
El metabolismo

Víctor M. Gumiel

C.E. Luis Vives

El metabolismo: conceptos

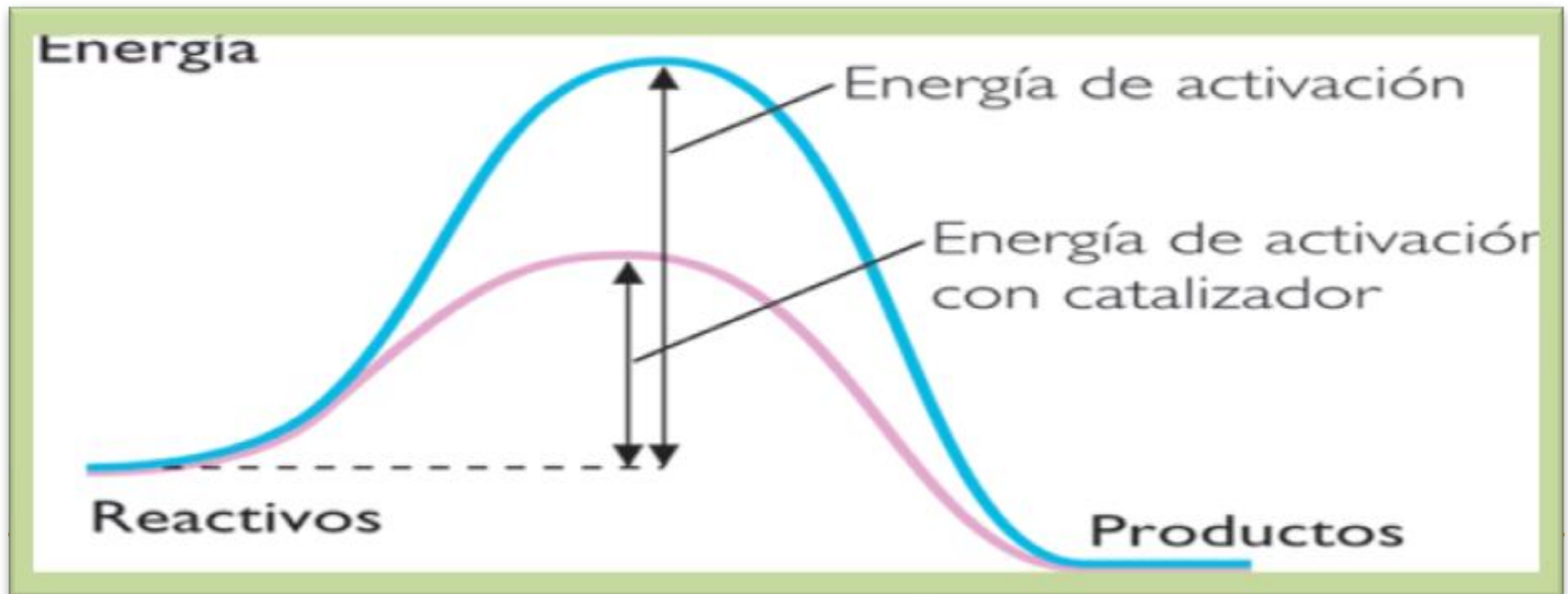
- Conjunto de reacciones químicas que se producen en el interior de la célula y que conducen a la transformación de unas biomoléculas en otras.
 - Los conjuntos de reacciones que se producen son las **vías metabólicas**
 - Las moléculas que intervienen son los **metabolitos**
-

El metabolismo: reacciones

- En la transformación de unas moléculas en otras intervienen las enzimas

Sustrato + Enzima \Rightarrow Producto + Enzima

Glucosa + Hexoquinasa \Rightarrow Glucosa 6-P + Hexoquinasa



Metabolismo: fases

- Fase de degradación: el **catabolismo**.
Transformación de unas moléculas complejas en otras más sencillas, obteniendo energía.
En la glucólisis la célula rompe una molécula de glucosa, obteniendo energía.
 - Fase de construcción: el **anabolismo**.
Transformación de moléculas sencillas en biomoléculas complejas. Se gasta energía.
En la fotosíntesis se sintetizan glúcidos y lípidos a partir de CO_2 y luz solar.
-

Reacciones catabólicas

Reacciones de degradación

Reacciones de oxidación

Desprenden energía (ATP)

Generalmente convergentes, es decir, a partir de sustratos diferentes acaban dando casi siempre los mismos productos (ácido pirúvico, etanol, CO₂)

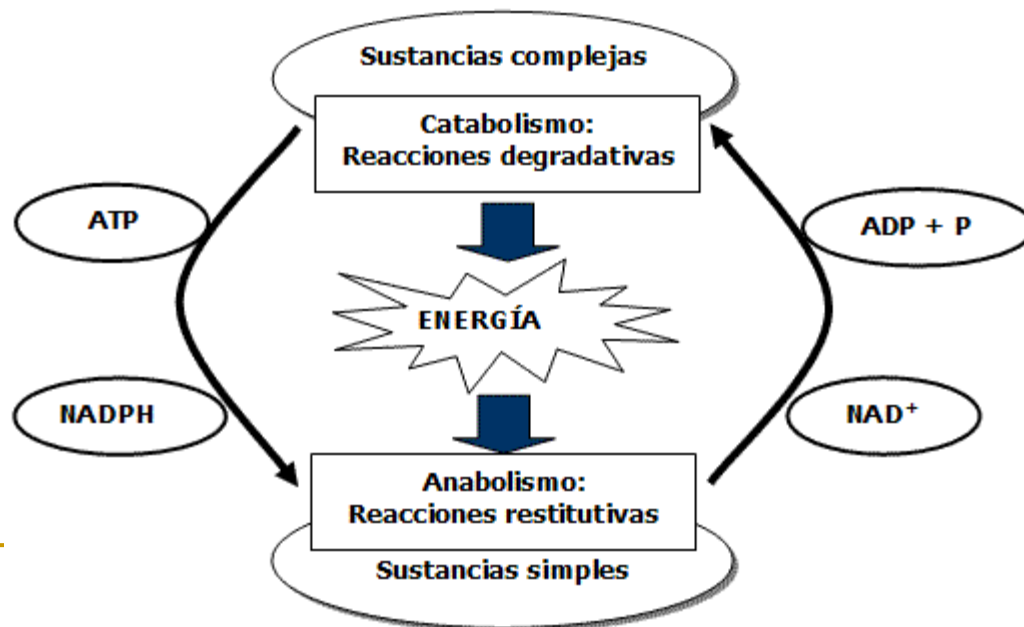
Reacciones anabólicas

Reacciones de síntesis

Reacciones de reducción

Precisan energía (ATP)

Generalmente divergentes, es decir, a partir de unos pocos productos pueden dar lugar a muchas sustancias diferentes.



Catabolismo: vías metabólicas

Catabolismo

Respiración
(utiliza oxígeno)

Glúcidos

Glucólisis
Ciclo de Krebs
Fosforilación oxidativa
Glucogenolisis

Lípidos --> oxidación ácidos grasos

Proteínas

Transaminación
Desaminación oxidativa
Descarboxilación

Fermentación
(NO utiliza oxígeno)

Alcohólica Butírica
Láctica Pútrida

Anabolismo: tipos

- Para construir moléculas hacen falta CARBONO y ENERGÍA

Tipos de anabolismo

Según la fuente de carbono

CO₂-Autótrofo

Compuestos orgánicos-Heterótrofo

Según la fuente de energía

Luz-fotosíntesis

Reacciones químicas-quimiosíntesis

Anabolismo: vías anabólicas

Anabolismo

Autótrofo

Fotosíntesis

Quimiosíntesis

Heterótrofo

Glúcidos

Gluconeogénesis

Glucogenogénesis

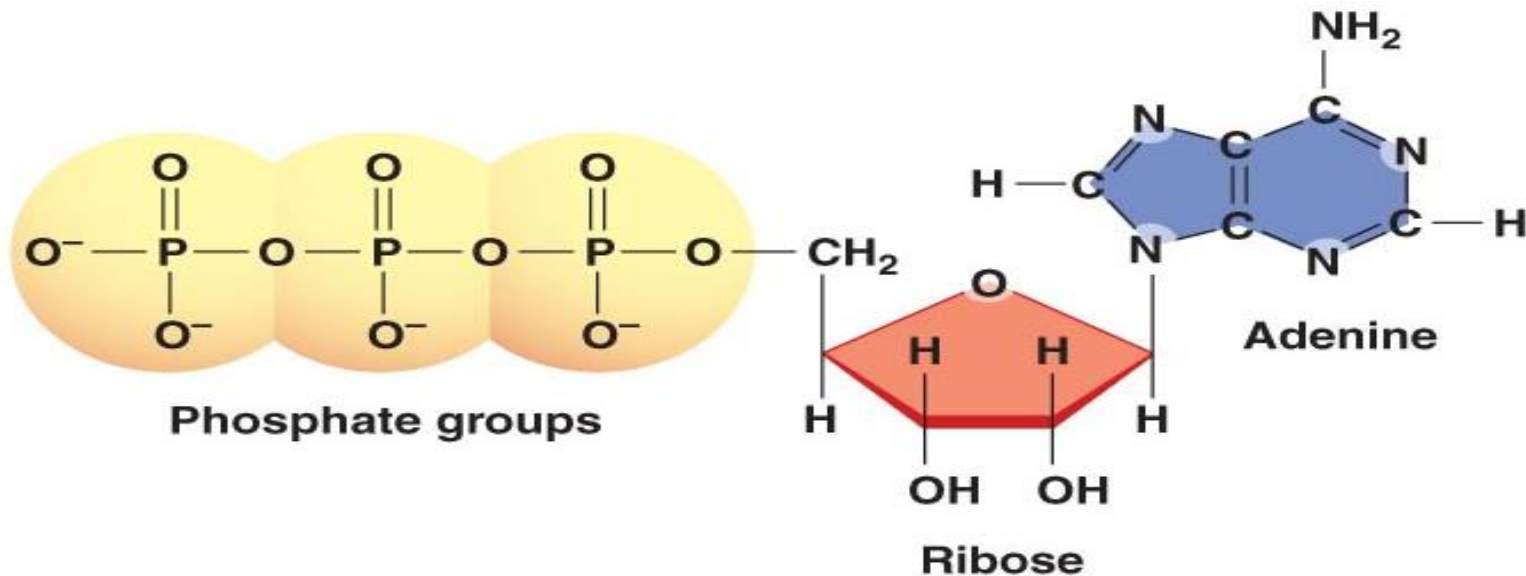
Amilogénesis

Lípidos

Proteínas

ATP: Adenosín trifosfato

- Es la **moneda energética** de la célula
- Cada ATP aporta **7,3 Kcal / Mol**
- Se sintetiza de dos modos:
 - Fosforilación a nivel de sustrato
 - ATP-sintasas



El catabolismo

El catabolismo: índice

- Concepto
 - El catabolismo de los glúcidos
 - El catabolismo de los lípidos
 - El catabolismo de las proteínas
 - Las fermentaciones
-

El catabolismo

- Conjunto de vías metabólicas que conducen a la **obtención de energía (ATP)** a partir de moléculas complejas.
- Consiste en la **oxidación** (pérdida de electrones) de la materia orgánica, bien por deshidrogenación o la oxigenación de esas biomoléculas.
- Los electrones sustraídos a la materia orgánica son transportados por coenzimas:
 - **NAD⁺**: nicotinamida-adenín-dinucleótido. → **NADH + H⁺**
 - **NADP⁺**: nicotinamida-adenín-dinucleótidofosfato → **NADPH + H⁺**
 - **FAD**: flavín-adenín-dinucleótido → **FADH₂**

Y finalmente captados por un aceptor final de electrones

Catabolismo: vías metabólicas

Catabolismo

Respiración
(utiliza oxígeno)

Glúcidos

Glucólisis
Ciclo de Krebs
Fosforilación oxidativa
Glucogenolisis

Lípidos --> oxidación ácidos grasos

Proteínas

Transaminación
Desaminación oxidativa
Descarboxilación

Fermentación
(NO utiliza oxígeno)

Alcohólica Butírica
Láctica Pútrida

El catabolismo de la glucosa

- Los azúcares absorbidos en el intestino son hidrolizados y convertidos en monosacáridos.
 - La glucosa se degrada en tres sucesivas fases:
 1. **Glucólisis** → Activación de la glucosa
 2. **Ciclo de Krebs** o ciclo de los ácidos tricarboxílicos
 3. **Fosforilación oxidativa**
- } Respiración celular

Cada mol de glucosa (180 g) produce
38 moles de ATP = **266 Kcal**

El catabolismo de la glucosa:

1. Glucólisis

- También llamada ruta de Embden-Meyerhoff
- Se lleva a cabo en el citoplasma de la célula

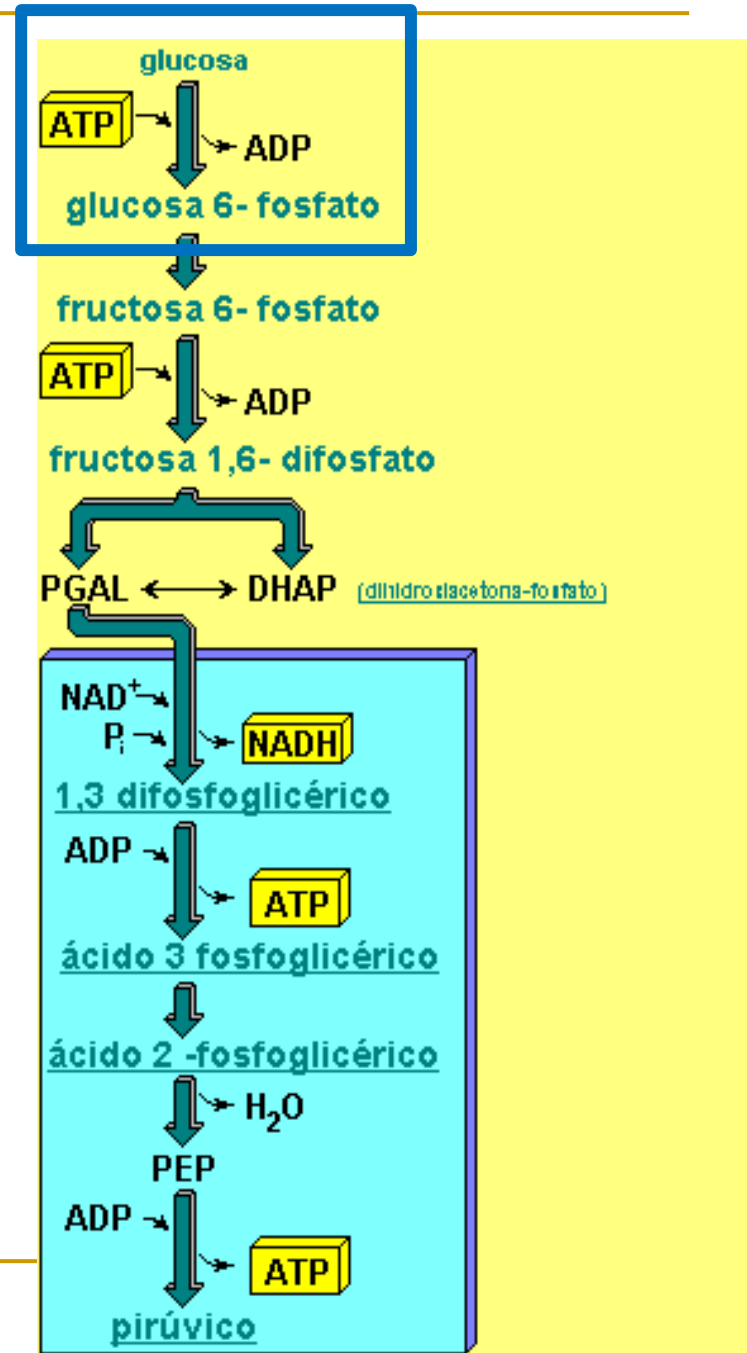
• 1 **GLUCOSA (6C)**
• 2 NAD^+
• 2 $\text{ADP} + 2 \text{P}_i$



• 2 **PIRUVATOS (3C)**
• 2 $\text{NADH} + 2\text{H}^+$
• 2 ATP

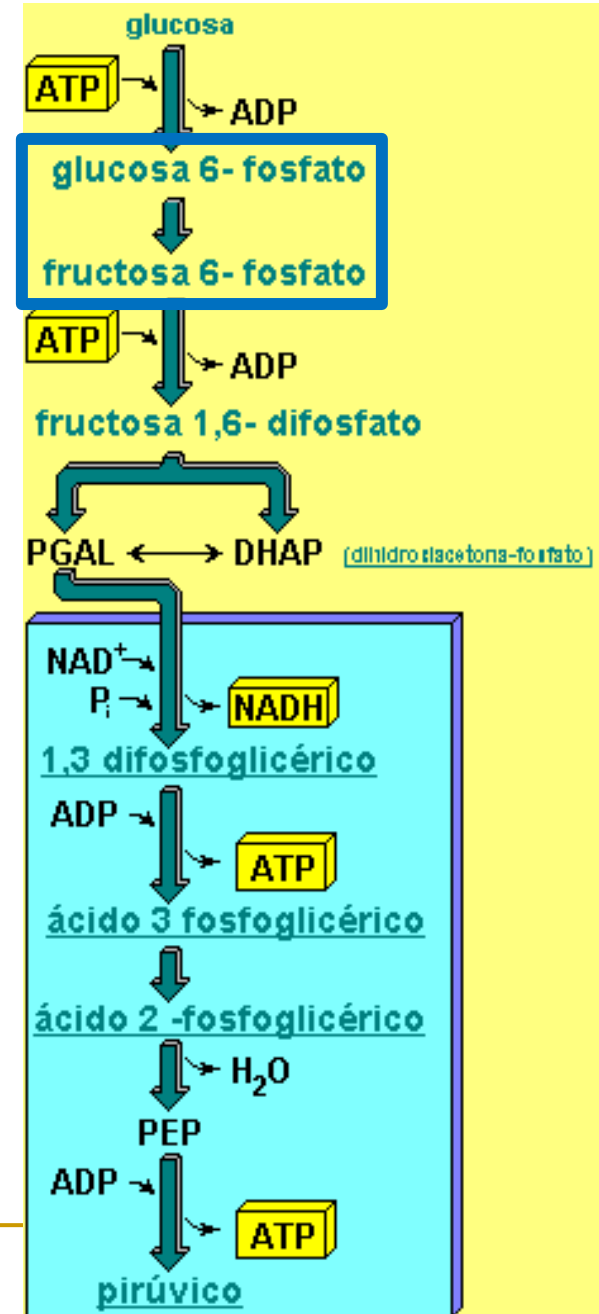
La glucólisis: etapa 1/9

- La glucosa se fosforila a **glucosa-6-fosfato**.
- El fosfato lo aporta el **ATP**.



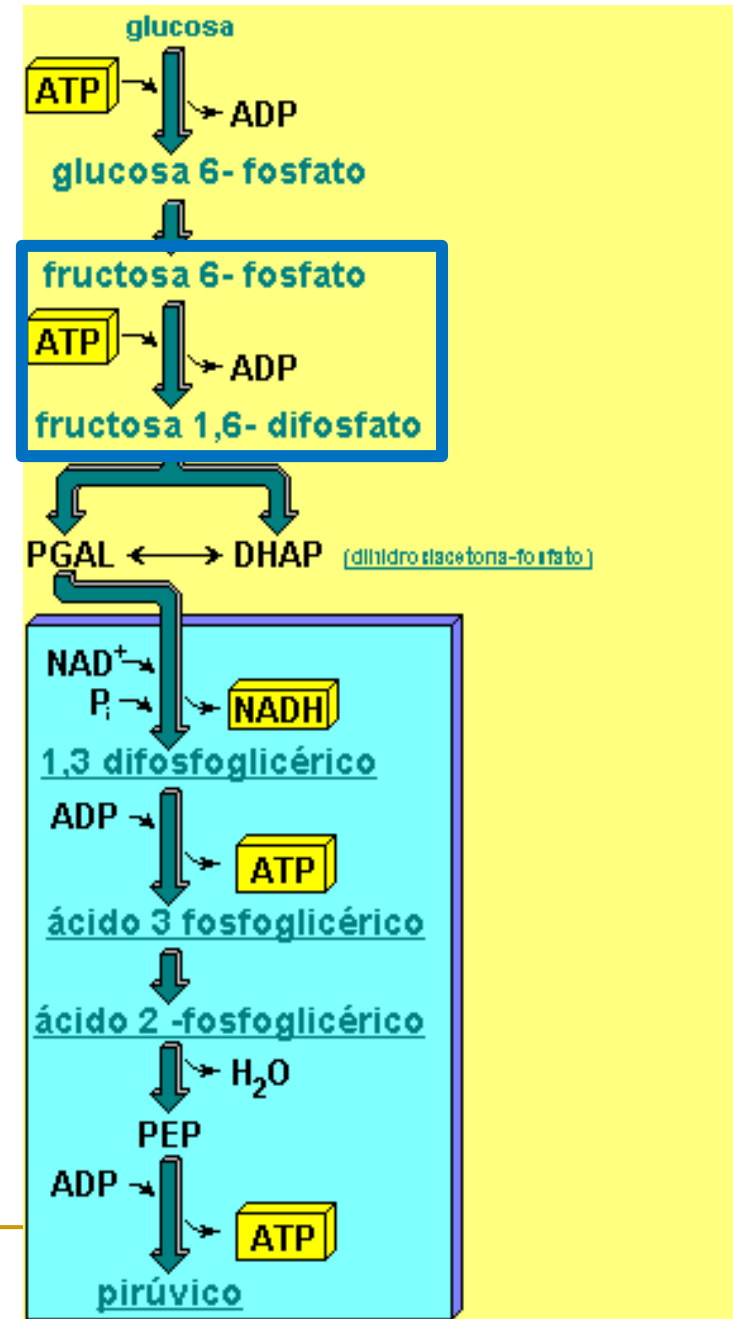
La glucólisis: etapa 2/9

- La glucosa-6-fosfato se isomeriza a **fructosa-6-fosfato**.



La glucólisis: etapa 3/9

- La fructosa-6-fosfato se fosforila a fructosa-1,6-difosfato
- El fosfato lo aporta el ATP.

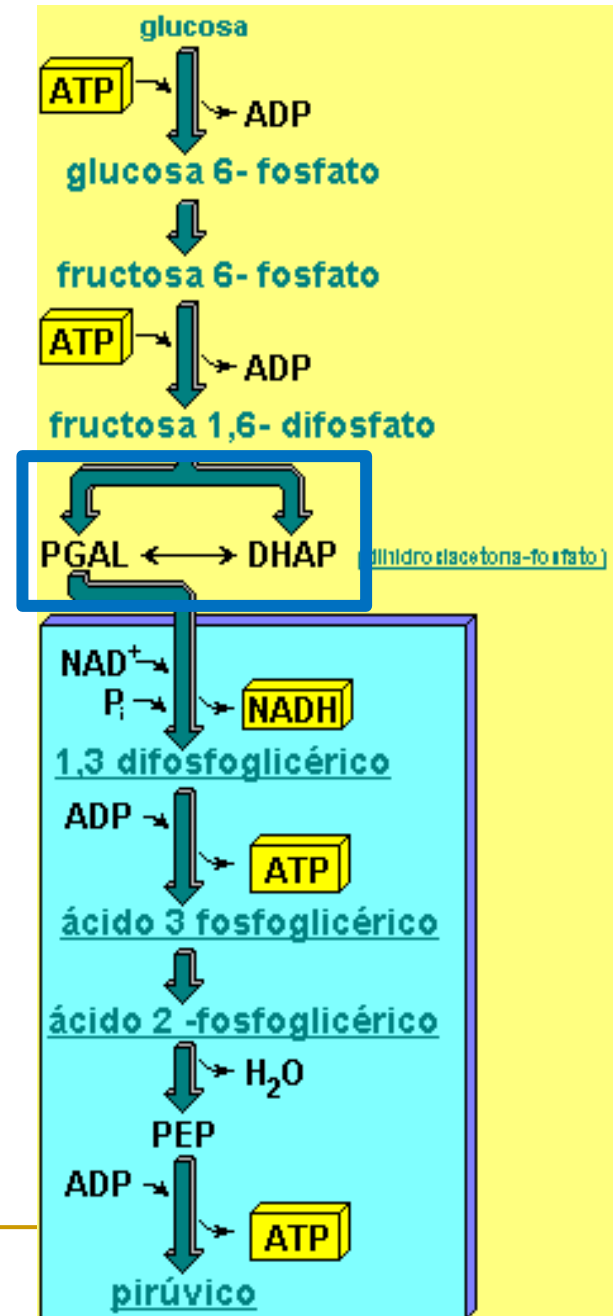


La glucólisis: etapa 4/9

- La fructosa-1,6-difosfato (6 carbonos) se rompe en dos moléculas:
- **Gliceraldehído-3-fosfato** (3 carbonos)
- **Dihidroxiacetona-fosfato** (3 carbonos)

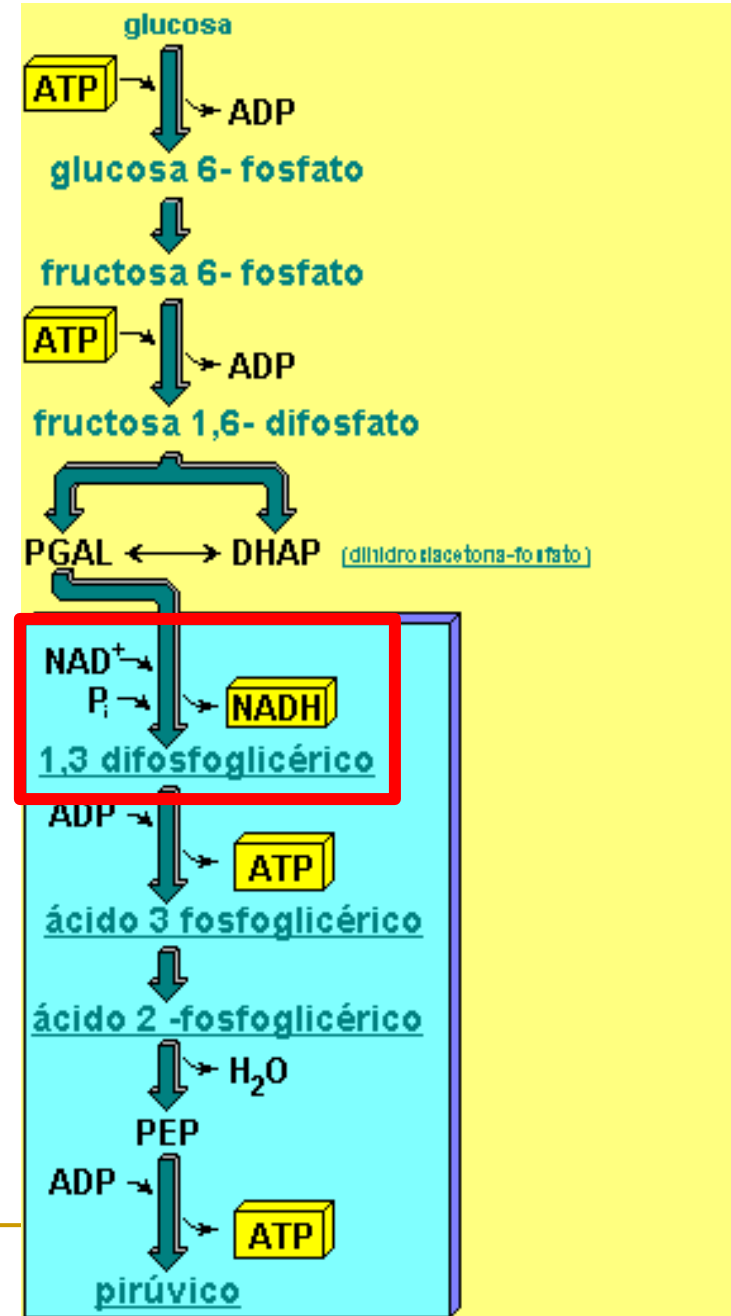
La DHAP se puede isomerizar a GA3P. Ambos GA3P continúan el mismo camino

A partir de ahora, todos los productos se tienen que multiplicar por dos.



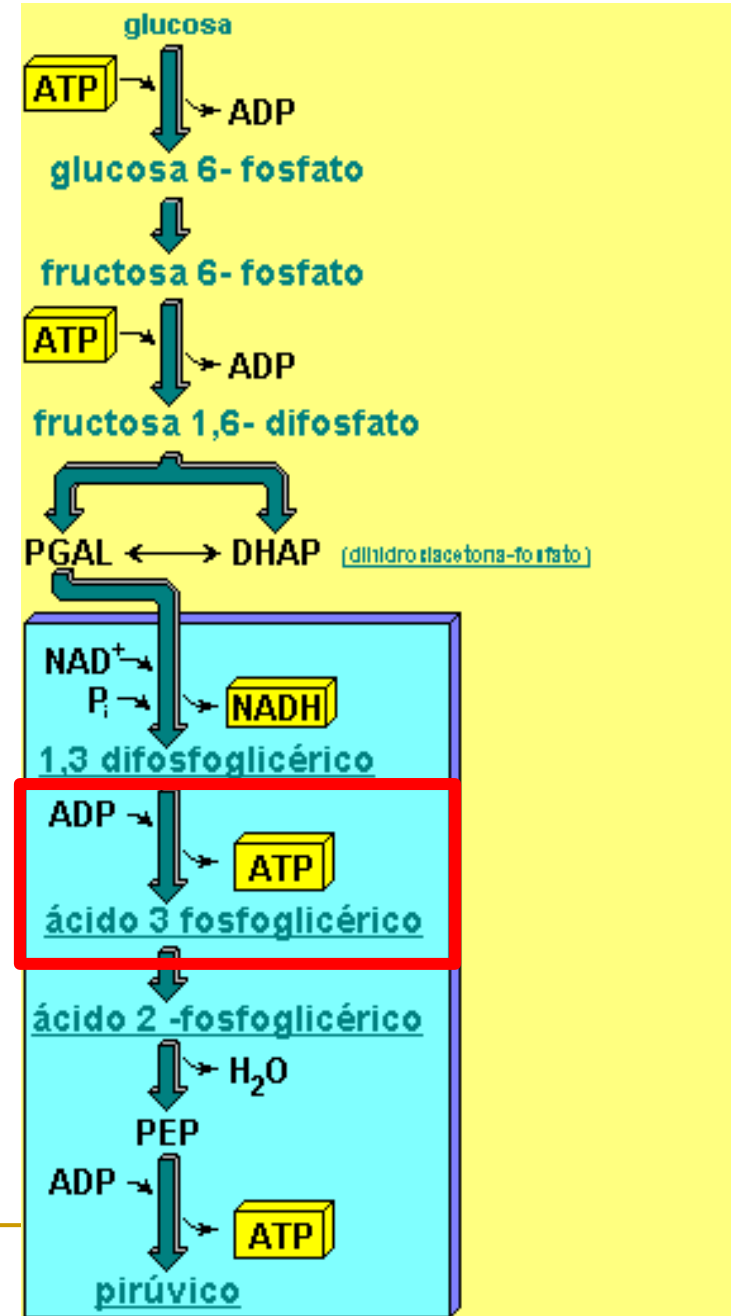
La glucólisis: etapa 5/9

- El gliceraldehído-3-P se fosforila gracias a un fósforo inorgánico (P_i) y se oxida, dando lugar a **ácido 1,3-difosfoglicérico**.
- La coenzima NAD^+ se reduce a **$NADH + H^+$**



La glucólisis: etapa 6/9

- El ácido 1,3-difosfoglicérico se desfosforila, transformándose en **ácido 3-fosfoglicérico**
- El fosfato se incorpora para formar una molécula de **ATP**



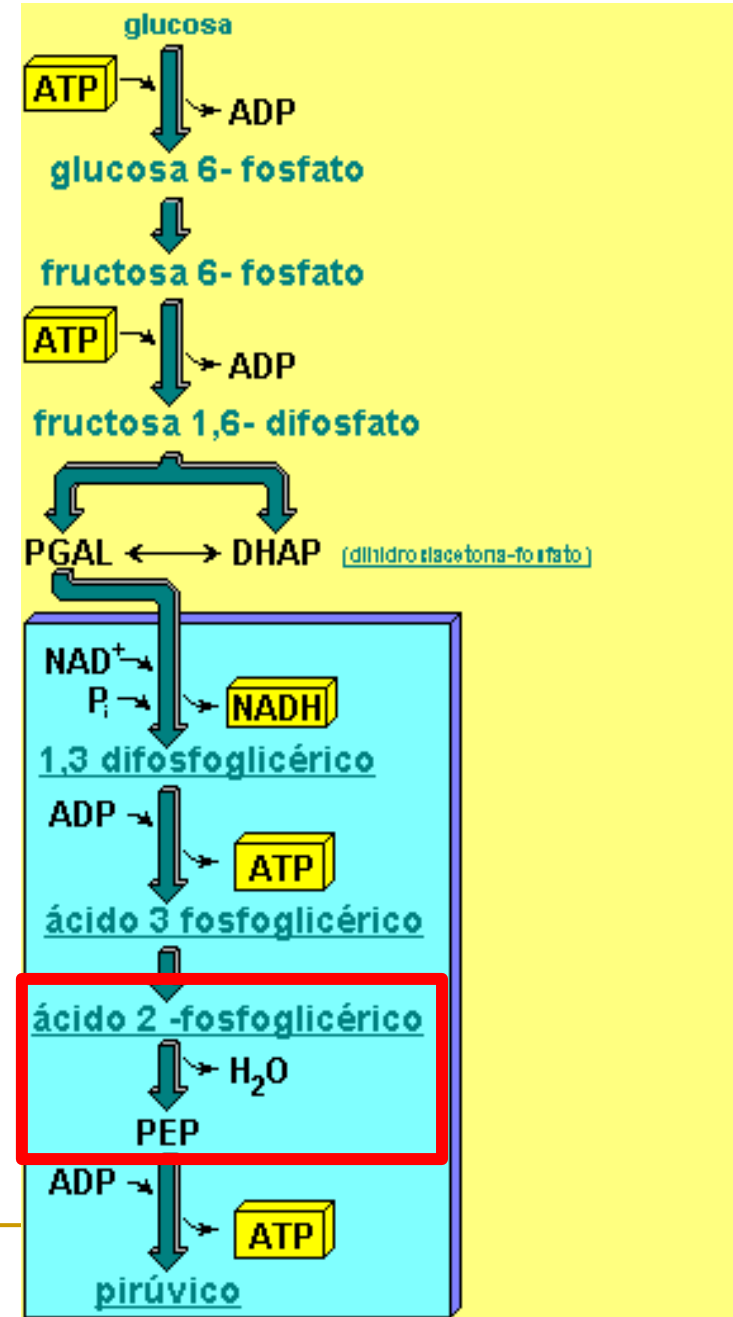
La glucólisis: etapa 7/9

- Se traspara el grupo fosfórico del ácido 3-fosfoglicérico, formándose ácido 2-fosfoglicérico.



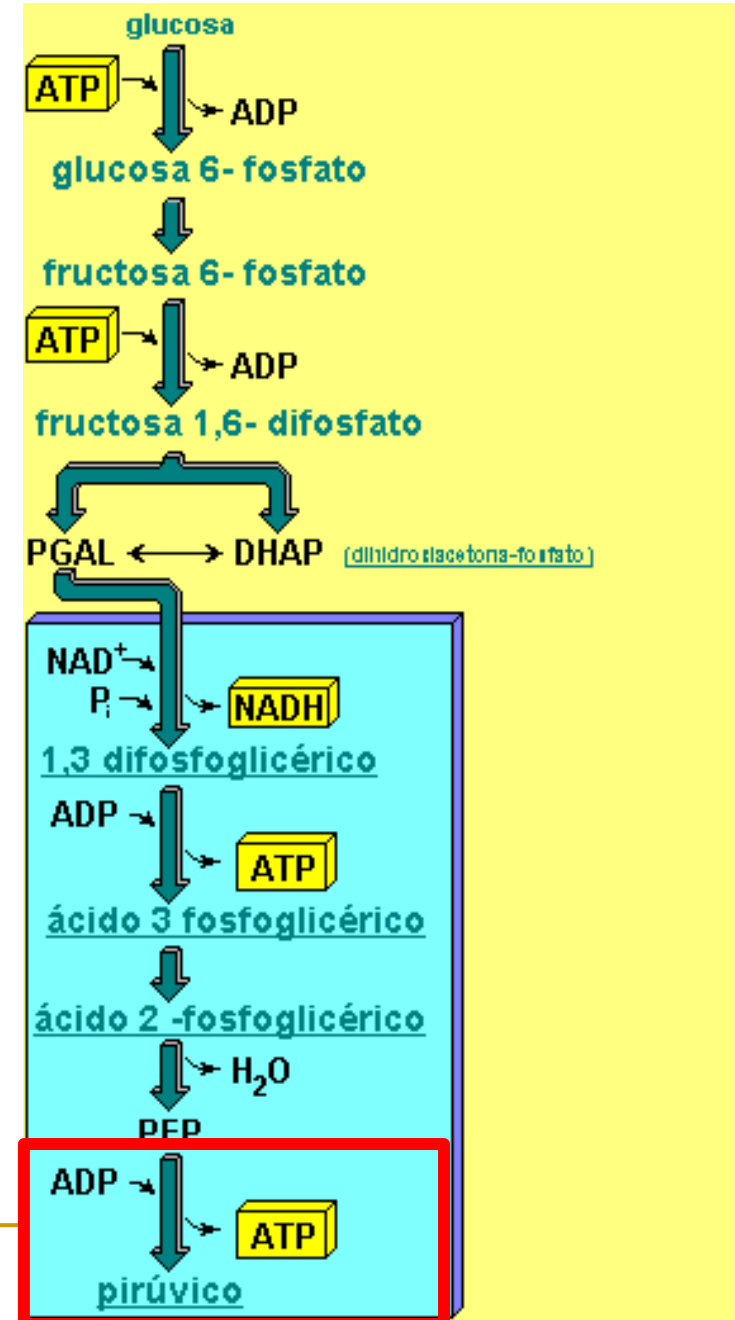
La glucólisis: etapa 8/9

- Se forma un doble enlace en el ácido 2-fosfoglicérico, obteniéndose un **fosfoenolpirúvico (PEP)** y una molécula de **agua**



La glucólisis: etapa 9/9

- Desfosforilación del PEP, obteniéndose como producto final de la glucólisis **ácido pirúvico** y una molécula de **ATP**.

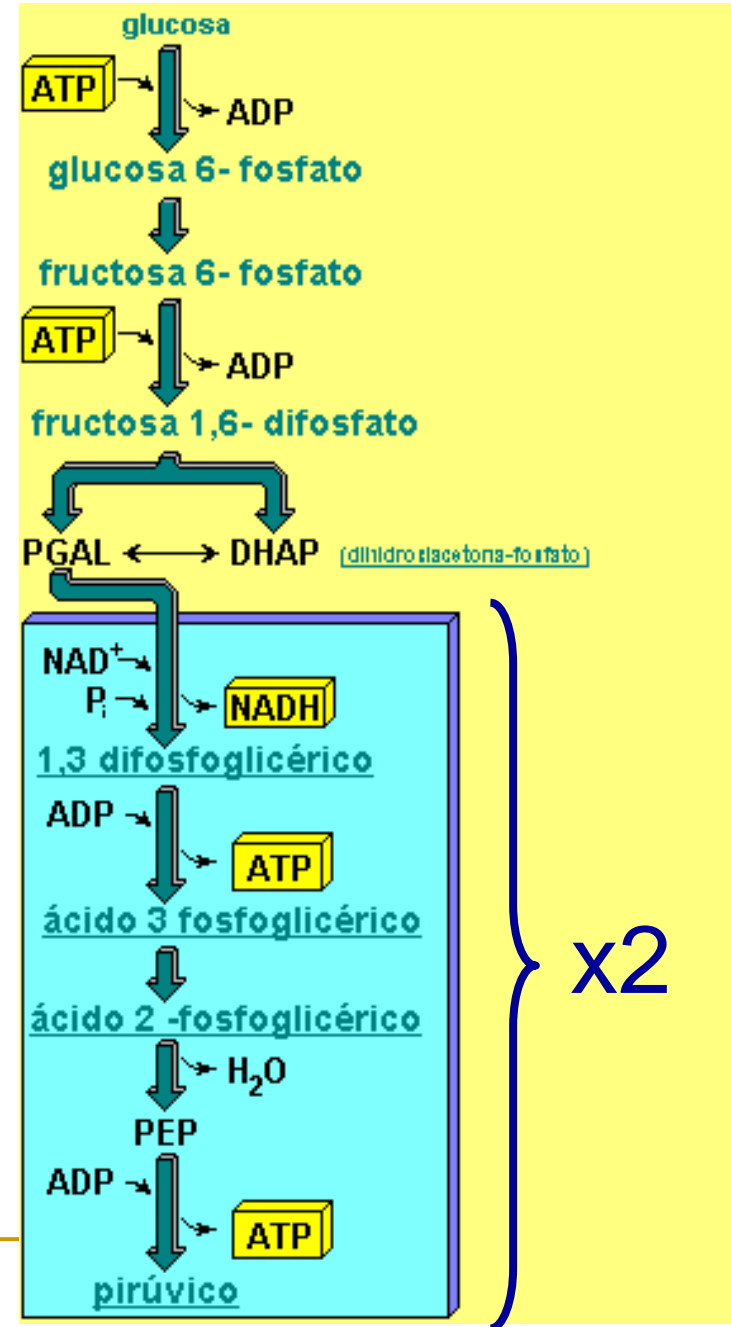


El catabolismo de la glucosa: la glucólisis

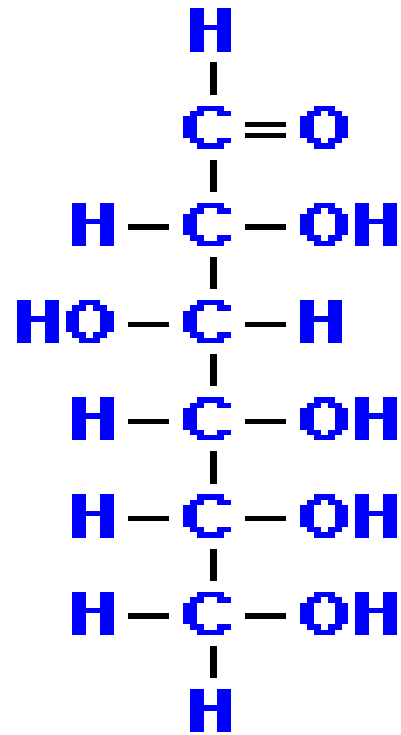
- 1 **GLUCOSA (6C)**
- 2 NAD^+
- 2 $\text{ADP} + 2 \text{P}_i$



- 2 **PIRUVATOS (3C)**
- 2 $\text{NADH} + 2\text{H}^+$
- 2 ATP

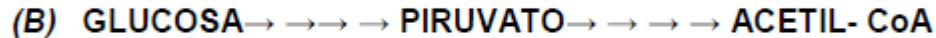


La glucolisis



Exámenes de Selectividad

2.- Los esquemas siguientes, (A) y (B), están relacionados con dos procesos catabólicos que tienen lugar en los seres vivos:

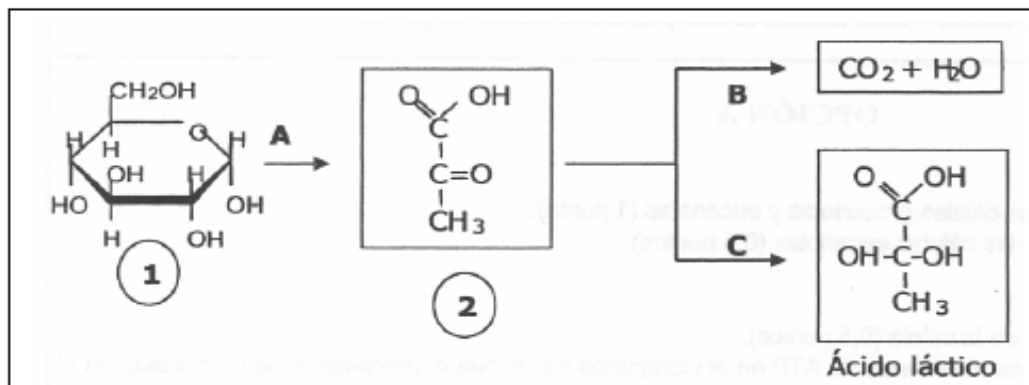


- ¿A qué proceso corresponde cada esquema? (0,5 puntos).
- Cite las etapas del proceso representado en el esquema (A) (0,5 puntos).
- En el esquema (B) indique, a nivel subcelular, dónde se forma el Acetil-CoA, las etapas que sigue hasta finalizar el proceso metabólico y la localización de cada una de ellas también a nivel subcelular (1 punto).

2.- Relacionado con el metabolismo celular.

- Defina anabolismo y catabolismo (0,5 puntos).
- Indique la finalidad de las reacciones catabólicas (0,5 puntos).
- Cite dos rutas catabólicas e indique su localización celular y a nivel de orgánulo (1 punto).

2.- El siguiente esquema representa procesos importantes en el metabolismo animal:



- Diga cómo se denominan los compuestos indicados con los números 1 y 2 así como los procesos con las letras A, B y C (1 punto).
- ¿En qué compartimentos celulares se desarrollan dichos procesos? (0,5 puntos).
- Aparte de los productos finales, ¿en qué se diferencian los procesos B y C? (0,5 puntos).

El catabolismo de la glucosa:

2. El Ciclo de Krebs

- También llamada **ruta de los ácidos tricarboxílicos o ciclo del ácido cítrico.**
- Se lleva a cabo en la **matriz mitocondrial**

- **1 Piruvato**
- **2 H₂O**
- **4 NAD⁺**
- **1 FAD**
- **1 GDP + Pi**

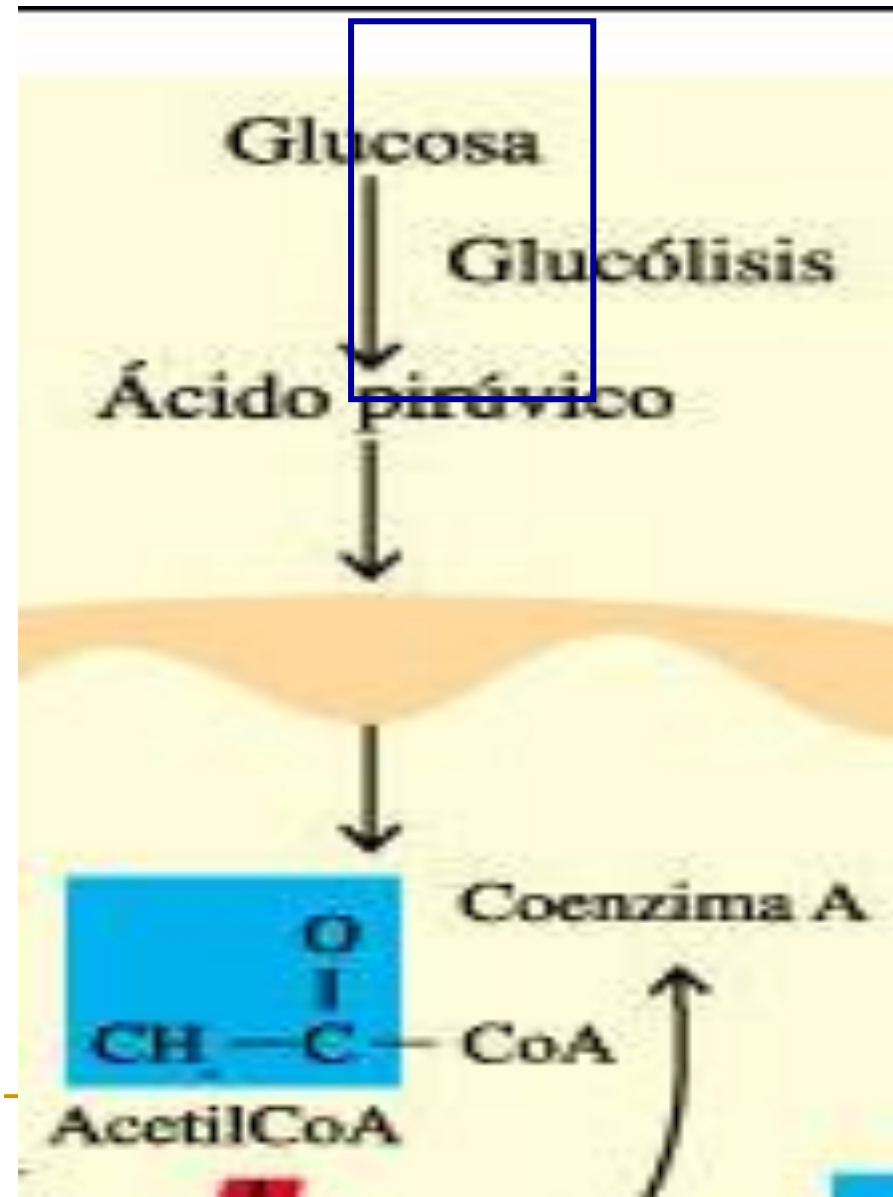


- **3 CO₂**
 - **4 NADH + 4H⁺**
 - **1 FADH₂**
 - **1 GTP**
-

El catabolismo de la glucosa:

2. Ciclo de Krebs

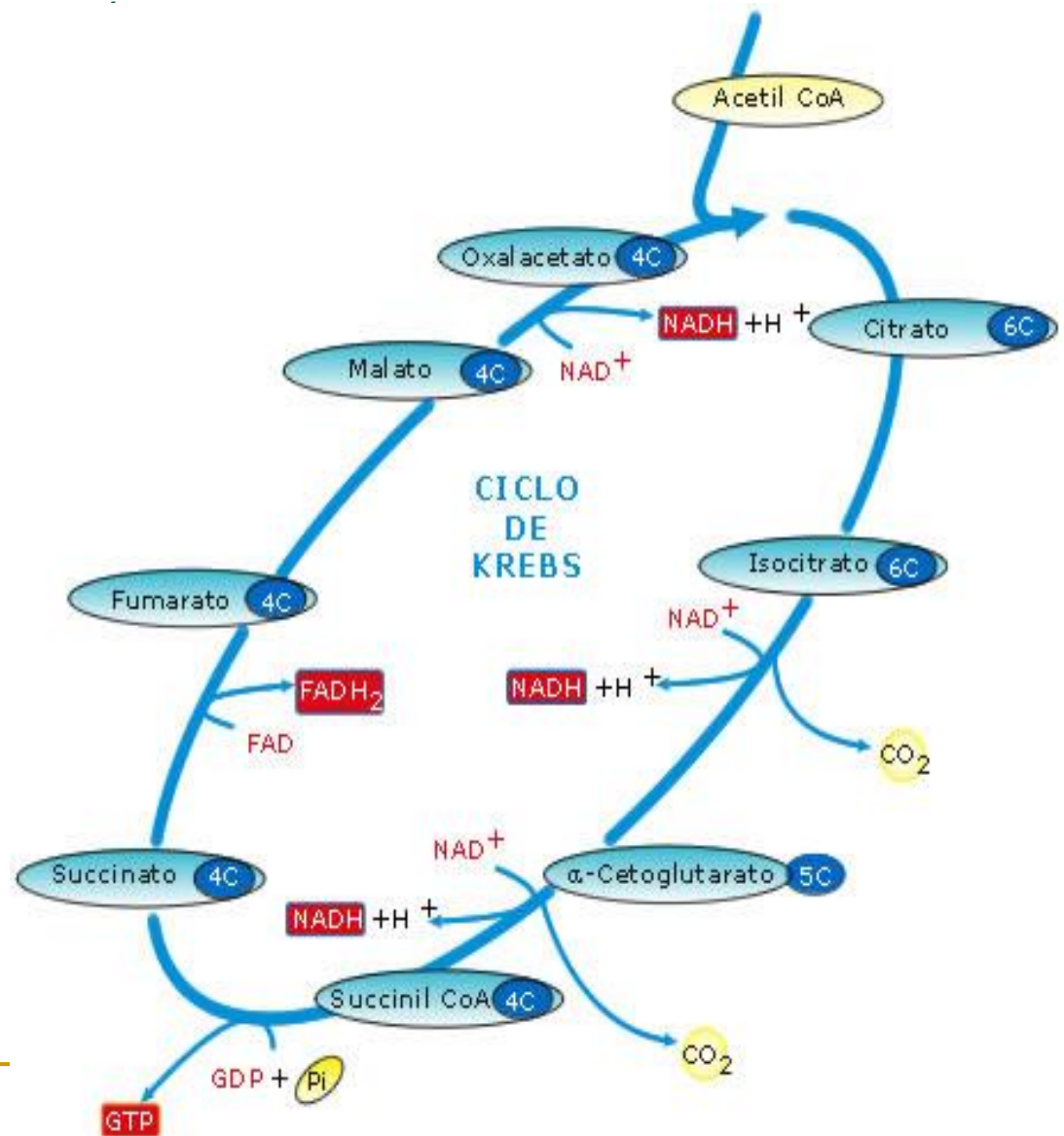
- De la glucólisis se acercan a la membrana 2 piruvatos
- Cada piruvato (3C) debe activarse y entrar en la mitocondria
- Complejo **piruvato deshidrogenasa**
- Entra en forma de **Acetil CoA (2 carbonos)**
- El piruvato se descarboxila y se deshidrogena
- Se obtienen:
 - 1 CO_2
 - 1 $\text{NADH} + \text{H}^+$



El catabolismo de la glucosa:

2. Ciclo de Krebs

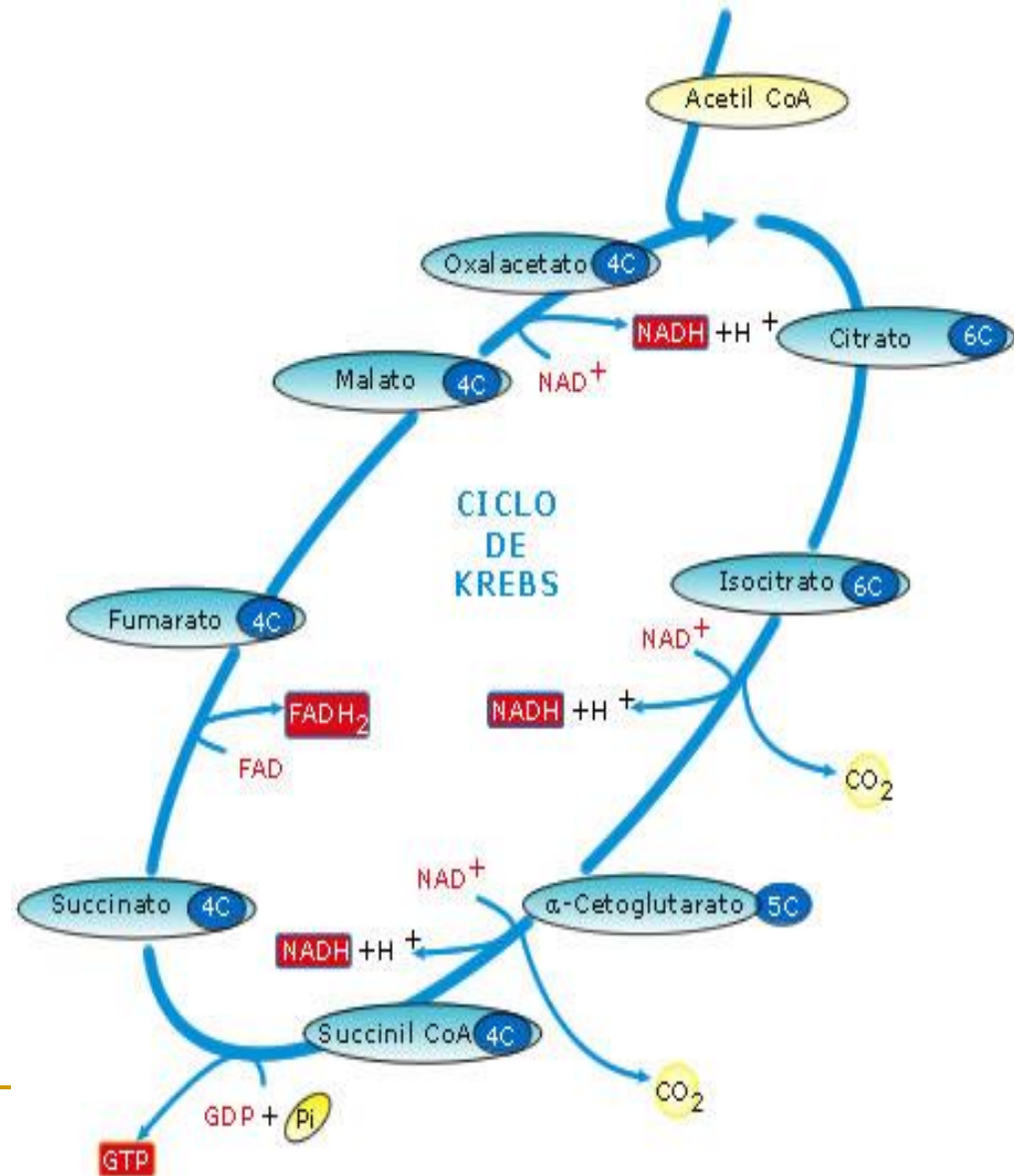
- Cada acetil CoA comienza el Ciclo de Krebs
- Para degradar una molécula de glucosa completamente hacen falta dos vueltas al Ciclo de Krebs



El catabolismo de la glucosa:

Ciclo de Krebs (1/8)

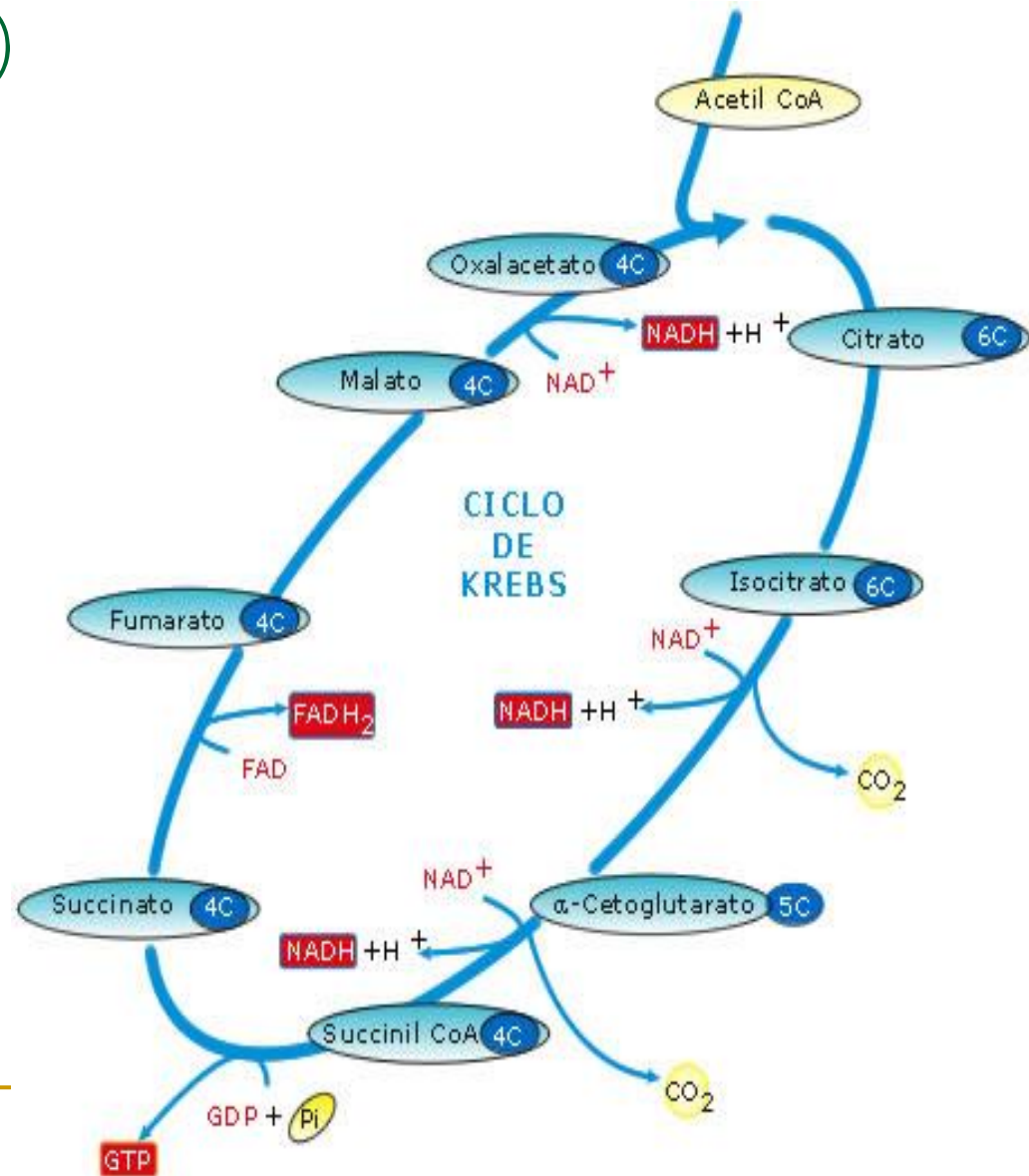
- El Acetil CoA (2C) se une con el ácido oxalacético (4C) para formar una molécula de **ácido cítrico o citrato (6C)**



El catabolismo de la glucosa:

Ciclo de Krebs (2/8)

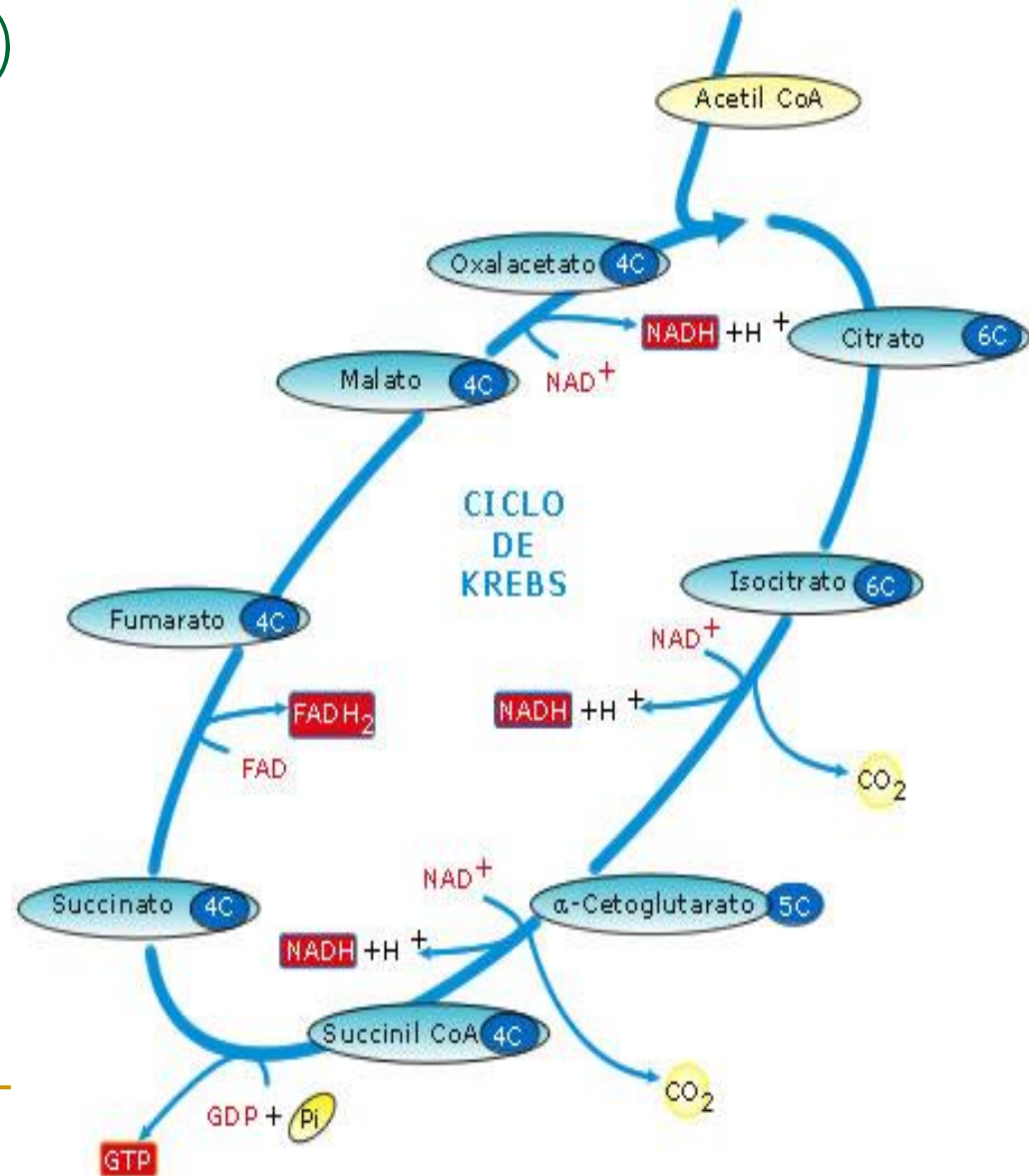
- El ácido cítrico (6C) se isomeriza a **ácido isocítrico (6C)**



El catabolismo de la glucosa:

Ciclo de Krebs (3/8)

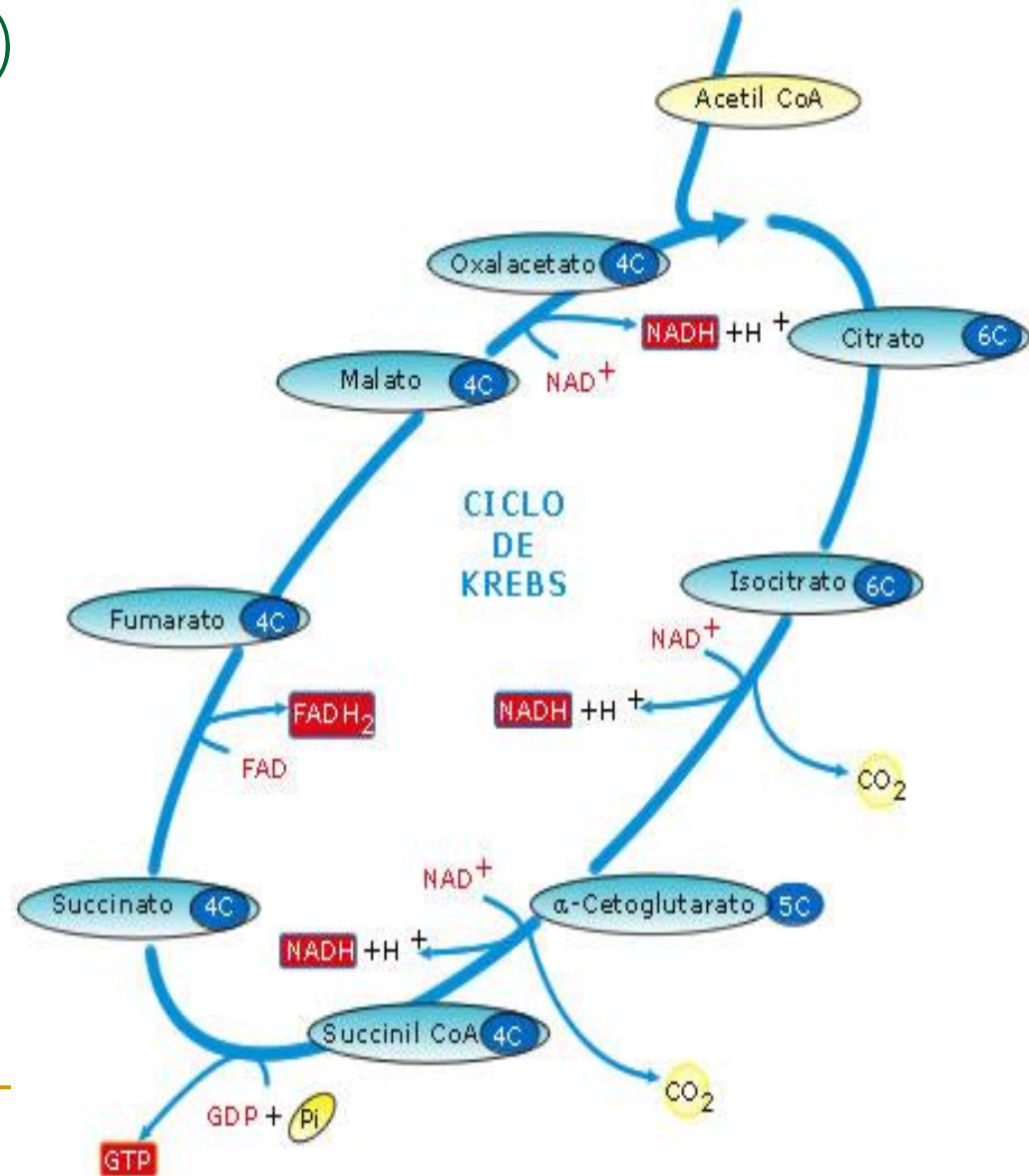
- El ácido isocítrico se descarboxila y se oxida perdiendo hidrógenos
- Se forma el **ácido α -cetoglutarico (5C)**
- Se libera **CO_2**
- Se forma un **$\text{NADH} + \text{H}^+$**



El catabolismo de la glucosa:

Ciclo de Krebs (4/8)

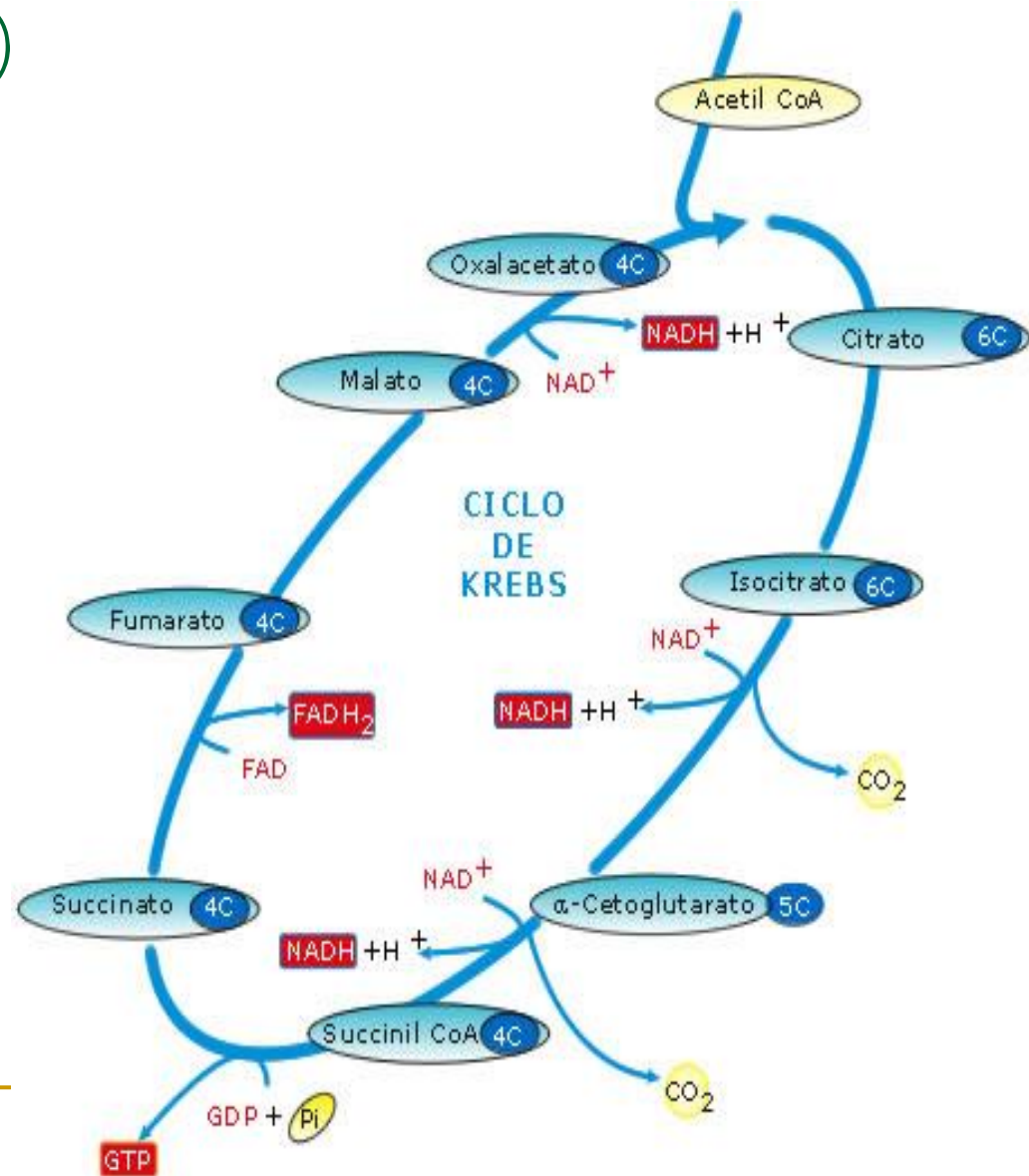
- El ácido α -cetoglutarico se descarboxila y deshidrogena, formándose **succinil-CoA (4C)**, necesítándose para la reacción la ayuda de CoA
- Se forma un **NADH + H⁺**



El catabolismo de la glucosa:

Ciclo de Krebs (5/8)

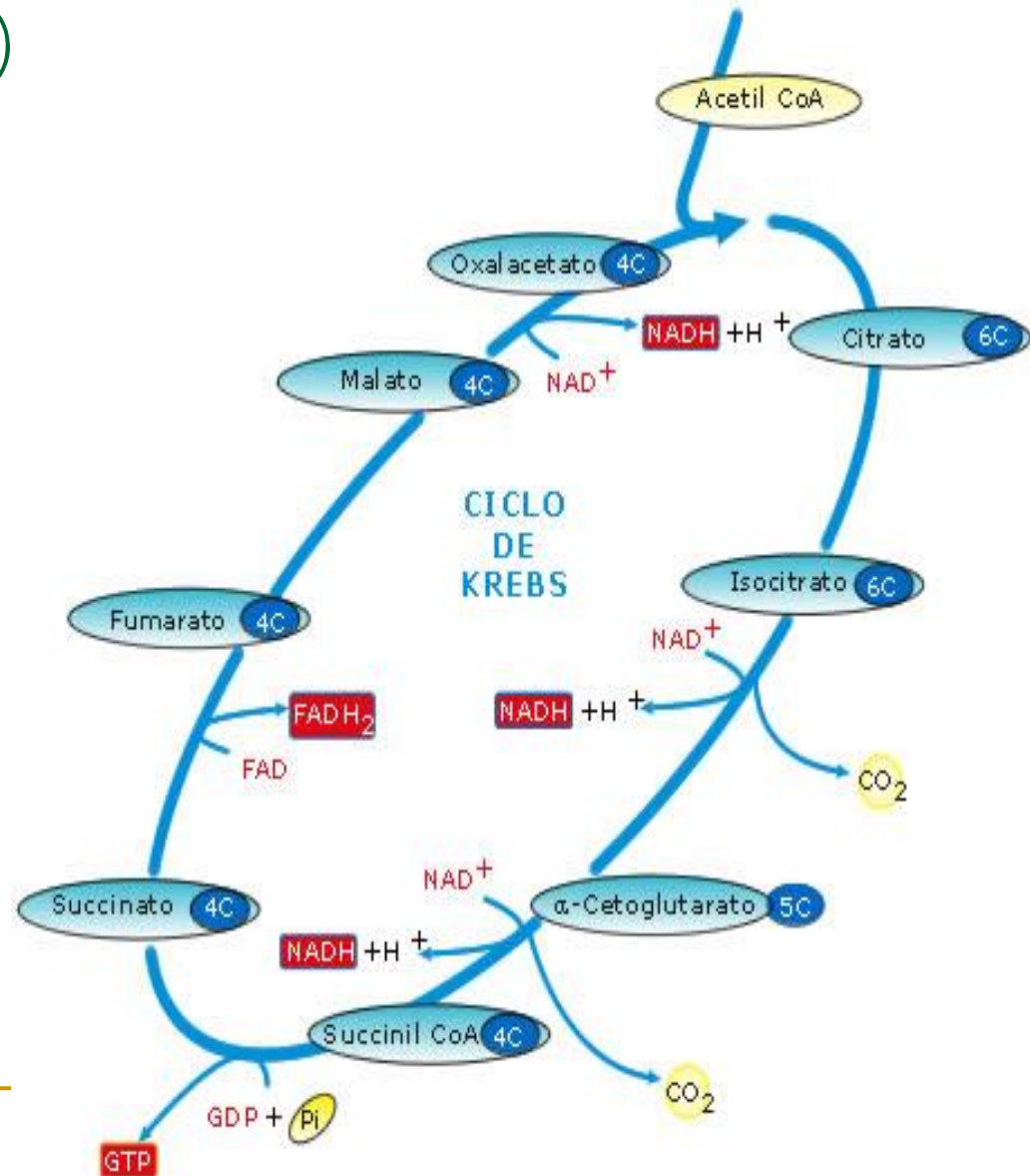
- El succinil-CoA pierde el CoA y se transforma en **ácido succínico (4C)**, liberándose una energía que es suficiente para formar un **GTP**



El catabolismo de la glucosa:

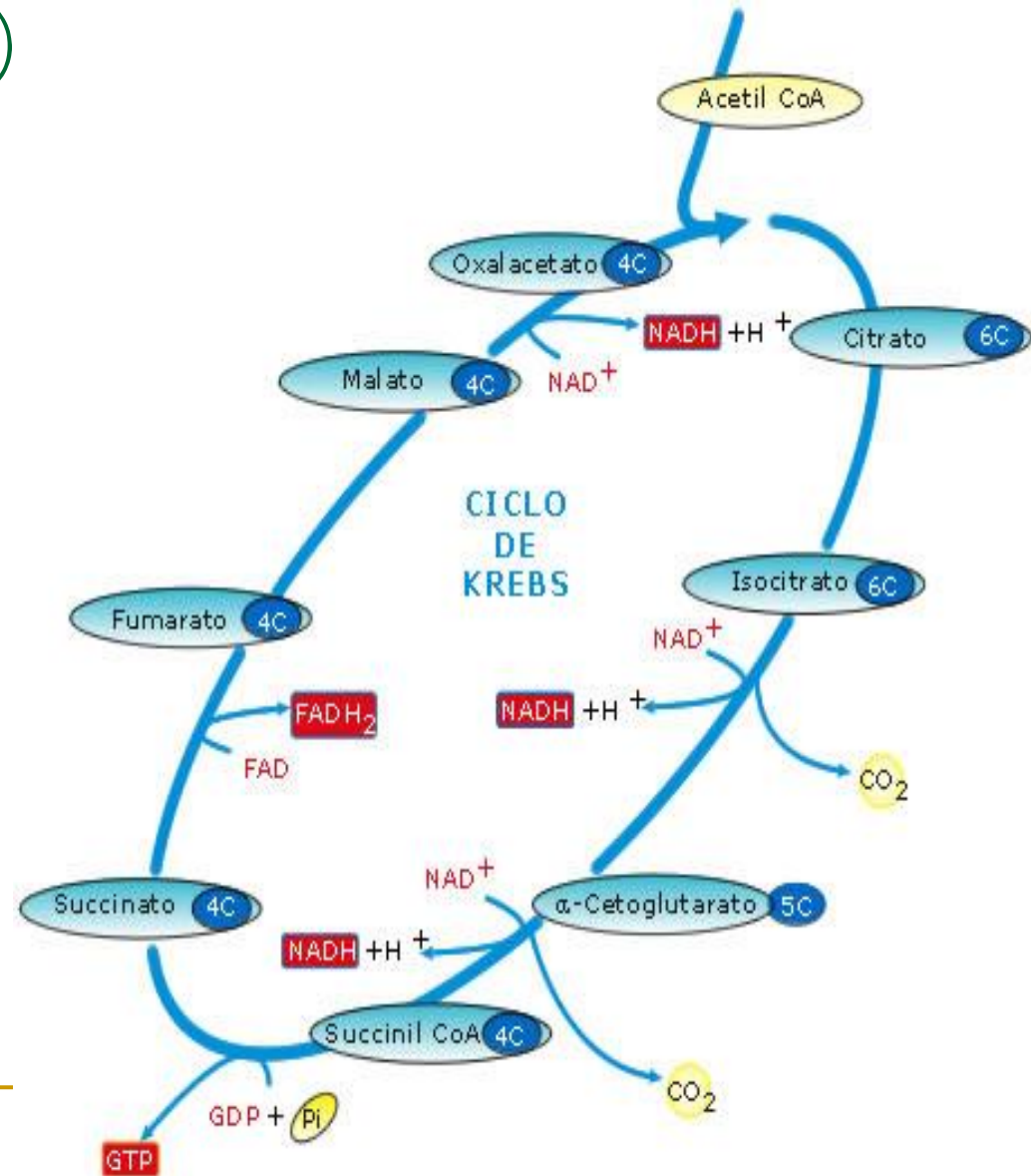
Ciclo de Krebs (6/8)

- El ácido succínico se oxida a **ácido fumárico (4C)**



El catabolismo de la glucosa: Ciclo de Krebs (7/8)

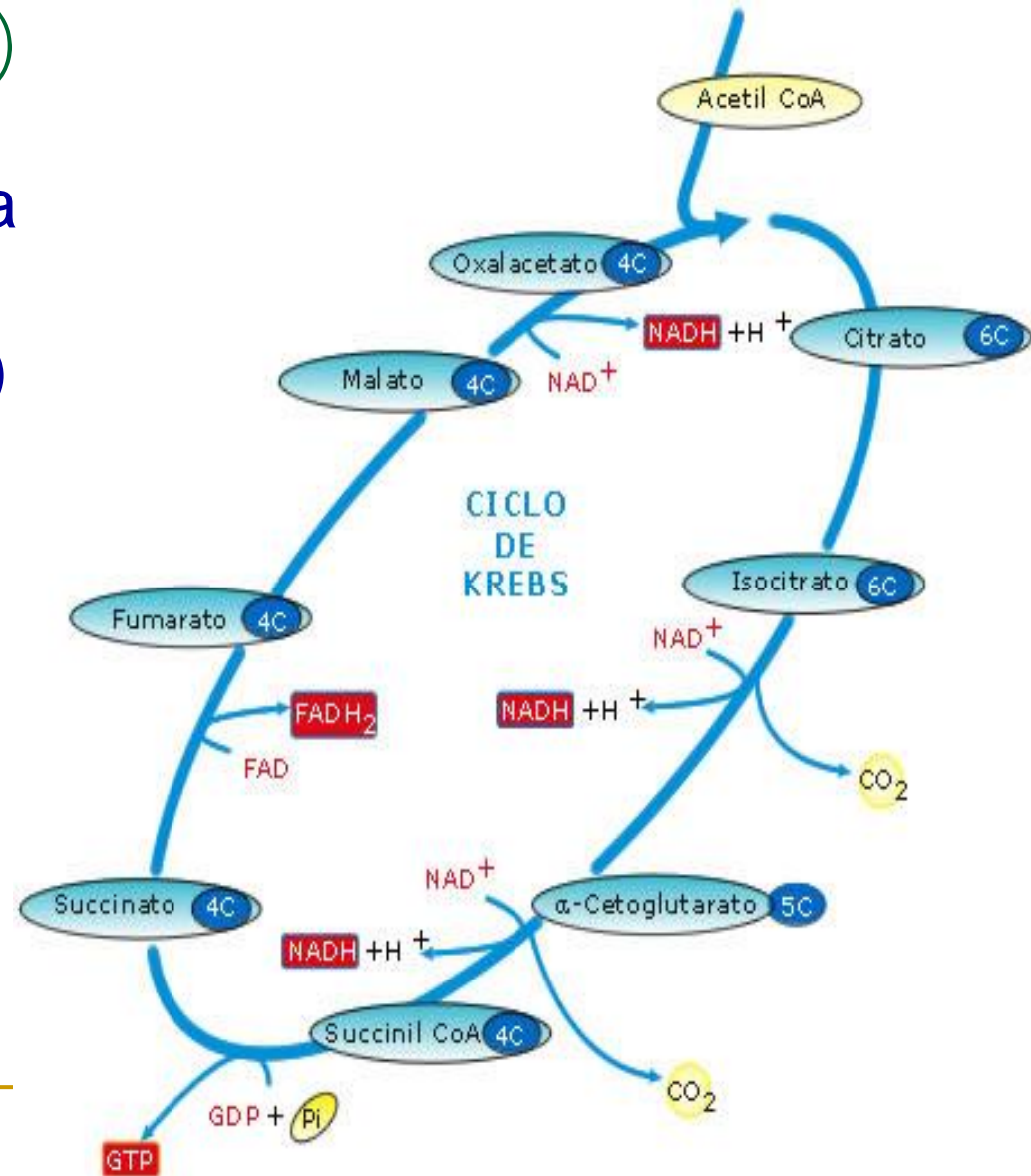
- El ácido fumárico se hidrata y se transforma en **ácido málico (4C)**



El catabolismo de la glucosa:

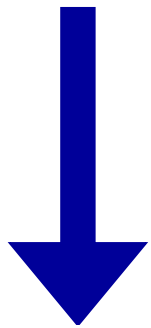
Ciclo de Krebs (8/8)

- El ácido málico se oxida y se transforma en **ácido oxalacético (4C)**

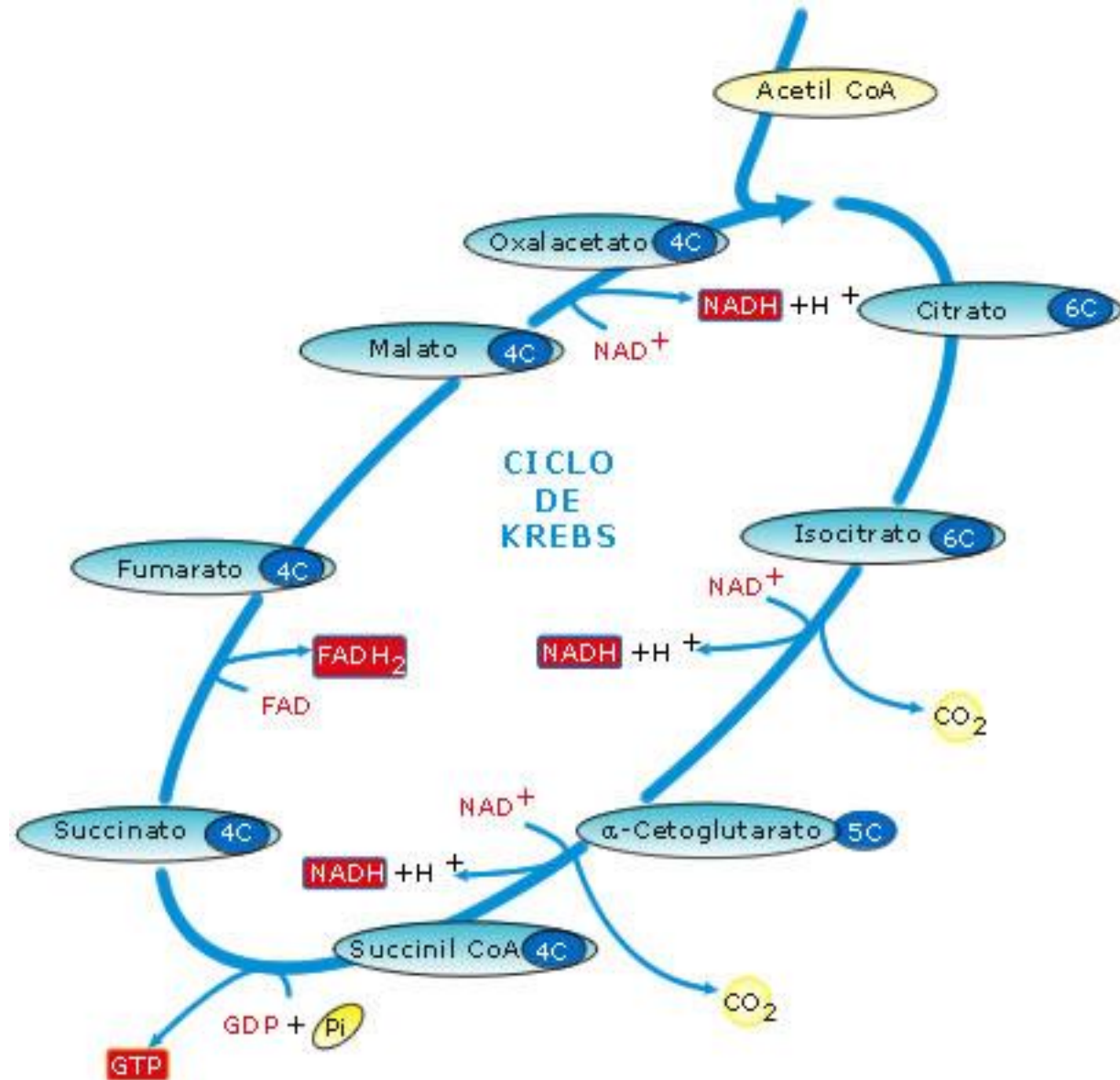


El catabolismo de la glucosa: C. Krebs

- 1 Piruvato
- 2 H₂O
- 4 NAD⁺
- 1 FAD
- 1 GDP + Pi



- 3 CO₂
- 4 NADH + 4H⁺
- 1 FADH₂
- 1 GTP



El catabolismo de la glucosa:

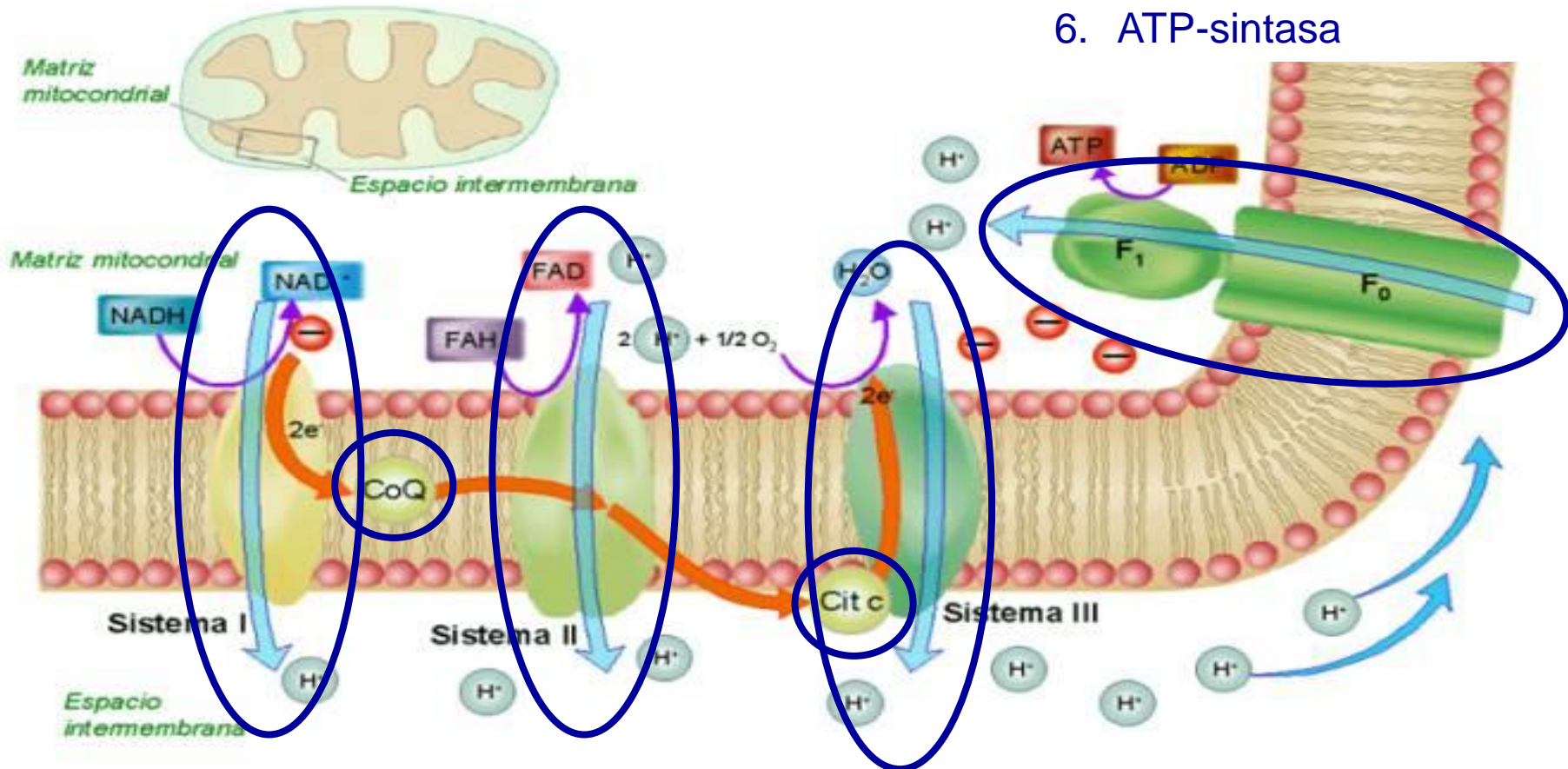
3. Cadena transportadora de electrones

- Las coenzimas reducidas durante la glucólisis y el ciclo de Krebs ceden sus electrones a un conjunto de moléculas orgánicas
 - El transporte de electrones se aprovecha para bombear protones desde la matriz mitocondrial al espacio intermembranoso
 - Todo el proceso sirve para generar energía
-

El catabolismo de la glucosa:

3. Cadena transportadora de electrones

1. Complejo NADH-deshidrogenasa
2. Coenzima Q
3. Complejo citocromo b-c₁
4. Citocromo C
5. Complejo citocromo-oxidasa
6. ATP-sintasa

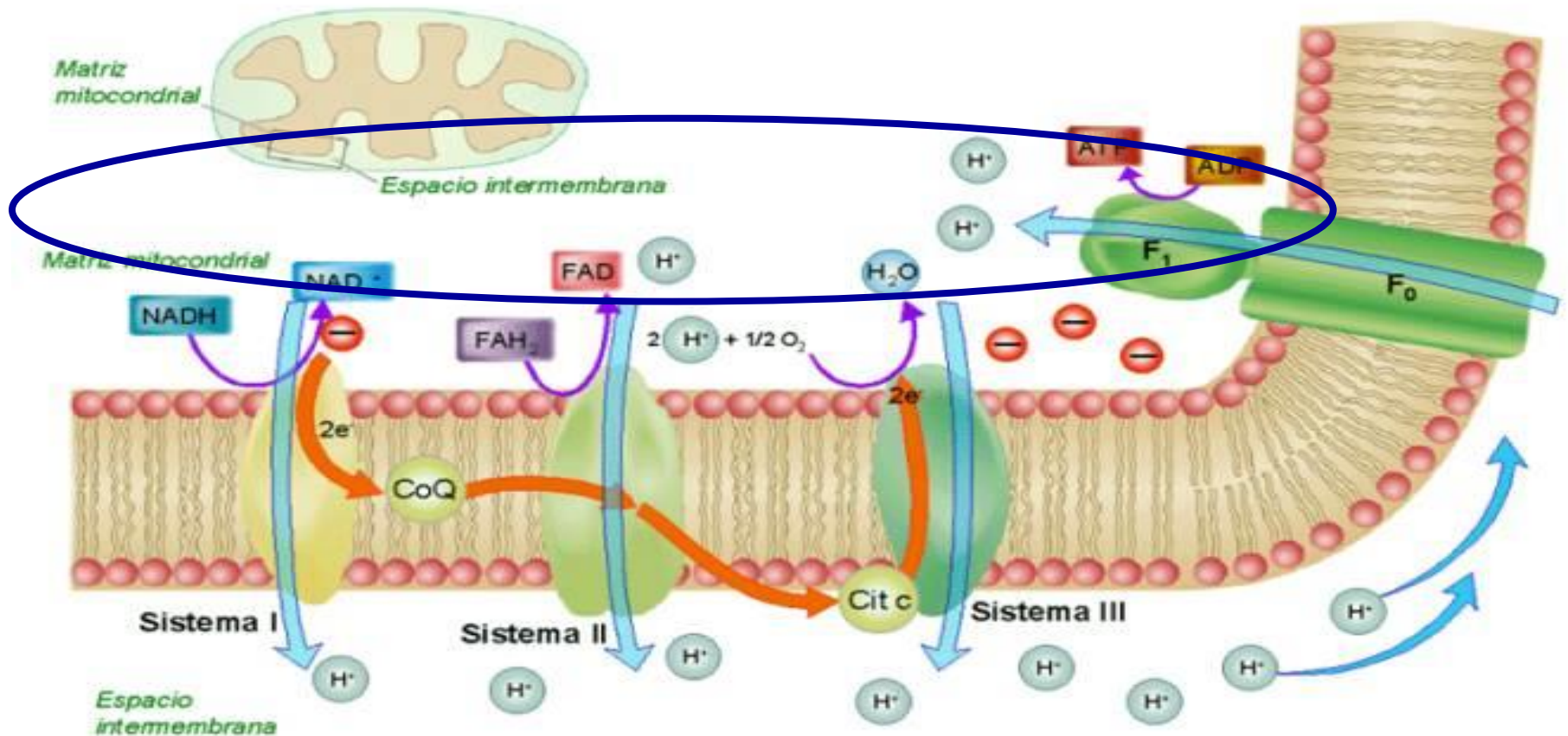


El catabolismo de la glucosa:

3. Cadena transportadora de electrones

El transporte de electrones genera energía que permite la salida de protones al espacio intermembrana.

A este proceso se le denomina **fosforilación oxidativa**

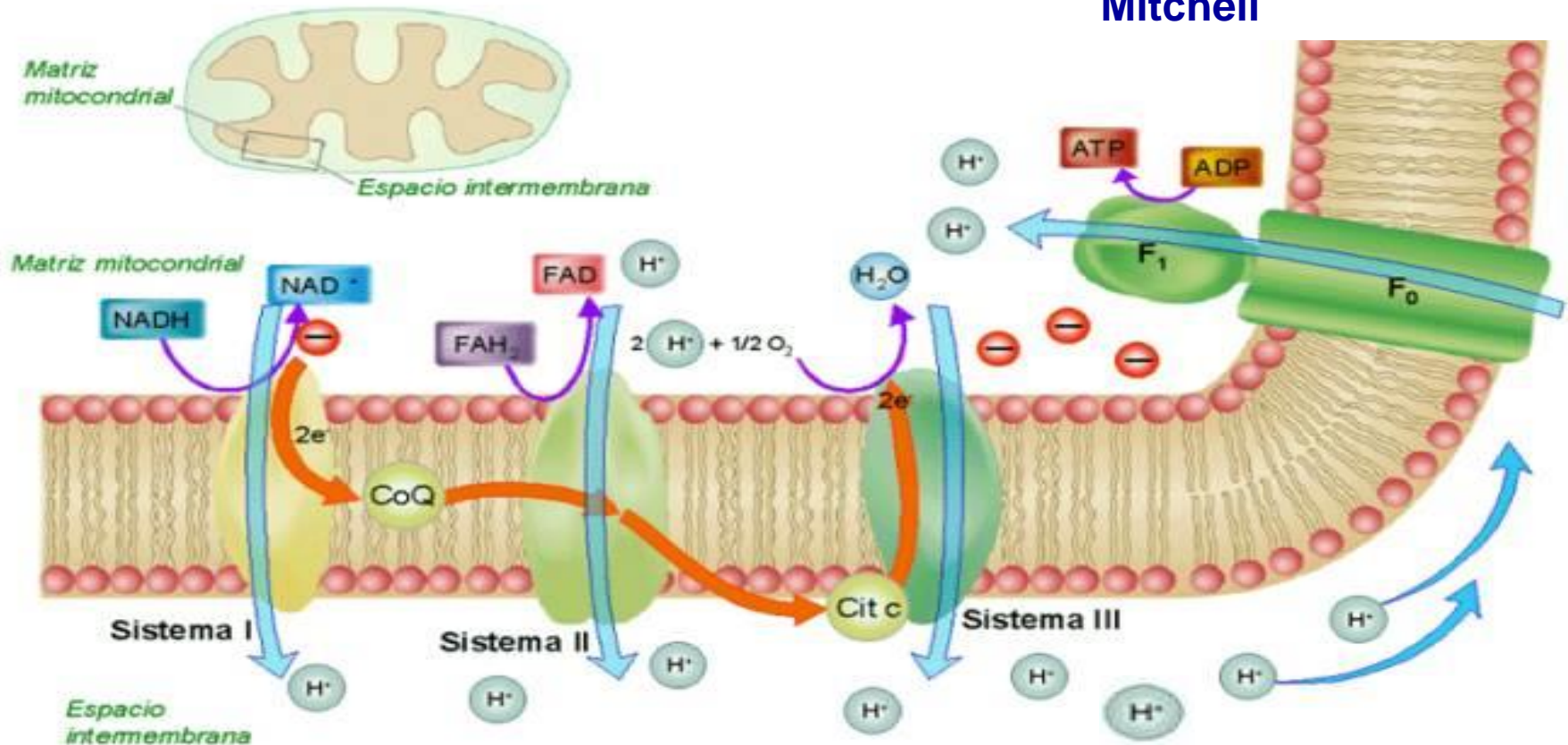


El catabolismo de la glucosa:

3. Cadena transportadora de electrones

Cuando, debido al **gradiente electroquímico**, los protones retornan al espacio intermembrana, lo hacen a través de la **ATP-sintasa**, compuesta por las partículas F_0 y F_1

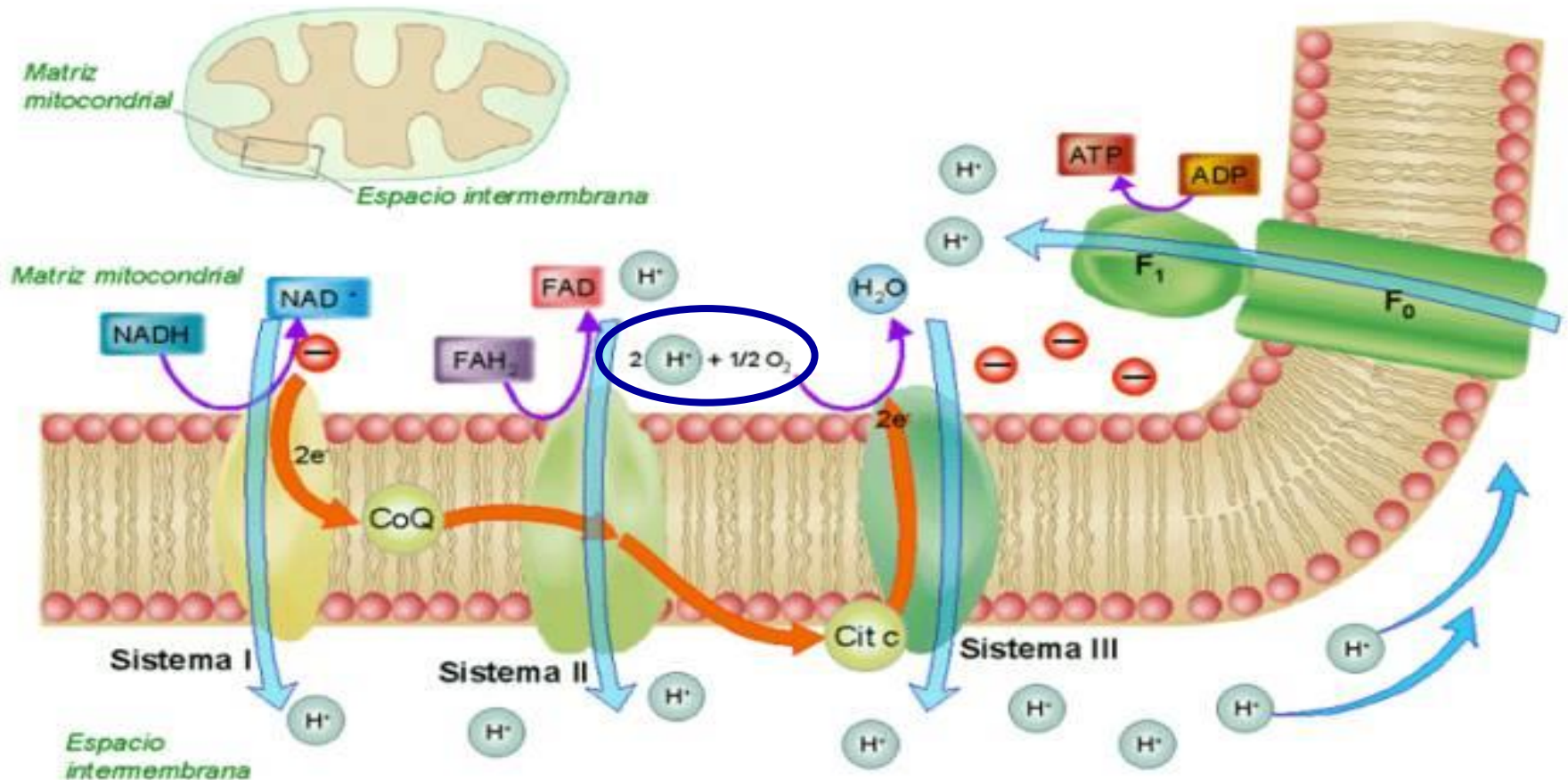
Hipótesis quimiosmótica de Mitchell



El catabolismo de la glucosa:

3. Cadena transportadora de electrones

- El último receptor de electrones es el **oxígeno**, que se convierte en agua
- **Respiración aerobia**



Balance energético del catabolismo de una molécula de glucosa

Vía metabólica	Energía generada	Poder reductor	Total ATPs
Glucólisis	2 ATP	2 NADH + 2H ⁺	8 ATP
Ciclo de Krebs	1 GTP (x2)	4 NADH + 4H ⁺ 1 FADH ₂ (x2)	15 x 2 = 30 ATP
Total			38 ATP

1 Mol de glucosa (180 g) → 38 moles de ATP x 7 kcal/mol ATP = **266 kcal**

Catabolismo: vías metabólicas

Catabolismo de la glucosa

Catabolismo

Respiración
(utiliza oxígeno)

Glúcidos

Glucólisis
Ciclo de Krebs
Fosforilación oxidativa
Glucogenolisis

Lípidos --> oxidación ácidos grasos

Proteínas

Transaminación
Desaminación oxidativa
Descarboxilación

Fermentación
(NO utiliza oxígeno)

Alcohólica Butírica
Láctica Pútrida

Catabolismo de los lípidos

1 mol de...

Glucosa

Grasa

Proteínas

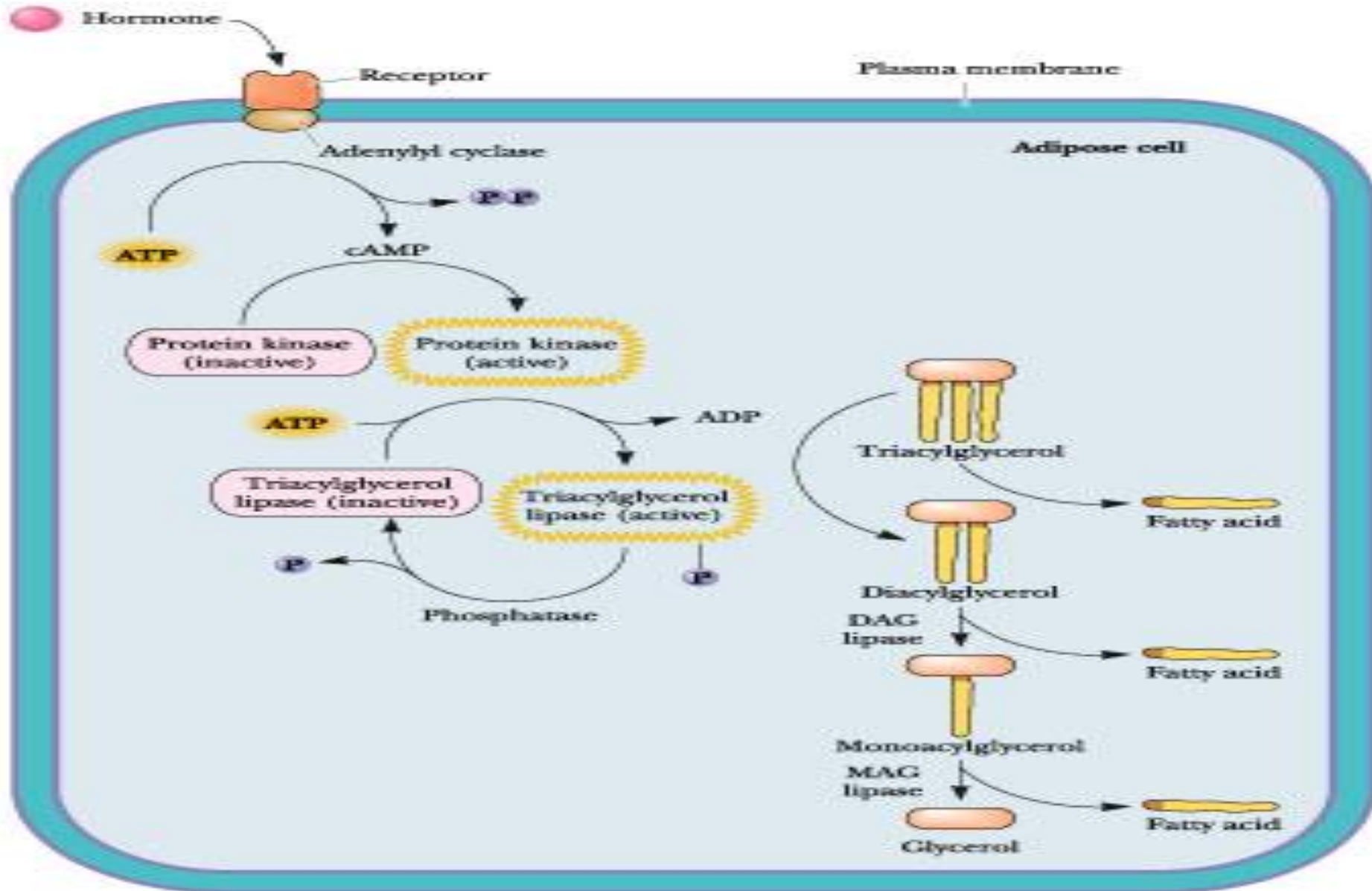
Genera

266 Kcalorías

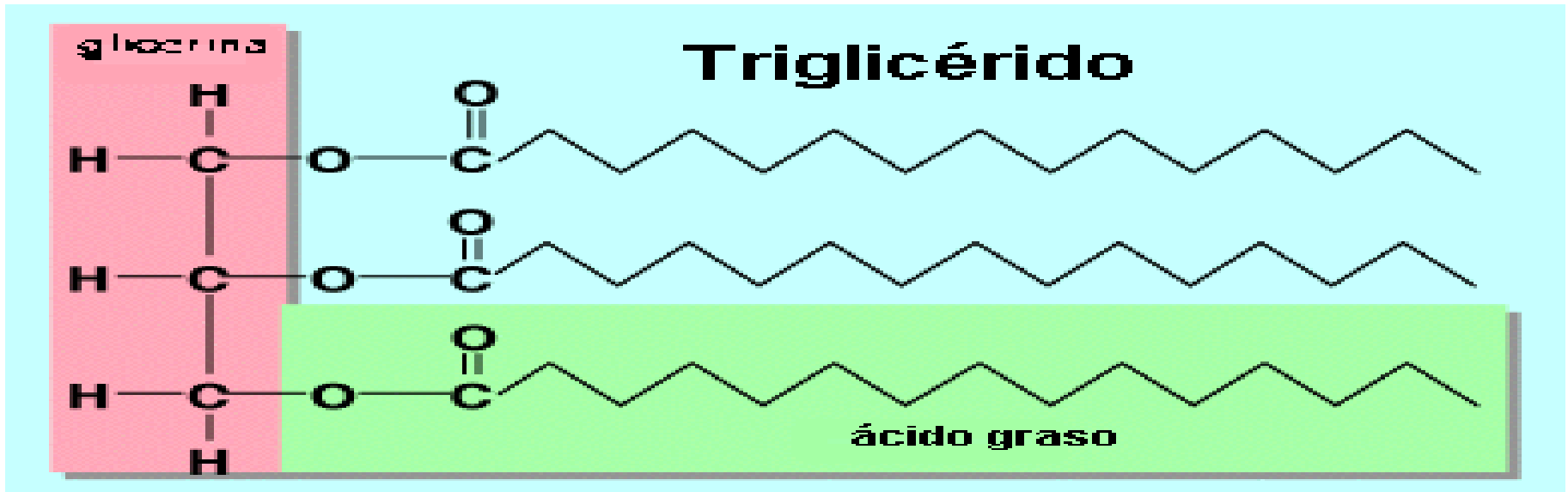
910 Kcalorías

280 Kcalorías

Catabolismo de los lípidos: las lipasas



Catabolismo de los lípidos



- La **glicerina** se transforma en hidroxiacetona y continúa la glucólisis → Ciclo de Krebs → Fosforilación oxidativa
- Cada **ácido graso** sufre una oxidación: la **hélice de Lynen**

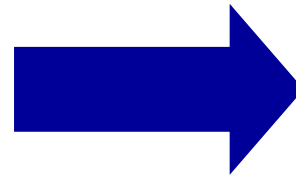
La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen

- Se lleva a cabo en la **matriz mitocondrial**
- Se puede poner de ejemplo el **ácido palmítico (16C)**



• 1 **Ácido palmítico (16C)**

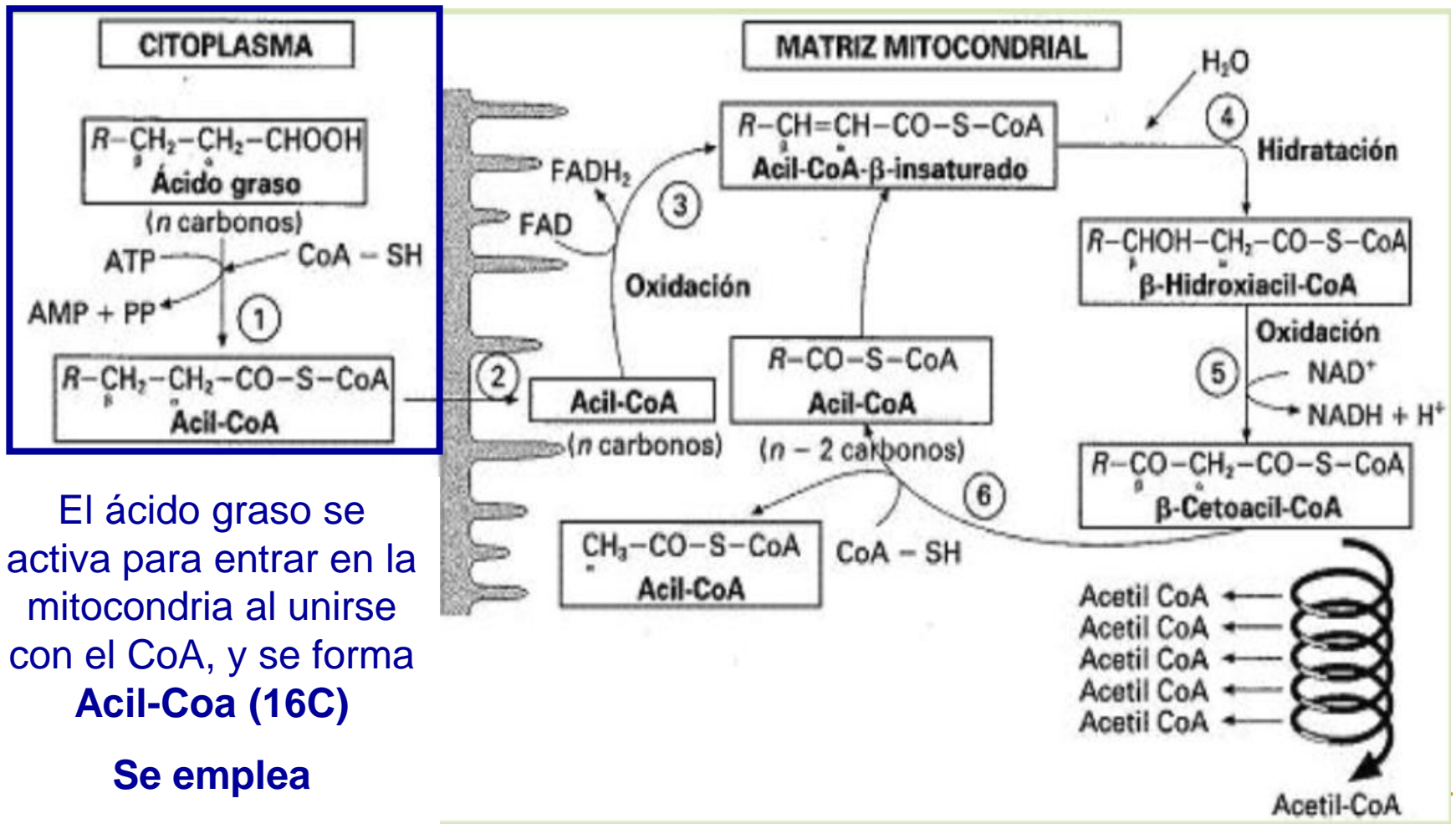
- 8 CoA
- 1 ATP
- 7 NAD⁺
- 7 FAD
- 7 H₂O



• 8 **Acil CoA (2C)**

- 1 AMP + PP_i
- 7 NADH + 7H⁺
- 7 FADH₂

La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen: etapa 1/6

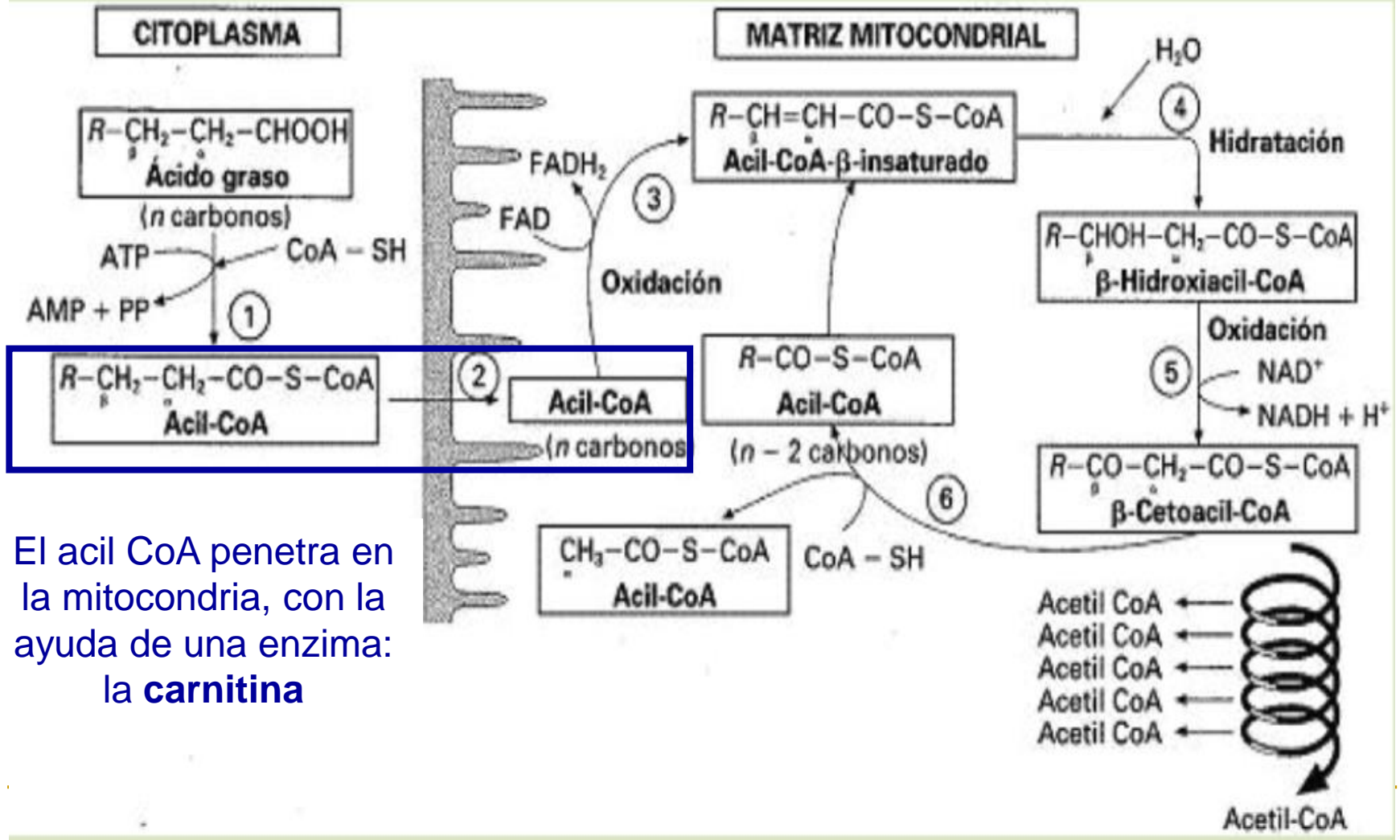


El ácido graso se activa para entrar en la mitocondria al unirse con el CoA, y se forma **Acil-Coa (16C)**

Se emplea

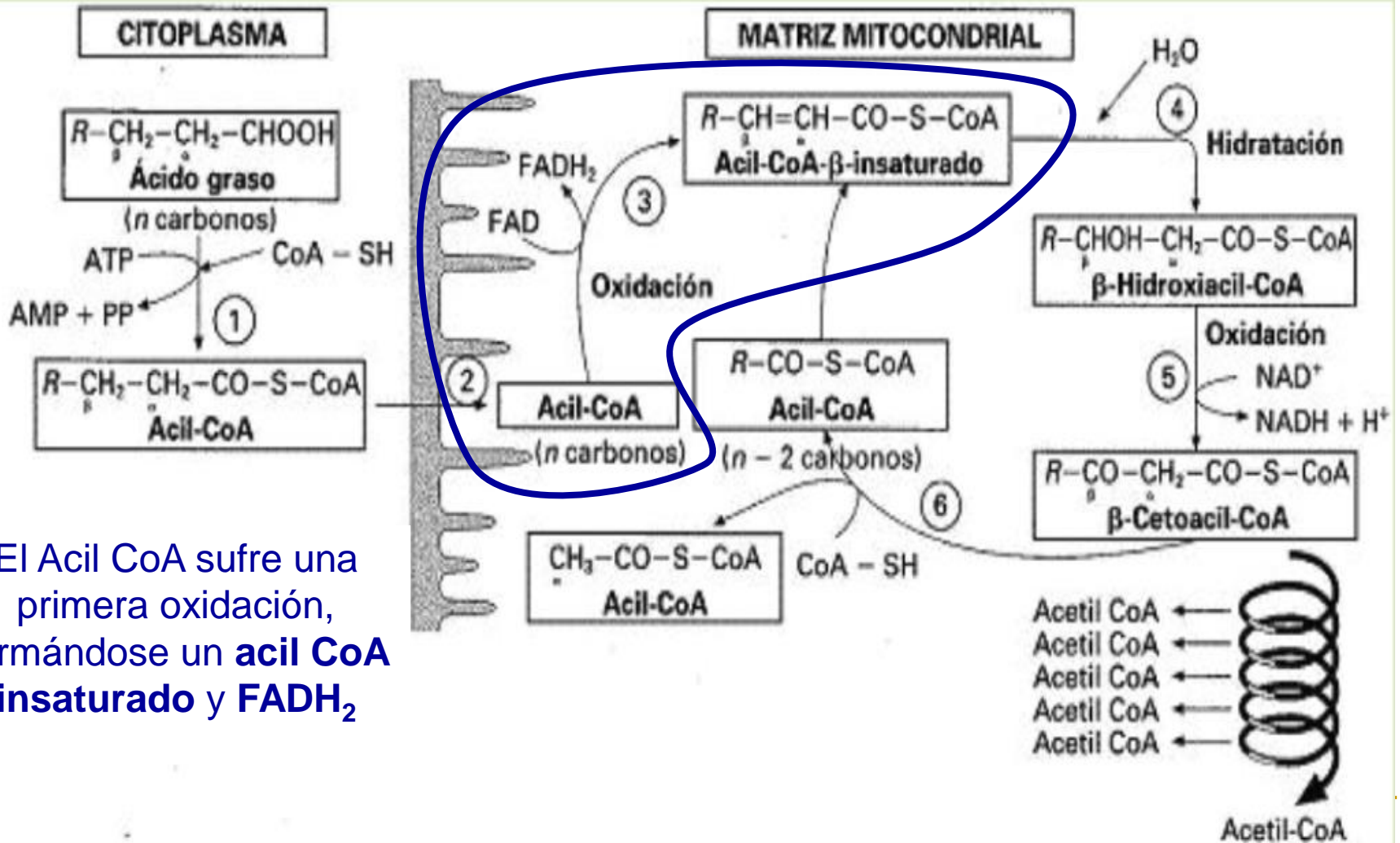
ATP \rightarrow AMP + PPi

La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen: etapa 2/6



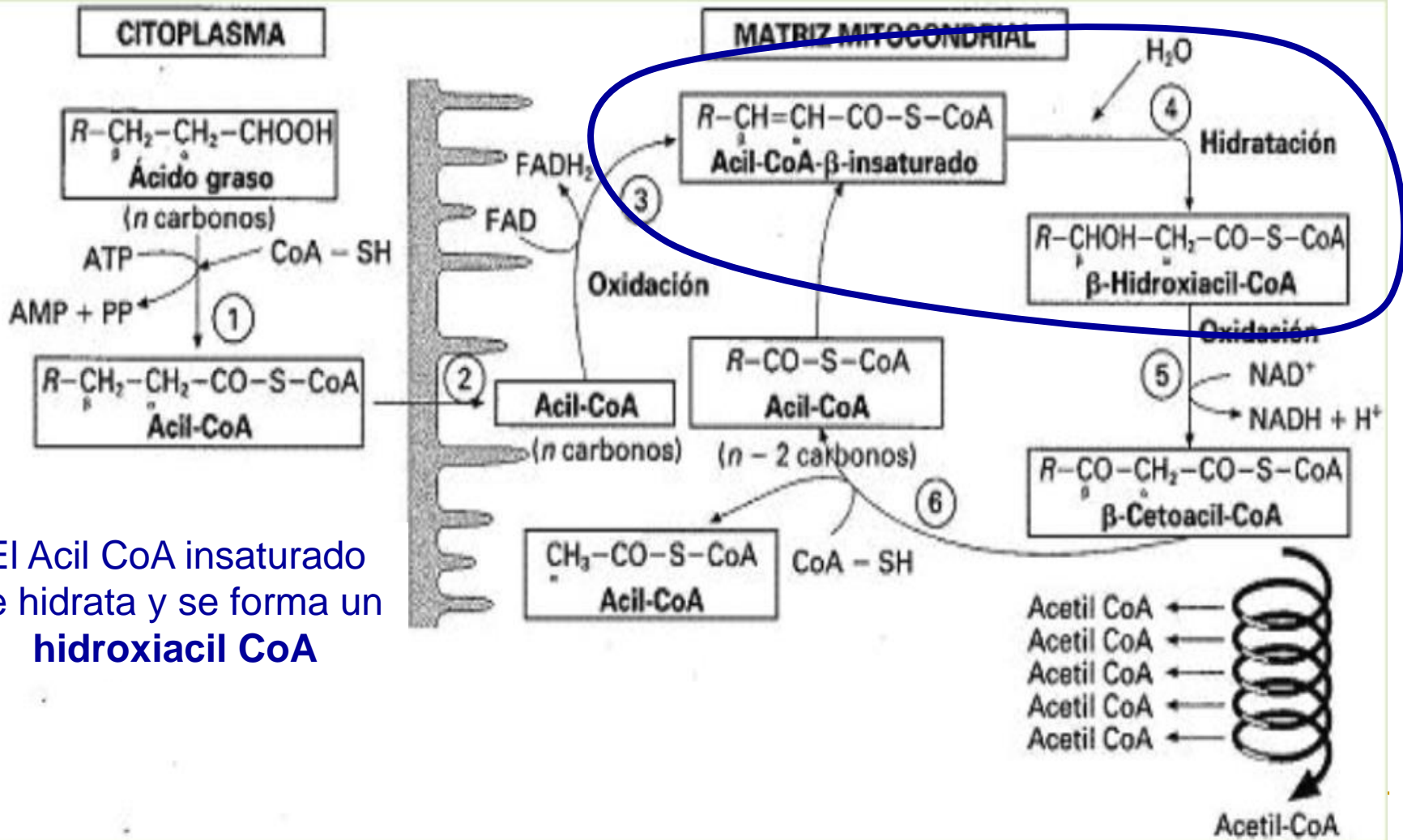
El acil CoA penetra en la mitocondria, con la ayuda de una enzima: la **carnitina**

La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen: etapa 3/6



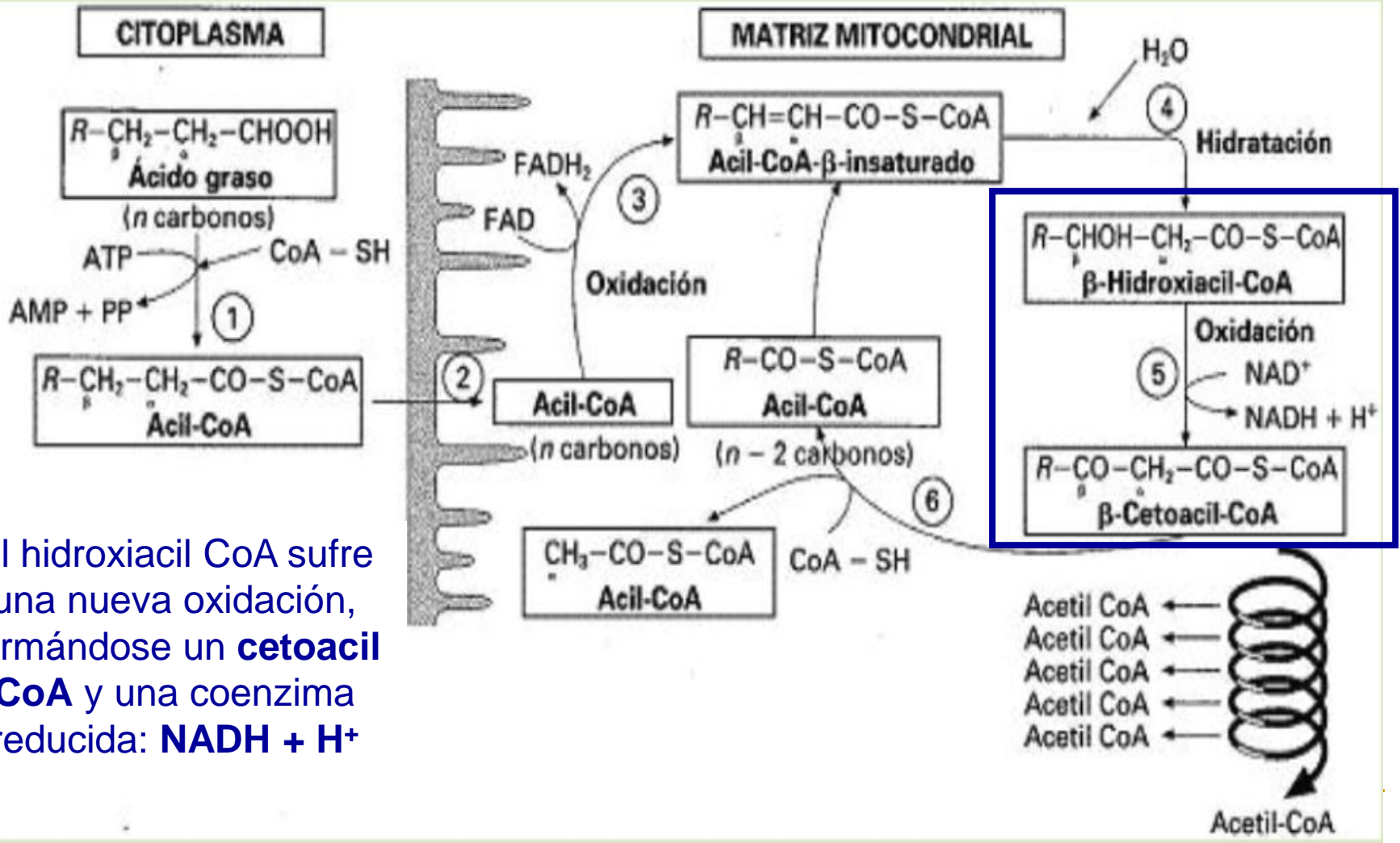
El Acil CoA sufre una primera oxidación, formándose un **acil CoA insaturado** y **$FADH_2$**

La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen: etapa 4/6



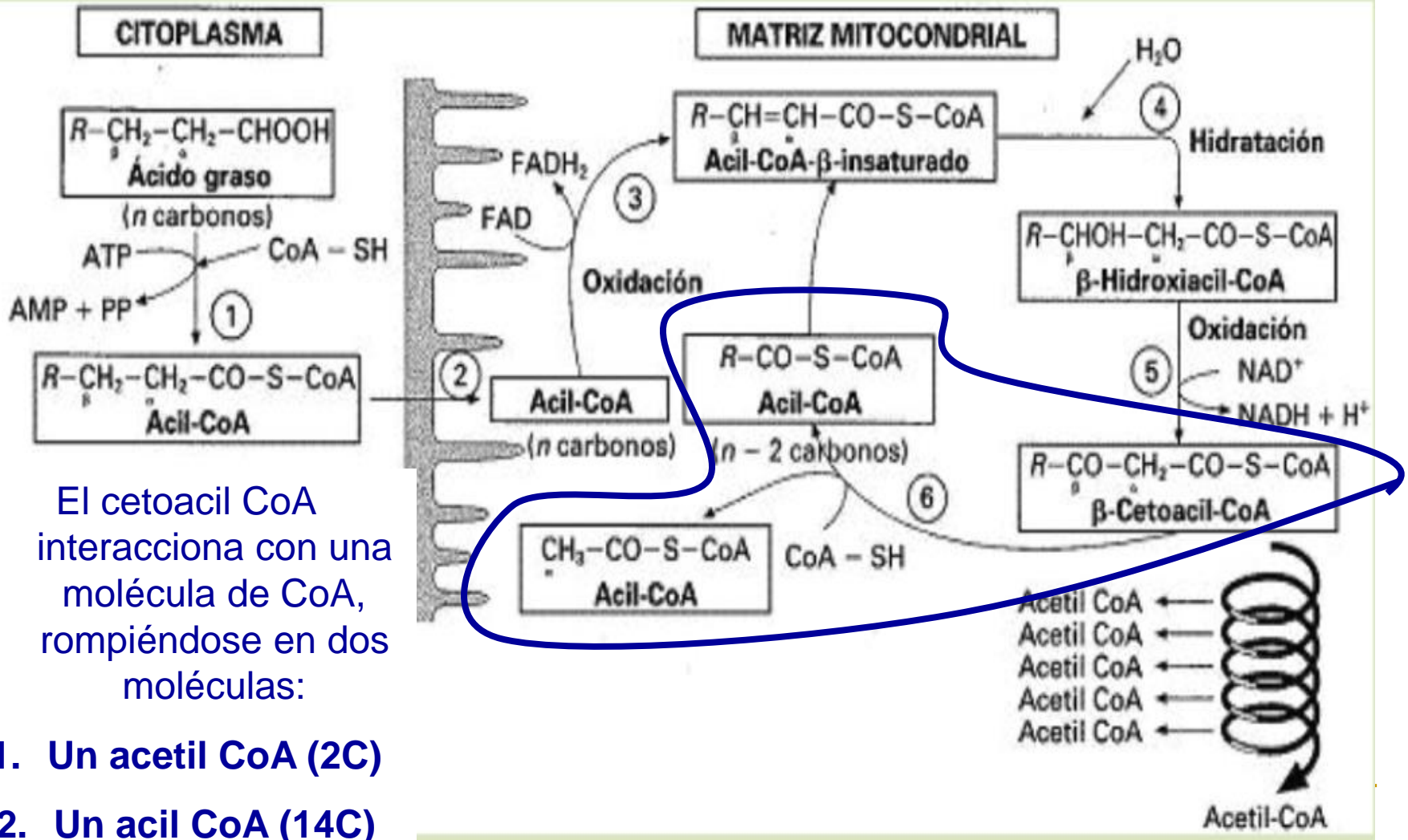
El Acil CoA insaturado se hidrata y se forma un **hidroxiacil CoA**

La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen: etapa 5/6



El hidroxiacil CoA sufre una nueva oxidación, formándose un **cetoacil CoA** y una coenzima reducida: **NADH + H⁺**

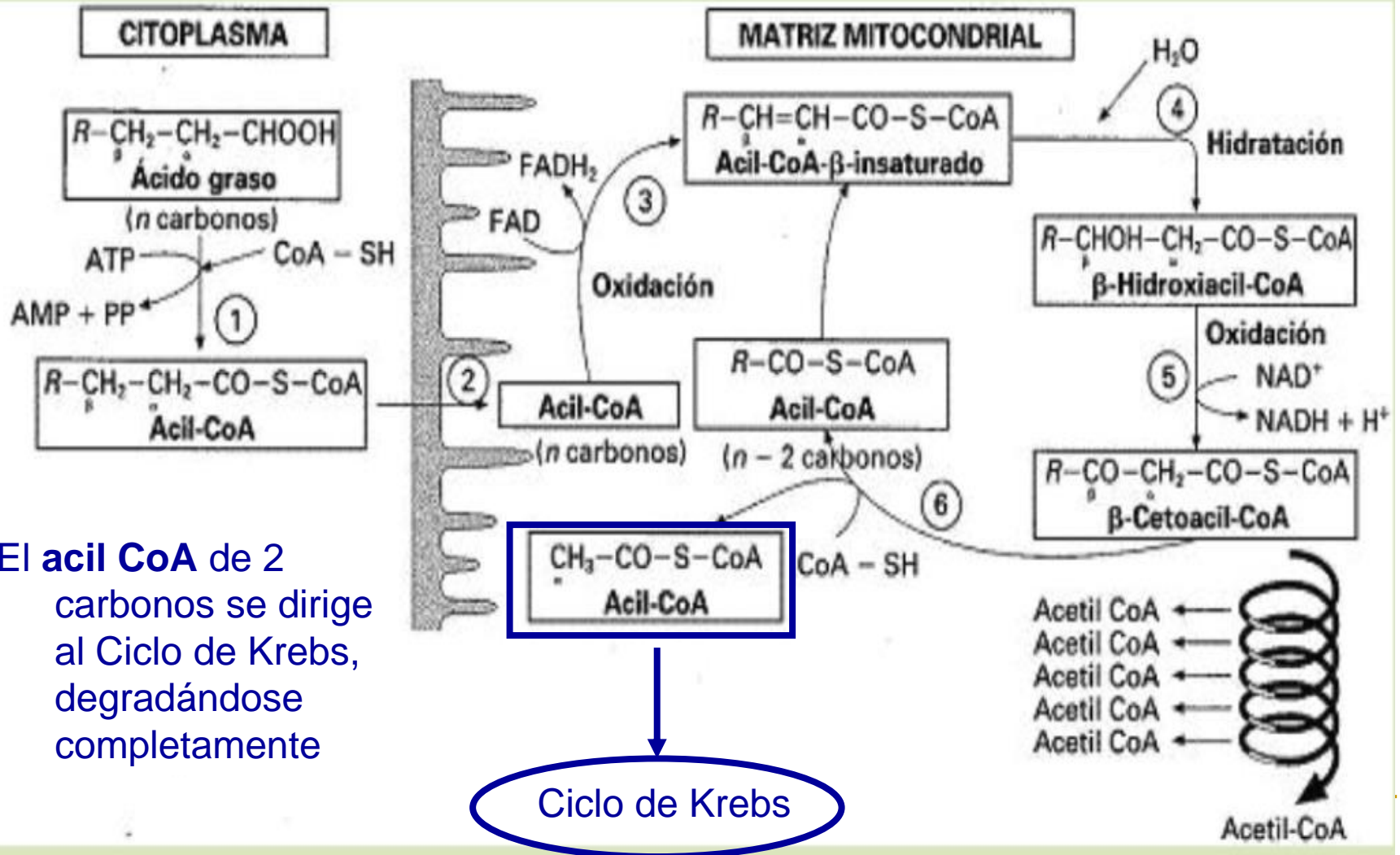
La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen: etapa 6/6



El cetoacil CoA interacciona con una molécula de CoA, rompiéndose en dos moléculas:

1. Un acetil CoA (2C)
2. Un acil CoA (14C)

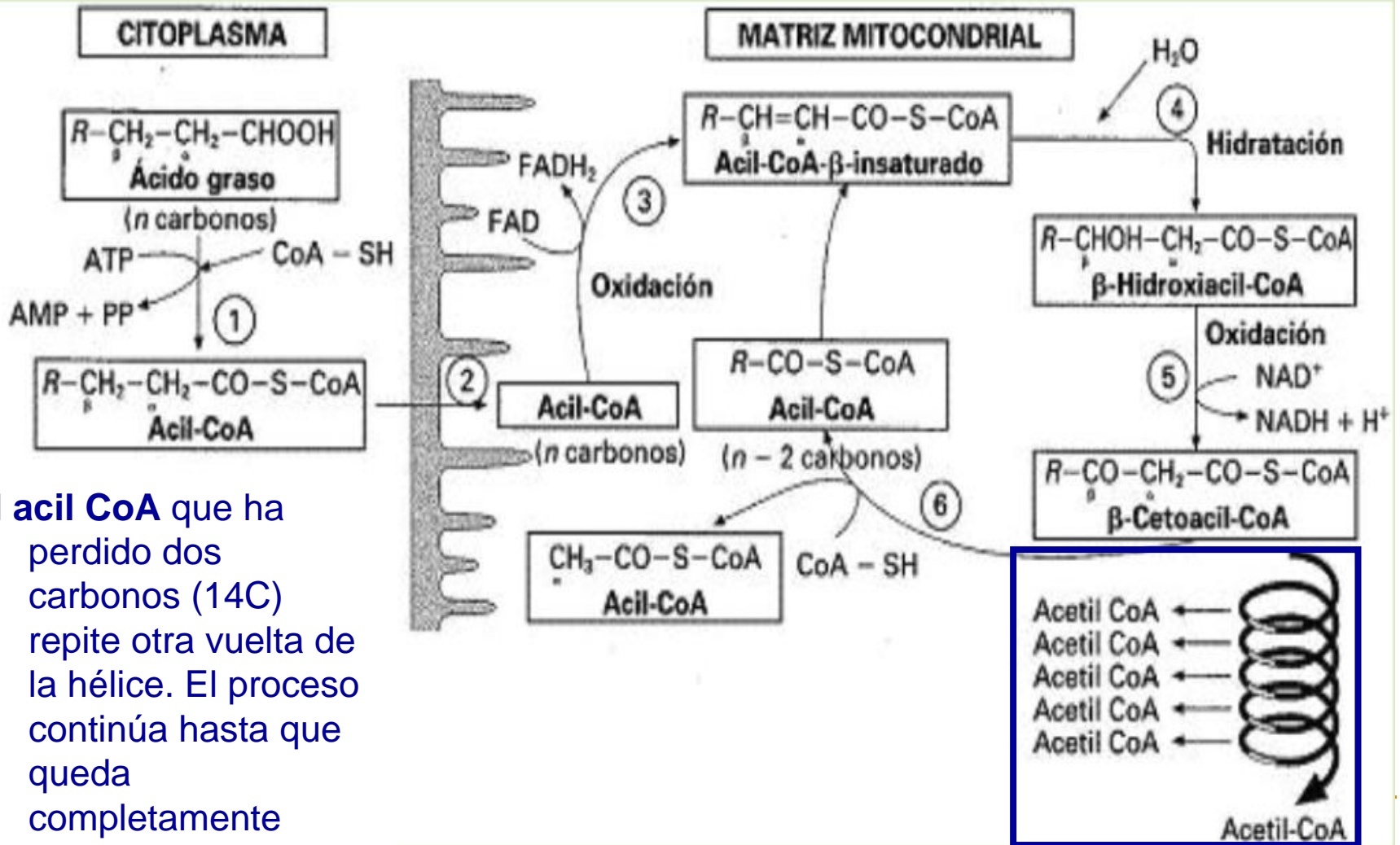
La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen



El **acil CoA** de 2 carbonos se dirige al Ciclo de Krebs, degradándose completamente

Ciclo de Krebs

La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen



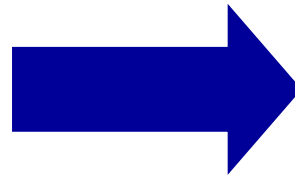
El **acil CoA** que ha perdido dos carbonos (14C) repite otra vuelta de la hélice. El proceso continúa hasta que queda completamente degradada

La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen

- Se lleva a cabo en la **matriz mitocondrial**
- Para degradar un ácido graso de 16C **hacen falta siete vueltas** a la hélice de Lynen

- **1 Ácido palmítico (16C)**

- 8 CoA
- 1 ATP
- 7 NAD⁺
- 7 FAD
- 7 H₂O



- **8 Acil CoA (2C)**

- 1 AMP + PP_i
- 7 NADH + 7H⁺
- 7 FADH₂

La oxidación de los ácidos grasos o hélice de Lynen: balance energético

8 Acetil CoA en el Ciclo de Krebs	96 ATPs
7 FADH ₂	14 ATPs
7 NADH + H ⁺	21 ATPs
Activación del ácido graso en el citoplasma	- 1 ATP
TOTAL	130 ATPs

1 mol de ácido palmítico (256 g) rinde 131 moles de ATP = 910 Kcal

Catabolismo: vías metabólicas

Catabolismo de la glucosa

Catabolismo

Respiración
(utiliza oxígeno)

Glúcidos

Glucólisis
Ciclo de Krebs
Fosforilación oxidativa
Glucogenolisis

Lípidos --> oxidación ácidos grasos

Proteínas

Transaminación
Desaminación oxidativa
Descarboxilación

Fermentación
(NO utiliza oxígeno)

Alcohólica Butírica
Láctica Pútrida

Catabolismo de las proteínas

- Los derivados de la oxidación de los aminoácidos penetran en el Ciclo de Krebs para generar energía
 - Consiste en tres procesos:
 1. Transaminación
 2. Desaminación oxidativa
 3. Descarboxilación
-

Catabolismo de las proteínas: transaminación

- Traspaso del grupo amino de un aminoácido a un cetoácido, que lo acepta y se transforma en otro aminoácido
- Reacción catalizada por una enzima transferasa: la transaminasa



Catabolismo de las proteínas: desaminación oxidativa

- Consiste en la liberación del grupo amino de los aminoácidos en forma de ion amonio (NH_4^+). Se forman cetoácidos y coenzimas reducidas ($\text{NADH} + \text{H}^+$)
- Catalizadas por enzimas deshidrogenasas
- En el citoplasma y en las células hepáticas



Catabolismo de las proteínas: descarboxilación

- Degradación de los aminoácidos mediante la pérdida del carboxilo terminal (-COOH)



Catabolismo: vías metabólicas

Catabolismo de la glucosa

Catabolismo

Respiración
(utiliza oxígeno)

Glúcidos

Glucólisis
Ciclo de Krebs
Fosforilación oxidativa
Glucogenolisis

Lípidos --> oxidación ácidos grasos

Proteínas

Transaminación
Desaminación oxidativa
Descarboxilación

Fermentación
(NO utiliza oxígeno)

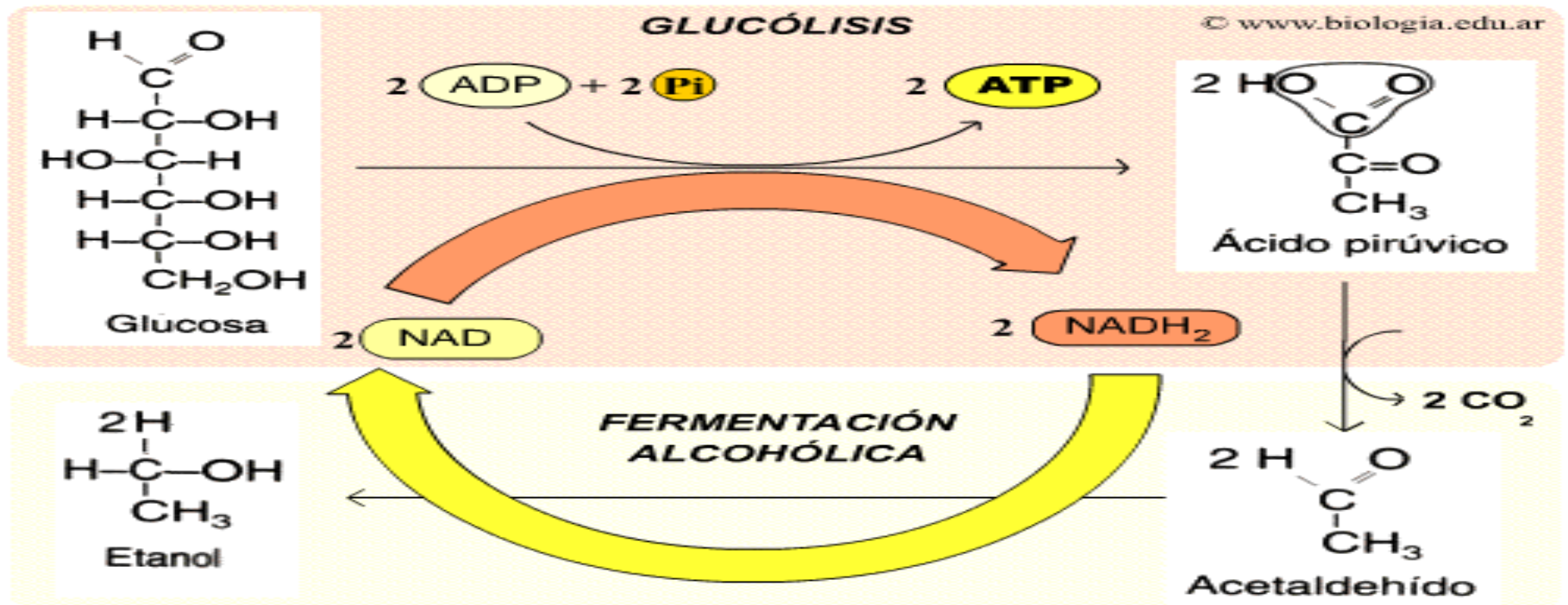
Alcohólica Butírica
Láctica Pútrida

Las fermentaciones

- **No** interviene la cadena transportadora de electrones
 - Es un proceso **anaeróbico** (sin oxígeno)
 - El último aceptor de electrones es un **compuesto orgánico**, que los recibe de las coenzimas reducidas
 - **Baja rentabilidad energética**
 - Propias de **microorganismos**
 - Cuatro tipos:
 1. **Alcohólica**
 2. **Láctica**
 3. **Butírica**
 4. **Putrefacción**
-

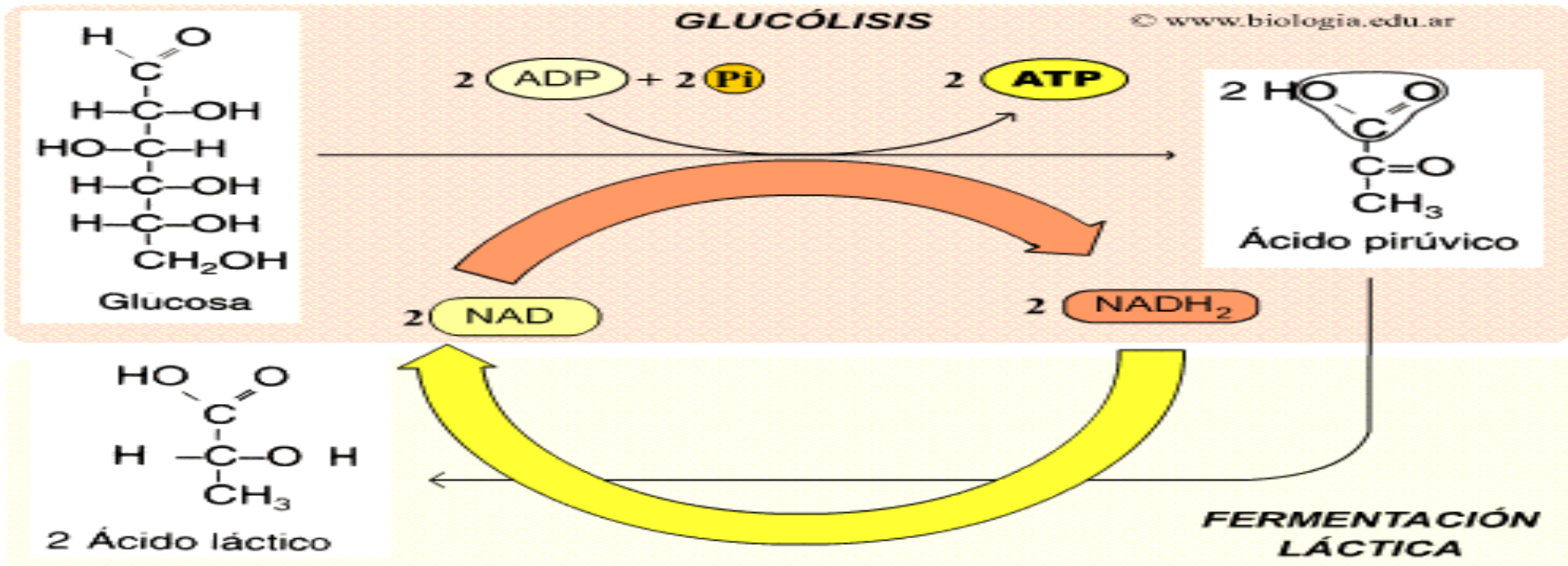
La fermentación alcohólica

- Las levaduras degradan glucosa y la transforman en etanol
- Se generan distintos tipos de bebidas:
 1. Vino: *Saccharomyces ellypsoideus*
 2. Sidra: *Saccharomyces apiculatus*
 3. Pan: *Saccharomyces cerevisiae*



La fermentación láctica

- Se degrada glucosa para obtener **ácido láctico**
- La fermentación de la **lactosa** de la leche provoca su agriamiento y la coagulación de la caseína
- Se pueden generar distintos tipos de productos, como **queso o yogur**. Las bacterias son de la especie *Lactobacillus* o *Streptococcus*.
- Cuando falta oxígeno en el músculo la glucosa se degrada en ácido láctico, formando las **agujetas**



La fermentación butírica

- Descomposición de almidón y celulosa, que ayuda a la descomposición de la materia orgánica del suelo
 - Los azúcares se degradan en **butarato**, hidrógeno y otras sustancias malolientes
 - *Bacillus amilobacter* y *Clostridium butiricum*
-

La fermentación pútrida

- Se degradan sustratos proteicos
- Se forman sustancias malolientes como el indol, la cadaverina o el escatol

	Respiración	Fermentación
¿Necesitan oxígeno?		
Sustrato que pueden oxidar		
Primer aceptor de electrones		
Productos que se obtienen al final del proceso		
Productos en los que se transforma el carbono del sustrato		
¿Se puede obtener ATP con el transporte de electrones?		
Aceptor final de electrones		
Energía que se obtiene de una glucosa		

	Respiración	Fermentación
¿Necesitan oxígeno?	Sí	No
Sustrato que pueden oxidar	Biomoléculas	Glúcidos y prótidos
Primer aceptor de electrones	NAD ⁺	NAD ⁺
Productos que se obtienen al final del proceso	H ₂ O	Etanol, ácido láctico...
Productos en los que se transforma el carbono del sustrato	CO ₂	Etanol, ácido láctico...
¿Se puede obtener ATP con el transporte de electrones?	Sí	No
Aceptor final de electrones	O ₂	Compuestos orgánicos
Energía que se obtiene de una glucosa	38 ATPs	2 ATPs