

# **C5- metabolismo**

## **b- catabolismo de la glucosa**

© J. L. Sánchez Guillén

IES Pando - Oviedo – Departamento de Biología y Geología



## ÍNDICE



**1 – Glucolisis**



**2 – Mitocondrias**



**3 – Ciclo de Krebs**



**4 – Cadena respiratoria**



**5 – Balance de la respiración celular**



**6 – Fermentaciones**



**7 – Animaciones**



**- Glucolisis (esquemas)**



**- Glucolisis (fórmulas)**



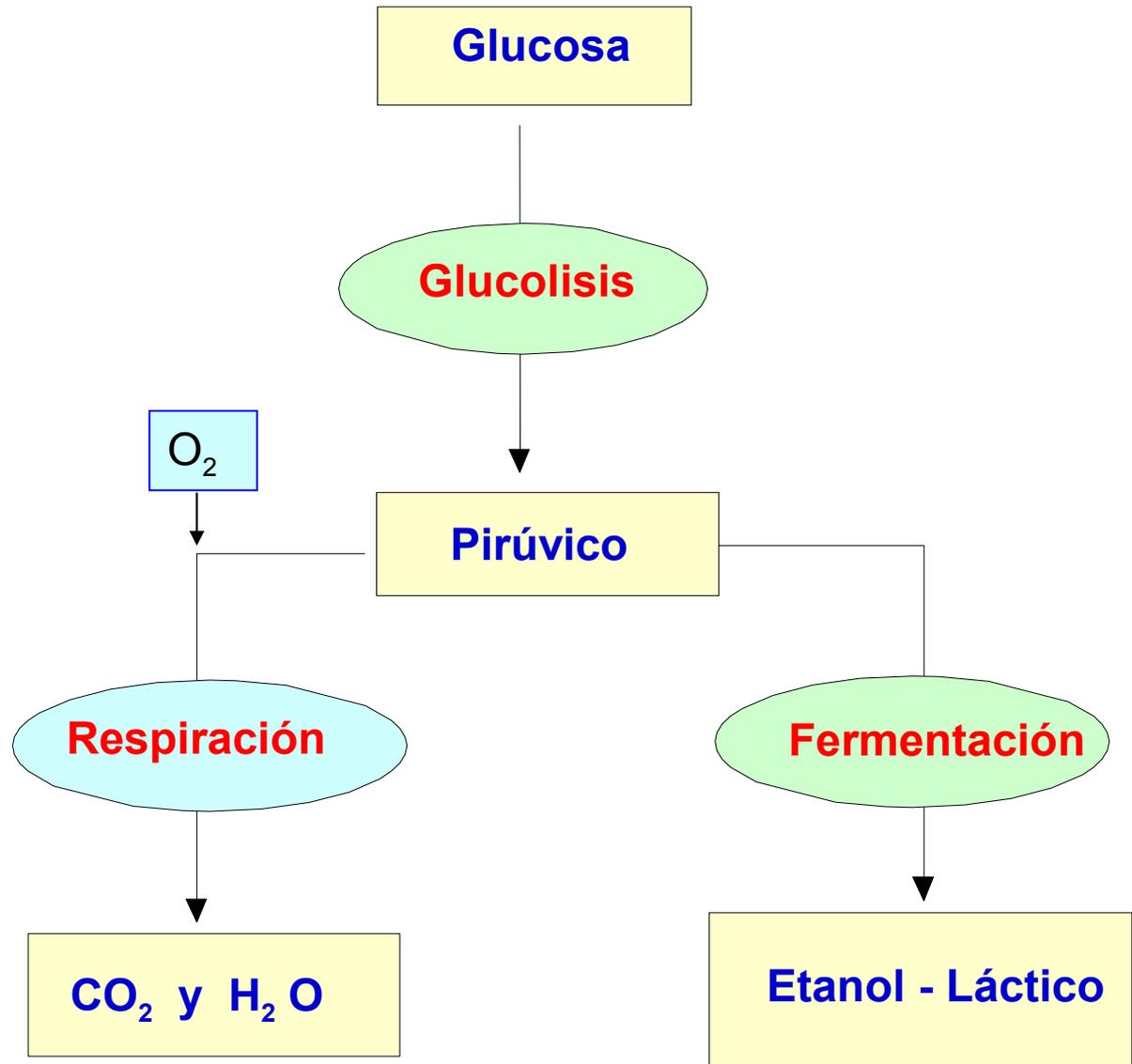
**- Ciclo de Krebs (esquemas)**



**- Ciclo de Krebs (fórmulas)**

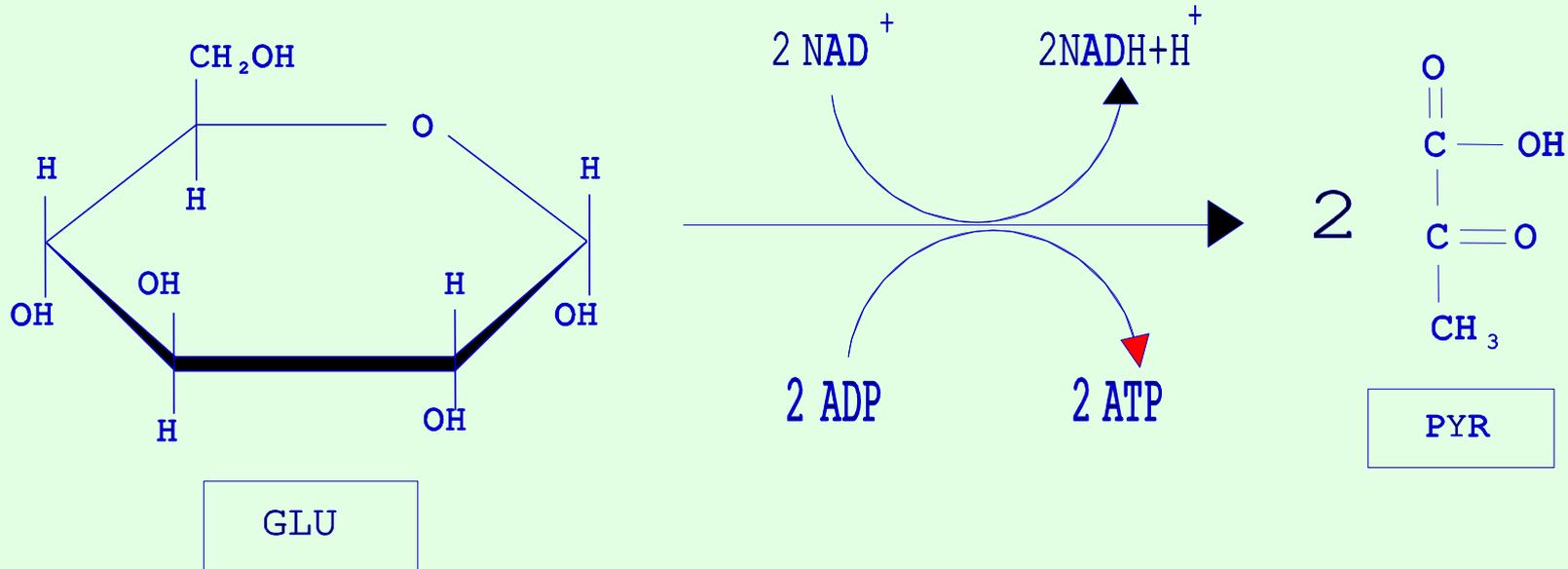
## VÍAS DEL CATABOLISMO

Los organismos autótrofos fijan la energía solar en forma de energía química contenida en los compuestos orgánicos, glucosa, en particular. Esta energía, convenientemente liberada, será utilizada posteriormente por las partes de la planta que no tienen cloroplastos, como suele ser el caso de las raíces y tallos no verdes, o por toda la planta cuando falta la energía solar. Es también esta energía la que permite la vida de los organismos heterótrofos. La **respiración celular** y las **fermentaciones** son las vías catabólicas más corrientes para la **obtención de la energía** contenida en las sustancias orgánicas. Ambas vías, no obstante, tienen una primera fase común: la **glucólisis**



## LA GLUCOLISIS

La definiremos como el conjunto de reacciones que degradan la **glucosa (C6)** transformándola en dos moléculas de **ácido pirúvico (PYR) (C3)**. Estas reacciones se realizan en el hialoplasma de la célula. Es un proceso anaerobio, que no necesita oxígeno, y en el que por cada molécula de **glucosa (GLU)** se obtienen **2ATP** y **2NADH+H<sup>+</sup>**.



Ir a glucolisis animada (modelos)



Ir a glucolisis animada (fórmulas)



## ÍNDICE



### 1 – Glucolisis



### 2 – Mitocondrias



### 3 – Ciclo de Krebs



### 4 – Cadena respiratoria



### 5 – Balance de la respiración celular



### 6 – Fermentaciones



### 7 – Animaciones



- Glucolisis (esquemas)



- Glucolisis (fórmulas)



- Ciclo de Krebs (esquemas)



- Ciclo de Krebs (fórmulas)

# La glucólisis: mecanismo.

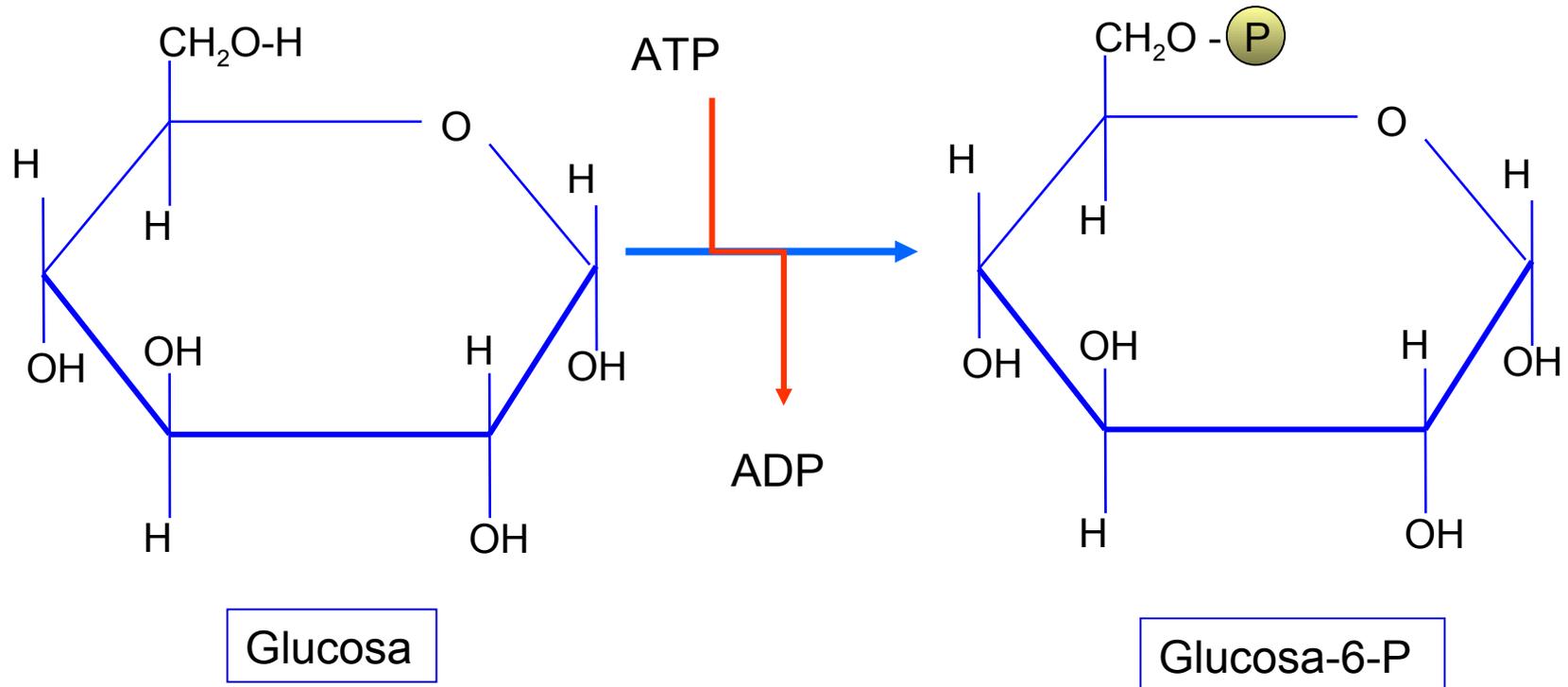
Consta de los siguientes procesos:

- 1<sup>a</sup> Fosforilación de la glucosa (GLU) por el ATP, formándose glucosa-6-fosfato (G-6-P).
- 2<sup>a</sup> La glucosa-6-fosfato (G-6-P) se isomeriza[1] a fructosa-6-fosfato (F-6-P).
- 3<sup>a</sup> Nueva fosforilación por el ATP de la fructosa-6-fosfato (F-6-P) que pasa a fructosa 1,6-difosfato (F-1,6-P).
- 4<sup>a</sup> La molécula de F-1,6-P se rompe en dos moléculas: el aldehído-3-fosfoglicérico (PGAL) y la dihidroxiacetona fosfato (DHA). Ambas sustancias son isómeras y se transforman espontáneamente una en otra (el equilibrio se alcanza cuando hay un 95% de DHA y un 5% PGAL).  
Es de destacar que, hasta ahora, no sólo no se ha producido energía, sino que, incluso, se han consumido dos moléculas de ATP.
- 5<sup>a</sup> El aldehído-3-fosfoglicérico (PGAL) se oxida por el NAD<sup>+</sup>; al mismo tiempo se produce una fosforilación en la que interviene el fosfato inorgánico[2] (H-P), formándose ácido 1,3-difosfoglicérico (1,3-DPGA). Cada molécula de glucosa (GLU) dará dos moléculas de 1,3-DPGA y dos de NADH+H<sup>+</sup>.
- 6<sup>a</sup> Fosforilación del ADP por el 1,3-DPGA, formándose ATP y ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA). Es el primer ATP formado; dos, si tenemos en cuenta la rotura de la cadena carbonada de la glucosa en dos cadenas de tres átomos de carbono. Hasta este momento el balance energético es nulo: dos ATP consumidos, dos obtenidos.
- 7<sup>a</sup> El ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA) se transforma en ácido pirúvico (PYR), sintetizándose una nueva molécula de ATP (dos por cada molécula de glucosa).

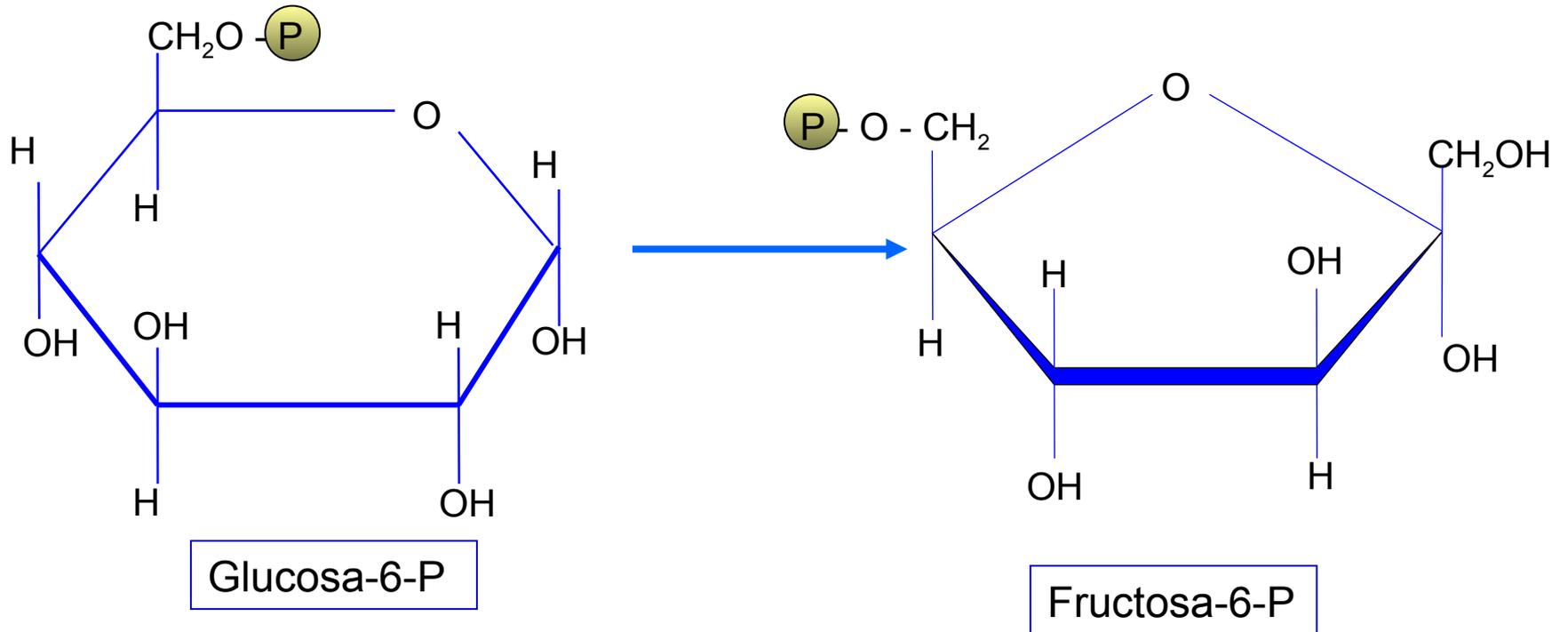
[1] Isomerización: transformación de un compuesto químico-orgánico en otro que sea su isómero.

[2] Es de los pocos casos en los que la fosforilación se produce por el fosfato inorgánico y no por el ATP..

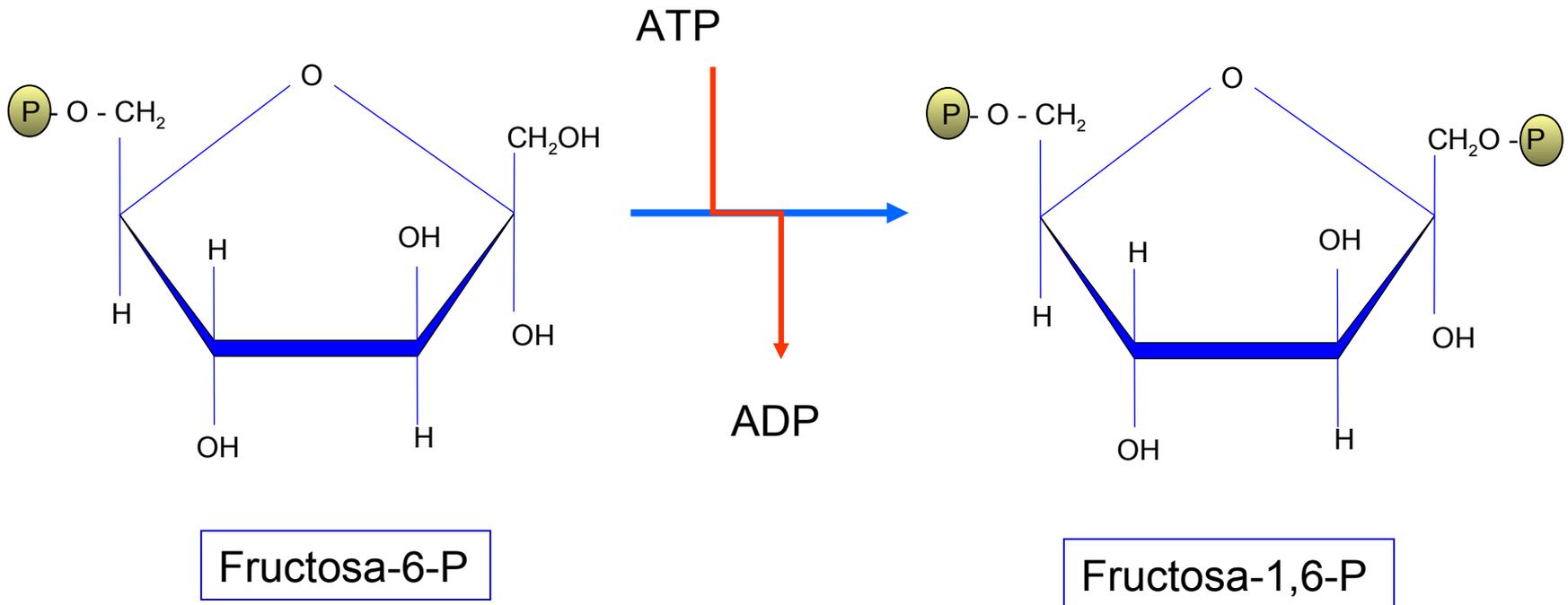
1ª) La glucosa reacciona con el ATP y se forma la glucosa-6-Fosfato.



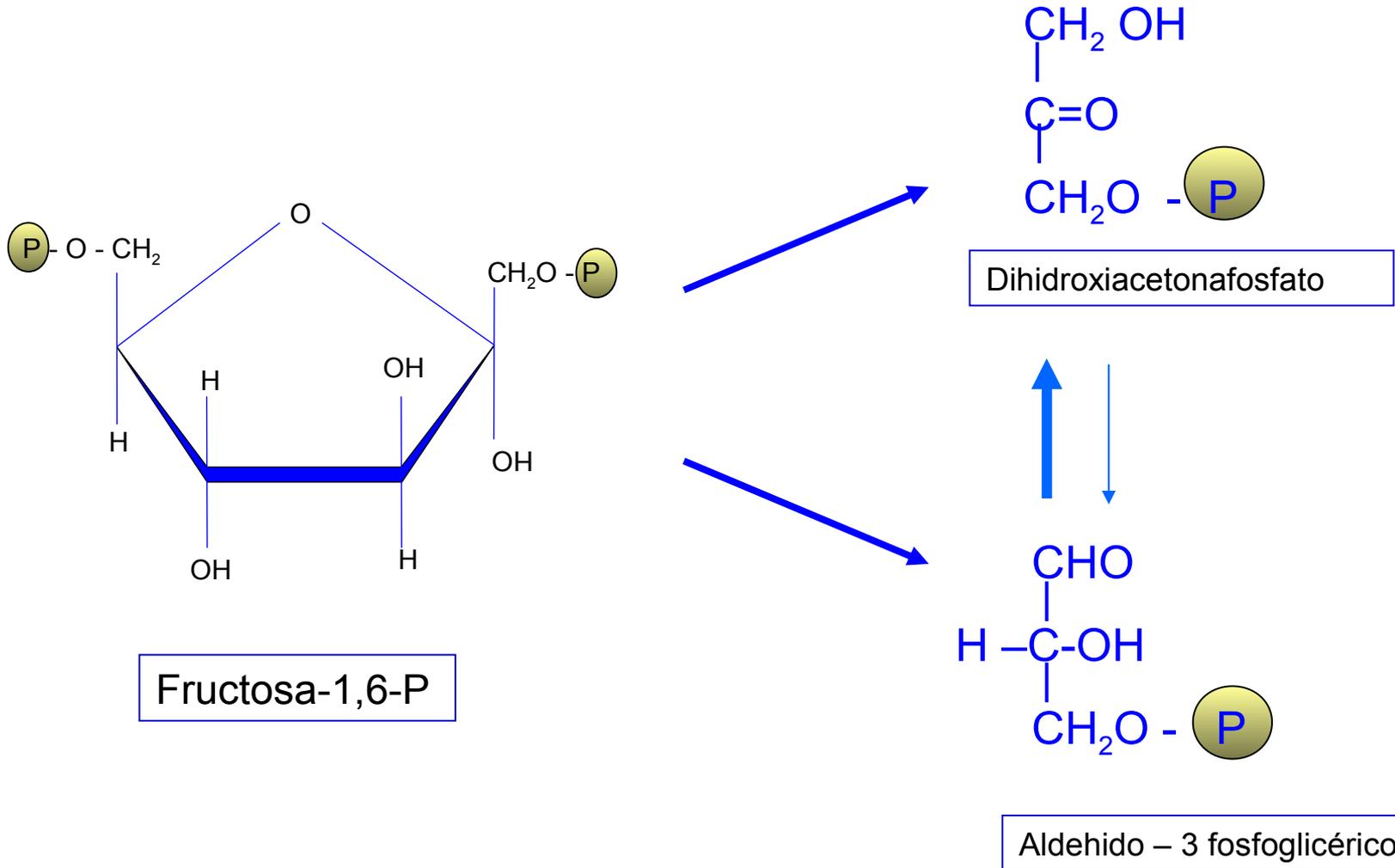
2ª) La glucosa-6-Fosfato se isomeriza a fructosa-6-fosfato



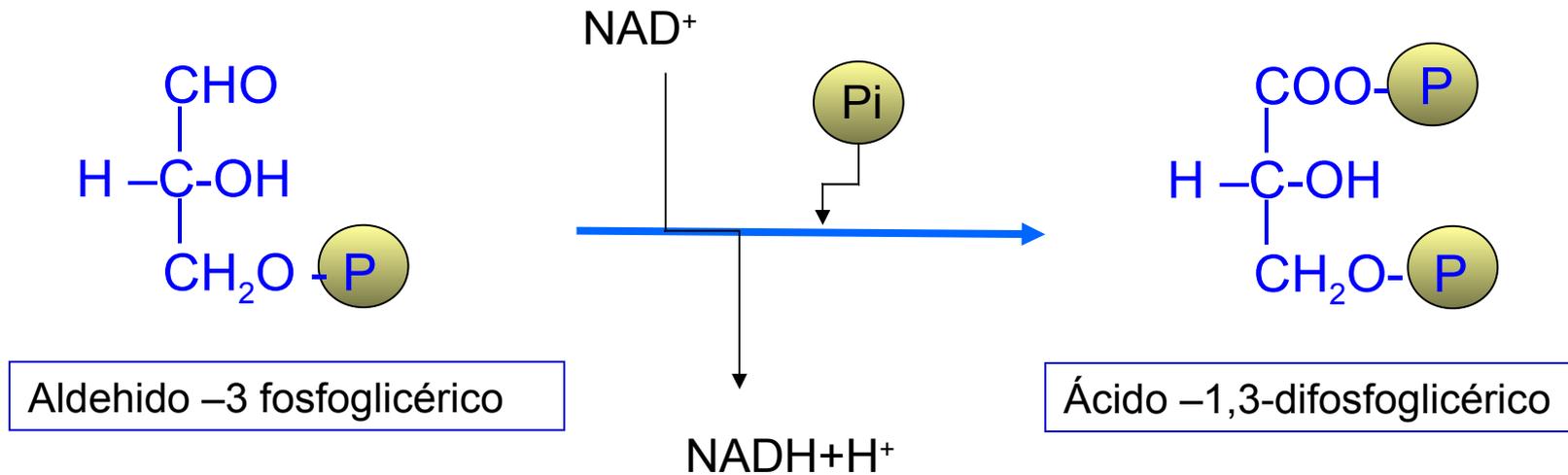
3ª) La fructosa-6-fosfato reacciona con el ATP para dar fructosa 1,6 difosfato.



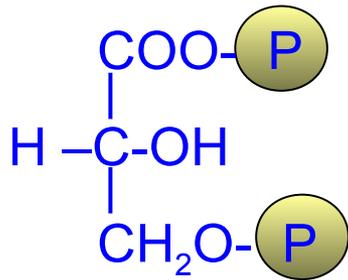
4ª) La fructosa 1,6 difosfato se rompe para dar lugar al aldehído 3 fosfoglicérico y la dihidroxiacetonafofato.



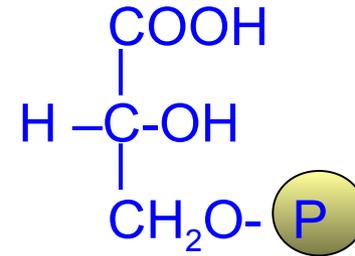
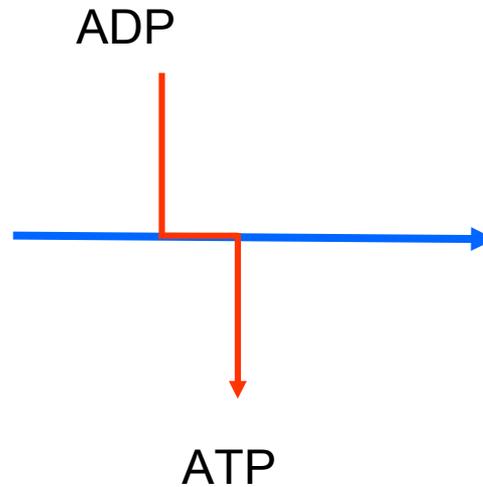
5ª) El aldehído 3 fosfoglicérico se oxida por el  $\text{NAD}^+$  y se fosforila por el ácido fosfórico para dar el ácido 1,3 difosfoglicérico



6ª) El ácido 1,3 difosfoglicérico reacciona con el ADP para dar ATP y ácido 3-fosfoglicérico

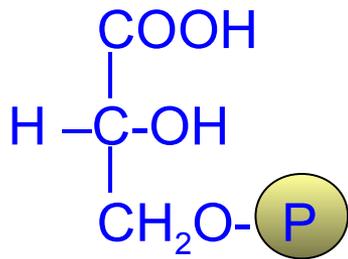


Ácido -1,3-difosfoglicérico

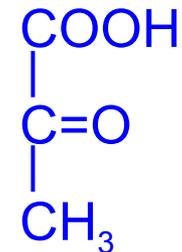
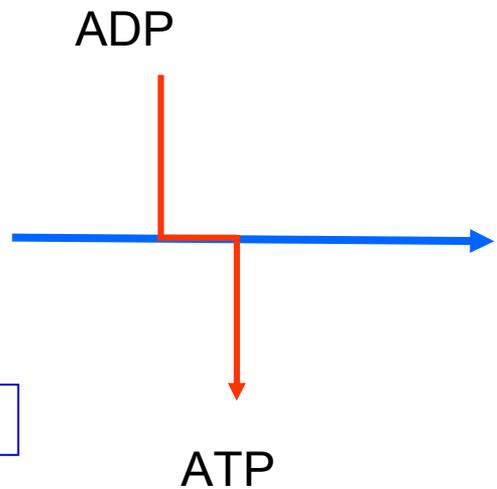


Ácido -3-fosfoglicérico

7ª) El ácido 3 fosfoglicérico reacciona con el ADP para dar ATP y ácido pirúvico



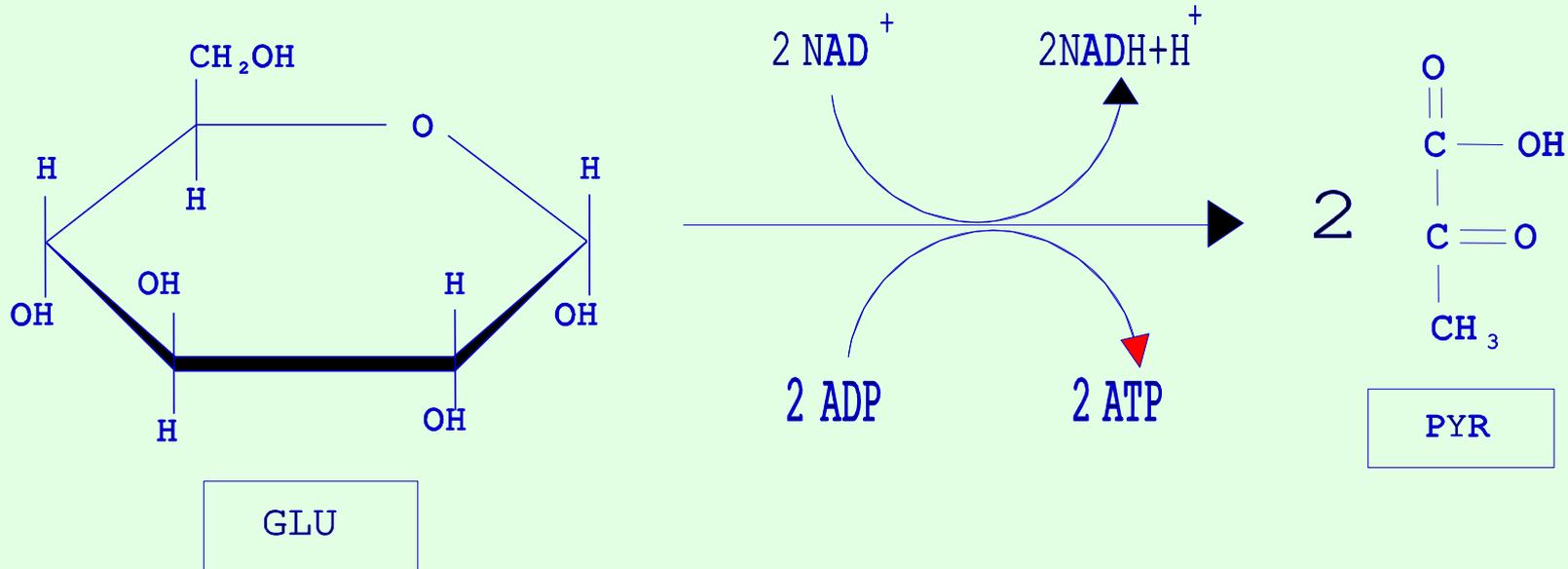
Ácido -3-fosfoglicérico



Ácido pirúvico

## LA GLUCOLISIS (recordatorio)

La definiremos como el conjunto de reacciones que degradan la **glucosa (C6)** transformándola en dos moléculas de **ácido pirúvico (PYR) (C3)**. Estas reacciones se realizan en el hialoplasma de la célula. Es un proceso anaerobio, que no necesita oxígeno, y en el que por cada molécula de **glucosa (GLU)** se obtienen **2ATP** y **2NADH+H<sup>+</sup>**.

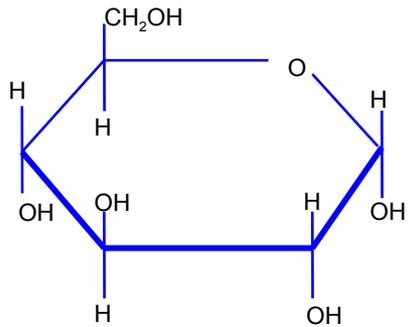


Ir a glucolisis animada (modelos)

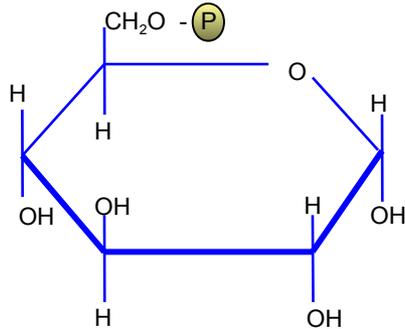


Ir a glucolisis animada (fórmulas)

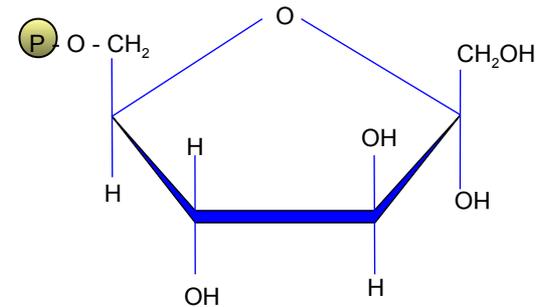
# Compuestos intermediarios de la glucólisis



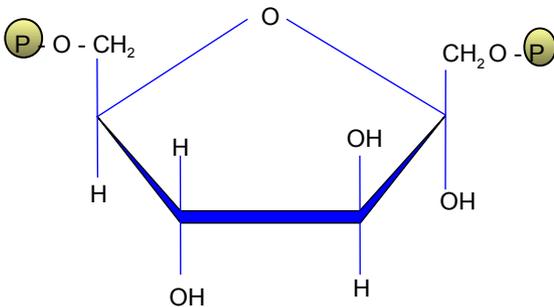
Glucosa (GLU)



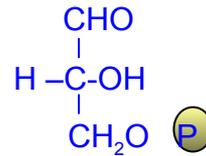
Glucosa 6 fosfato (G6P)



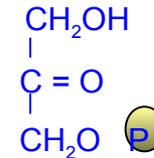
Fructosa 6 fosfato (F6P)



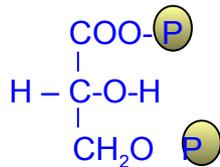
Fructosa 1, 6 difosfato (F1,6P)



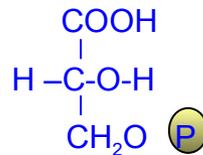
Aldehído 3 fosfoglicérico (PGAL)



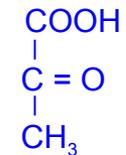
Dihidroxiacetona fosfato (DHA)



Ácido 1,3 difosfoglicérico (1,3DPGA)

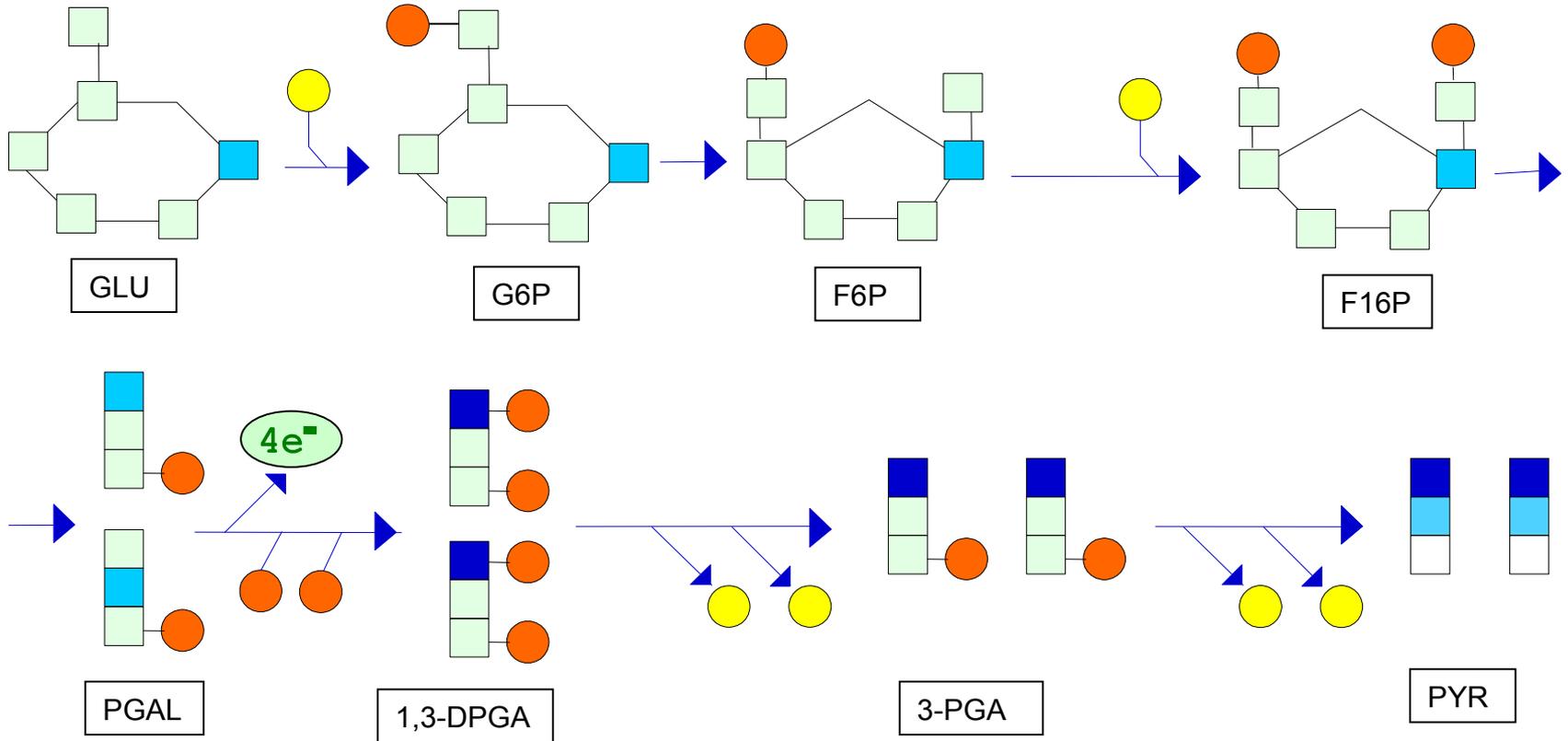


Ácido 3 fosfoglicérico (3PGA)



Ácido Pirúvico (PYR)

# La glucólisis



## CARACTERÍSTICAS Y SIGNIFICADO BIOLÓGICO DE LA GLUCOLISIS

- Se realiza tanto en procariotas como en eucariotas.
- En los eucariotas se realiza en el hialoplasma.
- Se trata de una degradación parcial de la glucosa.
- Es un proceso anaerobio que permite la obtención de energía a partir de los compuestos orgánicos en ausencia de oxígeno.
- La cantidad de energía obtenida por mol de glucosa es escasa (2 ATP).
- La glucolisis fue, probablemente, uno de los primeros mecanismos para la obtención de energía a partir de sustancias orgánicas en la primitiva atmósfera sin oxígeno de la Tierra.



## ÍNDICE



### 1 – Glucolisis



### 2 – Mitocondrias



### 3 – Ciclo de Krebs



### 4 – Cadena respiratoria



### 5 – Balance de la respiración celular



### 6 – Fermentaciones



### 7 – Animaciones



- Glucolisis (esquemas)



- Glucolisis (fórmulas)



- Ciclo de Krebs (esquemas)



- Ciclo de Krebs (fórmulas)

## VÍAS DEL CATABOLISMO DEL PIRÚVICO

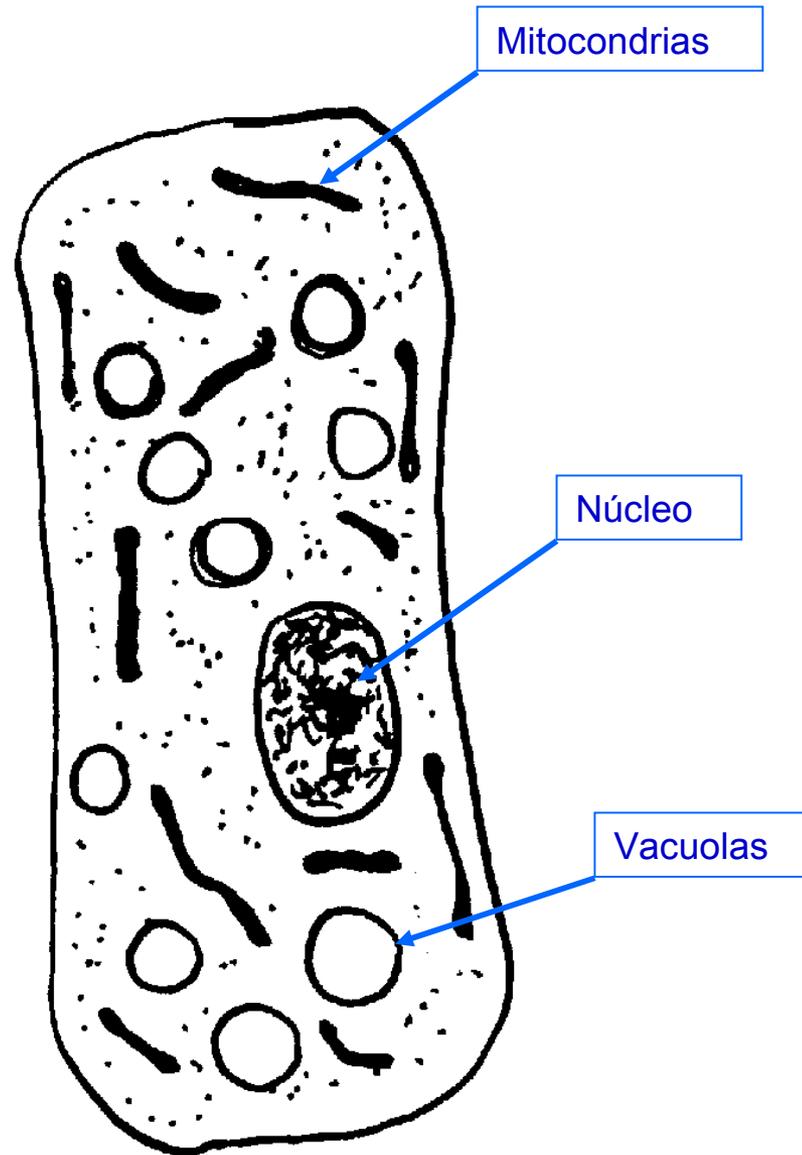
Para evitar que la glucólisis se detenga por un exceso de ácido pirúvico (**PYR**) y  $\text{NADH}+\text{H}^+$  o por falta de  $\text{NAD}^+$ , se necesitan otras vías que eliminen los productos obtenidos y recuperen los substratos imprescindibles. Esto va a poder realizarse de dos maneras:

- 1ª **Respiración aerobia** (catabolismo aerobio). Cuando hay oxígeno, el pirúvico es degradado completamente obteniéndose dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). El  $\text{NADH}+\text{H}^+$  y otras coenzimas reductoras obtenidas son oxidadas y los electrones transportados hacia el **oxígeno** ( $\text{O}_2$ ), recuperándose el  $\text{NAD}^+$  y obteniéndose  $\text{H}_2\text{O}$ . Este proceso se realiza en los eucariotas en las mitocondrias.
- 2ª **Fermentación** (Catabolismo anaeróbico). Cuando no hay **oxígeno** el **ácido pirúvico** se transforma de diferentes maneras sin degradarse por completo a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . Este proceso tiene como objetivo la recuperación del  $\text{NAD}^+$ . En los eucariotas se realiza en el hialoplasma.

## LAS MITOCONDRIAS

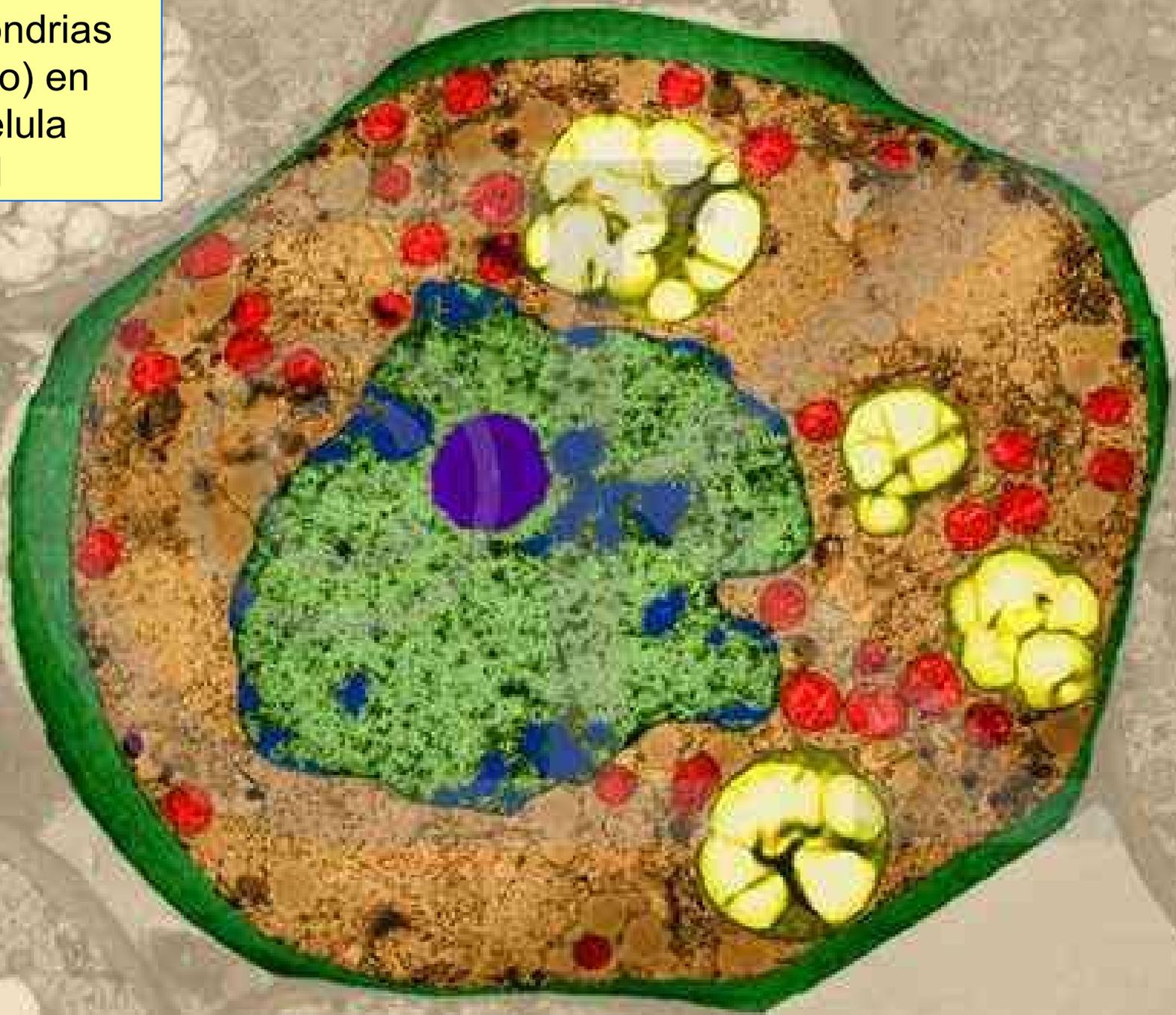
Aspecto: Son orgánulos muy pequeños, difíciles de observar al microscopio óptico, al que aparecen como palitos o bastoncitos alargados. Son orgánulos permanentes de la célula y se forman a partir de otras mitocondrias preexistentes.

Forma y número: El número de mitocondrias en una célula puede llegar a ser muy elevado (hasta 2000). Normalmente suelen tener forma elíptica, aunque también pueden ser filamentosas u ovoides. Sus dimensiones son muy pequeñas (1 a 7  $\mu\text{m}$  de longitud por 0.5  $\mu\text{m}$  de diámetro). Su forma y tamaño dependen mucho de las condiciones fisiológicas de la célula.

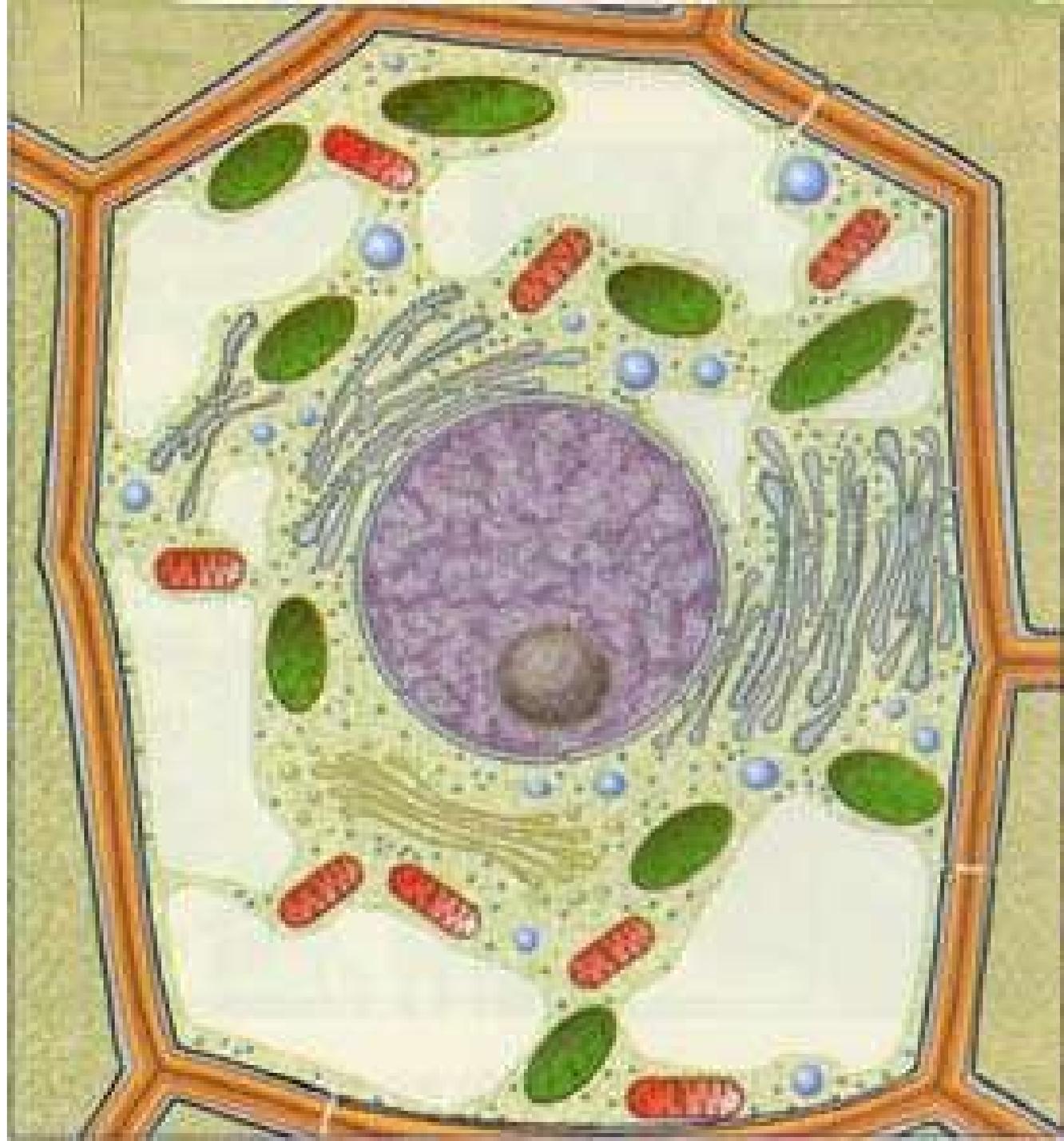


Esquema de una 20  
célula vista al M.O.

Mitocondrias  
(en rojo) en  
una célula  
animal



Mitocondrias (en rojo) en una célula vegetal.



Célula eucariota  
animal vista con el  
microscopio  
electrónico.

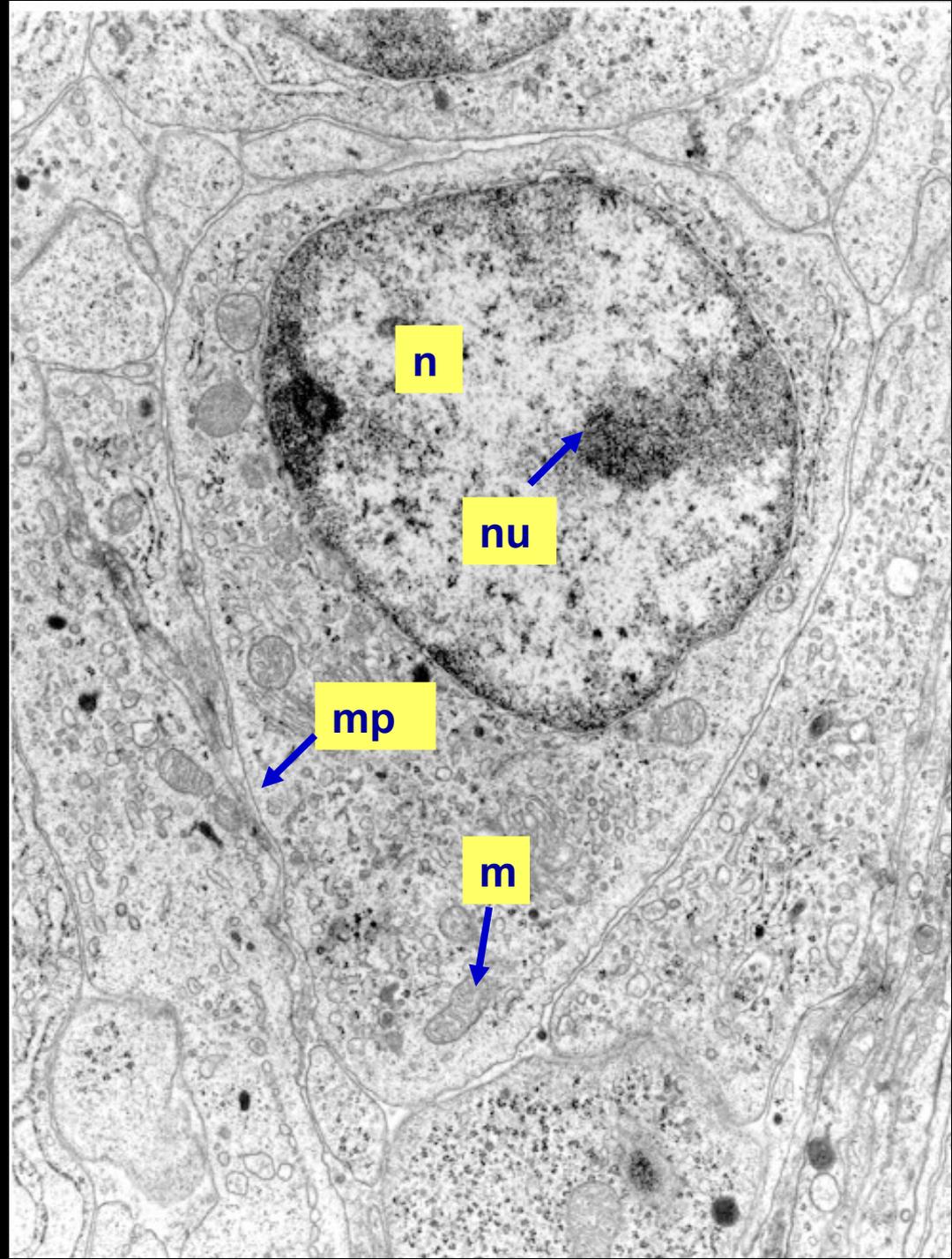
(20 000 X)

n = núcleo

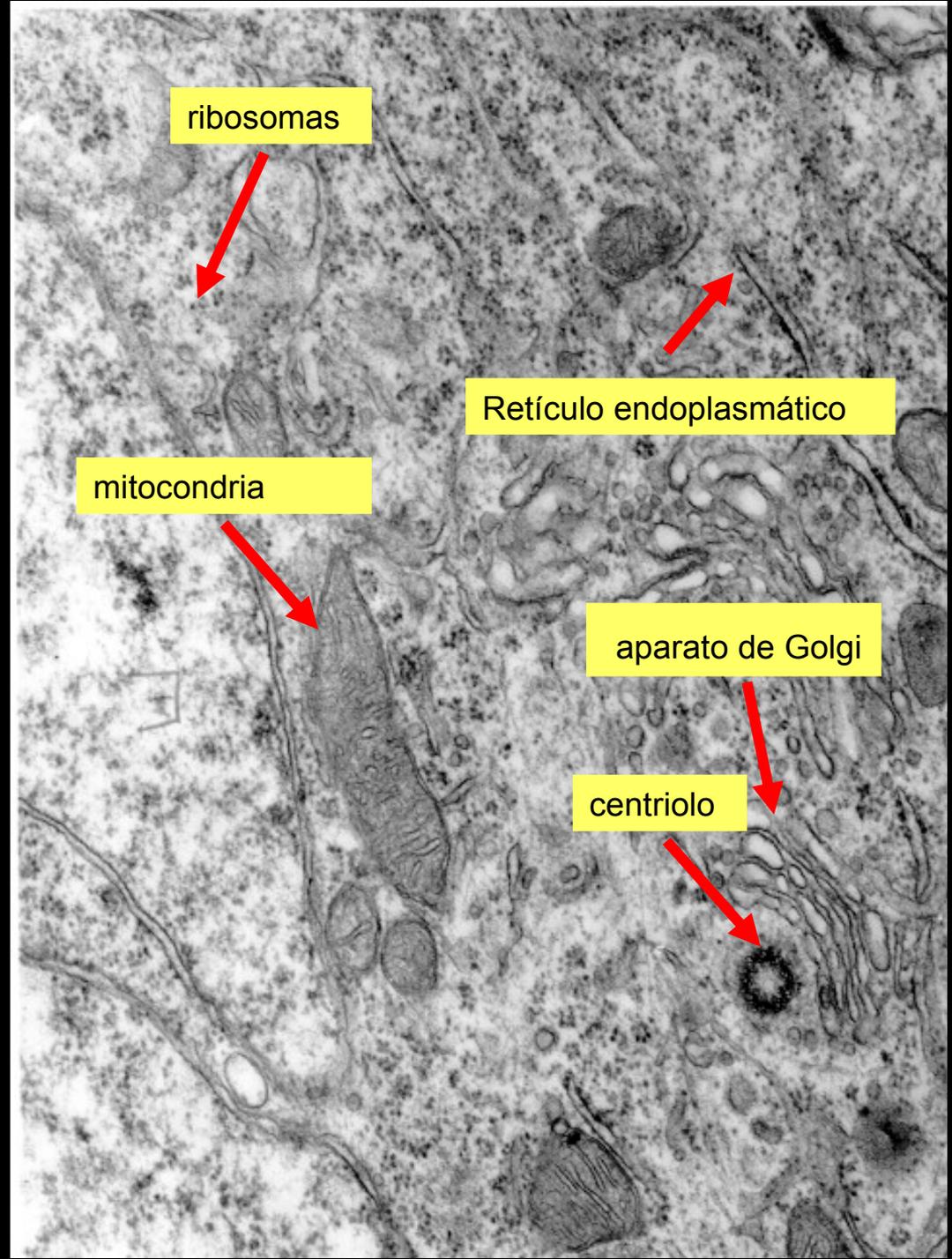
nu = nucleolo

m = mitocondria

mp = membrana plasmática

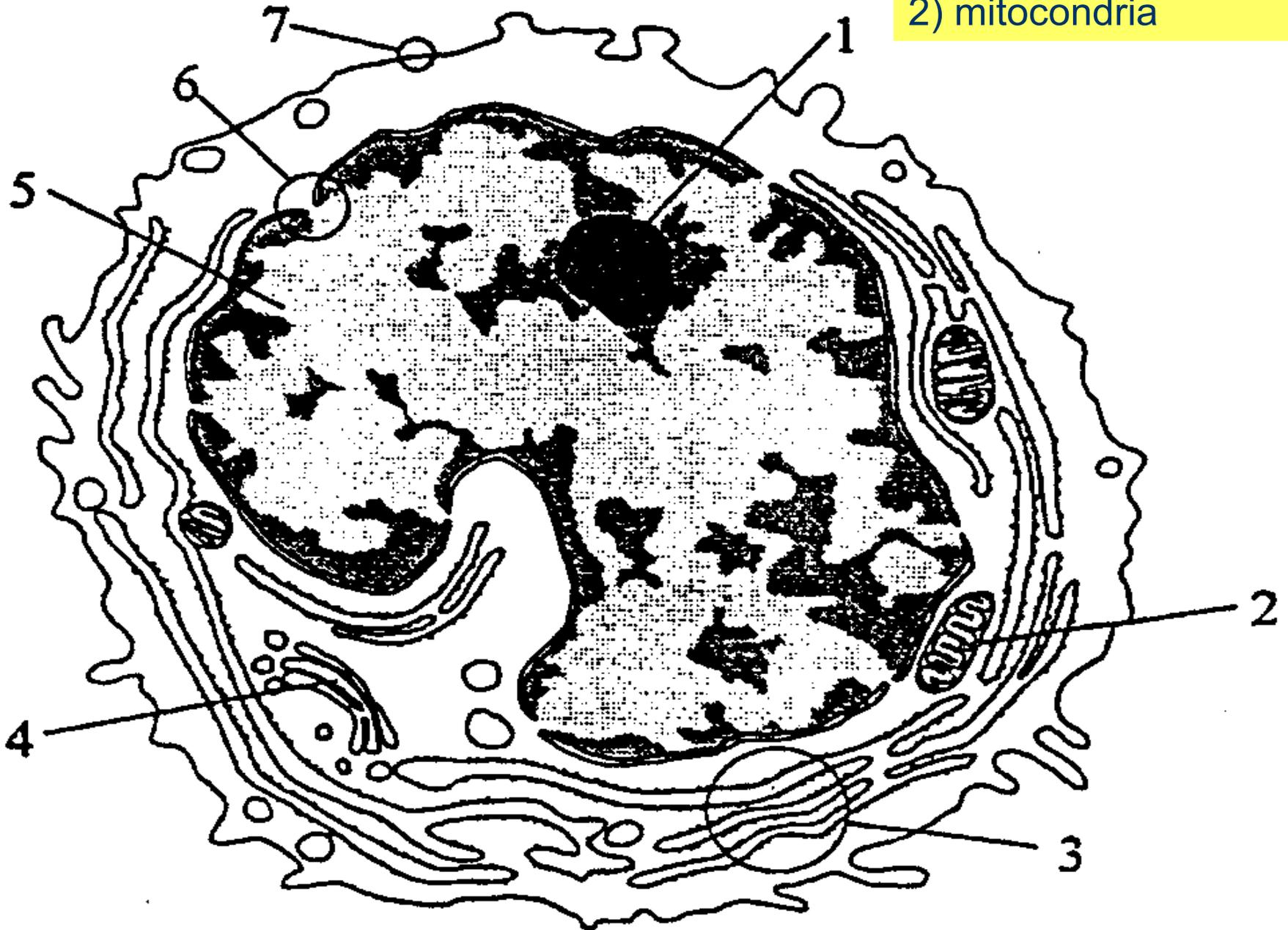


**Detalle del interior de la célula visto con el microscopio electrónico: Diferentes orgánulos celulares: mitocondrias, centriolo, retículo endoplasmático, ribosomas.**



Célula animal.

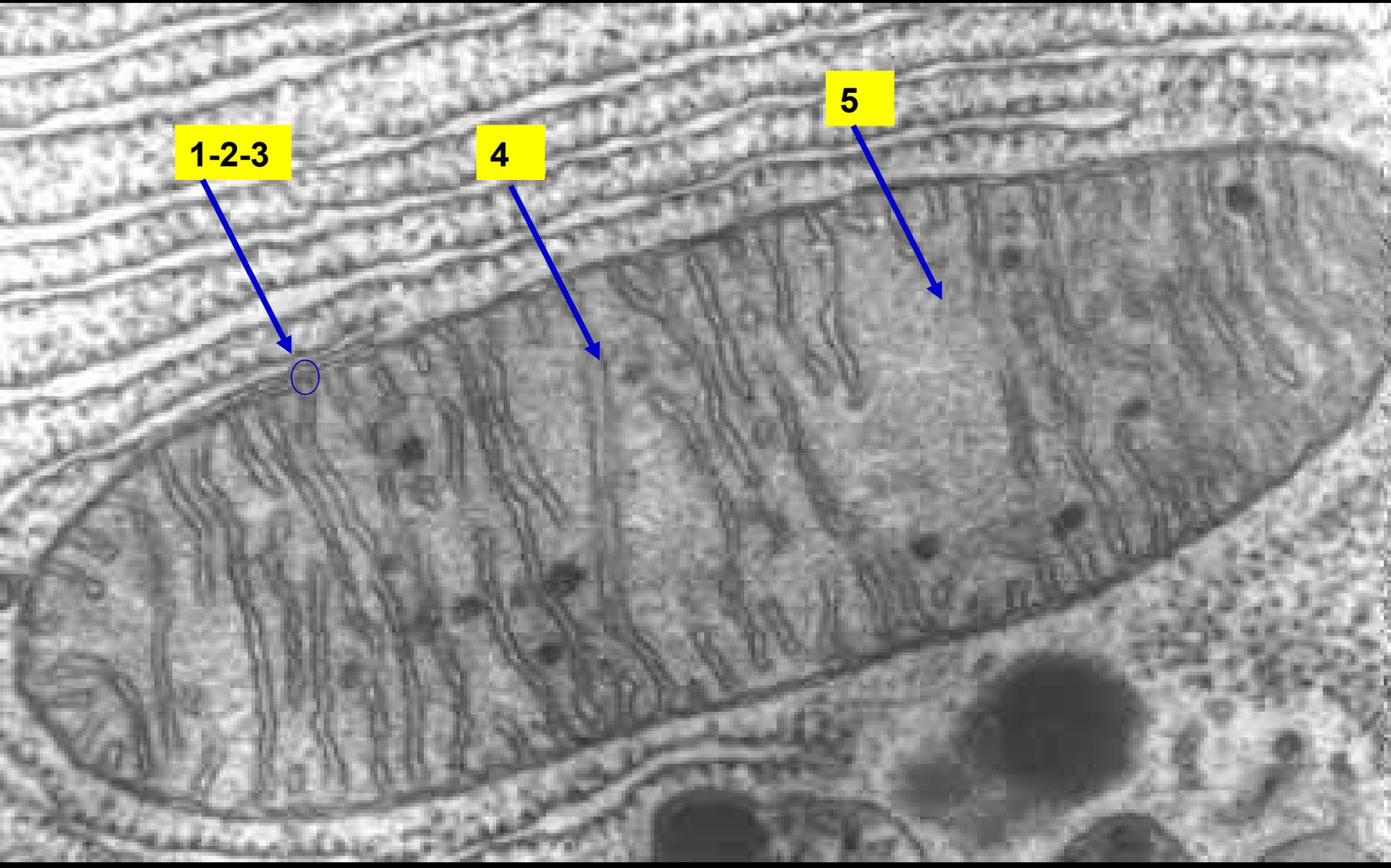
2) mitocondria



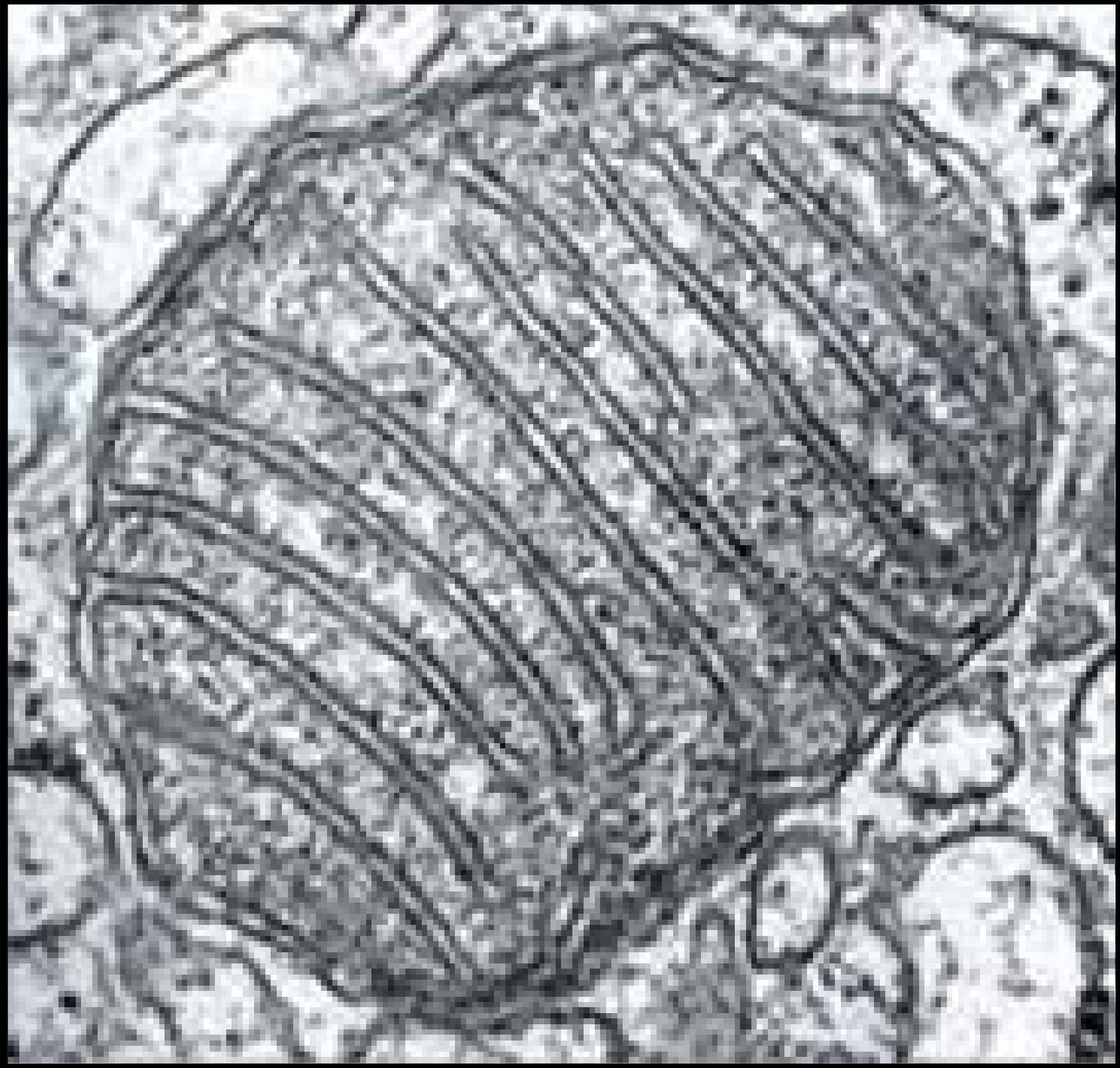
Mitochondria.



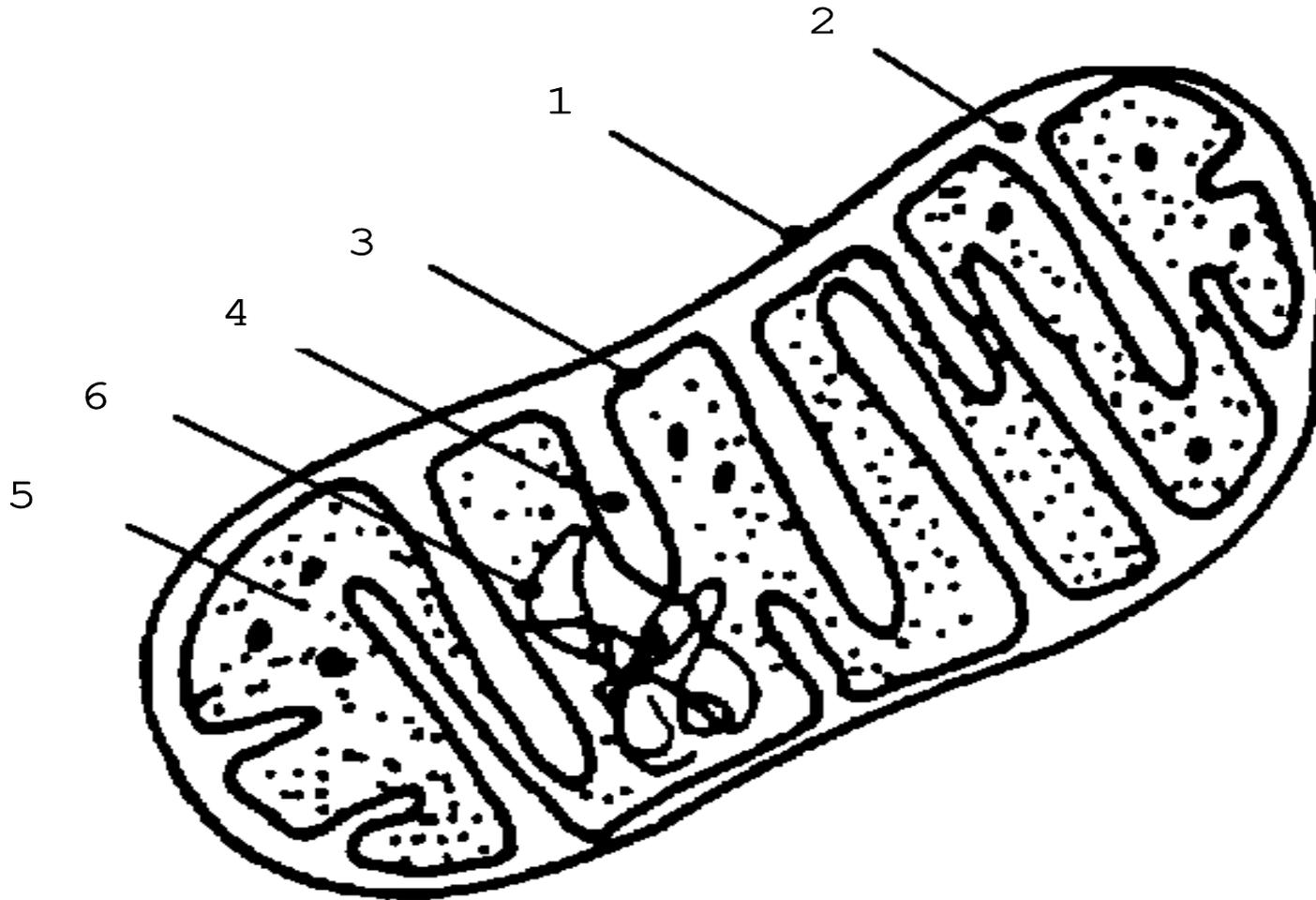
**Mitocondria vista al MET.** 1) Membrana externa, 2) Espacio intermembrana. 3) Membrana interna. 4) Crestas. 5) Matriz.



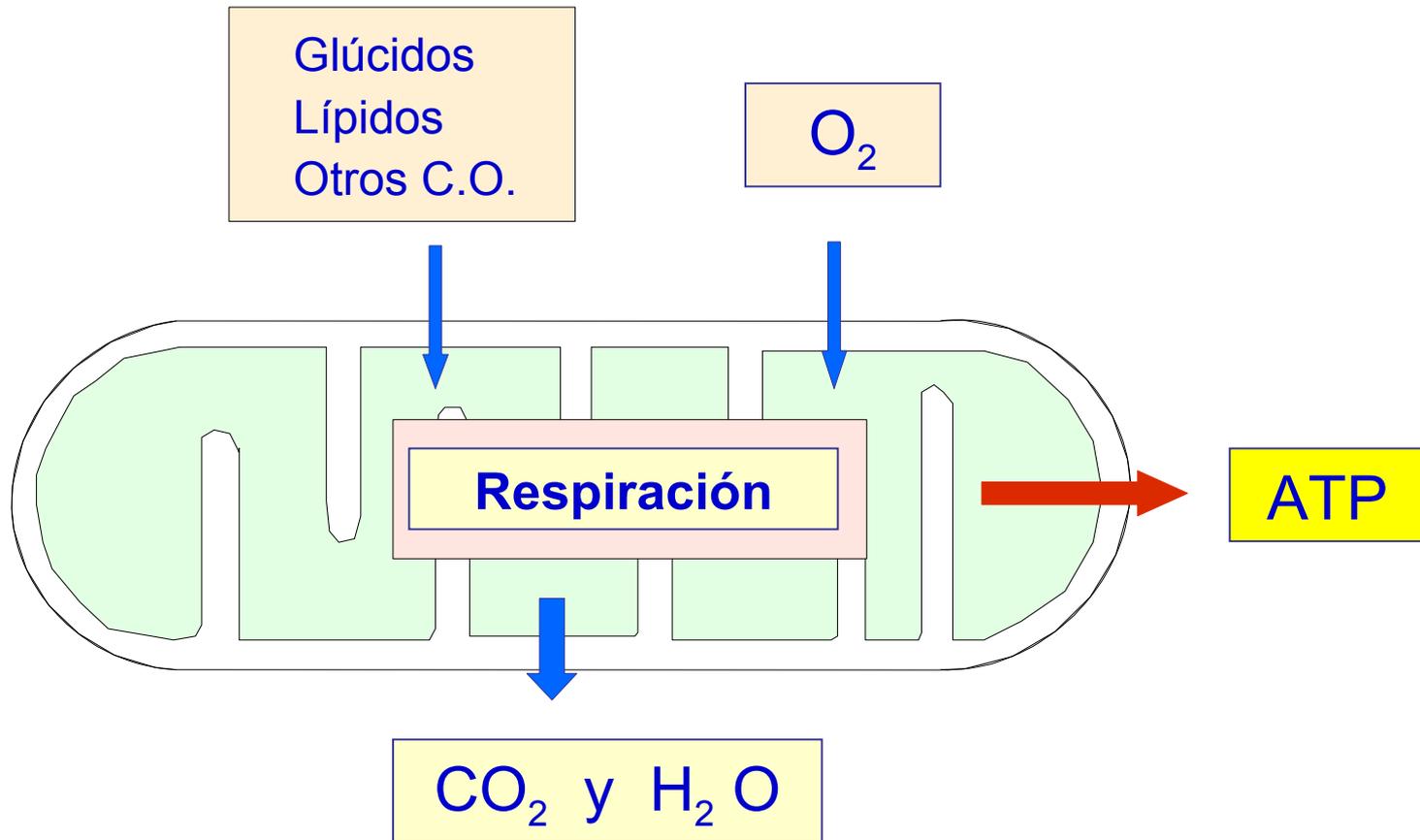
**Mitochondria  
vista al MET.**



**Ultraestructura de la mitocondria.** 1) Membrana externa, 2) Espacio intermembrana. 3) Membrana interna. 4) Crestas. 5) Matriz. 6) ADN.



Esquema general de la respiración celular.

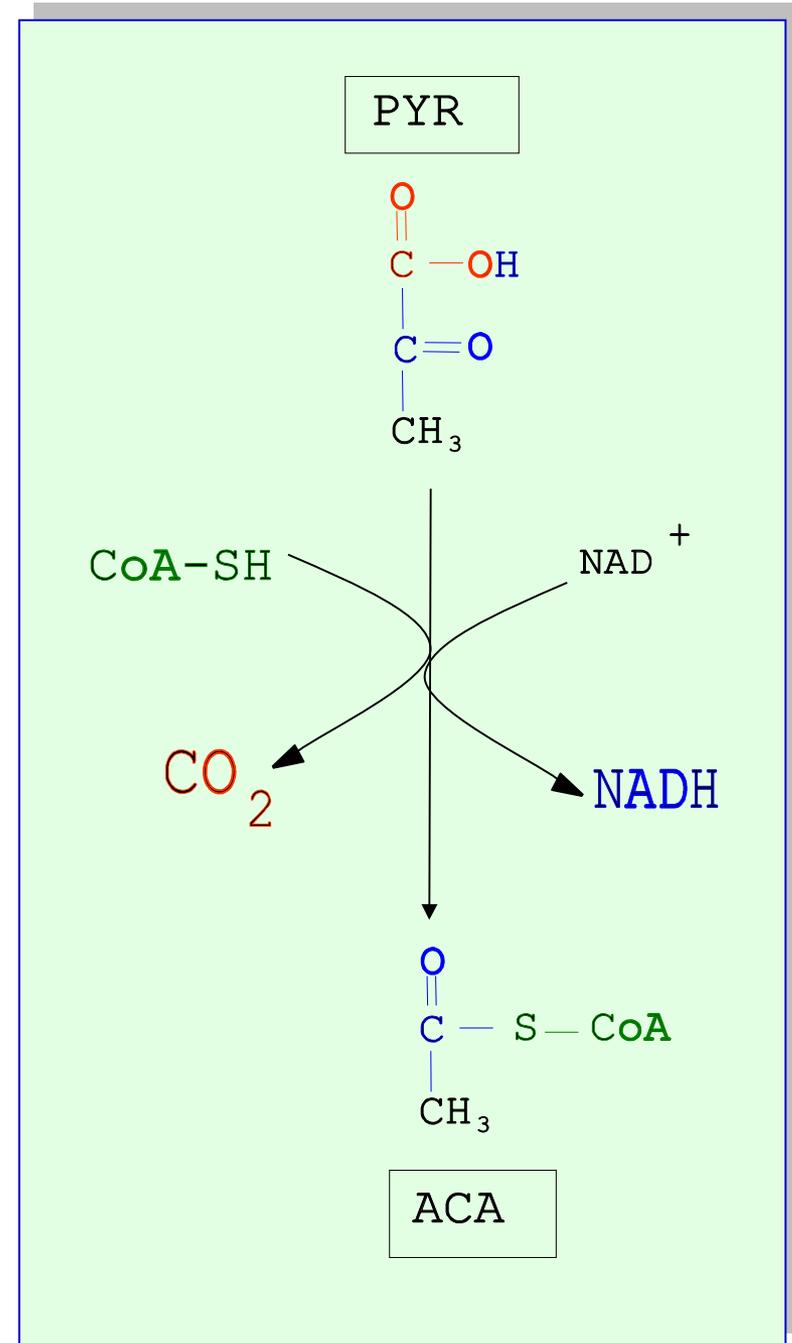


## Descarboxilación del ácido pirúvico.

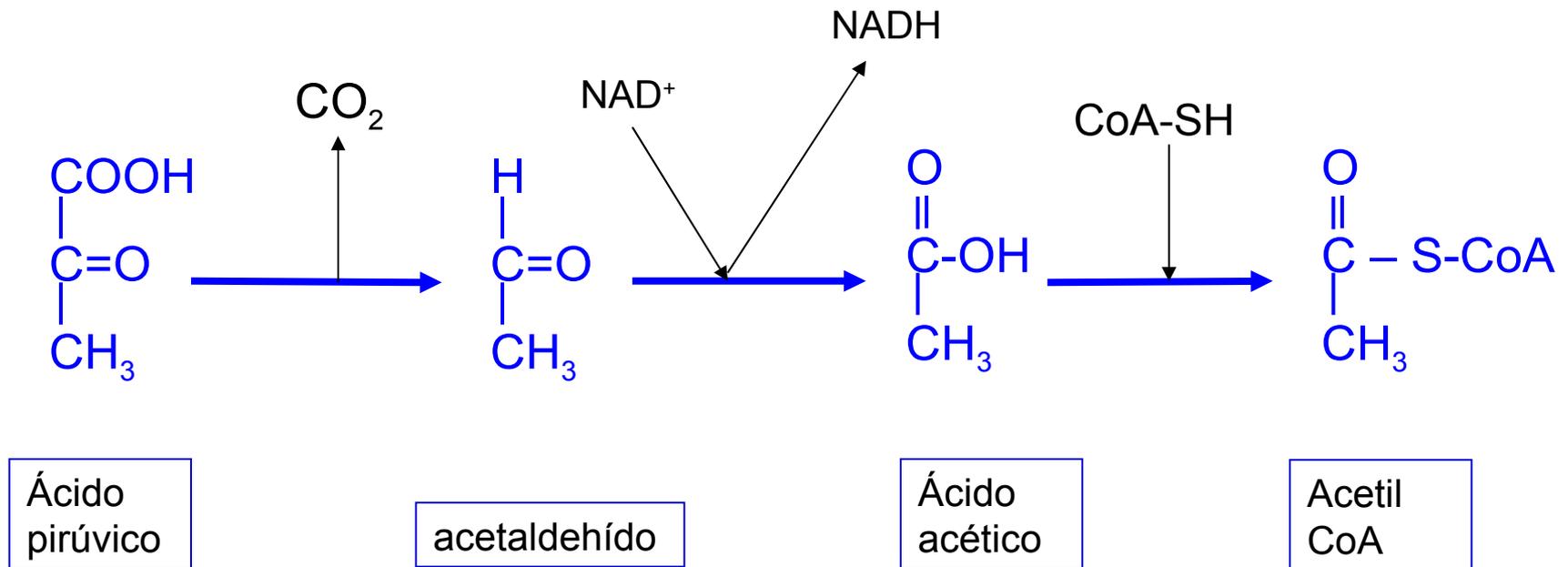
En condiciones aeróbicas el ácido pirúvico (PYR) obtenido en la glucólisis y en otros procesos catabólicos atraviesa la membrana de la mitocondria y va a sufrir un proceso químico que tiene dos vertientes:

**1ª Descarboxilación.** El ácido pirúvico (PYR) va a perder el grupo  $\text{CO}_2$  correspondiente al primer carbono, el carbono que tiene la función ácido.

**2ª Oxidación.** Al perderse el primer carbono, el segundo pasa de tener un grupo cetona a tener un grupo aldehído. Este grupo se oxidará a grupo ácido (ácido acético) por acción del  $\text{NAD}^+$ . En el proceso interviene una sustancia, la coenzima-A ( $\text{HS-CoA}$ ) que se unirá al ácido acético para dar acetil-coenzima A (ACA).



# La descarboxilación oxidativa del ácido pirúvico (mecanismo).





## ÍNDICE



**1 – Glucolisis**



**2 – Mitocondrias**



**3 – Ciclo de Krebs**



**4 – Cadena respiratoria**



**5 – Balance de la respiración celular**



**6 – Fermentaciones**



**7 – Animaciones**



**- Glucolisis (esquemas)**



**- Glucolisis (fórmulas)**



**- Ciclo de Krebs (esquemas)**



**- Ciclo de Krebs (fórmulas)**

## EL CICLO DEL CITRATO (CÍTRICO) O CICLO DE KREBS

**Krebs** (1938) denominó **ciclo del ácido cítrico**, y hoy se conoce también como **ciclo de Krebs**, a la ruta metabólica a través de la cual el ácido acético unido a la coenzima-A va a completar su oxidación en la matriz mitocondrial.

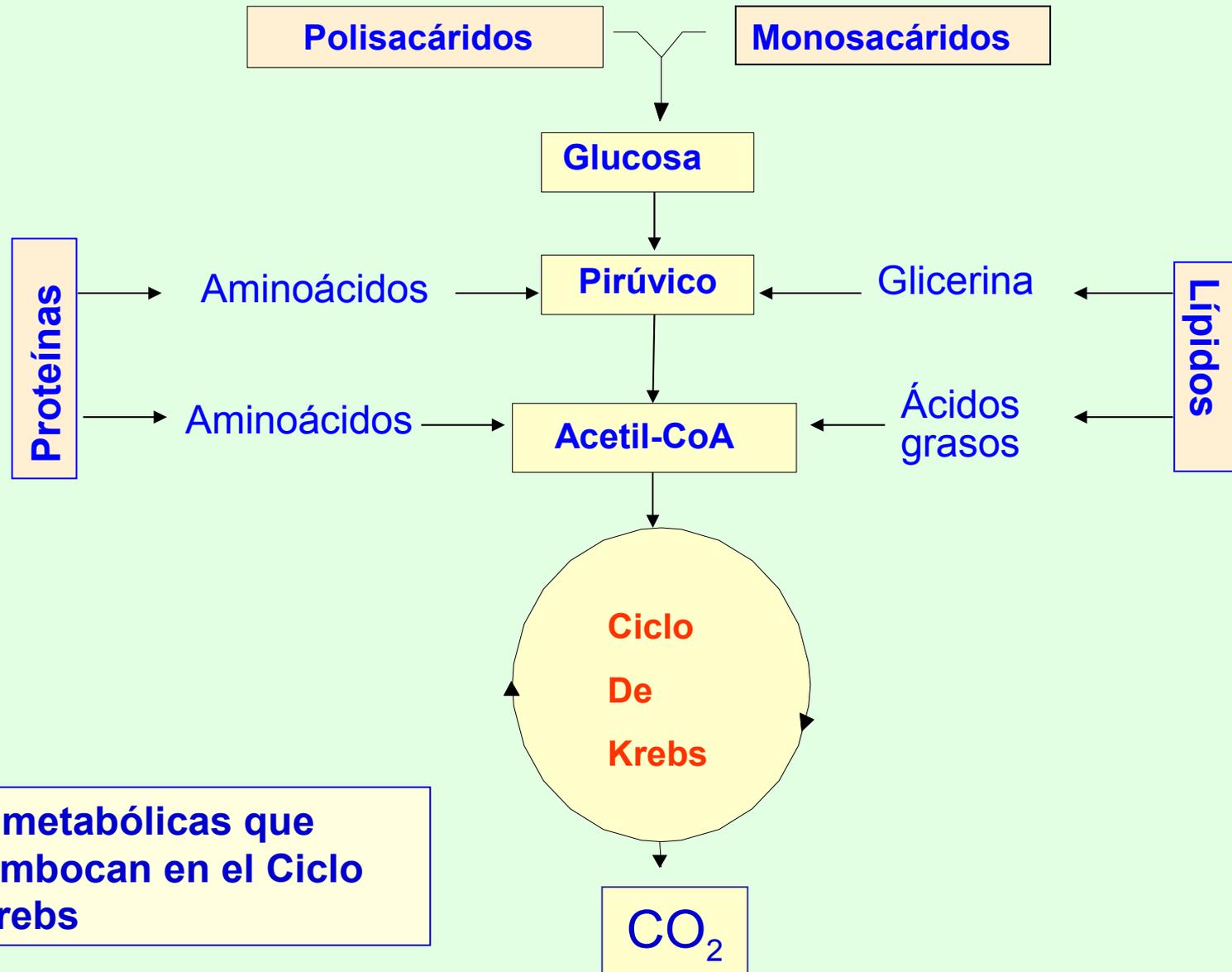
- Este ciclo, no sólo va a ser la última etapa de la degradación de los azúcares, otros compuestos orgánicos (los ácidos grasos y determinados aminoácidos) van a ser también degradados a **acetil-CoA (ACA)** e integrados en el **ciclo de Krebs**.
- El **ciclo de Krebs** es, por lo tanto, la vía fundamental para la degradación de la mayoría de los compuestos orgánicos y para la obtención coenzimas reductoras. Es la vía más importante para el **catabolismo** de las sustancias orgánicas.

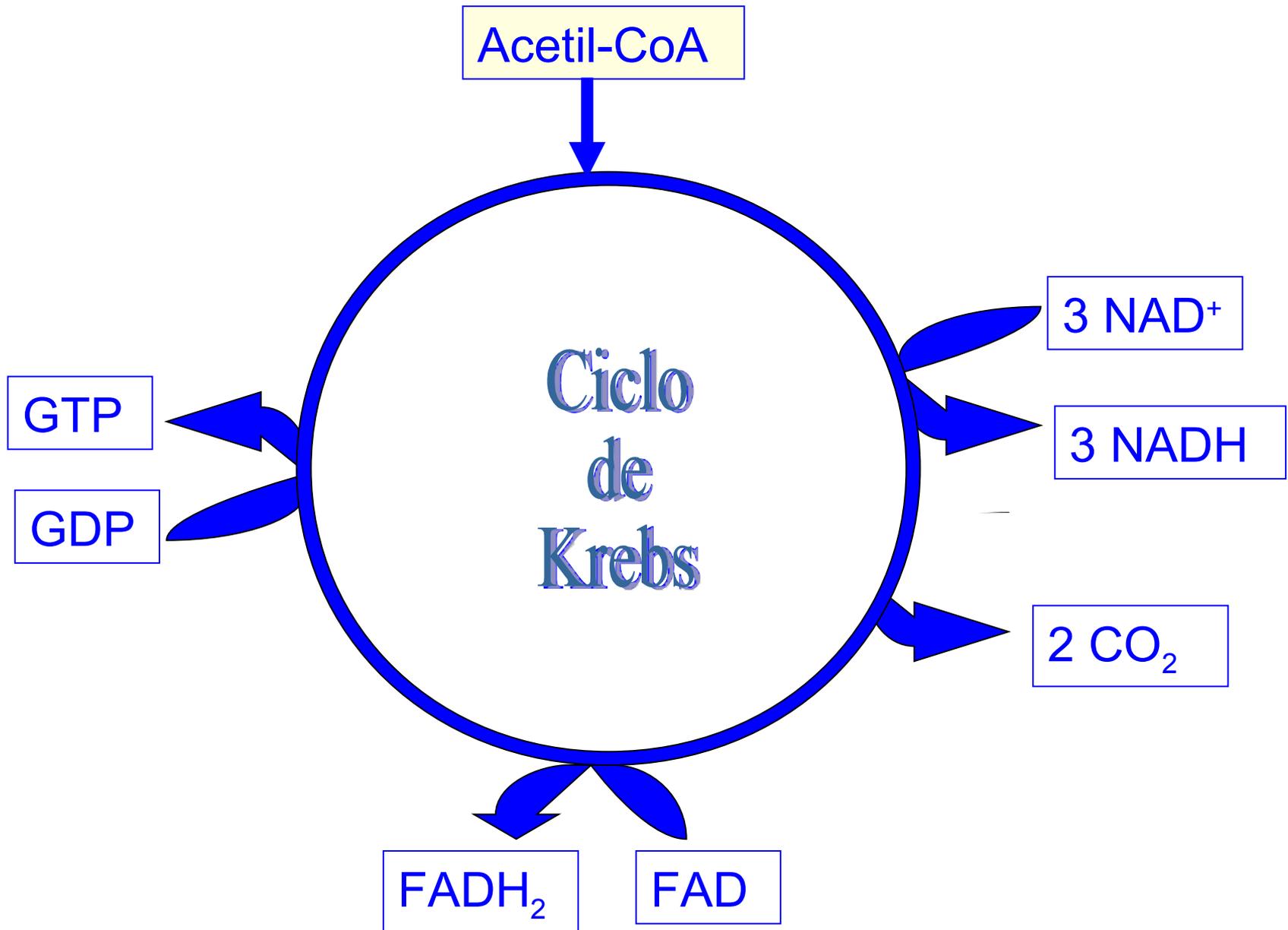
### Biografía de Krebs:

[http://sharon.p7.org.uk/hans\\_krebs1953.htm](http://sharon.p7.org.uk/hans_krebs1953.htm)

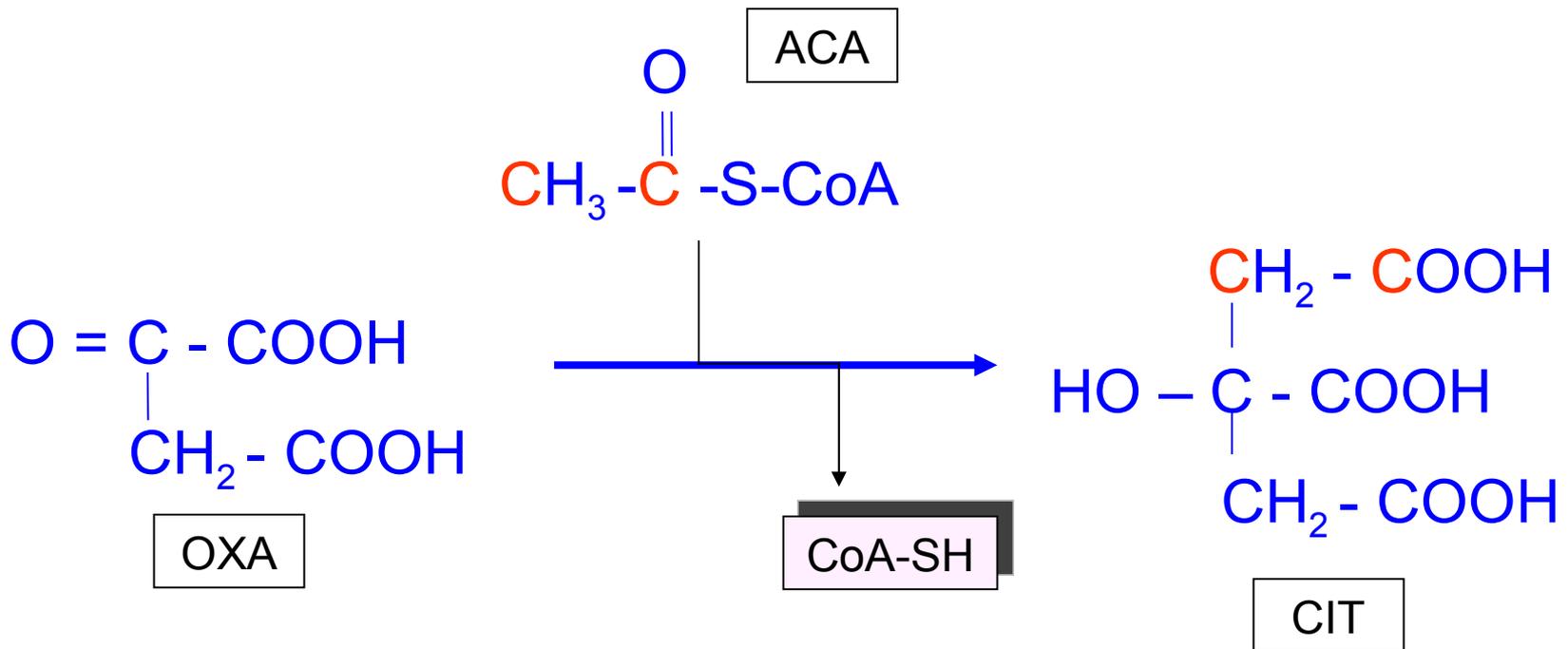


Hans Krebs (Hildesheim – Alemania -1900-1981)

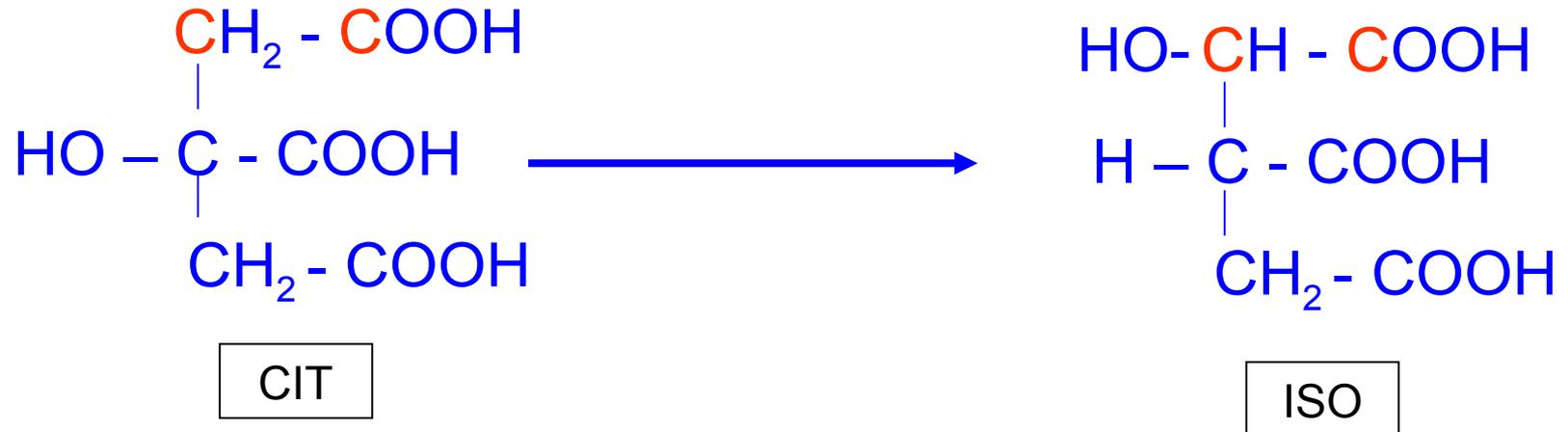




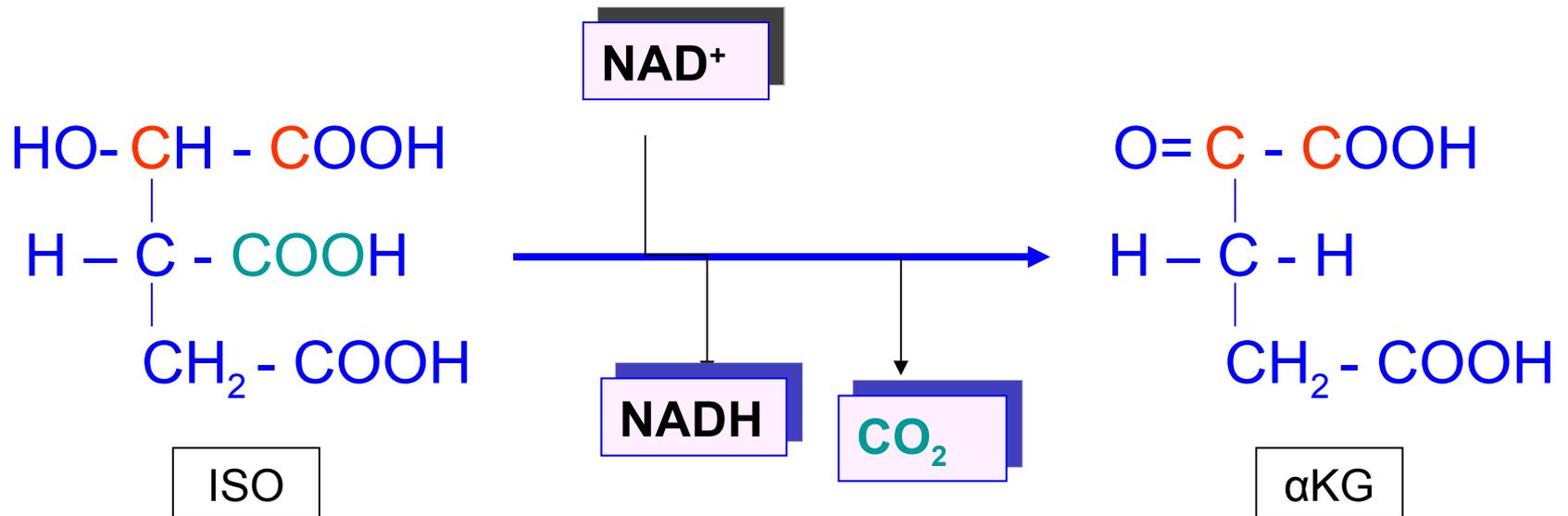
1ª) Condensación de la **acetil-CoA (ACA)** con el **ácido oxalacético (OXA)** para formar el **ácido cítrico (CIT)**. En este proceso se recupera la **CoA-SH**.



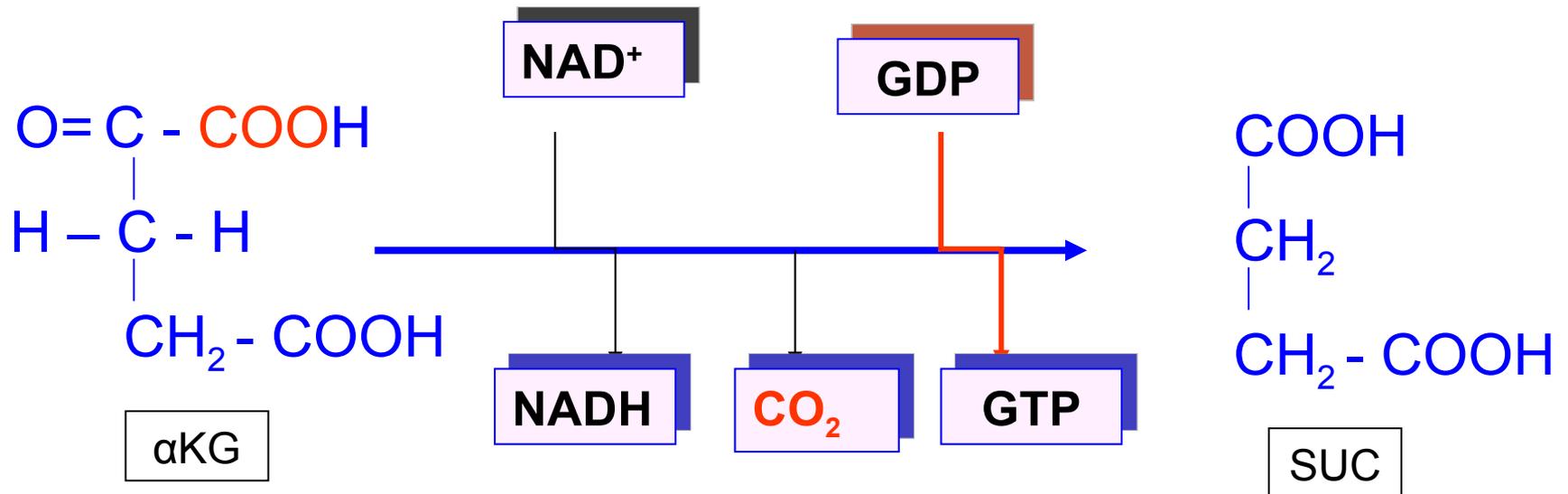
2ª) Transformación del **ácido cítrico (CIT)** en su isómero, el **ácido isocítrico (ISO)**.



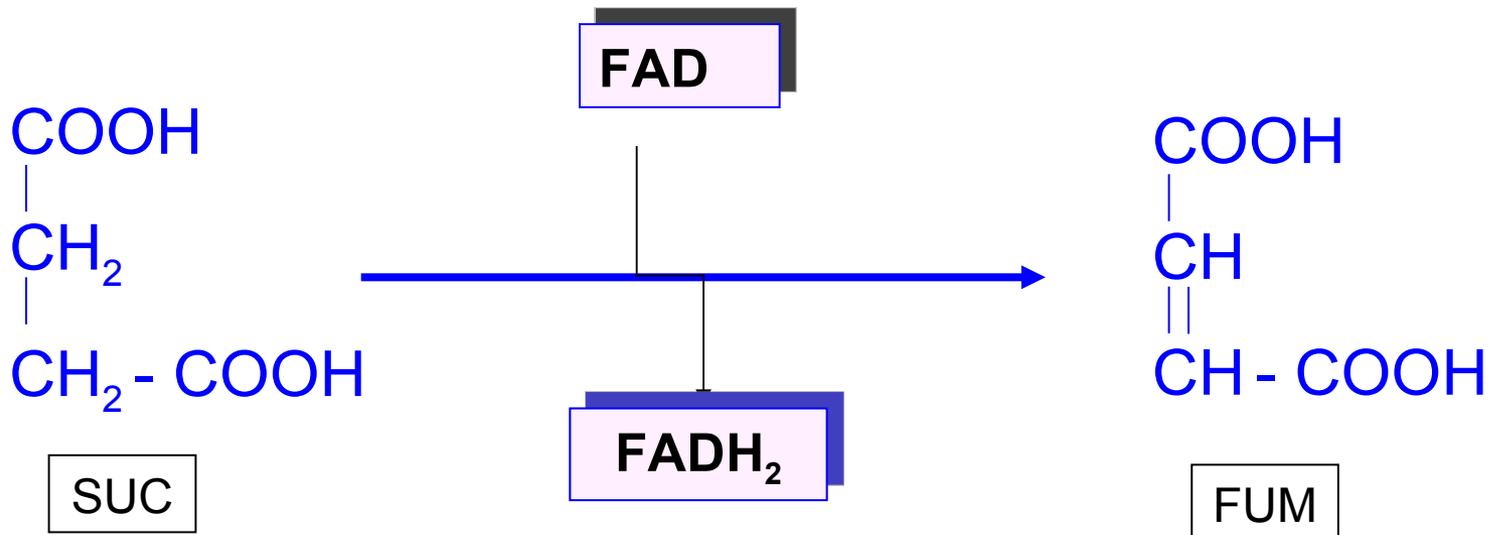
3ª) Descarboxilación oxidativa del **ácido isocítrico (ISO)** que se transforma en  **$\alpha$ -cetoglutarico ( $\alpha$ -KG)** con la formación de **CO<sub>2</sub>** y **NADH**.



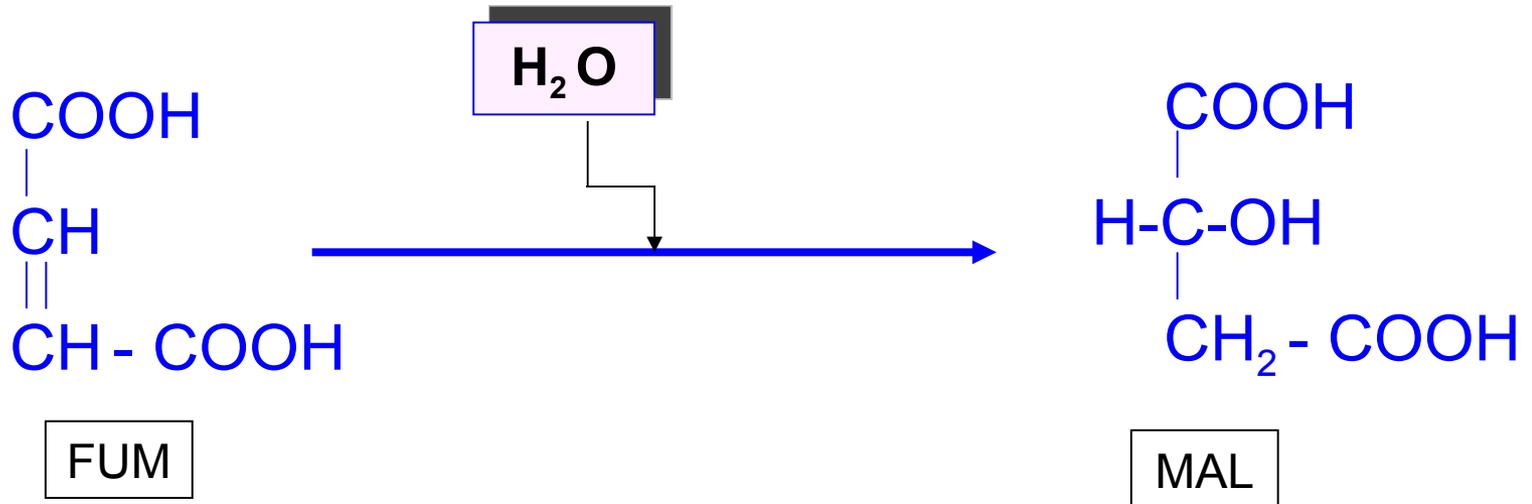
4ª) Descarboxilación oxidativa del **ácido  $\alpha$ -cetoglutarico ( $\alpha$ -KG)** formándose  **$\text{CO}_2$ ,  $\text{NADH}+\text{H}^+$  y 1 GTP (ATP)**. El  **$\alpha$ -cetoglutarico ( $\alpha$ -KG)** se transforma en **ácido succínico (SUC)**.



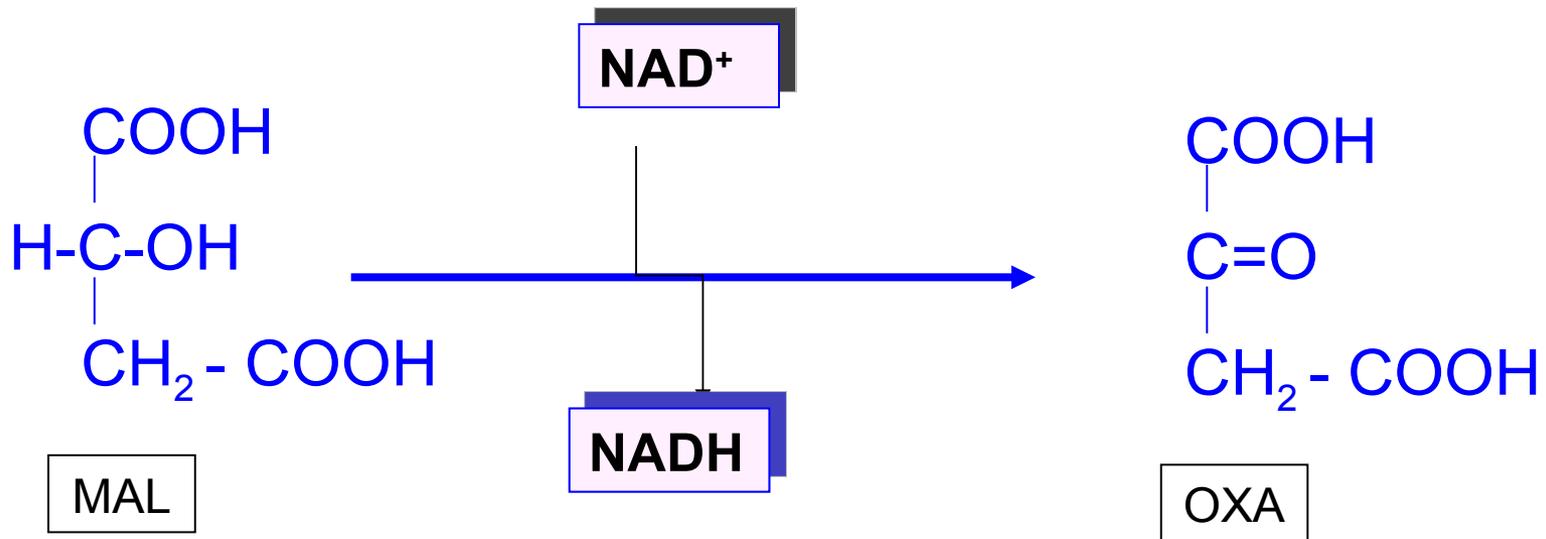
5ª) Oxidación del **ácido succínico (SUC)** a **ácido fumárico (FUM)**. Esta oxidación se realiza por la formación de un doble enlace. Los electrones son transferidos al **FAD** que pasa a **FADH<sub>2</sub>**.



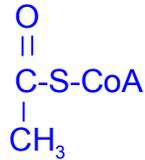
6ª) Adición de agua al doble enlace formándose el **ácido málico (MAL)**.



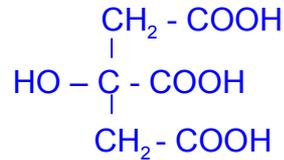
7ª) Oxidación por el **NAD<sup>+</sup>** del alcohol del ácido málico, que se transforma en el **ácido oxalacético (OXA)**, completándose el ciclo.



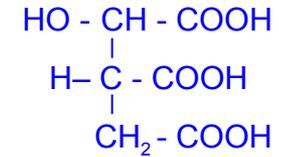
## Compuestos intermediarios del ciclo de Krebs



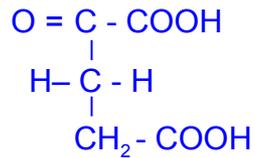
Acetil-Co-A



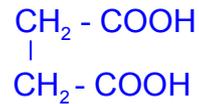
Ácido cítrico



Ácido isocítrico



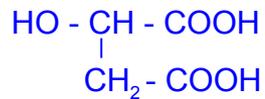
Ácido  $\alpha$  cetoglutarico



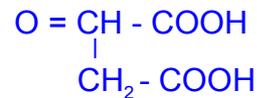
Ácido succínico



Ácido fumárico



Ácido málico



Ácido oxalacético

## Mecanismo del ciclo de Krebs

1ª) Condensación de la **acetil-CoA (ACA)** con el **ácido oxalacético (OXA)** para formar el **ácido cítrico (CIT)**. En este proceso se recupera la **CoA-SH**.

2ª) Transformación del **ácido cítrico (CIT)** en su isómero, el **ácido isocítrico (ISO)**.

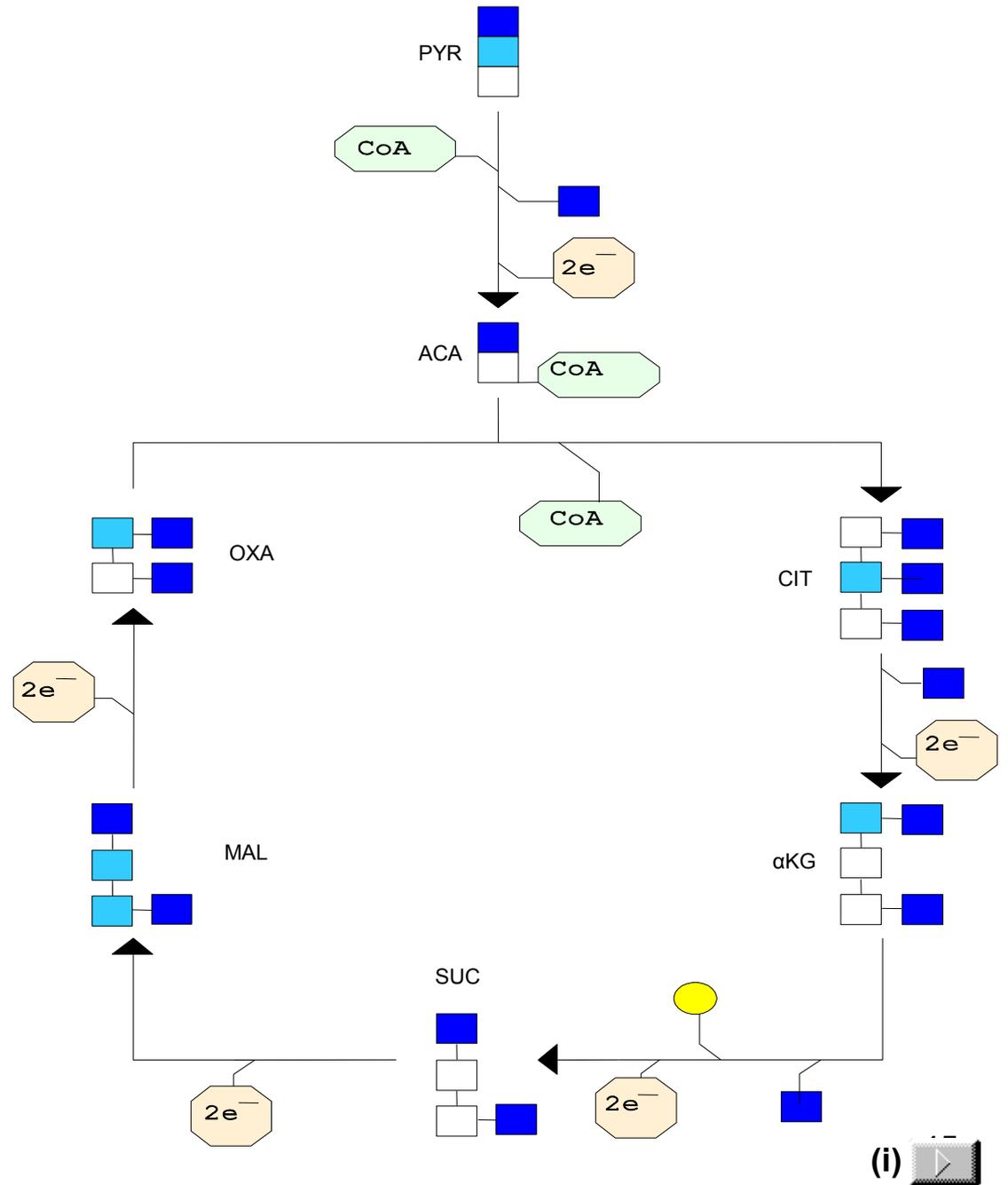
3ª) Descarboxilación oxidativa del **ácido isocítrico (ISO)** que se transforma en  **$\alpha$ -cetoglutarico ( $\alpha$ -KG)** con la formación de **CO<sub>2</sub>** y **NADH+H<sup>+</sup>**.

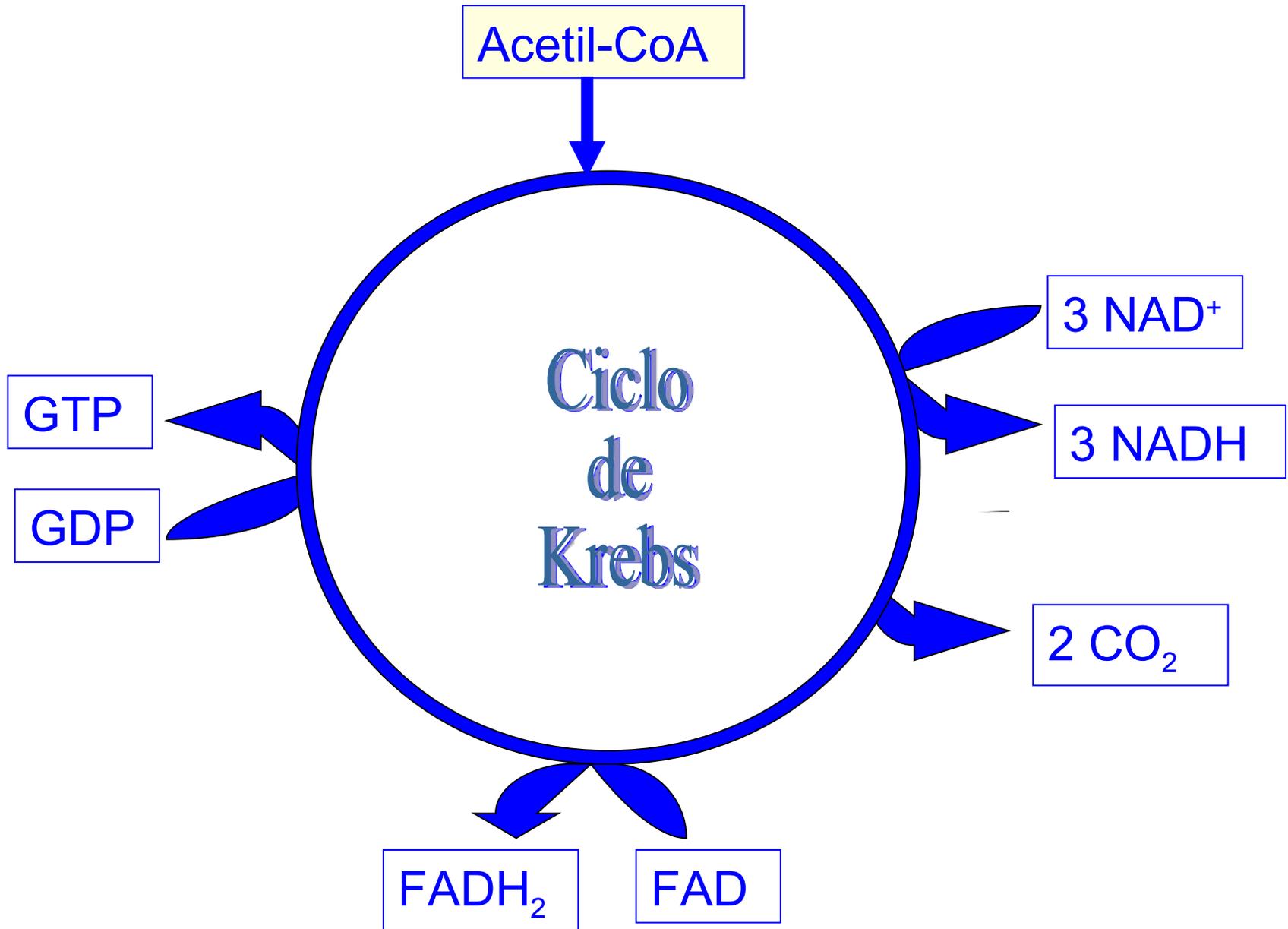
4ª) Descarboxilación oxidativa del **ácido  $\alpha$ -cetoglutarico ( $\alpha$ -KG)** formándose **CO<sub>2</sub>**, **NADH+H<sup>+</sup>** y 1 **GTP (ATP)**. El  **$\alpha$ -cetoglutarico ( $\alpha$ -KG)** se transforma en **ácido succínico (SUC)**.

5ª) Oxidación del **ácido succínico (SUC)** a **ácido fumárico (FUM)**. Esta oxidación se realiza por la formación de un doble enlace. Los electrones son transferidos al **FAD** que pasa a **FADH<sub>2</sub>**.

6ª) Adición de agua al doble enlace formándose el **ácido málico (MAL)**.

7ª) Oxidación por el **NAD<sup>+</sup>** del alcohol del ácido málico, que se transforma en el **ácido oxalacético (OXA)**, completándose el ciclo.







## ÍNDICE



**1 – Glucolisis**



**2 – Mitocondrias**



**3 – Ciclo de Krebs**



**4 – Cadena respiratoria**



**5 – Balance de la respiración celular**



**6 – Fermentaciones**



**7 – Animaciones**



**- Glucolisis (esquemas)**



**- Glucolisis (fórmulas)**



**- Ciclo de Krebs (esquemas)**



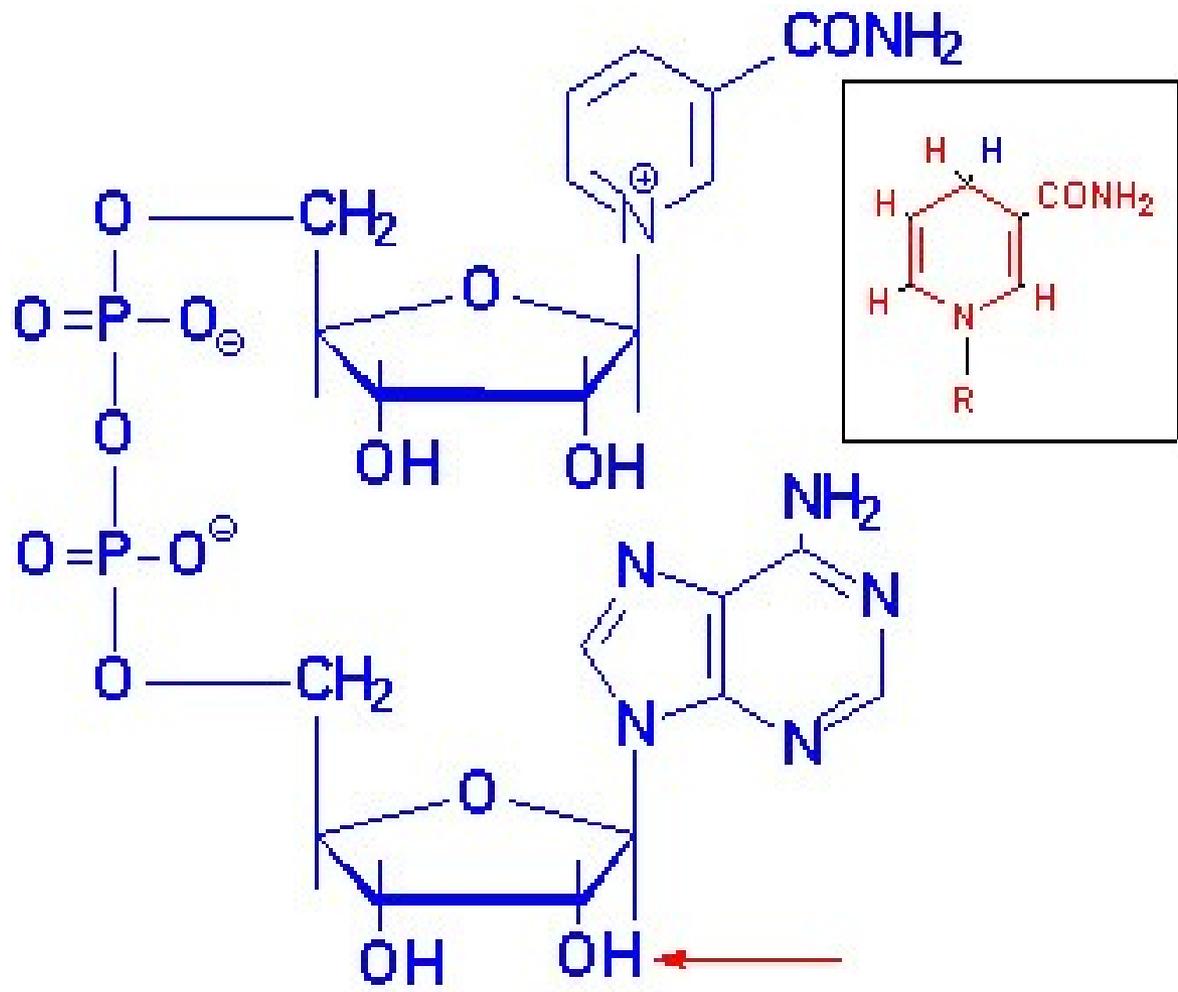
**- Ciclo de Krebs (fórmulas)**

## BALANCE DE LA DEGRADACION DE LA GLUCOSA

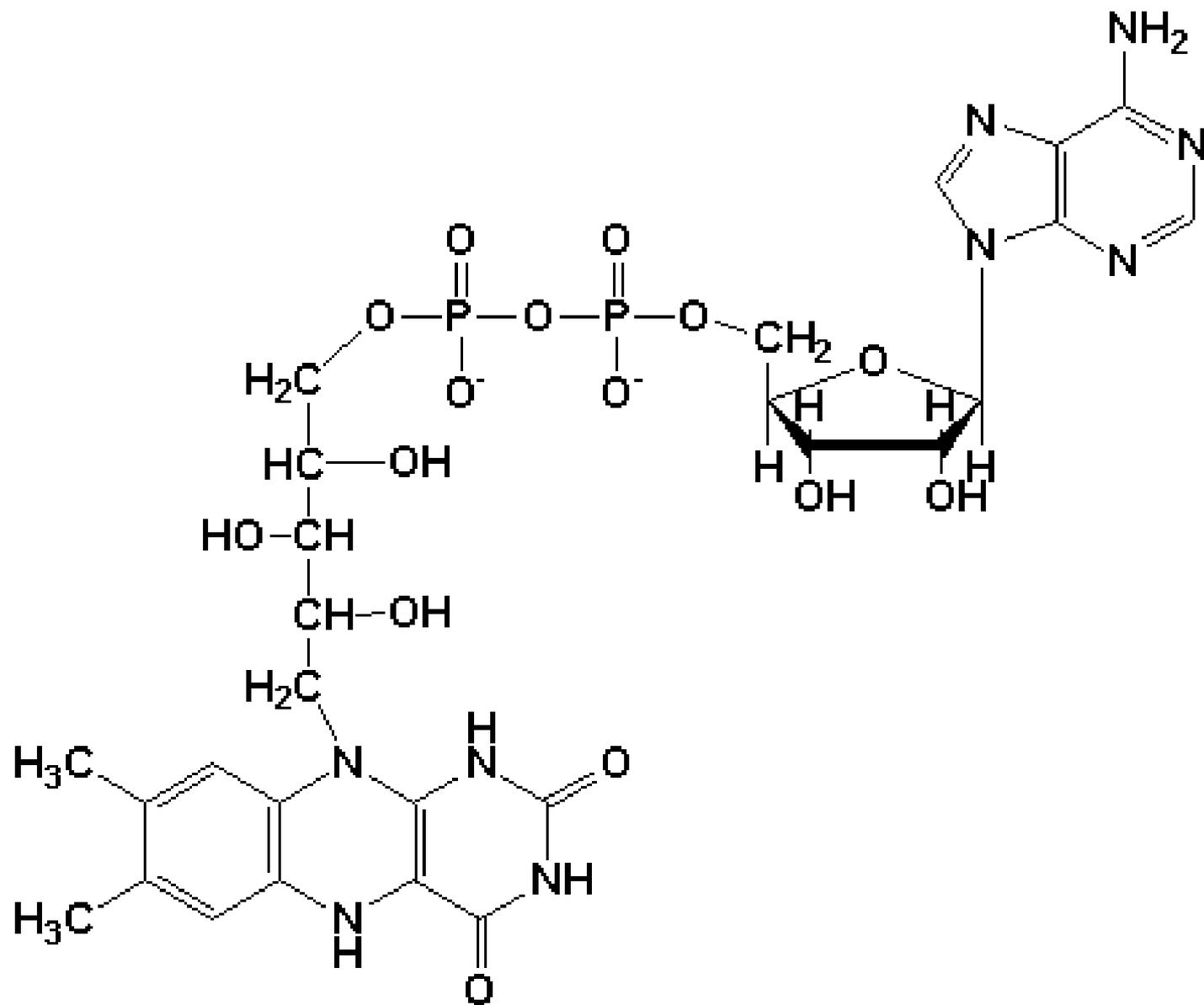
Proceso	Sustancia inicial	Sustancia final	Coenzimas Reducidas	Moles de ATP
Glucolisis	Glucosa	2 ácid. Pirúvico	2 NADH	2 ATP
Descarboxilación del ácido pirúvico	2 ácid. pirúvico	2 acetil-Co A 2 CO <sub>2</sub>	2 NADH	
Ciclo de Krebs	2 acetil-Co A	4 CO <sub>2</sub>	6 NADH 2 FADH <sub>2</sub>	2 GTP
<b>Balance global</b>	<b>Glucosa</b>	<b>6 CO<sub>2</sub></b>	<b>2 + 8 NADH 2 FADH<sub>2</sub></b>	<b>4 ATP</b>

## LA CADENA RESPIRATORIA. CONCEPTO Y OBJETIVOS

- **Concepto**: Consiste en un transporte de electrones desde las coenzimas reducidas, **NADH+H<sup>+</sup>** o **FADH<sub>2</sub>**, hasta el oxígeno. Este transporte se realiza en la membrana de las crestas mitocondriales.
- **Objetivos**: Es en este proceso donde se obtendrá la mayor parte de la energía contenida en la glucosa y otros compuestos orgánicos, que será almacenada en forma de **ATP**. Al mismo tiempo se recuperarán las coenzimas transportadoras de electrones en su forma oxidada, lo que permitirá la oxidación de nuevas moléculas de glucosa y de otras sustancias orgánicas. Como producto de desecho se obtendrá agua.



EI NAD<sup>+</sup>/NADH

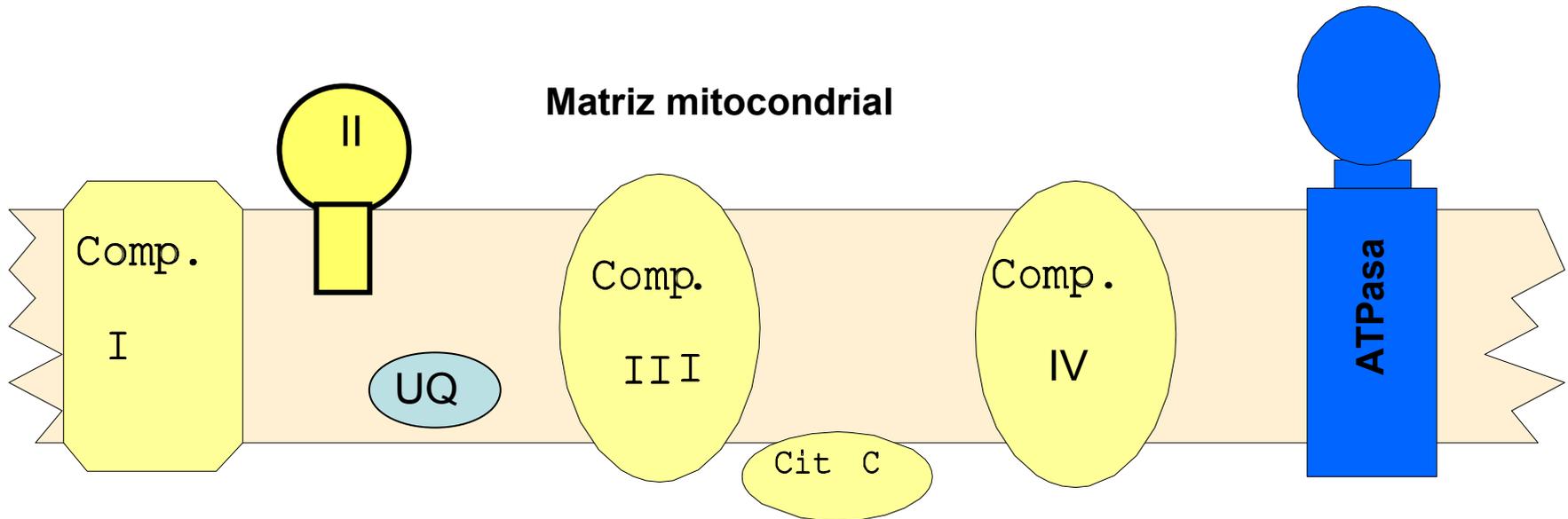


FAD/FADH<sub>2</sub>

## ESTRUCTURA DE LA MEMBRANA DE LAS CRESTAS MITOCONDRIALES

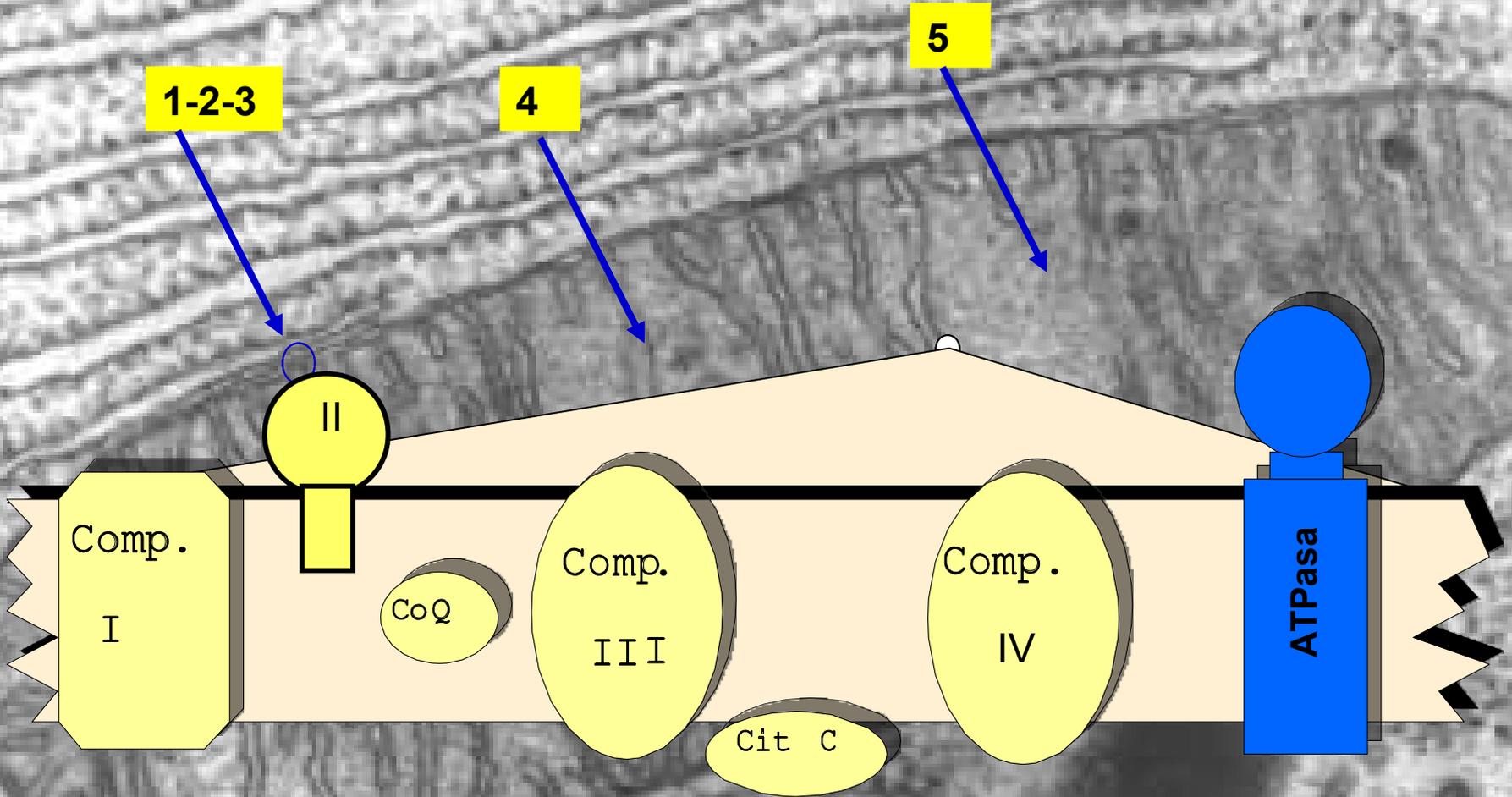
Las crestas mitocondriales tienen la estructura de toda membrana biológica. Empotradas en la doble capa lipídica se encuentran diferentes sustancias transportadoras de electrones. Estas están asociadas formando cuatro grandes complejos:

- Complejo I (NADH deshidrogenasa)
- Complejo II (Succinato deshidrogenasa)
- Complejo III (Citocromo bc1).
- Complejo IV (Citocromo c oxidasa).



Espacio intermembrana

**Mitocondria vista al MET.** 1) Membrana externa, 2) Espacio intermembrana. 3) Membrana interna. 4) Crestas. 5) Matriz.

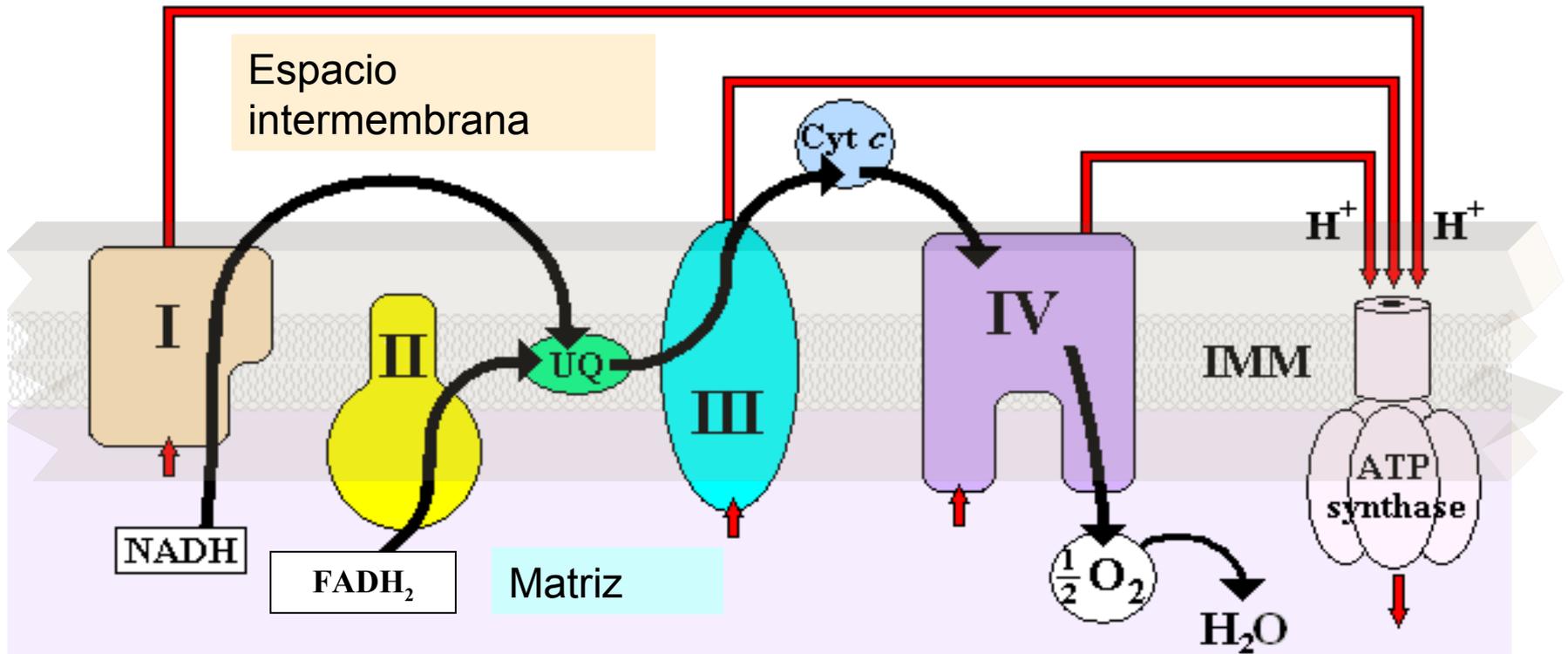


# Mecanismo de la cadena respiratoria

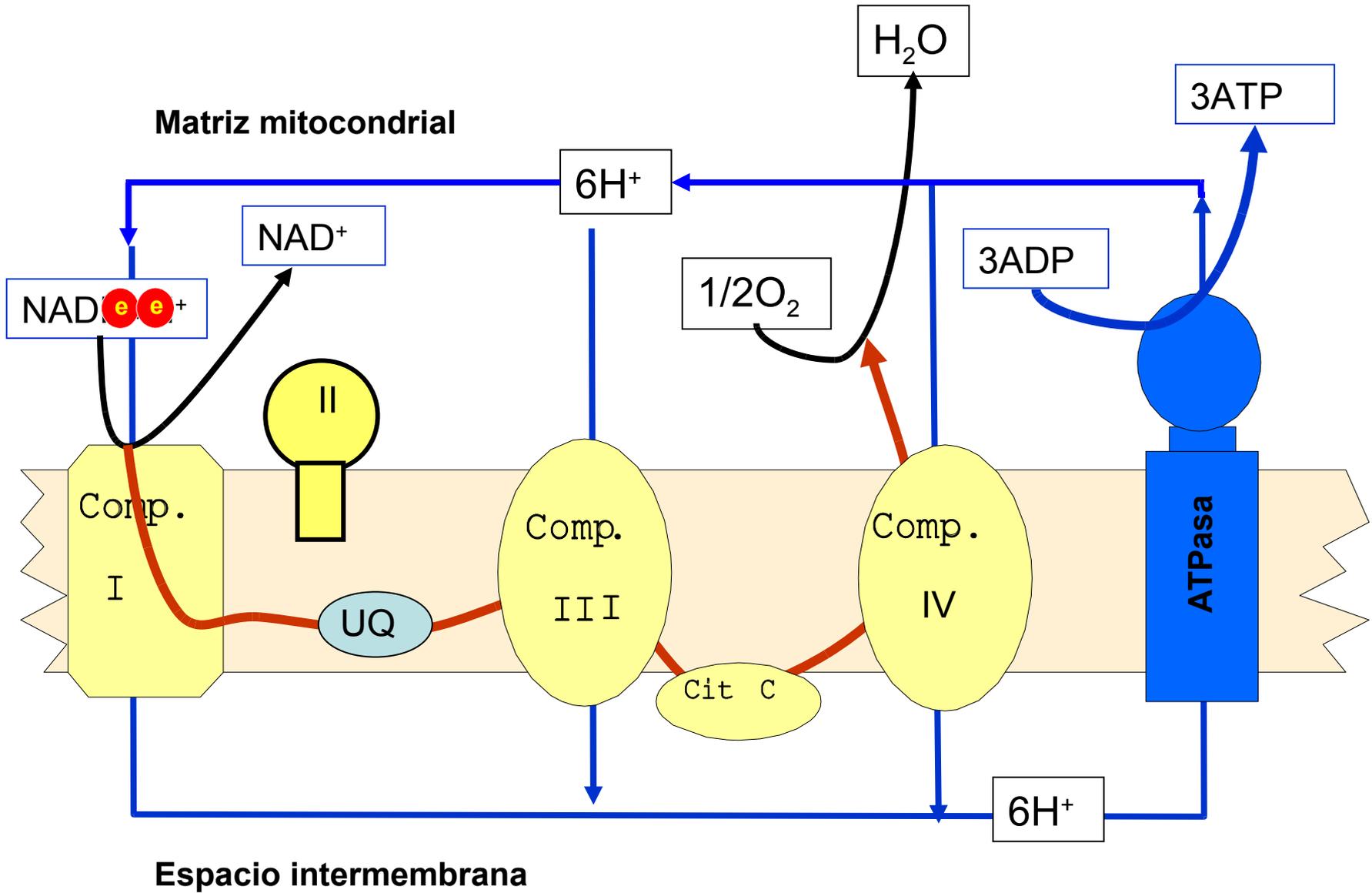
- En la membrana de las crestas mitocondriales se va a realizar un transporte de electrones desde el NADH o el FADH<sub>2</sub> hasta el oxígeno. Este transporte de electrones va a generar un transporte de protones por parte de los complejos I, III y IV desde la matriz hacia el espacio intermembrana. Cada complejo será capaz de bombear dos protones. La salida de estos protones a través de las ATPasas servirá para sintetizar ATP, 1 ATP por cada dos protones, de forma similar a como sucedía en los cloroplastos. El NADH es capaz de reducir al Complejo I por lo que se obtendrán 3ATP por cada molécula de NADH. El FADH<sub>2</sub> no puede reducir al complejo I y cede sus dos electrones al Complejo II. Esta es la razón por la que el FADH<sub>2</sub> sólo genere 2 ATP.
- Los electrones serán cedidos finalmente al oxígeno que junto con dos protones del medio darán una molécula de H<sub>2</sub>O



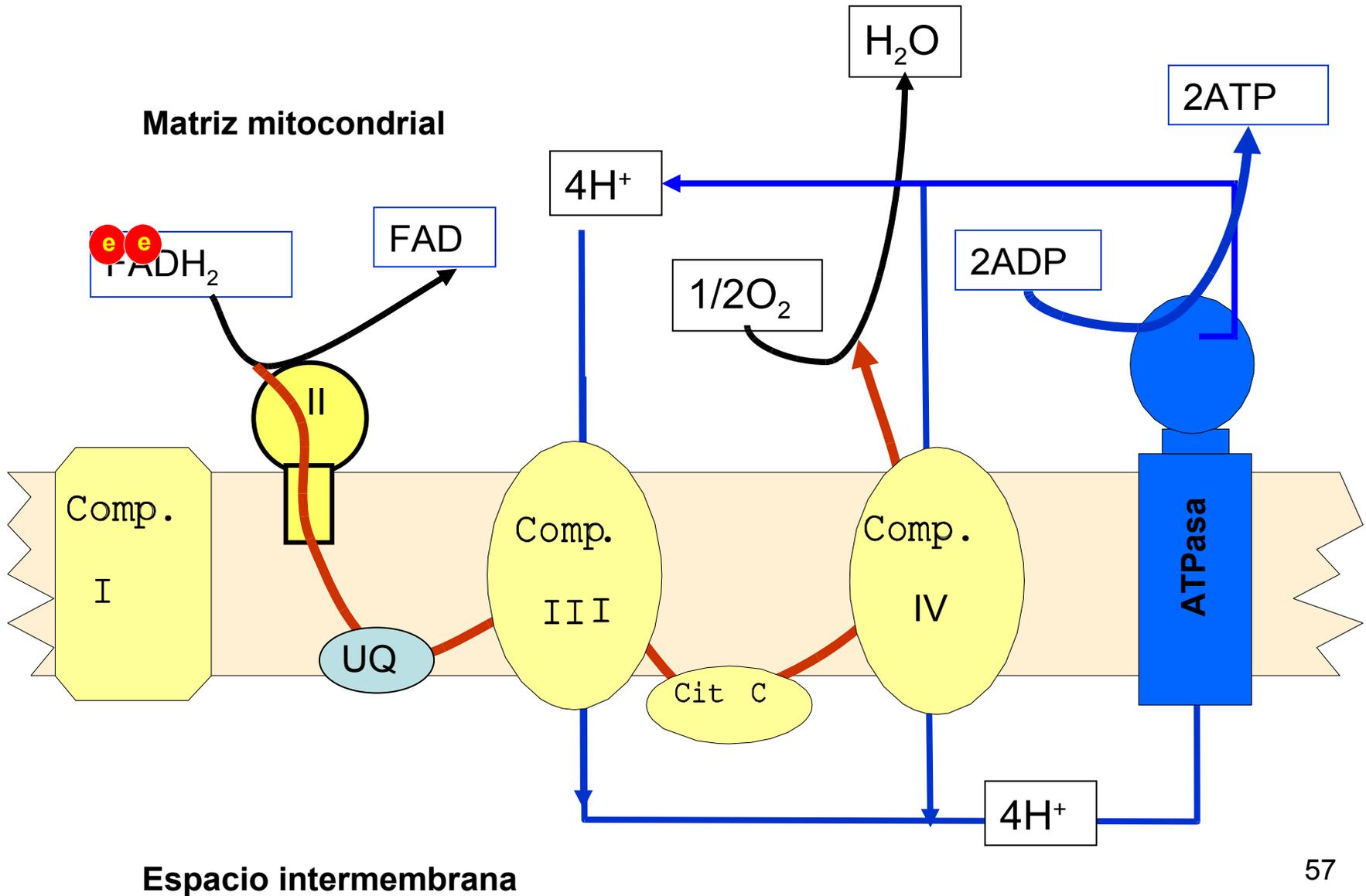
# Mecanismo de la Cadena Respiratoria. Oxidación del NADH y síntesis de ATP



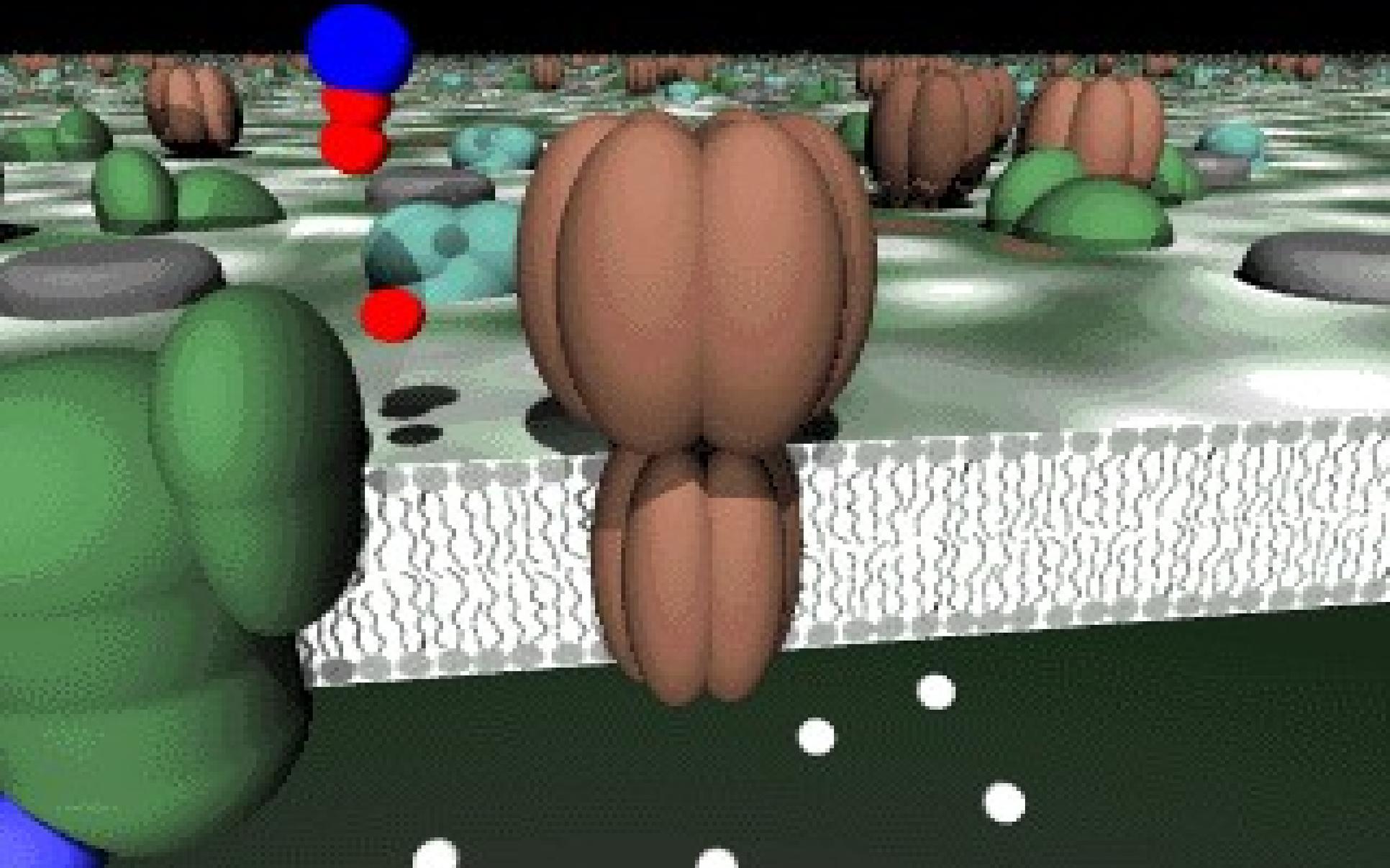
# Mecanismo de la Cadena Respiratoria. Oxidación del NADH y síntesis de ATP



# Mecanismo de la Cadena Respiratoria. Oxidación del $\text{FADH}_2$ y síntesis de ATP

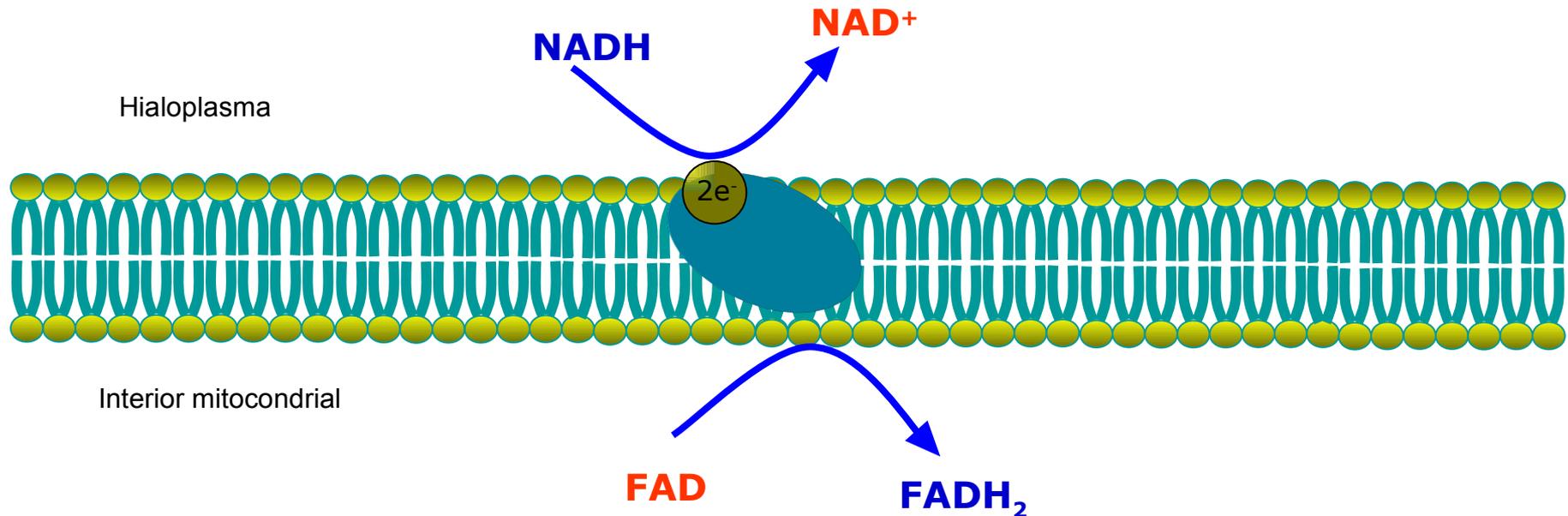


**Síntesis de ATP por las ATPasas de la membrana de las crestas mitocondriales.**



## ¿Qué sucede con el NADH de origen hialoplasmático en los eucariotas?

Hemos visto que cada NADH que se origina en las mitocondrias rinde 3 ATP. Pero, en los eucariotas, el NADH que se origina en la glucólisis en el hialoplasma sólo puede originar 2 ATP. Esto es debido a que este NADH no puede atravesar la membrana mitocondrial y debe ceder sus electrones a una sustancia intermediaria que a su vez los cede al FAD que hay en el interior de la mitocondria, lo que no sucede en los procariotas.





## ÍNDICE



### 1 – Glucolisis



### 2 – Mitocondrias



### 3 – Ciclo de Krebs



### 4 – Cadena respiratoria



### 5 – Balance de la respiración celular



### 6 – Fermentaciones



### 7 – Animaciones



- Glucolisis (esquemas)



- Glucolisis (fórmulas)



- Ciclo de Krebs (esquemas)



- Ciclo de Krebs (fórmulas)

## ECUACIONES GLOBALES DE LA DEGRADACIÓN AEROBIO DE LA GLUCOSA Y RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN MOLES DE ATP POR MOL DE GLUCOSA

### ECUACIÓN GLOBAL SIMPLIFICADA



### ECUACIÓN GLOBAL



## BALANCE DE LOS PROCESOS DE LA RESPIRACION CELULAR EN EUCARIOTAS

Proceso	Sustancia inicial	Sustancia final	Coenzimas Reducidas y ATP	Moles de ATP (totales)
<b>Glucolisis</b>	Glucosa	2 ácid. pirúvico	2 NADH 2 ATP	4 ATP 2 ATP
<b>Descarboxilación del ácido pirúvico</b>	2 ácid. pirúvico	2 acetil-Co A 2 CO <sub>2</sub>	2 NADH	6 ATP
<b>Ciclo de Krebs</b>	2 acetil-Co A	4 CO <sub>2</sub>	6 NADH 2 FADH <sub>2</sub> 2 GTP	18 ATP 4 ATP 2 ATP
<b>Balance global</b>	<b>Glucosa</b> <b>6 O<sub>2</sub></b>	<b>6 CO<sub>2</sub></b> <b>6 H<sub>2</sub>O</b>		<b>36 ATP</b>

Como vemos, en los eucariotas cada molécula de glucosa rinde 36 moles ATP.

En los procariotas, sin embargo, son 38 moles de ATP por mol de glucosa.

<b>BALANCE EN MOLES DE ATP DE LA RESPIRACIÓN CELULAR</b>			
		<b>EUCARIOTAS</b>	<b>PROCARIOTAS</b>
<b>Proceso</b>	Coenzimas Reducidas y ATP	Moles de ATP (totales)	Moles de ATP (totales)
<b>Glucolisis</b>	2 NADH 2 ATP	4 ATP 2 ATP	6 ATP 2 ATP
<b>Descarboxilación del ácido pirúvico</b>	2 NADH	6 ATP	6 ATP
<b>Ciclo de Krebs</b>	6 NADH 2 FADH <sub>2</sub> 2 GTP	18 ATP 4 ATP 2 ATP	18 ATP 4 ATP 2 ATP
<b>Balance global</b>		36 ATP	38 ATP



## ÍNDICE



### 1 – Glucolisis



### 2 – Mitocondrias



### 3 – Ciclo de Krebs



### 4 – Cadena respiratoria



### 5 – Balance de la respiración celular



### 6 – Fermentaciones



### 7 – Animaciones



- Glucolisis (esquemas)



- Glucolisis (fórmulas)



- Ciclo de Krebs (esquemas)



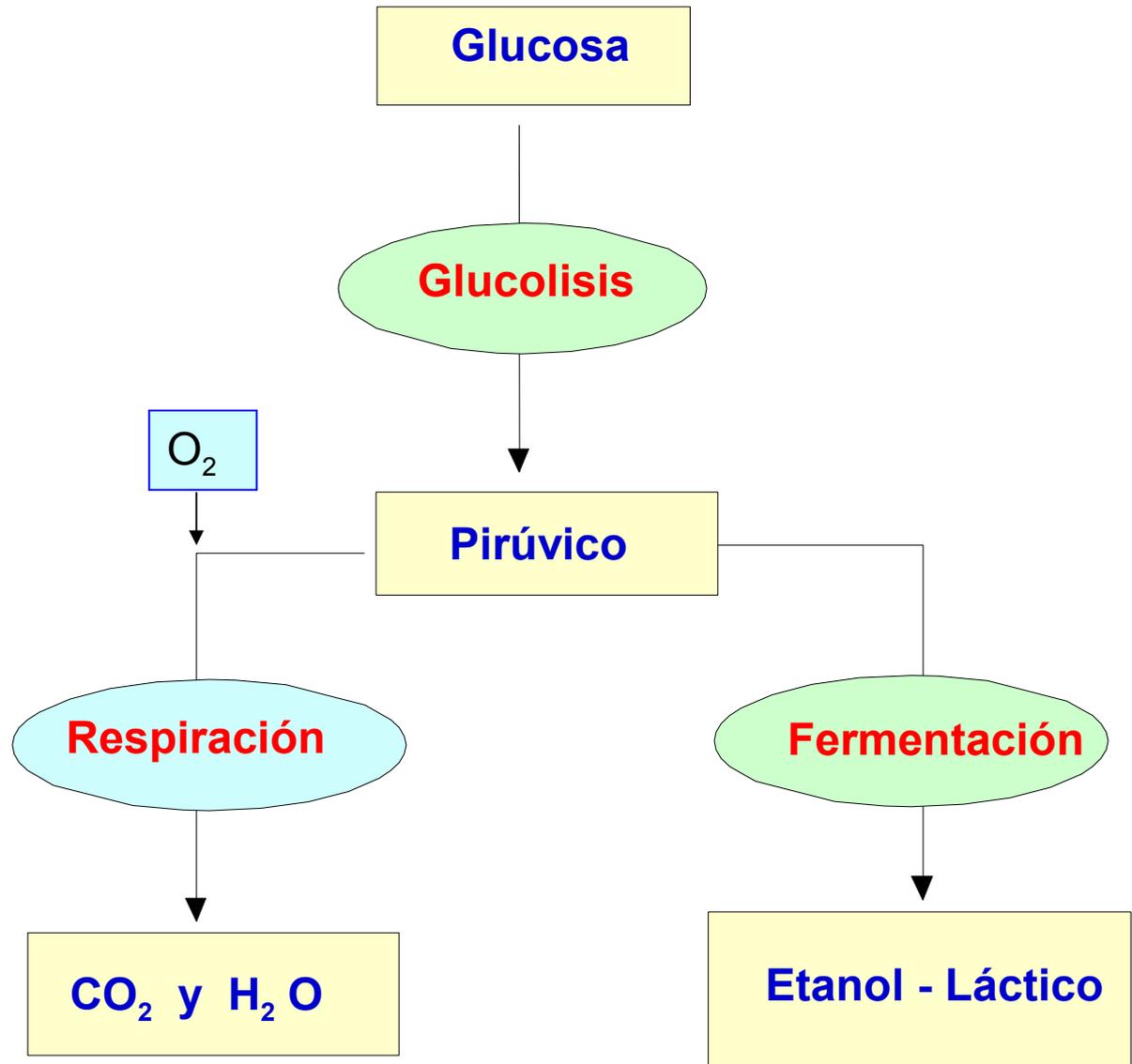
- Ciclo de Krebs (fórmulas)

## FERMENTACIONES

Objetivos:

-Obtención de energía en condiciones anaerobias (2ATP).

-Recuperar el  $\text{NAD}^+$ .



## LAS FERMENTACIONES ANAERÓBICAS

La oxidación del  $\text{NADH}+\text{H}^+$  y del  $\text{FADH}_2$  en la cadena respiratoria tiene como aceptor final de los electrones al oxígeno. De esta manera el  $\text{NAD}^+$  y el  $\text{FAD}$  se recuperan y la glucólisis y el ciclo de Krebs pueden mantenerse.

Si no hay oxígeno, el  $\text{NADH}+\text{H}^+$  y el  $\text{FADH}_2$  se acumulan y los procesos de obtención de energía se interrumpen. En estas condiciones, condiciones anaerobias o de falta de oxígeno, ciertos microorganismos y, por ejemplo, nuestras células musculares, recuperan las coenzimas oxidadas por diversas vías metabólicas conocidas bajo el nombre de **fermentaciones anaeróbicas**.

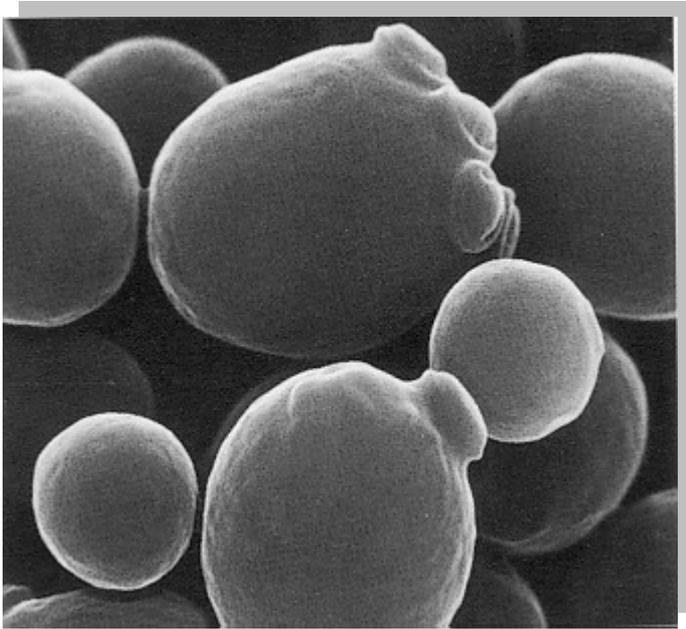
Para algunos microorganismos, los **anaerobios estrictos**, las fermentaciones son su única fuente de energía. Se les llama anaerobios estrictos porque no pueden vivir en un medio que contenga oxígeno ya que éste les es letal. Otros, los **anaerobios facultativos**, utilizan estas vías como mecanismo de emergencia durante los períodos en los que no disponen de oxígeno.

En las fermentaciones, la glucosa no se degrada totalmente a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ , sino que se produce una degradación incompleta de la cadena carbonada.

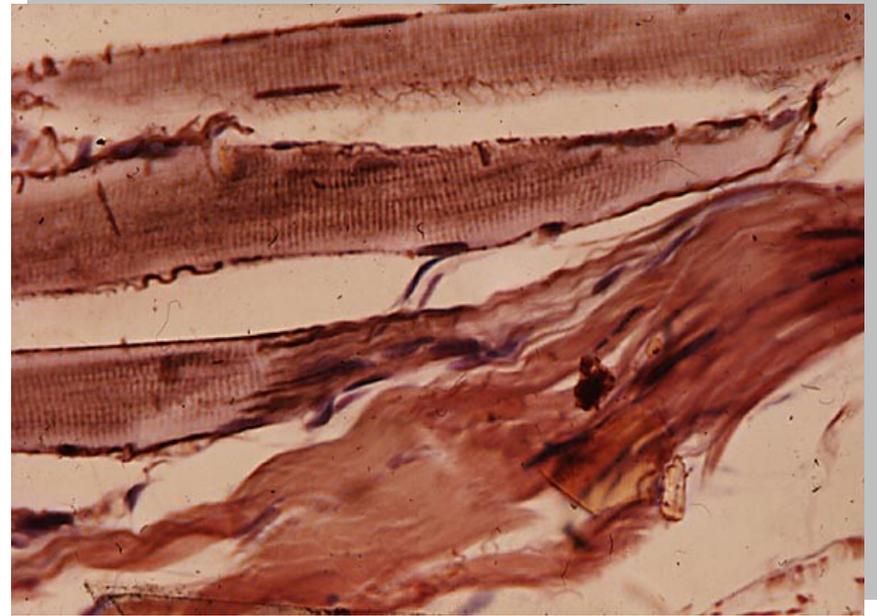
## LAS FERMENTACIONES ANAERÓBICAS:

Según el producto obtenido tendremos las siguientes fermentaciones:

- a) Fermentación láctica.
- b) Fermentación alcohólica.



Células de levadura

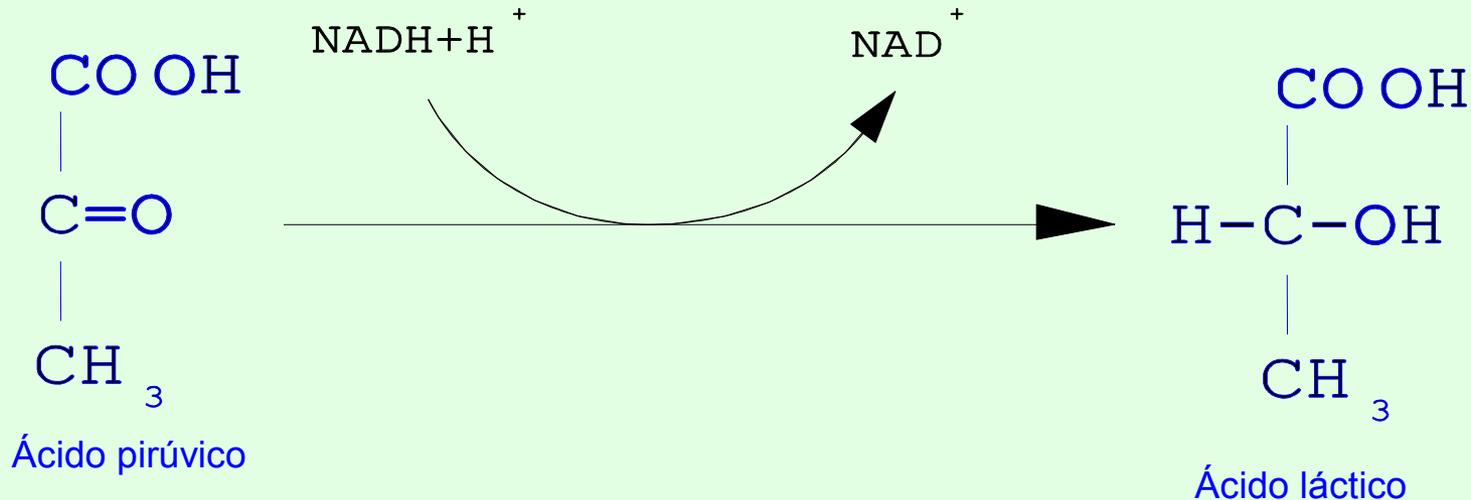


Fibras musculares estriadas

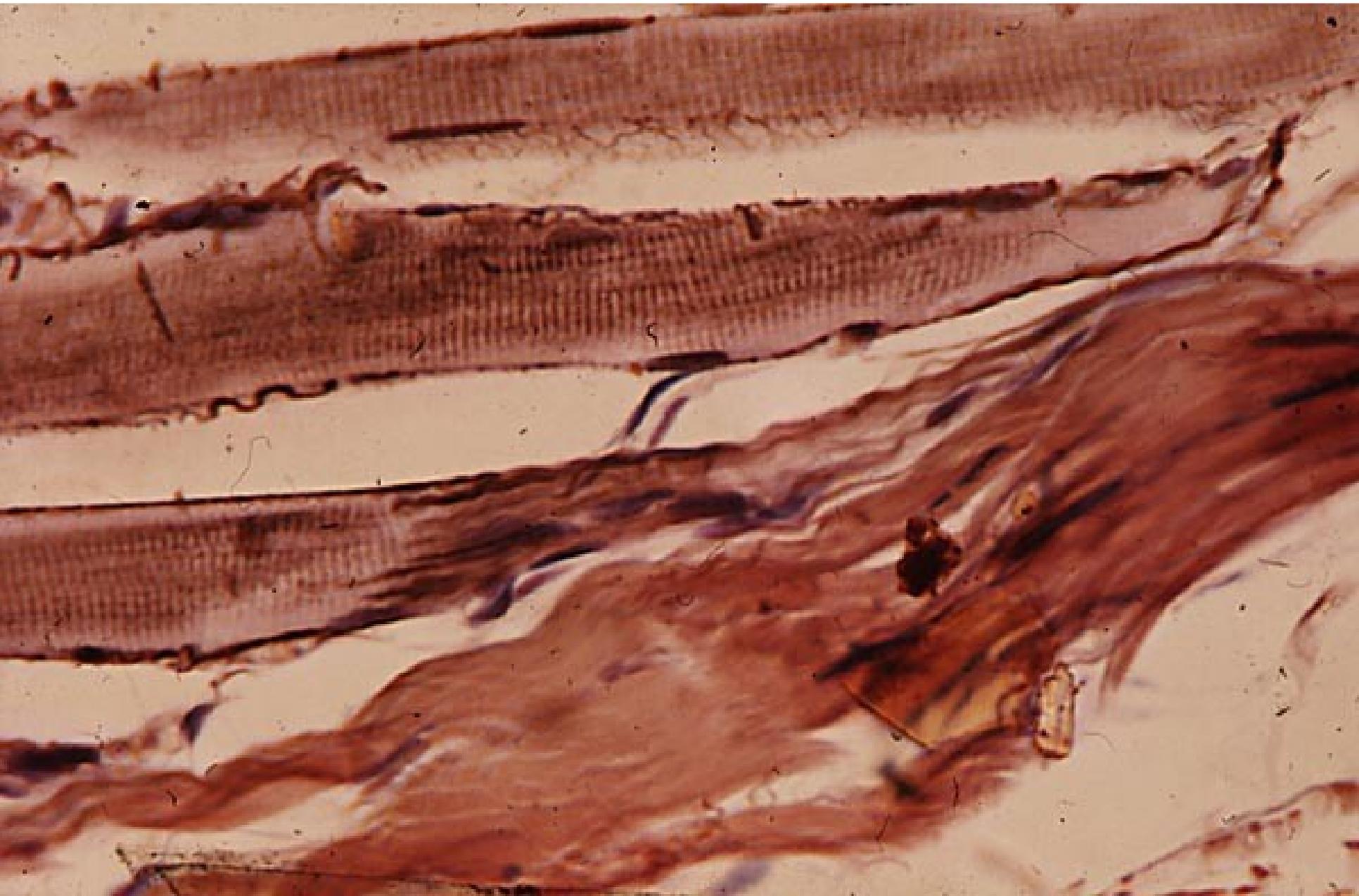
## A) FERMENTACIÓN LÁCTICA

La realizan las bacterias del yogur y, por ejemplo, las células musculares, cuando no reciben un aporte suficiente de oxígeno, lo que sucede cuando se lleva a cabo un ejercicio físico intenso.

En la fermentación láctica el ácido pirúvico es reducido a ácido láctico por medio del  $\text{NADH}+\text{H}^+$ . De esta manera el  $\text{NAD}^+$  se recupera y pueden ser degradadas nuevas moléculas de glucosa.



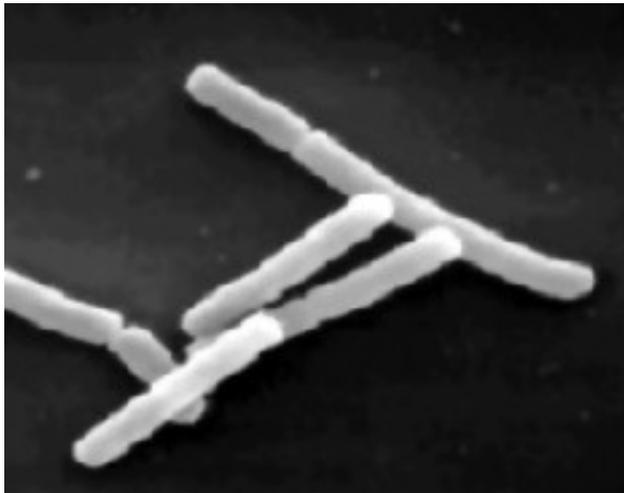
## Fibras musculares estriadas



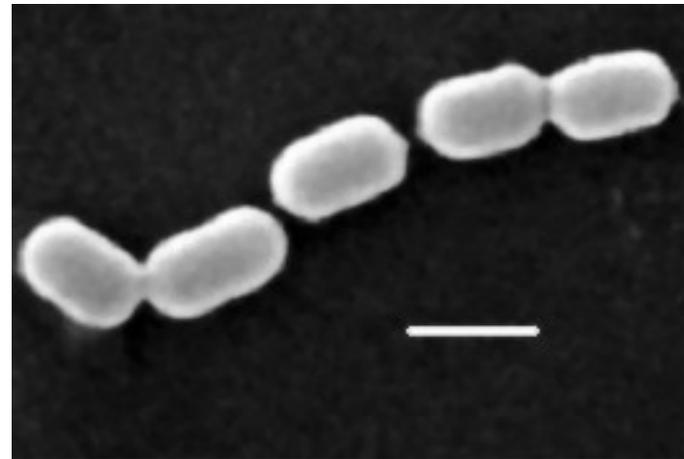
Diferentes bacterias del género  
lactobacillus



Lactobacillus  
casei



Lactobacillus  
acidophilus

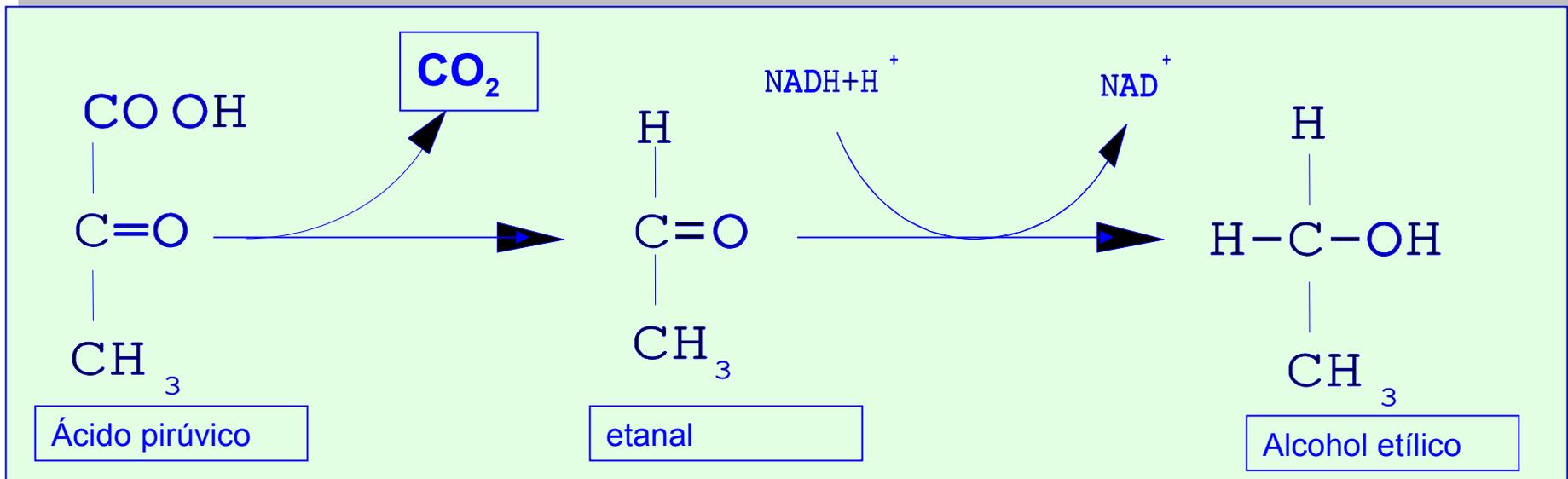


Lactobacillus  
gasseri

## B) FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA

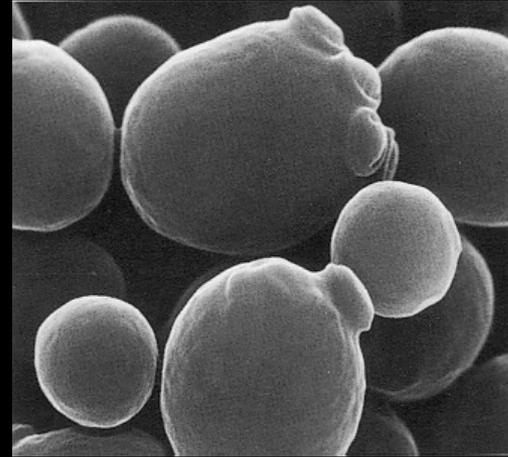
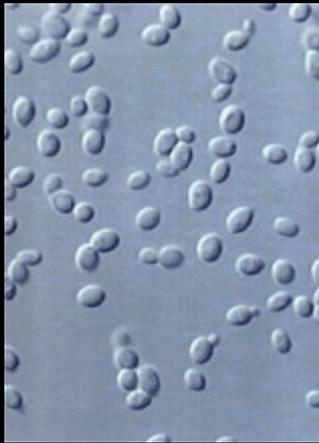
En la fermentación alcohólica el ácido pirúvico es transformado en alcohol etílico o etanol. Estas fermentaciones las realizan, por ejemplo, las levaduras del género *Saccharomyces*. Se trata de un proceso de gran importancia industrial que, dependiendo del tipo de levadura, dará lugar a una gran variedad de bebidas alcohólicas: cerveza, vino, sidra, etc. En la fabricación del pan se le añade a la masa una cierta cantidad de levadura, la fermentación del almidón de la harina hará que el pan sea más esponjoso por las burbujas de  $\text{CO}_2$ . En este último caso el alcohol producido desaparece durante el proceso de cocción. La fermentación alcohólica tiene el mismo objetivo que la fermentación láctica: la recuperación del  $\text{NAD}^+$  en condiciones anaeróbicas.

En la fermentación alcohólica el ac. pirúvico se descarboxila transformándose en acetaldehído y este es reducido por el  $\text{NADH} + \text{H}^+$  a alcohol etílico.



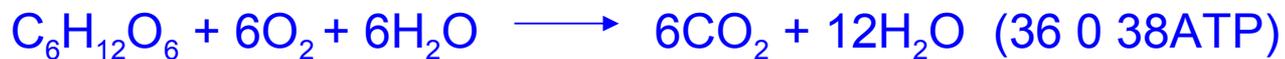
## LAS FERMENTACIONES ANAERÓBICAS:

***Saccharomyces cerevisiae*** (Levadura de cerveza). Este microorganismo es el responsable de los procesos de fermentación alcohólica.



## ECUACIONES GLOBALES DE LAS DIFERENTES VÍAS DE DEGRADACIÓN DE LA GLUCOSA y RENDIMIENTO ENERGÉTICO EN MOLES DE ATP POR MOL DE GLUCOSA

### a) Respiración oxidativa



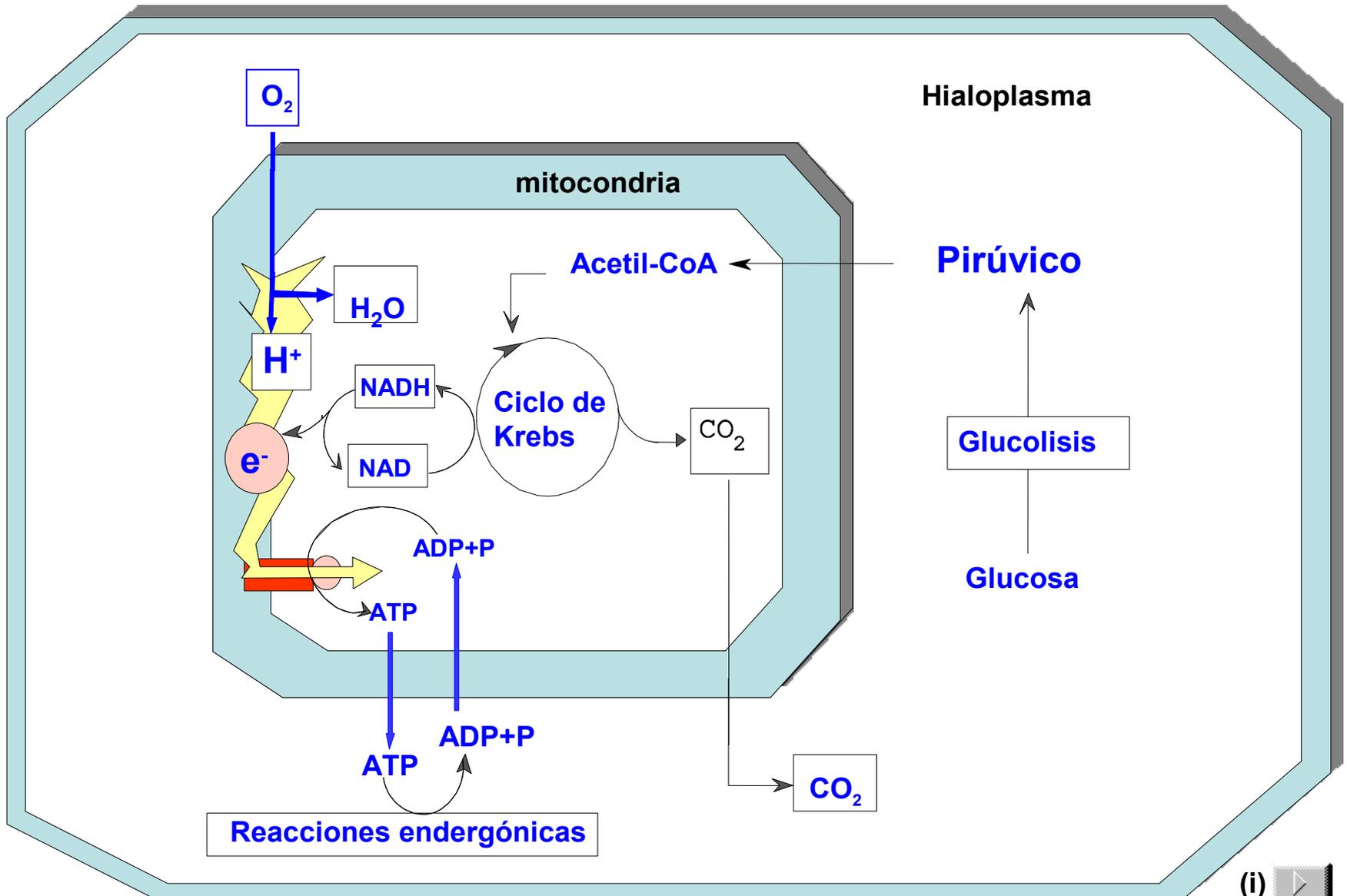
### b) Fermentación láctica



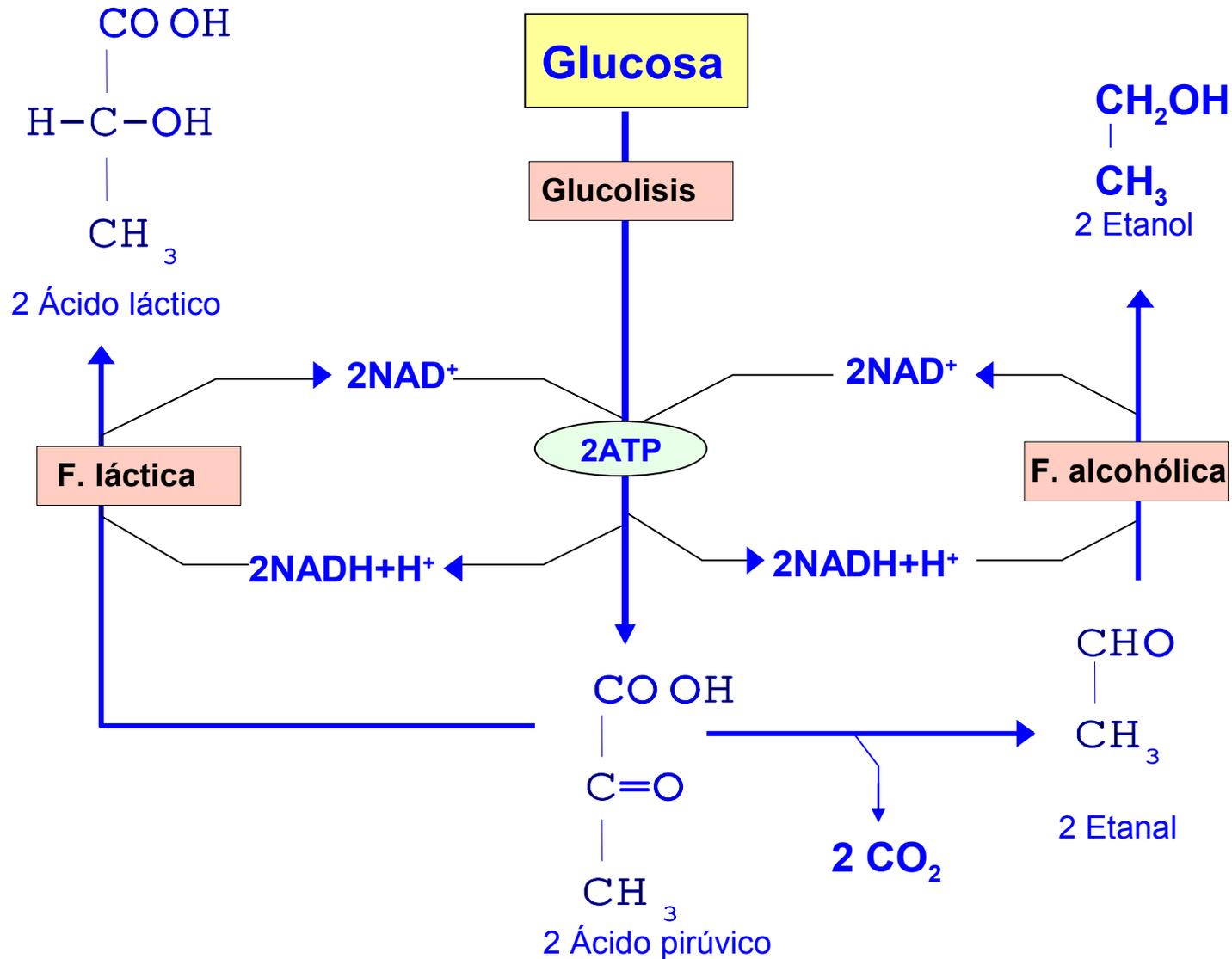
### c) Fermentación alcohólica



# Esquema simplificado de los procesos de respiración celular



# Esquema simplificado de los procesos de fermentación





## ÍNDICE



### 1 – Glucolisis



### 2 – Mitocondrias



### 3 – Ciclo de Krebs



### 4 – Cadena respiratoria



### 5 – Balance de la respiración celular



### 6 – Fermentaciones



### 7 – Animaciones



- Glucolisis (esquemas)



- Glucolisis (fórmulas)



- Ciclo de Krebs (esquemas)



- Ciclo de Krebs (fórmulas)



## ÍNDICE



### 1 – Glucolisis



### 2 – Mitocondrias



### 3 – Ciclo de Krebs



### 4 – Cadena respiratoria



### 5 – Balance de la respiración celular



### 6 – Fermentaciones



### 7 – Animaciones



- **Glucolisis (esquemas)**



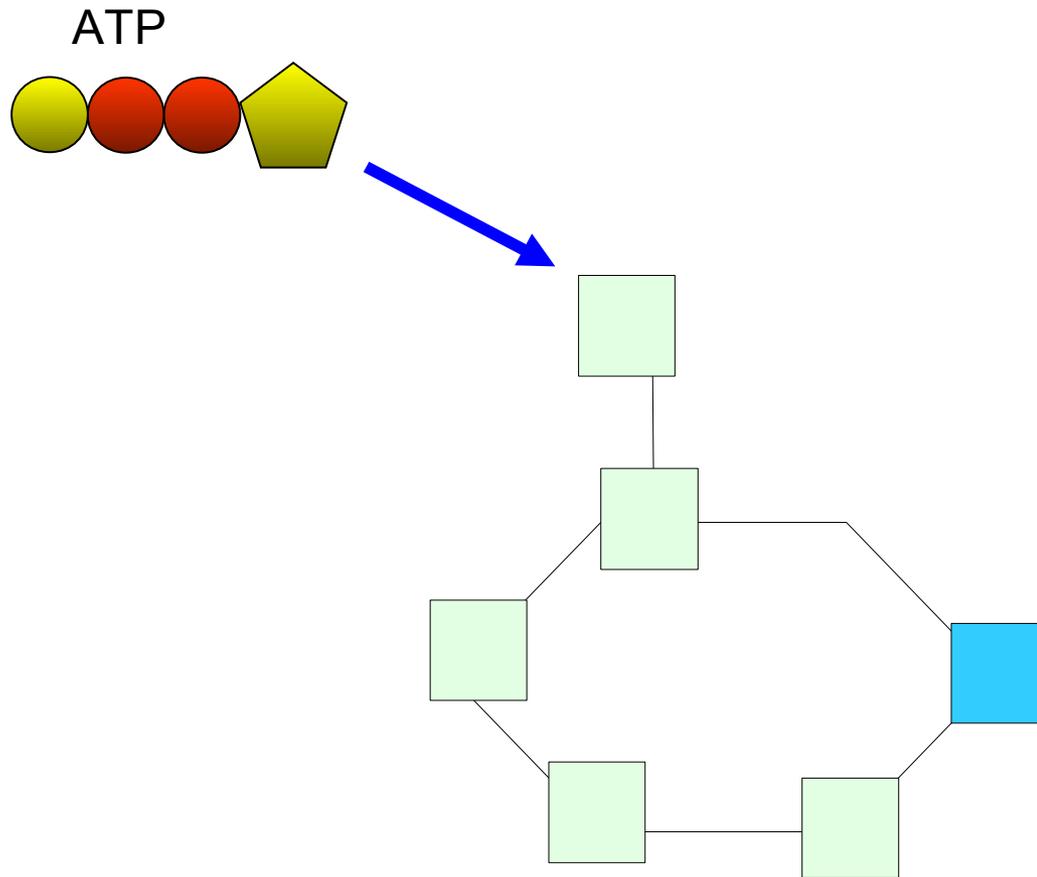
- **Glucolisis (fórmulas)**



- **Ciclo de Krebs (esquemas)**

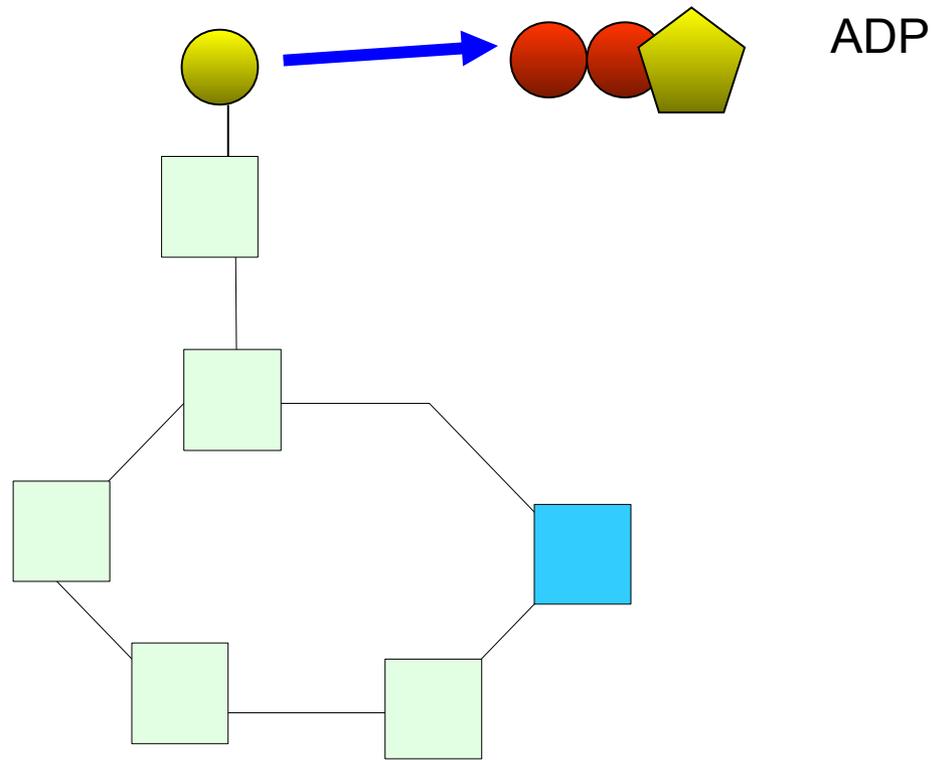


- **Ciclo de Krebs (fórmulas)**



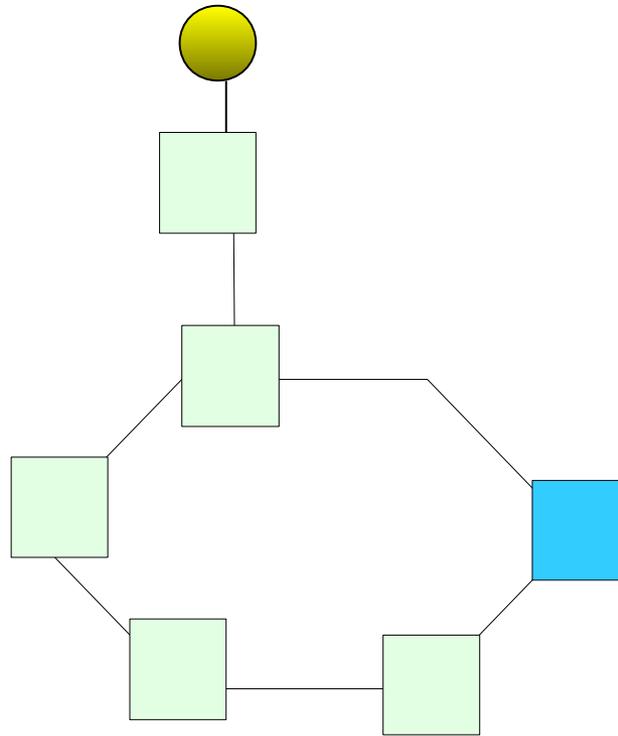
La glucosa reacciona con el ATP y se forma la glucosa-6-Fosfato.

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



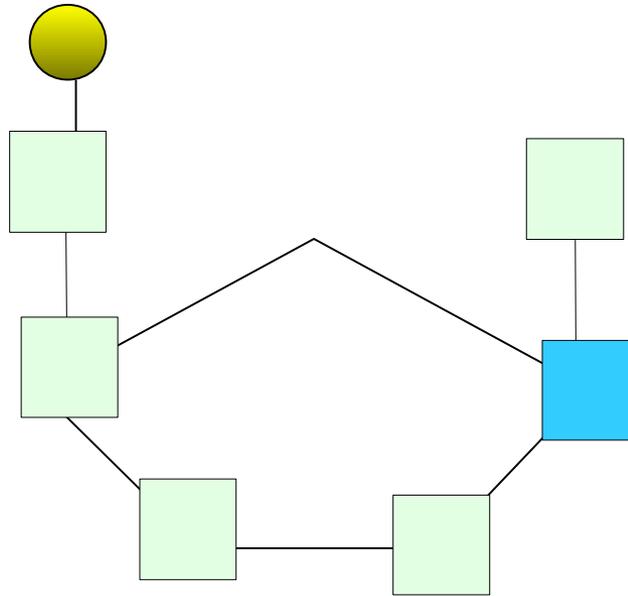
La glucosa reacciona con el ATP y se forma la glucosa-6-Fosfato.

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



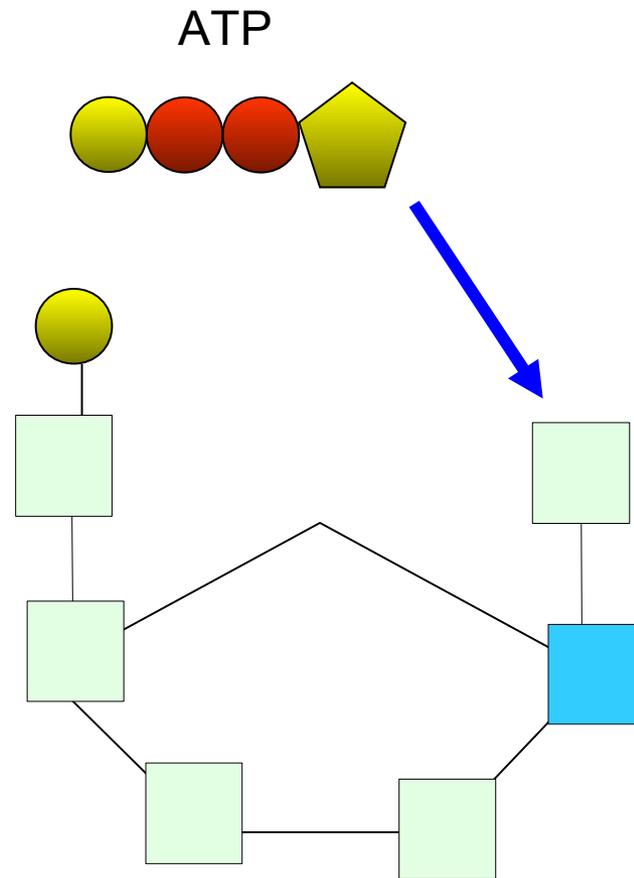
La glucosa reacciona con el ATP y se forma la glucosa-6-Fosfato.

■ Ácido   
 ■ aldehído o cetona   
 ■ alcohol   
 ■ metilo   
 ● Fosfato



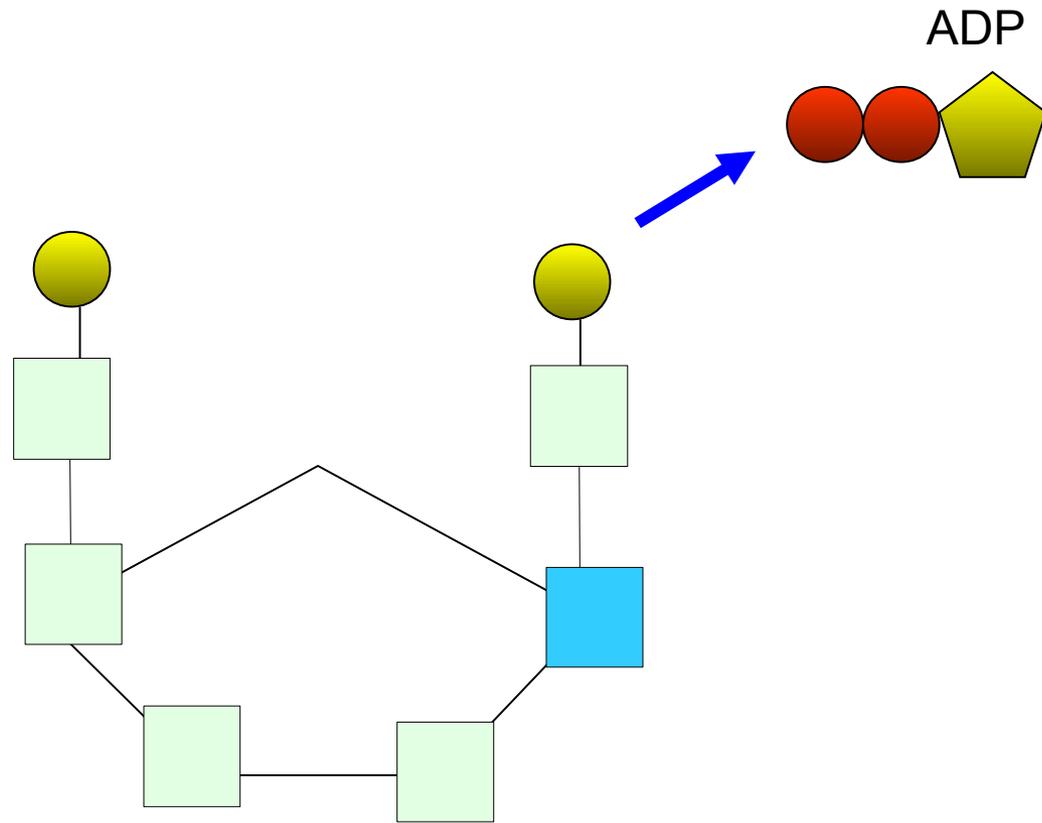
La glucosa-6-Fosfato se isomeriza a fructosa-6- fosfato

■ Ácido   
 ■ aldehído o cetona   
 ■ alcohol   
 ■ metilo   
 ● Fosfato



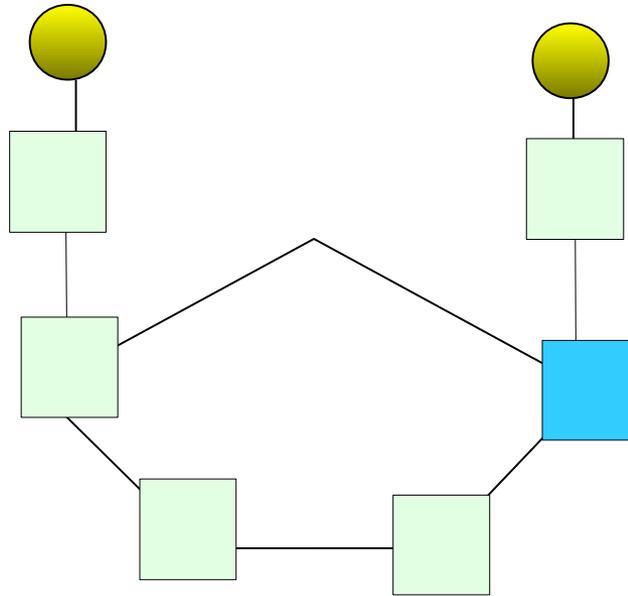
La fructosa-6- fosfato reacciona con el ATP para dar fructosa 1-6 difosfato.

■ Ácido   
 ■ aldehído o cetona   
 ■ alcohol   
 ■ metilo   
 ● Fosfato



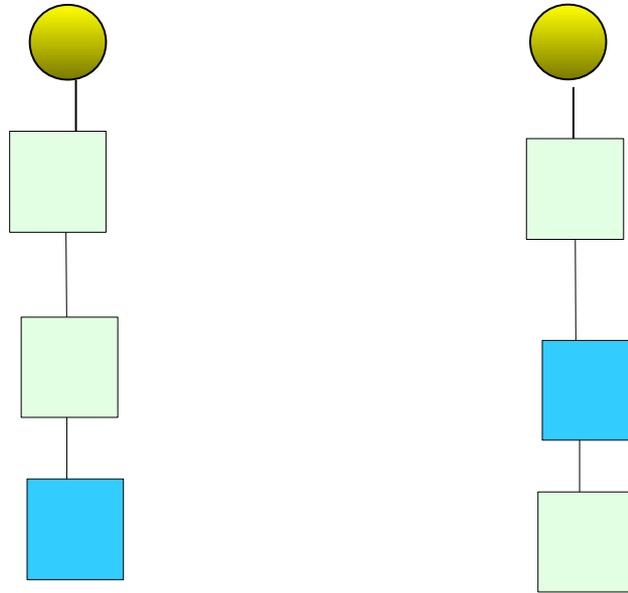
La fructosa-6- fosfato reacciona con el ATP para dar fructosa 1-6 difosfato.

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



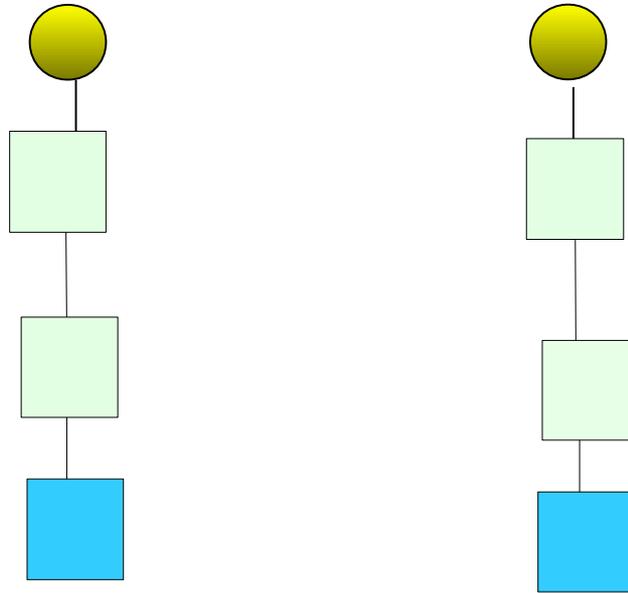
La fructosa 1-6 difosfato se rompe para dar lugar al aldehído 3 fosfoglicérico y la dihidroxiacetona fosfato.

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



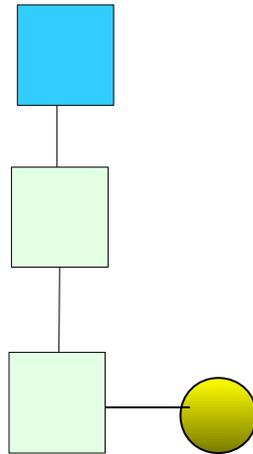
La fructosa 1-6 difosfato se rompe para dar lugar a el aldehído 3 fosfoglicérico y la dihidroxiacetona fosfato.

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



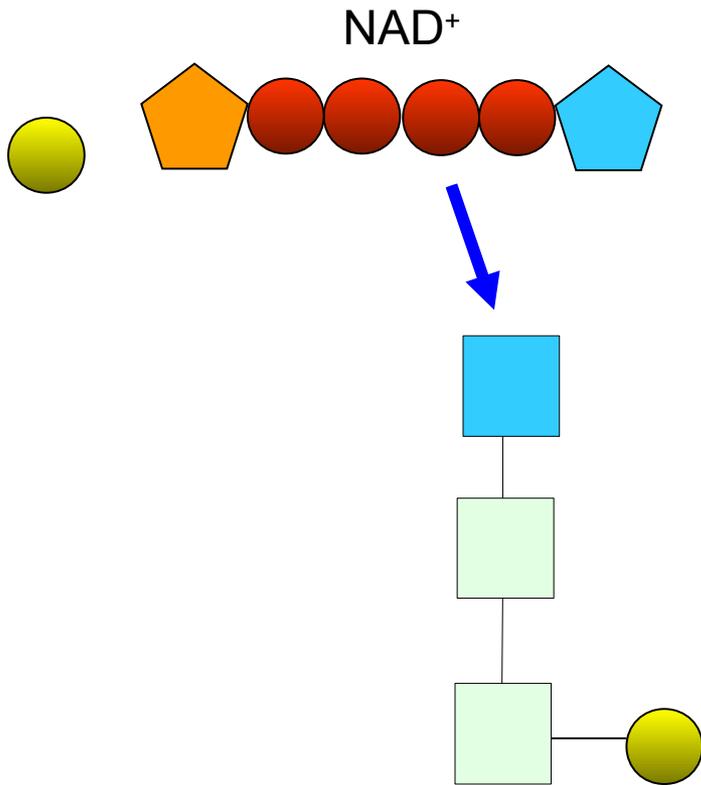
La dihidroxiacetona fosfato se transforma en aldehído 3 fosfoglicérico.

■ Ácido   
 ■ aldehído o cetona   
 ■ alcohol   
 ■ metilo   
 ● Fosfato



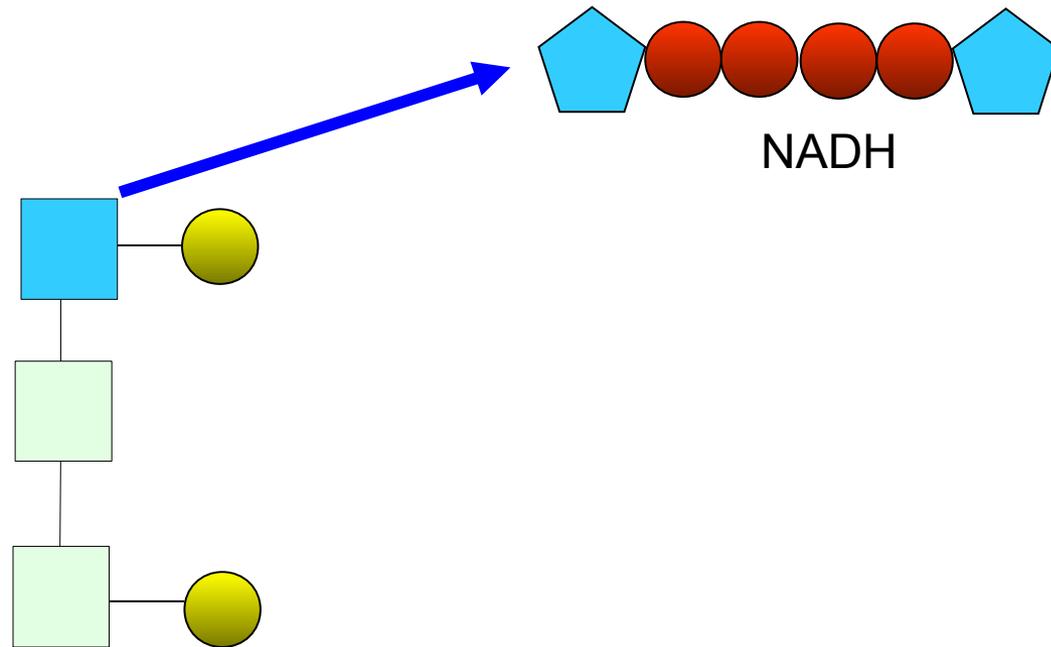
El aldehído 3 fosfoglicérico continúa el proceso de la glucólisis.

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



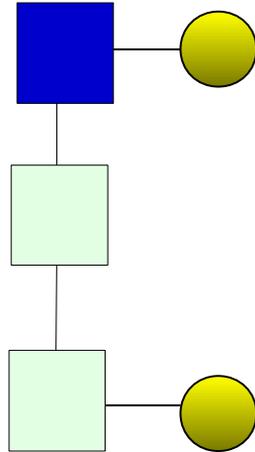
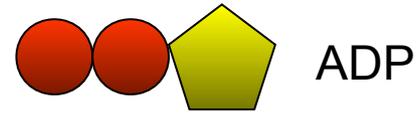
El aldehído 3 fosfoglicérico se oxida por el NAD<sup>+</sup> y se fosforila por el ácido fosfórico para dar el ácido 1,3 difosfoglicérico

■ Ácido    ■ aldehído o cetona    ■ alcohol    ■ metilo    ● Fosfato



El aldehído 3 fosfoglicérico se oxida por el  $\text{NAD}^+$  y se fosforila por el ácido fosfórico para dar el ácido 1,3 difosfoglicérico

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



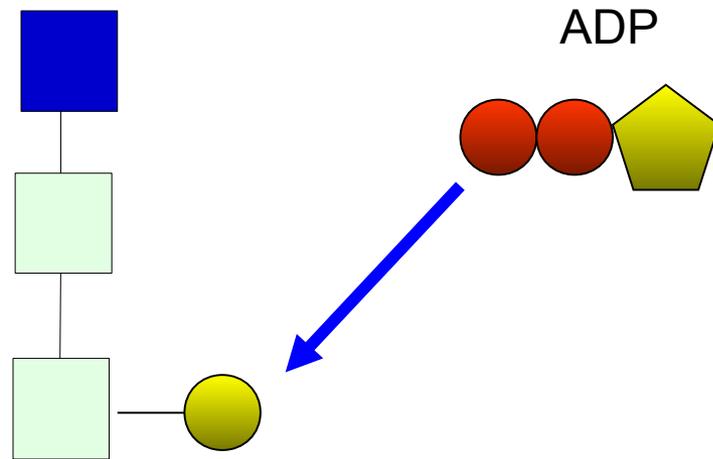
El ácido 1,3 difosfoglicérico reacciona con el ADP para dar ATP y ácido 3-fosfoglicérico

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



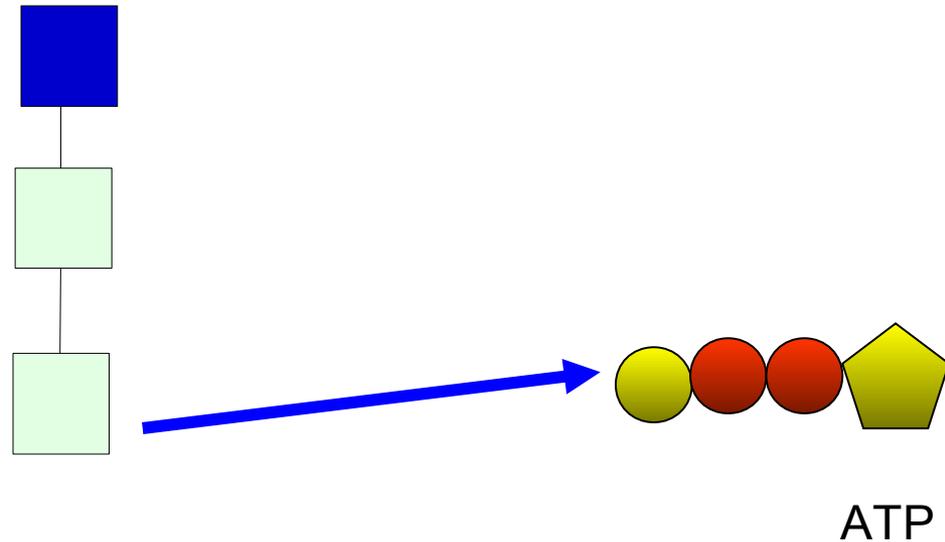
El ácido 1,3 difosfoglicérico reacciona con el ADP para dar ATP y ácido 3-fosfoglicérico

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



El ácido3 fosfoglicérico reacciona con el ADP para dar ATP y ácido pirúvico

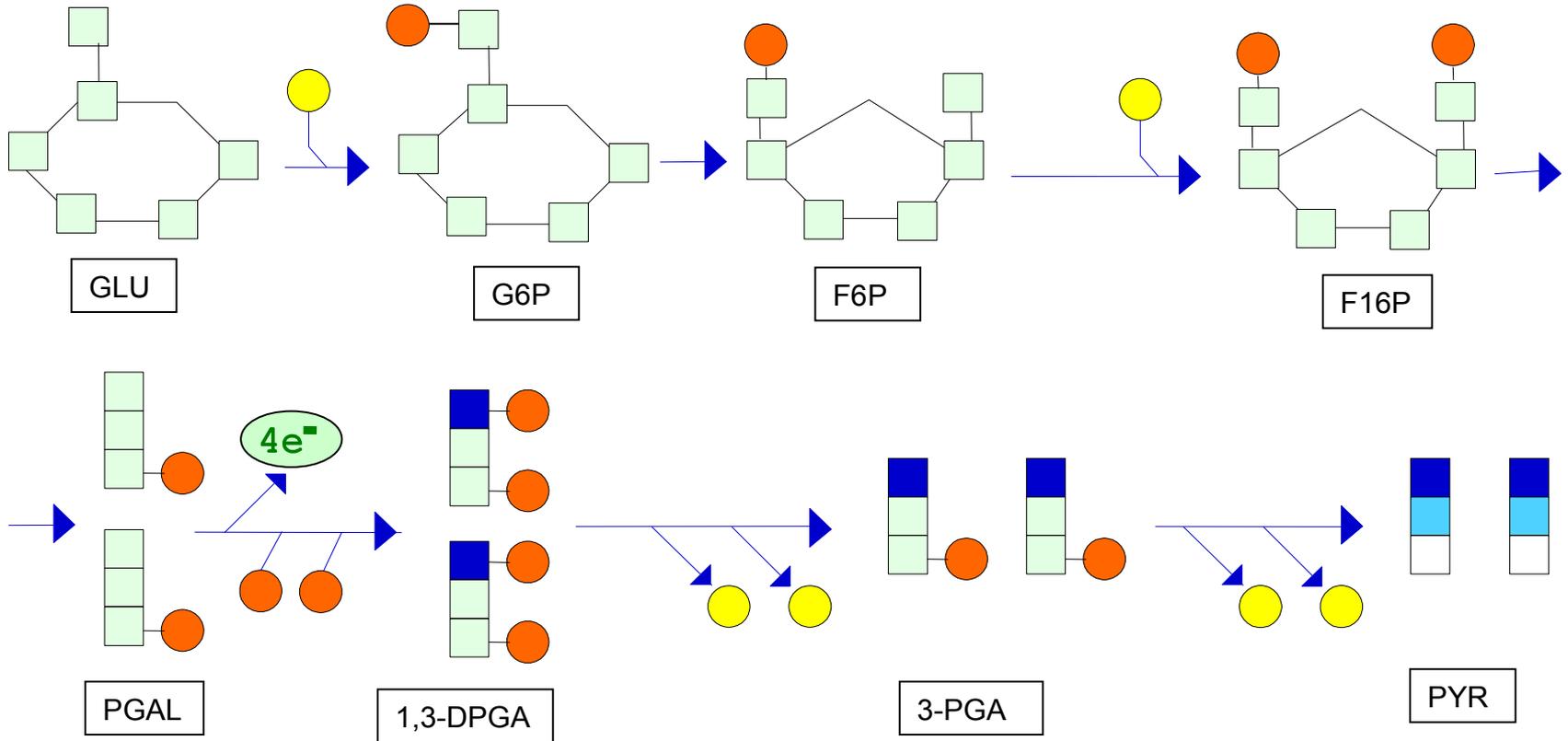
■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



El ácido3 fosfoglicérico reacciona con el ADP para dar ATP y ácido pirúvico

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato

# La glucolisis





## ÍNDICE



### 1 – Glucolisis



### 2 – Mitocondrias



### 3 – Ciclo de Krebs



### 4 – Cadena respiratoria



### 5 – Balance de la respiración celular



### 6 – Fermentaciones



### 7 – Animaciones



- Glucolisis (esquemas)



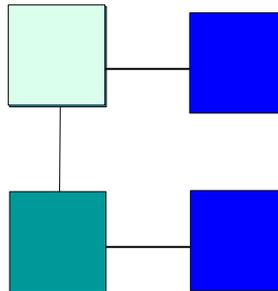
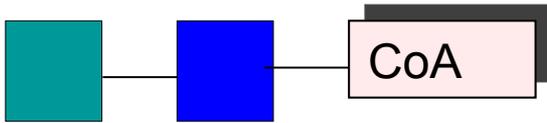
- Glucolisis (fórmulas)



- Ciclo de Krebs (esquemas)



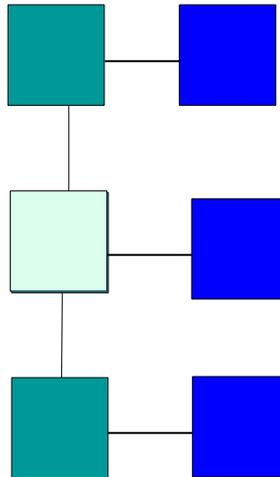
- Ciclo de Krebs (fórmulas)



La acetil\_CoA (ACA) reacciona con el ácido oxalacético (OXA) para dar ácido cítrico (CIT). La coenzima-A se desprende.

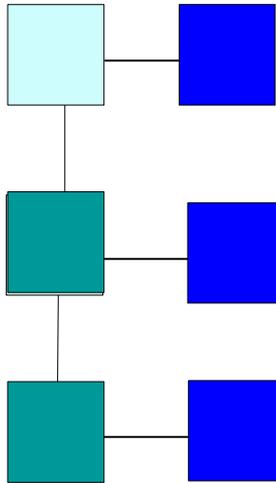
■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato

CoA



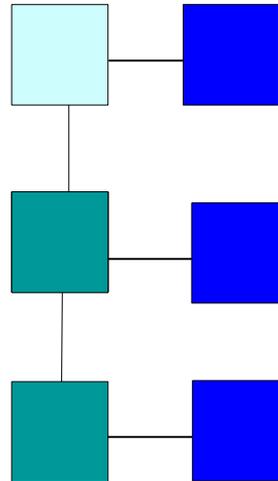
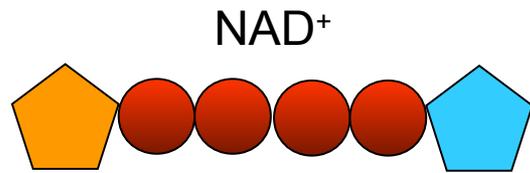
La acetil\_CoA (ACA) reacciona con el ácido oxalacético (OXA) para dar ácido cítrico (CIT). La coenzima-A se desprende.

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



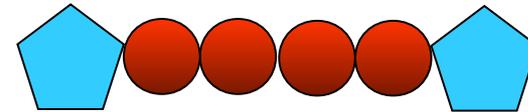
El ácido cítrico (CIT) se transforma en su isómero el isocítrico (ISO)

■ Ácido   
 ■ aldehído o cetona   
 ■ alcohol   
 ■ metilo   
 ● Fosfato

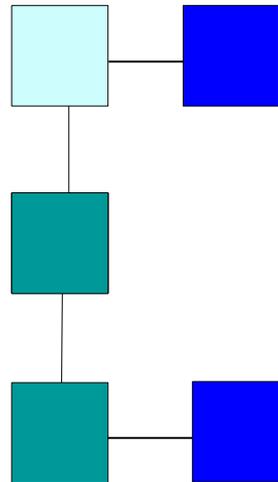


El isocítrico (ISO) se oxida por medio del NAD<sup>+</sup> transformándose en el  $\alpha$ -ceto glutárico ( $\alpha$ -KG). En el proceso se desprende CO<sub>2</sub>.

■ Ácido    ■ aldehído o cetona    ■ alcohol    ■ metilo    ● Fosfato



NADH

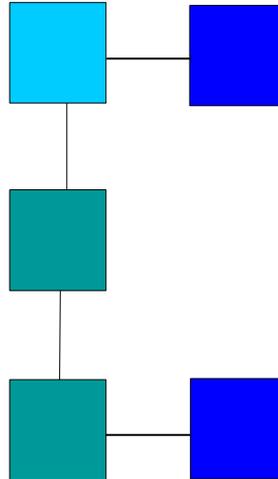
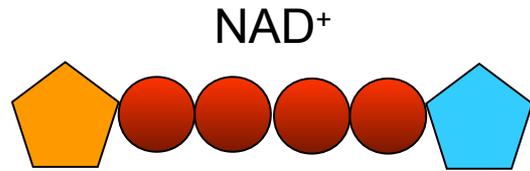


El isocítrico (ISO) se oxida por medio del NAD<sup>+</sup> transformándose en el  $\alpha$ -ceto glutárico ( $\alpha$ -KG). En el proceso se desprende CO<sub>2</sub>.

■ Ácido    ■ aldehído o cetona    ■ alcohol    ■ metilo    ● Fosfato

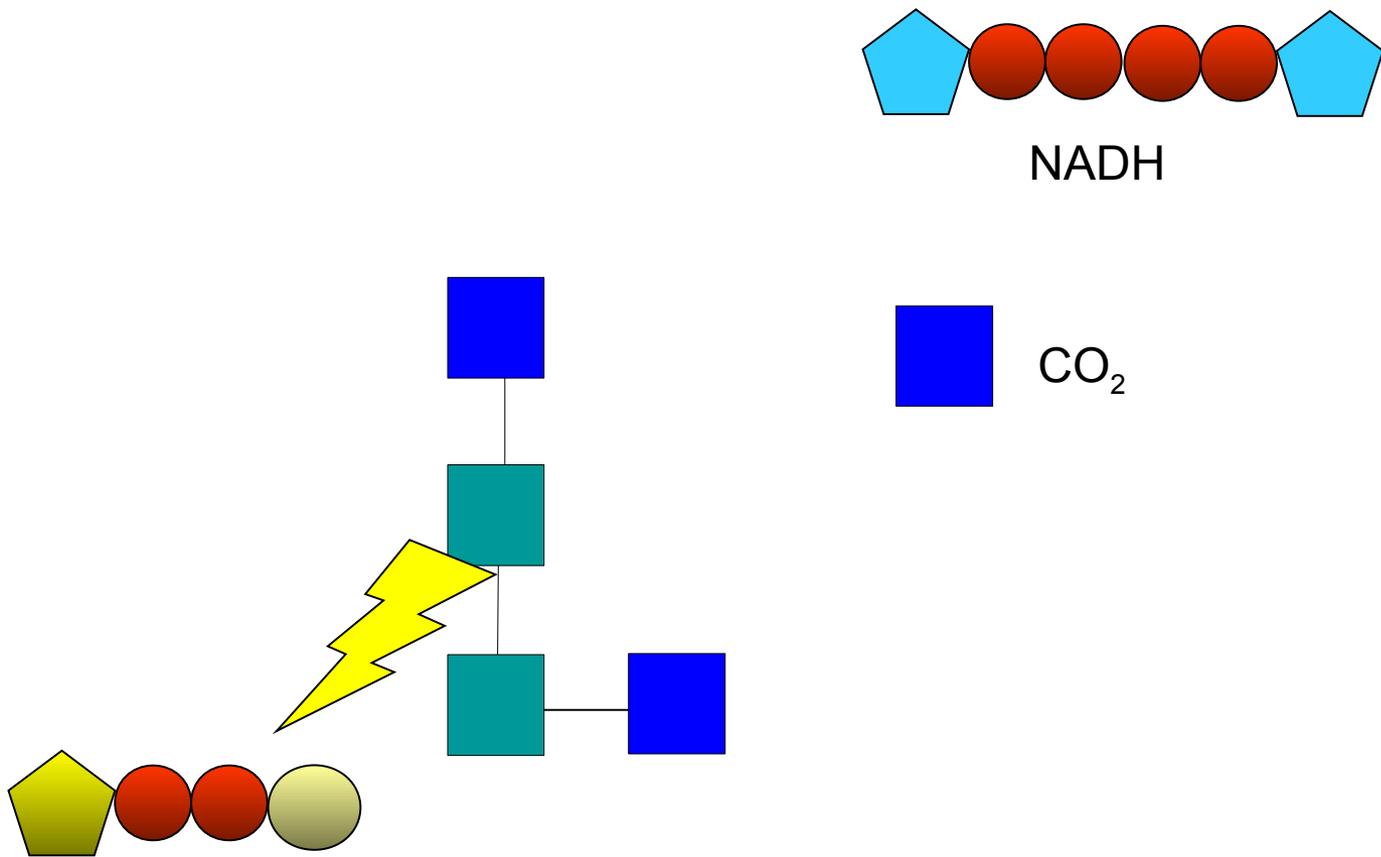
100

(i)



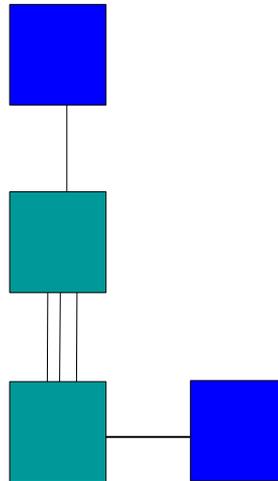
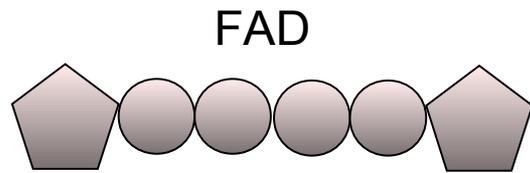
El  $\alpha$ -ceto glutárico ( $\alpha$ -KG) se oxida por medio del NAD<sup>+</sup> transformándose en ácido succínico (SUC). En el proceso se desprende otra molécula CO<sub>2</sub>. En el proceso se sintetiza una molécula de GTP.

■ Ácido    ■ aldehído o cetona    ■ alcohol    ■ metilo    ● Fosfato



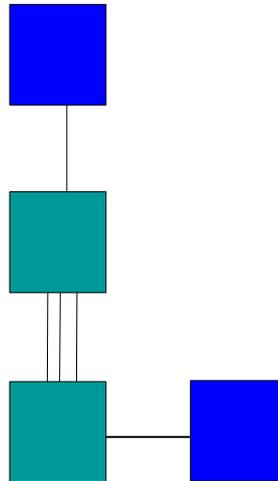
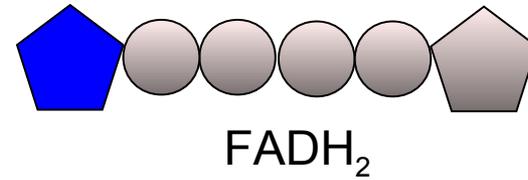
El  $\alpha$ -ceto glutárico ( $\alpha$ -KG) se oxida por medio del  $\text{NAD}^+$  transformándose en ácido succínico (SUC). En el proceso se desprende otra molécula  $\text{CO}_2$ . En el proceso se sintetiza una molécula de GTP.

- Ácido
- aldehído o cetona
- alcohol
- metilo
- Fosfato



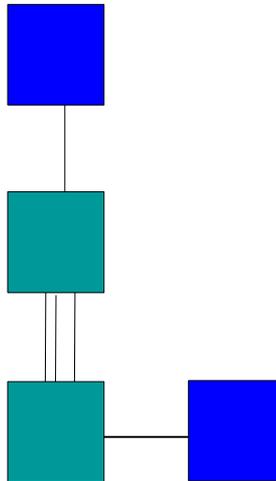
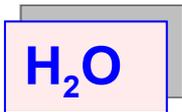
El succínico (SUC) se oxida por medio del FAD transformándose en el ácido fumárico (FUM).

■ Ácido    ■ aldehído o cetona    ■ alcohol    ■ metilo    ● Fosfato



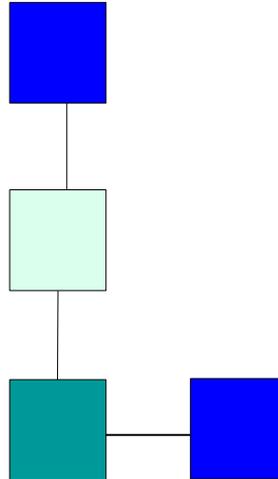
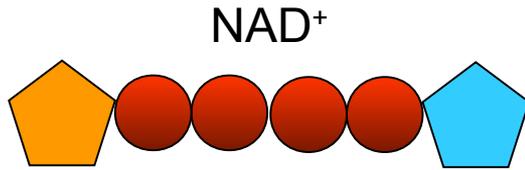
El succínico (SUC) se oxida por medio del FAD transformándose en el ácido fumárico (FUM).

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



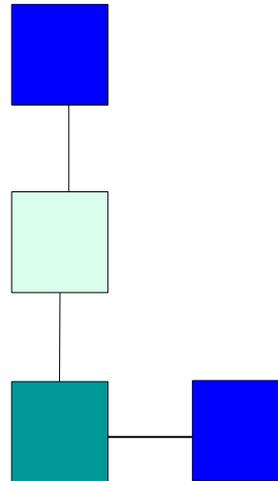
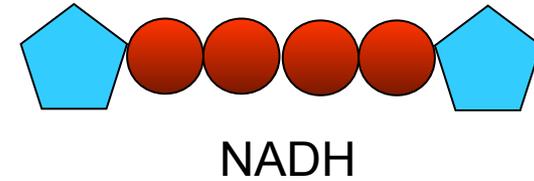
El ácido fumárico (FUM) reacciona con una molécula de agua transformándose en el ácido málico (MAL).

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



El ácido málico (MAL) se oxida por el NAD<sup>+</sup> dando lugar al ácido oxalacético (OXA).

■ Ácido    ■ aldehído o cetona    ■ alcohol    ■ metilo    ● Fosfato



El ácido málico (MAL) se oxida por el  $\text{NAD}^+$  dando lugar al ácido oxalacético (OXA).

■ Ácido   ■ aldehído o cetona   ■ alcohol   ■ metilo   ● Fosfato



## ÍNDICE



**1 – Glucolisis**



**2 – Mitocondrias**



**3 – Ciclo de Krebs**



**4 – Cadena respiratoria**



**5 – Balance de la respiración celular**



**6 – Fermentaciones**



**7 – Animaciones**



**- Glucolisis (esquemas)**



**- Glucolisis (fórmulas)**

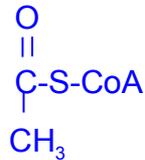


**- Ciclo de Krebs (esquemas)**

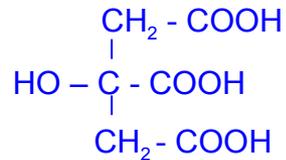


**- Ciclo de Krebs (fórmulas)**

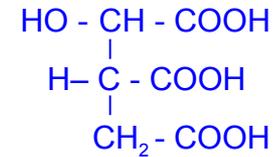
## Compuestos intermediarios del ciclo de Krebs



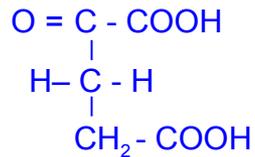
Acetil-Co-A



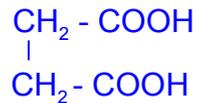
Ácido cítrico



Ácido isocítrico



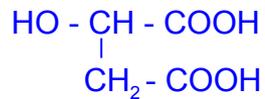
Ácido  $\alpha$  cetoglutarico



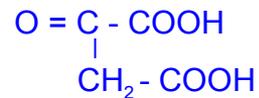
Ácido succínico



Ácido fumárico



Ácido málico



Ácido oxalacético



## ÍNDICE



### 1 – Glucolisis



### 2 – Mitocondrias



### 3 – Ciclo de Krebs



### 4 – Cadena respiratoria



### 5 – Balance de la respiración celular



### 6 – Fermentaciones



### 7 – Animaciones



- Glucolisis (esquemas)



- Glucolisis (fórmulas)



- Ciclo de Krebs (esquemas)



- Ciclo de Krebs (fórmulas)

**FIN**