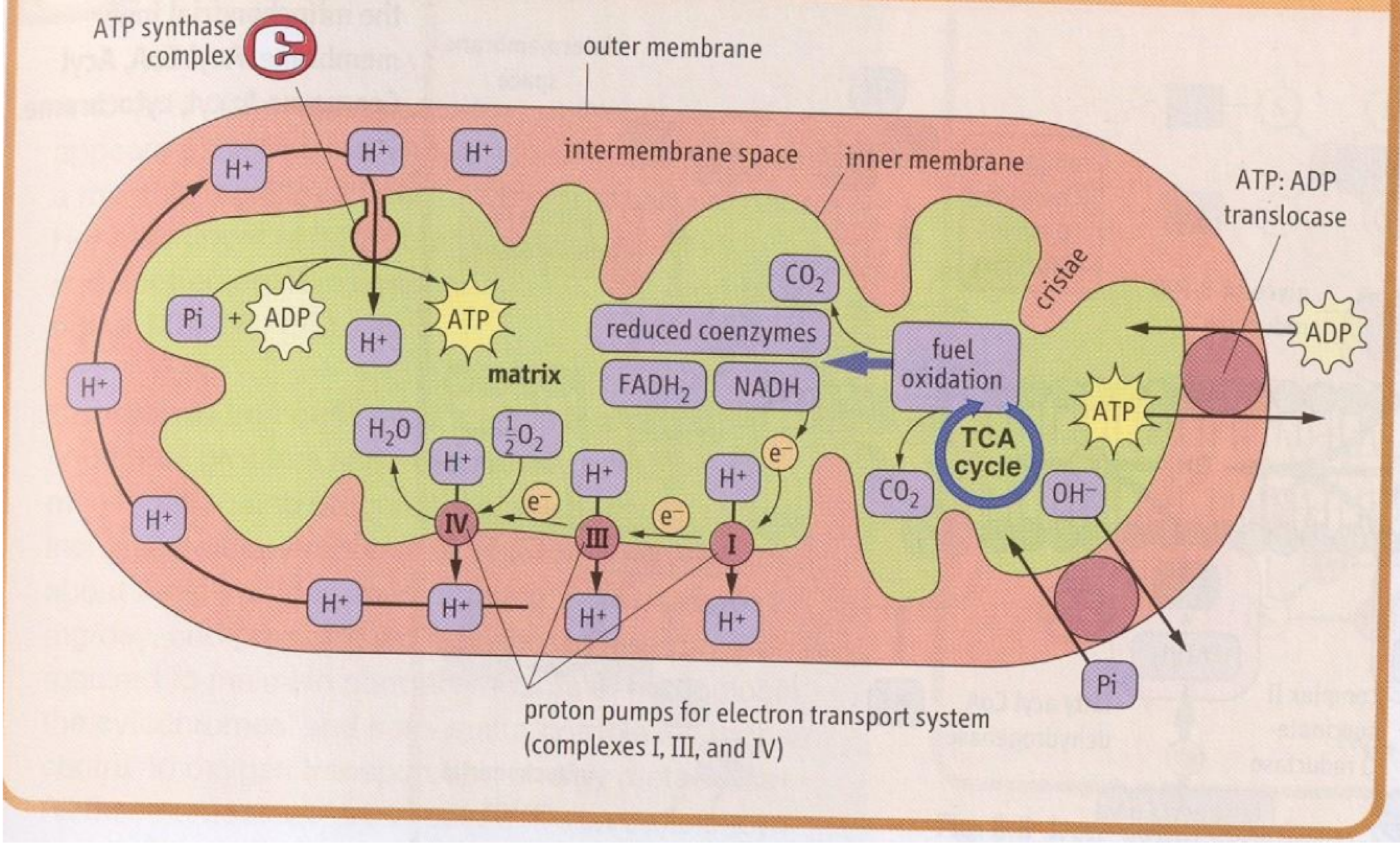




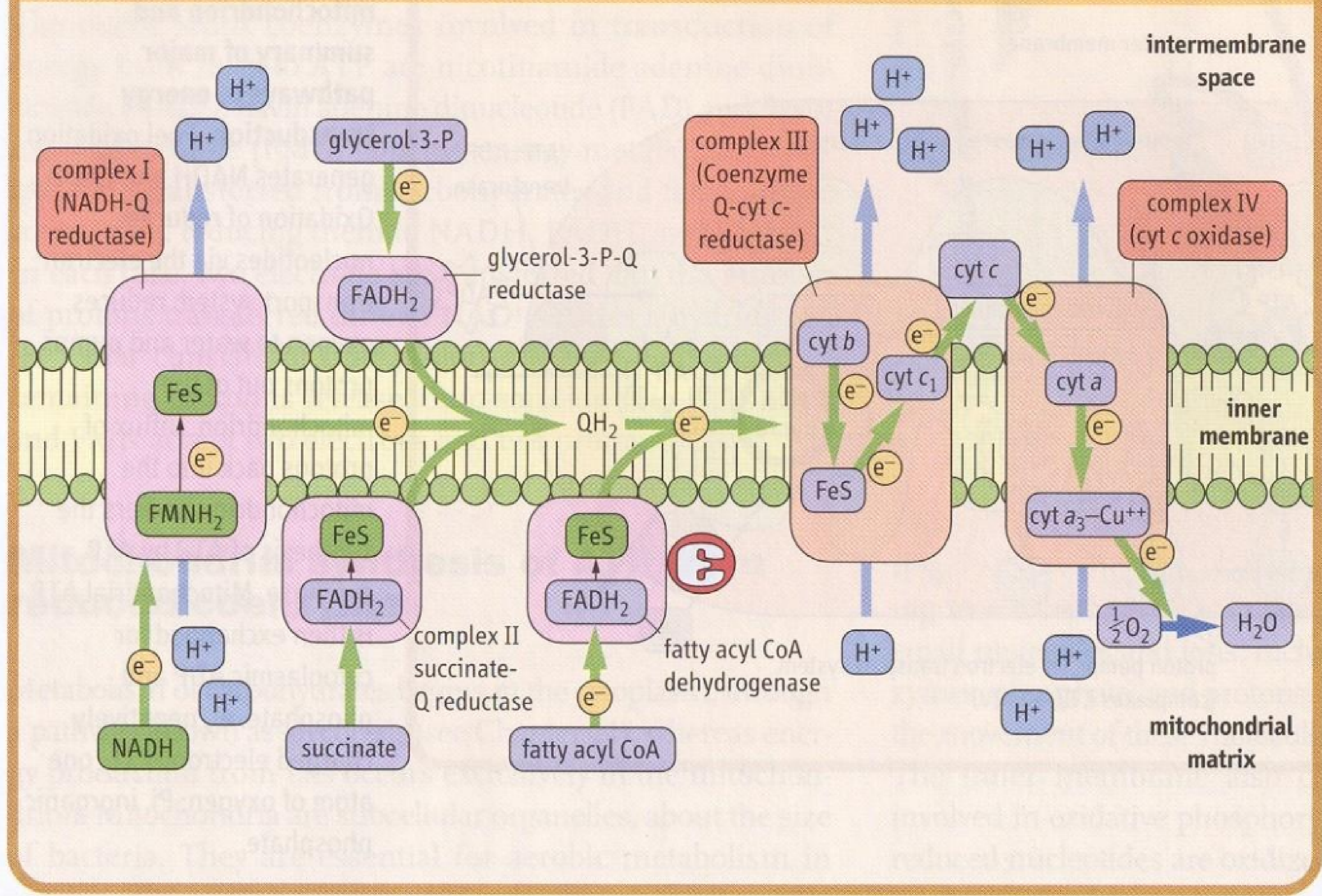
- *Movimiento de protones por la Fo activa la ATP sintasa*
- *Paso estimado de 3 H<sup>+</sup> + □ ATP sintetizado*
- *Transporte de electrones y la fosforilacion acoplados a gradiente de protones*



### The mitochondrion and energy transduction



### Details of the mitochondrial electron transport system



# LAS LANZADERAS DE NADH + H<sup>+</sup>

- Una vía indirecta al interior de la mitocondria
- La membrana interna mitocondrial impermeable no sólo a los protones sino también a otra gran cantidad de moléculas, entre las que se encuentra el NADH + H<sup>+</sup>
- Esto significa que el NADH + H<sup>+</sup> citosólico no puede entrar libremente en la mitocondria para ser reoxidado

# LAS LANZADERAS DE NADH + H<sup>+</sup>

- Mecanismos que permiten la entrada a la mitocondria de los electrones fijados en el NADH + H<sup>+</sup> citosólico.
- Lanzaderas:
  - Lanzadera glicerol-3-fosfato □ 1.5 ATP
  - Lanzadera malato-aspartato □ 2.5 ATP
- Una vez dentro de la mitocondria, los electrones son transferidos a la cadena transportadora de electrones permitiendo así la síntesis de ATP

# Resumiendo

- La lanzadera glicerol-3-fosfato transfiere los electrones del  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólico a una molécula de  $\text{FADH}_2$  mitocondrial.
- La lanzadera malato-aspartato transfiere los electrones del  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólico a una molécula de  $\text{NADH} + \text{H}^+$  mitocondrial.

## Rendimiento energético de la glucosa

Como ya se ha descrito, la glucosa se oxida a  $\text{CO}_2$  en primer lugar mediante las reacciones de la glucólisis; posteriormente los productos de ésta sufren la descarboxilación oxidativa del piruvato y, finalmente, entran en el ciclo de Krebs. De tal manera que la oxidación completa de la glucosa se puede describir como indica la siguiente expresión:



Sin embargo, esta expresión no es del todo cierta, pues gran cantidad de energía queda englobada en los electrones. Los electrones involucrados en la oxidación de la glucosa no pasan directamente al oxígeno, sino que se transfieren a las coenzimas  $\text{NAD}^+$  y  $\text{FAD}$ , formándose las correspondientes formas reducidas, que se utilizarán para obtener energía. Los electrones de las coenzimas reducidas pasan a la cadena transportadora de electrones donde participan (por la reoxidación mitocondrial del  $\text{NADH} + \text{H}^+$  y el  $\text{FADH}_2$ ) en un proceso de oxidación-reducción secuencial de determinados centros redox antes de reducir el oxígeno a agua. En este proceso, los protones son expulsados de la matriz mitocondrial creando un gradiente electroquímico, conocido como fuerza protón motriz, que impulsará la síntesis de ATP, a partir de ADP y  $\text{P}_i$ , a través de la fosforilación oxidativa. A continuación se va a calcular cuántas moléculas energéticas en forma de ATP se pueden obtener como consecuencia de la degradación aerobia de la glucosa.

Glucólisis (citoplasma):

Fase preparatoria:

- 1 ATP (hexoquinasa)
- 1 ATP (fosfofructoquinasa-1)

Fase de beneficios:

- + 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (gliceraldehído-3-fosfato deshidrogenasa)
- + 2 ATP (fosfoglicerato quinasa)
- + 2 ATP (piruvato quinasa)

Descarboxilación oxidativa del piruvato (mitocondria):

- + 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (piruvato deshidrogenasa)

Ciclo de Krebs:

- + 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (isocitrato deshidrogenasa)
- + 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$  ( $\alpha$ -cetoglutarato deshidrogenasa)
- + 2 GTP (succinil-CoA sintetasa)
- + 2  $\text{FADH}_2$  (succinato deshidrogenasa)
- + 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$  (malato deshidrogenasa)

Lo cual hace un total de:

- + 2 ATP
- + 2 GTP  $\approx$  2 ATP
- + 2  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólicos ( $\times 1,5 = 3$  ATP, o  $\times 2,5 = 5$  ATP según la lanzadera)
- + 8  $\text{NADH} + \text{H}^+$  mitocondriales ( $\times 2,5 = 20$  ATP)
- + 2  $\text{FADH}_2$  ( $\times 1,5 = 3$  ATP)

Las moléculas de  $\text{NADH} + \text{H}^+$  mitocondriales originarán 2,5 ATP cada una, las moléculas de  $\text{FADH}_2$  generaran 1,5 ATP cada una y las moléculas  $\text{NADH} + \text{H}^+$  citosólicos darán 1,5 ATP, al entrar en la mitocondria por la lanzadera glicerol-3-fosfato, o 2,5 ATP al usar la lanzadera malato-aspartato. El total es de **30 ATP** al usar la lanzadera glicerol-3-fosfato, o **32 ATP** al intervenir la lanzadera malato-aspartato.

## CUADRO 10.2

### Resumen de la síntesis de ATP a partir de la oxidación de una molécula de glucosa

	NADH	FADH <sub>2</sub>	ATP
<b>Glucólisis (citoplasma)</b>			
Glucosa → glucosa-6-fosfato			-1
Fructosa-6-fosfato → fructosa-1,6-difosfato			-1
Gliceraldehído-3-fosfato → glicerato-1,3-difosfato	+2		+2
Glicerato-1,3-difosfato → glicerato-3-fosfato			+2
Fosfoenolpiruvato → piruvato			
<b>Reacciones mitocondriales</b>			
Piruvato → acetil-CoA			
<b>Ciclo del ácido cítrico</b>			
Oxidación del isocitrato, α-cetoglutarato y malato	+6		
Oxidación del succinato		+2	
GDP → GTP			+1.5*
<b>Fosforilación oxidativa</b>			
2 NADH glucolíticos			+4.5† (3)
2 NADH (piruvato a acetil-CoA)			+5
6 NADH (ciclo del ácido cítrico)			+15
2 FADH <sub>2</sub> (ciclo del ácido cítrico)			+3
			<hr/> 31 (29.5)

\* Este número refleja el precio del transporte al citoplasma.

† Supone la lanzadera malato-aspartato.

‡ Supone la lanzadera del glicerol-fosfato.

Población Mexicana. Bourges y Cols, 2005 y 2008<sup>2,3</sup>

Nutrimento	Unidad	Hombres			Mujeres		
		19 a 30	31 a 50	51 a 60	19 a 30	31 a 50	51 a 60
Fibra	g/día	35*	35*	30*	25 a 30*		
Hidratos de carbono	g/día	130*					
Cromo	µg	30**	30**	27**	22**	22**	18**
Flúor	mg	3.05**			2.45**	2.45**	2.40**
Fosforo	mg	700*					
Hierro	mg	15**			21**	21**	12**
Yodo	µg	120*			125*		
Lipidos	%	25 a 30*					
Magnesio	mg	320*	340*	340*	250*	260*	260*
Niacina	mg	13*			12*		
Piridoxina	mg	1.1*	1.1*	1.3*	1.0*	1.0*	1.3*
Proteína	g/kg/día	0.83*					
Retinol	µgEF	730**			570**		
Riboflavina	mg	1.1*			0.9*		
Selenio	µg	48*					
Tiamina	mg	1.0*			0.9*		
Tocoferol	µg	13*					
Ubiquinona	mg/día	100**			75**		

Población Mexicana. Bourges y Cols, 2005 y 2008<sup>2,3</sup>

Nutrimento	Unidad	Hombres			Mujeres		
		19 a 30	31 a 50	51 a 60	19 a 30	31 a 50	51 a 60
Acido ascórbico	mg	84*			75*		
Acido fólico	µgEF	460**					
Acido pantoténico	mg	5.0**					
Ácidos grasos monoinsaturados	%	Por diferencia %*					
Ácidos grasos poliinsaturados	%	6 a 10%*					
Ácidos grasos poliinsaturados n-3	%	1a 2%*					
Ácidos grasos poliinsaturados n-6	%	5 a 8%*					
Ácidos grasos saturados	%	<7*					
Agua	ml/día	3736			2969		
Calciferol	µg	5**	5**	10**	5**	5**	10**
Calcio	mg	1000**	1000**	1200**	1000**	1000**	1200**
Cianocobalamina	µg	2.4*	2.4*	3.6*	2.4*	2.4*	3.6*
Cinc	mg	15*	11*	11*	11*		
Cobre	µg	730*			750*		
Colesterol	mg/día	120 a 130*					