

## TEMA 10: RUTAS CATABÓLICAS

El catabolismo comprende una serie de reacciones oxidativas mediante las cuales los compuestos orgánicos complejos (ricos en energía) se degradan transformándose en otros compuestos más sencillos (con menos energía). Por tanto, se libera energía.



Los procesos catabólicos son, por tanto, **exergónicos** (liberan energía que luego se almacenará en los enlaces entre fosfatos del ATP) y son también **oxidativos** (los sustratos se oxidan y los  $e^-$  que pierden se los ceden a coenzimas como el  $FAD^+$ ,  $NAD^+$  o  $NADP^+$  generando sus formas reducidas: poder reductor).

Los procesos catabólicos son similares en los seres autótrofos y en los heterótrofos.

### \* TIPOS DE PROCESOS CATABÓLICOS:

Según el **grado de oxidación del sustrato** y del **aceptor final de los electrones** que se desprenden en las oxidaciones, se diferencian dos tipos de procesos catabólicos:

En las rutas catabólicas obtengo ATP y poder reductor (NADH, NADPH, FADH<sub>2</sub>)



- **La respiración celular** → el sustrato (compuesto orgánico) se **oxida completamente**, convirtiéndose en compuestos inorgánicos ( $CO_2$ ,  $H_2O$ , etc.) liberándose mucha energía que se almacena en forma de ATP. El ATP se obtiene o bien por **fosforilación a nivel de sustrato** o bien mediante la ATP-sintasa de la cadena de transporte de  $e^-$  (en este caso se llama **fosforilación oxidativa**).

El **aceptor final de los electrones** que se desprenden en estas oxidaciones es un **compuesto inorgánico**, según cuál sea podemos diferenciar:

-**Respiración aerobia**: El acepto final de los electrones es el **oxígeno ( $O_2$ )** que al aceptarlos se reduce a  $H_2O$ . Este es el proceso que más frecuentemente utilizan los seres vivos para obtener energía.

-**Respiración anaerobia**: El acepto final de los  $e^-$  no es el  $O_2$  sino otros **compuestos inorgánicos** tales como: el  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{=}$ , etc., por ello no es necesario  $O_2$ . Sólo se da en algunos microorganismos.

- **Las fermentaciones** → La **oxidación** del sustrato (compuestos orgánicos) es **incompleta**, por ello como producto final se sigue obteniendo un compuesto orgánico y por lo tanto se libera menos cantidad de energía que en la respiración. Según cual sea el compuesto orgánico final puede ser: **láctica, alcohólica**, etc.

En este proceso el **aceptor final de los  $e^-$**  es un compuesto orgánico, así que no es necesario la presencia de  $O_2$ . Ciertas bacterias y las levaduras son anaerobias facultativas, es decir, en presencia de  $O_2$  respiran y, en ausencia de  $O_2$ , fermentan.

### 1. CATABOLISMO DE LOS GLÚCIDOS

Es el conjunto de reacciones oxidativas mediante las que los glúcidos se degradan, transformándose en otros compuestos más sencillos liberando la energía que contienen. Las vías catabólicas más importantes comienzan a partir de la **glucosa** y se diferencian varias etapas:

#### \* EN EL CITOSOL o HIALOPLASMA:

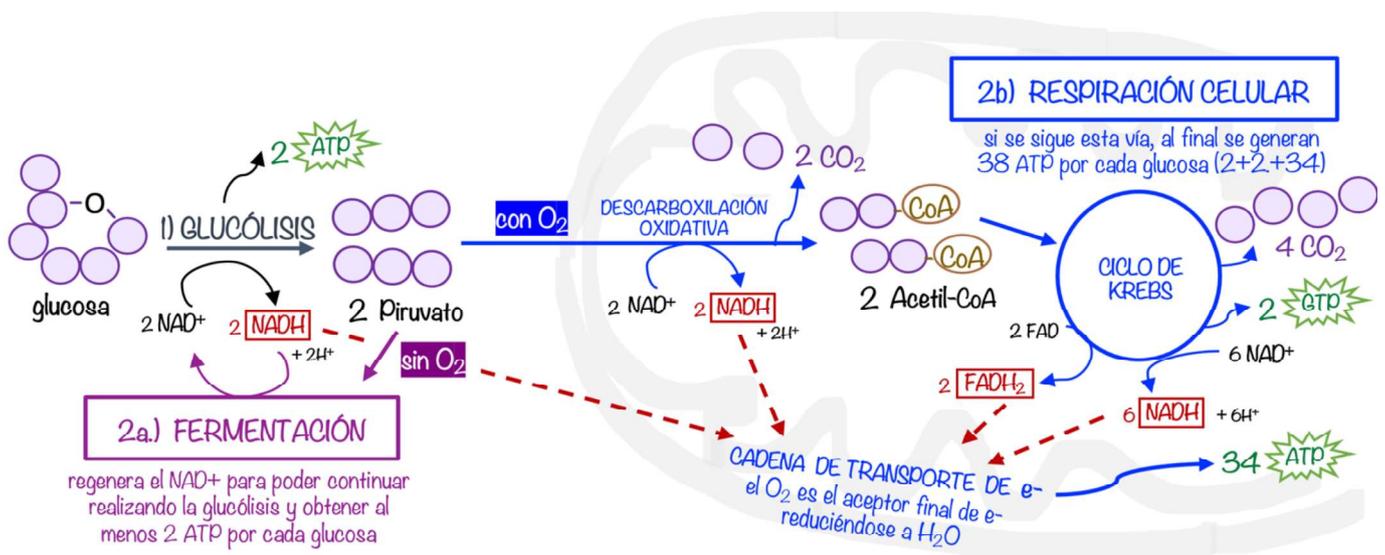
- 1) **Glucólisis**: la glucosa se degrada a 2 moléculas de **ácido pirúvico** o **piruvato**, generando un balance final de **2 ATP** (fosforilación a nivel de sustrato) y **2 NADH** (coenzimas reducidos con poder reductor).

2a) En **condiciones anaerobias**, es decir sin  $O_2$ , las 2 moléculas de ácido pirúvico siguen la **vía fermentativa** (dando lugar a lactato, a etanol, etc.) que tiene como objetivo regenerar el  $NAD^+$  para poder continuar obteniendo ATP a través de la glucólisis únicamente. (OXIDACIÓN INCOMPLETA)

\* **EN LAS MITOCONDRIAS:**

2b) En condiciones aerobias, se sigue la **vía de la respiración celular** (OXIDACIÓN COMPLETA). Por tanto, en presencia de  $O_2$ , después de la glucólisis, habrá 3 etapas en el interior de las mitocondrias:

- **Descarboxilación oxidativa** de las 2 moléculas de **ácido pirúvico** a **2 Acetil-CoA**
- Por cada **Acetil-CoA** que entra en el **ciclo de Krebs**, se forma **1 GTP** (fosforilación a nivel de sustrato), y **3 NADH** y **1 FADH<sub>2</sub>** que pasarán a la cadena de transporte de  $e^-$  (estos productos se generan x2).
- Todos los **NADH** y **FADH<sub>2</sub> generados** en todas las etapas, pasan a la **cadena de transporte de electrones** (donde el aceptor final de  $e^-$  es el  $O_2$ ) generando un gradiente electroquímico que será utilizado por la ATP-sintasa, para generar más **ATP** por fosforilación oxidativa. En concreto, se obtendrán **34 ATP** más, aparte de los 2 GTP del ciclo de Krebs y los 2 ATP obtenidos en la glucólisis.



### 1.1. GLUCÓLISIS

En la glucólisis (10 reacciones) se parte de la glucosa y se obtienen 2 piruvatos. Se diferencian 2 etapas:

- **En la 1ª etapa** (etapa preparatoria o de activación) la glucosa se fosforila y fragmenta. Para ello, se necesita energía. De hecho, **se consumen 2 ATP** que ceden sus grupos fosfato.
- **En las reacciones posteriores**, se forman **2 NADH** y **4 ATP** mediante fosforilación a nivel de sustrato (si les restamos los 2 ATP anteriores, **el balance final son + 2 ATP**)

#### Balance total de la glucólisis:

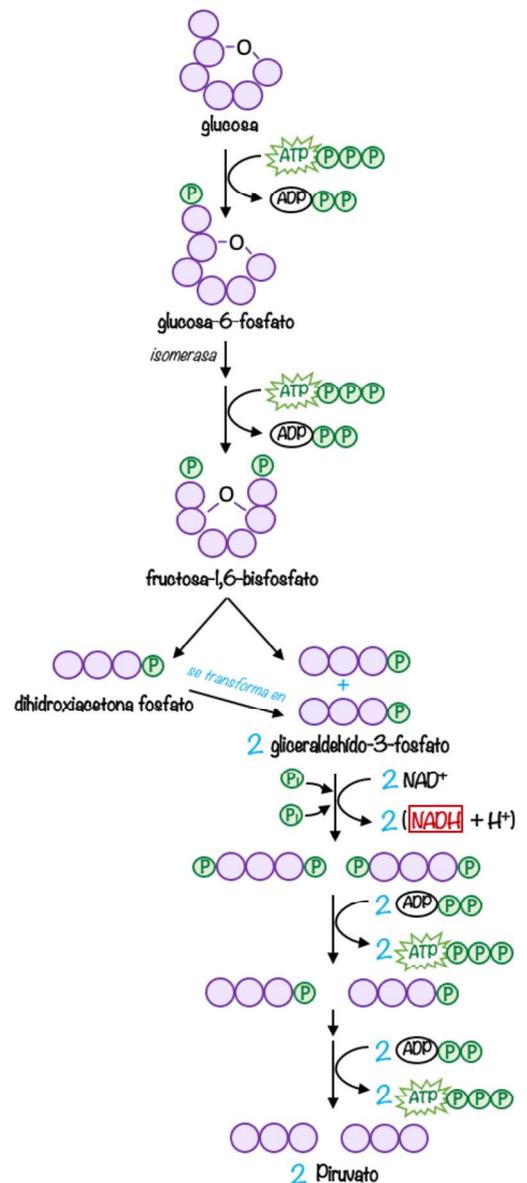


<b>Significado biológico</b>	Inicio de la oxidación de la glucosa para obtener energía
<b>Lugar en el que se realiza</b>	En el <b>citósol</b> de las células
<b>Tipo de metabolismo</b>	Se puede producir con o sin O <sub>2</sub> (la usaban microorganismos primitivos en ausencia de O <sub>2</sub> )
<b>Sustrato inicial</b>	<b>GLUCOSA</b> (también se necesita ADP, Pi y NAD <sup>+</sup> )
<b>Producto final</b>	<b>2 moléculas de ÁCIDO PIRÚVICO</b> (piruvato)
<b>Balance energético</b>	Al final, se obtienen <b>2 ATP</b> (fosforilación a nivel de sustrato) y <b>2 (NADH + H<sup>+</sup>)</b>

### Destino del ácido pirúvico y del NADH:

- El ácido pirúvico obtenido en la glucólisis puede seguir la vía de la respiración celular (con O<sub>2</sub>) o la vía de las fermentaciones (sin O<sub>2</sub>).
- Generalmente, el NADH obtenido en la glucólisis vuelve a oxidarse a NAD<sup>+</sup> cediendo sus e<sup>-</sup> o bien a la cadena respiratoria o bien a compuestos orgánicos en las fermentaciones.

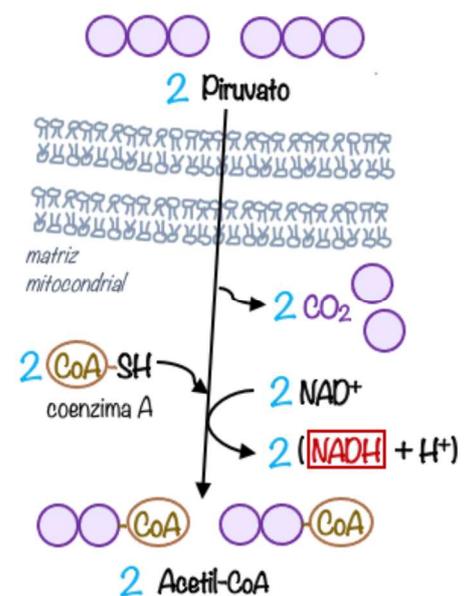
¡OJO! SIEMPRE CITAD LA IMPORTANCIA DE LAS ENZIMAS QUE INTERVIENEN EN LAS RUTAS Y CÓMO PUEDEN ACTIVARSE POR LA PRESENCIA DE ALTA [ ] DE SUSTRATO O INHIBIRSE POR ALTA [ ] DE PRODUCTO



### 1.2. OXIDACIÓN DEL ÁCIDO PIRÚVICO A ACETIL-COA (en presencia de O<sub>2</sub>)

En condiciones aerobias, el ácido pirúvico obtenido en la glucólisis sigue la vía de la respiración celular y penetra en las mitocondrias. Una vez en la matriz mitocondrial, el piruvato reacciona con el coenzima A generando Acetil-CoA que entrará en el ciclo de Krebs. Es una **DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA** ya que cada ácido pirúvico se *descarboxila* (pierde un CO<sub>2</sub>) a la vez que se oxida, cediendo sus e<sup>-</sup> a una molécula de NAD<sup>+</sup> que se reduce a (NADH + H<sup>+</sup>) y cuyo destino será la cadena de transporte de e<sup>-</sup>.

<b>Significado biológico</b>	Es el lazo entre la glucólisis y el ciclo de Krebs
<b>Lugar en el que se realiza</b>	En la <b>matriz mitocondrial</b>
<b>Tipo de metabolismo</b>	Se produce con O <sub>2</sub> (en condiciones aerobias)
<b>Sustratos que intervienen</b>	<b>ÁCIDO PIRÚVICO + Coenzima A</b> (también se utiliza NAD <sup>+</sup> )



<b>Producto final</b>	Por cada ácido pirúvico se libera CO <sub>2</sub> + Acetil-CoA (será x 2 ya que de una glucosa salían 2 piruvatos)
<b>Balance energético</b>	Como se parte de 2 ácidos pirúvicos, al final se obtienen 2 (NADH + H <sup>+</sup> )

### 1.3. CICLO DE KREBS (en presencia de O<sub>2</sub>)

Se le denomina así en honor a su descubridor, también se le denomina ciclo del ácido cítrico o ciclo de los ácidos tricarboxílicos.

Es una **ruta catabólica cíclica** (ciclo con 8 reacciones) en las que **el acetil-CoA cede 2 C al oxalacetato que luego se eliminarán en forma de 2 CO<sub>2</sub>**, liberándose a su vez **e<sup>-</sup> y H<sup>+</sup>** que son captados por el **FAD** y por **3 NAD<sup>+</sup>** que se reducen a **1 FADH<sub>2</sub>** y a **3 (NADH + H<sup>+</sup>)**.

<b>Significado biológico</b>	Es un ciclo donde confluyen el catabolismo de glúcidos, ácidos grasos y aminoácidos con la finalidad de obtener CO <sub>2</sub> , poder reductor y GTP. Además, también es una vía anabólica porque proporciona precursores para muchas biomoléculas, p.ej. ciertos aminoácidos.
<b>Lugar en el que se realiza</b>	En la <b>matriz mitocondrial</b> eucariota
<b>Tipo de metabolismo</b>	Siempre va acoplado a la fosforilación oxidativa que sí necesita O <sub>2</sub>
<b>Sustratos que intervienen</b>	<b>Acetil-CoA</b> (también se utiliza GDP, NAD <sup>+</sup> y FAD)
<b>Balance energético</b>	Por cada Acetil-CoA se liberan <b>2 CO<sub>2</sub></b> y se <b>regenera el coenzima A</b> (que volverá a reaccionar con el ácido pirúvico en la descarboxilación oxidativa)
	A partir de 2 Acetil-CoA, se obtienen <b>2 GTP, 6 (NADH + H<sup>+</sup>) y 2 FADH<sub>2</sub></b>

- **Balance del ciclo de Krebs** (por cada glucosa se obtienen 2 Acetil-CoA → se conseguiría el doble)

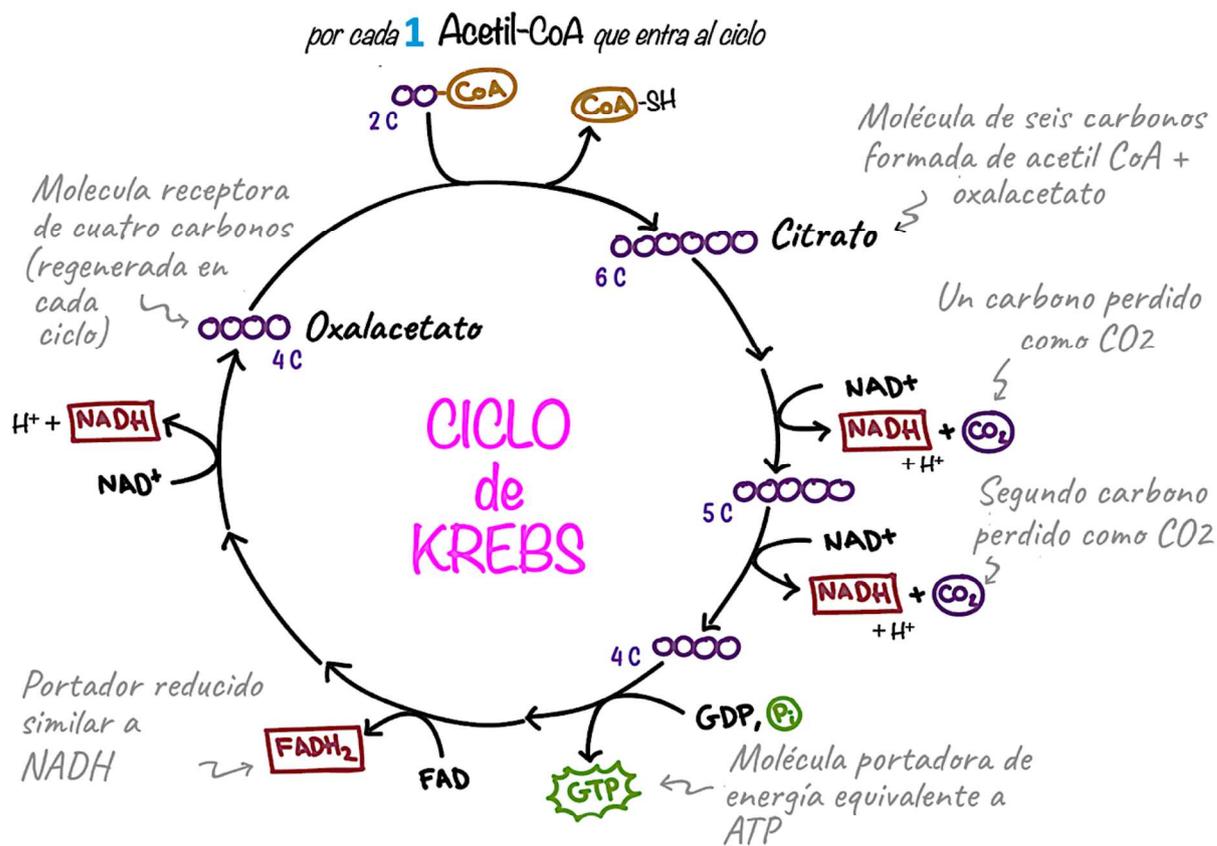


Los 6 (NADH+H<sup>+</sup>) y los 2 FADH<sub>2</sub> obtenidos en las oxidaciones del ciclo de Krebs, transferirán sus e<sup>-</sup> y H<sup>+</sup> a la cadena respiratoria que los transportará hasta el O<sub>2</sub>. En este transporte se generará un gradiente electroquímico que se aprovechará para sintetizar **ATP** (fosforilación oxidativa) a través de la ATP-sintasa.

Al **ciclo de Krebs** se le considera el **centro del metabolismo aerobio**, porque en el confluyen la mayoría de los procesos catabólicos e incluso algunas vías anabólicas. Por ejemplo, el **acetil-CoA**, puede proceder de la oxidación del ácido pirúvico o bien de la β-oxidación de ácidos grasos, de la degradación de aminoácidos, etc.

*Si todos los caminos llevan a Roma... En el metabolismo aerobio, Roma sería el ciclo de Krebs*

Además, el ciclo de Krebs también tiene función anabólica, ya que gracias a él se obtienen compuestos necesarios para la síntesis de otras biomoléculas. Por eso, se dice que es una **ruta anfibólica**, es decir, tanto catabólica como anabólica.



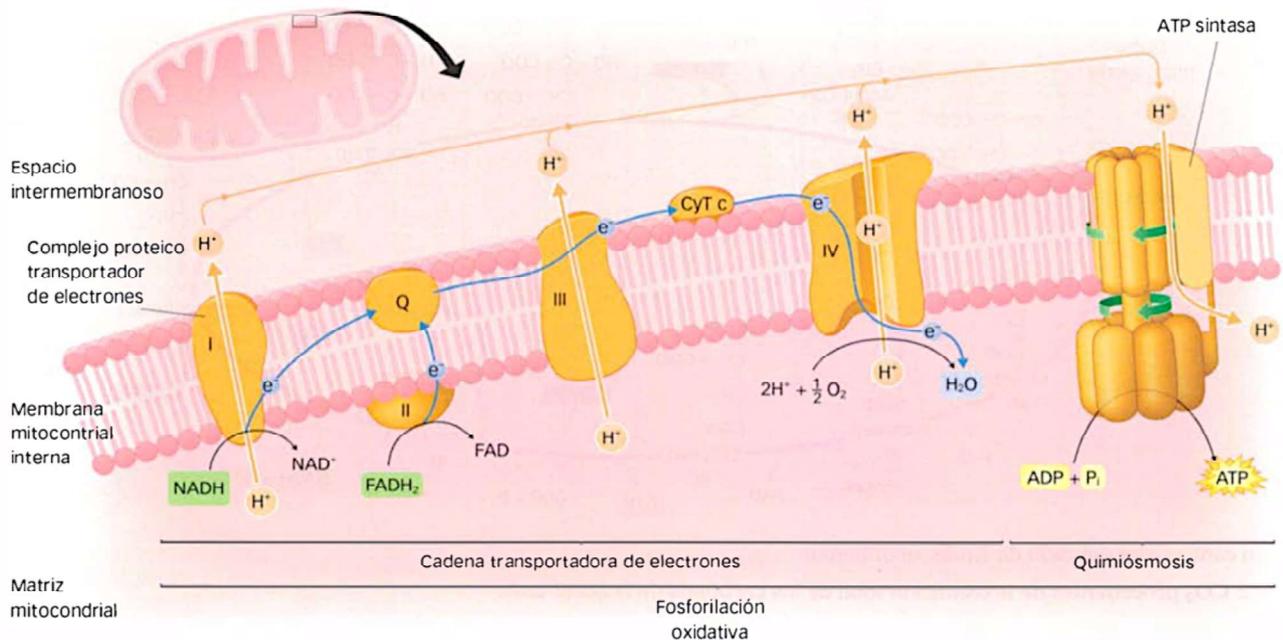
modificado de Khan Academy

#### 1.4. CADENA RESPIRATORIA y FOSFORILACION OXIDATIVA (en presencia de O<sub>2</sub>)

La cadena de transporte de e<sup>-</sup> (cadena respiratoria) está formada por una serie de proteínas ancladas a la membrana mitocondrial interna a través de las cuales son transportados los e<sup>-</sup> (que se han ido liberando en las oxidaciones del catabolismo y *almacenado* en el poder reductor) hasta el O<sub>2</sub> que es el aceptor final de los mismos.

<b>Significado biológico</b>	Las coenzimas con poder reductor (NADH y FADH <sub>2</sub> ) entran en la cadena de transporte de e <sup>-</sup> . Los e <sup>-</sup> llegan al O <sub>2</sub> (aceptor final) que se reduce a H <sub>2</sub> O. El flujo de e <sup>-</sup> genera un gradiente electroquímico de H <sup>+</sup> que, gracias a la fosforilación oxidativa, realizada por las ATP-sintasas, genera ATP.
<b>Lugar en el que se realiza</b>	En la membrana mitocondrial interna
<b>Tipo de metabolismo</b>	Se produce con O <sub>2</sub> (es el aceptor final de los e <sup>-</sup> )
<b>Sustratos que intervienen</b>	O <sub>2</sub> , FADH <sub>2</sub> y (NADH + H <sup>+</sup> ) (también se utiliza ADP y Pi)
<b>Producto final</b>	H <sub>2</sub> O, ATP (también se obtienen los coenzimas oxidados FAD y NAD <sup>+</sup> )
<b>Balance energético clásico</b>	Se obtienen 2 ATP por cada FADH <sub>2</sub> y 3 ATP por cada (NADH + H <sup>+</sup> ) mediante la fosforilación oxidativa llevada a cabo por ATP-sintasas

- ❖ Los  $e^-$  que entran en la cadena respiratoria proceden de coenzimas reducidos  $NADH (+ H^+)$  que al oxidarse, ceden sus  $e^-$  al complejo I. Cuando el complejo I recibe los  $e^-$  se reduce, y luego los transfiere a los complejos proteicos siguientes, oxidándose. El paso de  $e^-$  atrae a los  $H^+$  y provoca que se bombeen  $H^+$  al espacio intermembranoso.
- ❖ El  $FADH_2$  cede sus  $e^-$  directamente al complejo II. Por medio de la ubiquinona, los  $e^-$  procedentes del complejo I y II pasan al complejo III. Posteriormente, los  $e^-$  pasan al citocromo C y de ahí al complejo IV.
- ❖ El aceptor final de los  $e^-$  que vienen del complejo IV es el  $O_2$ , reduciéndose a  $H_2O$ .



En las sucesivas reacciones redox, se generan  $H^+$  que se van acumulando en el espacio intermembrana (entre la membrana interna y la externa mitocondriales). Se crea un doble desequilibrio (de cargas (+) y de pH entre el espacio intermembranoso y la matriz mitocondrial) que se denomina **gradiente electroquímico**. Cuando esta  $[H^+]$  es elevada, los  $H^+$  solo tienen una manera de volver a la matriz mitocondrial y es siendo bombeados a través de unos canales con enzimas acopladas llamados ATP-sintasas (para así lograr recuperar el equilibrio).

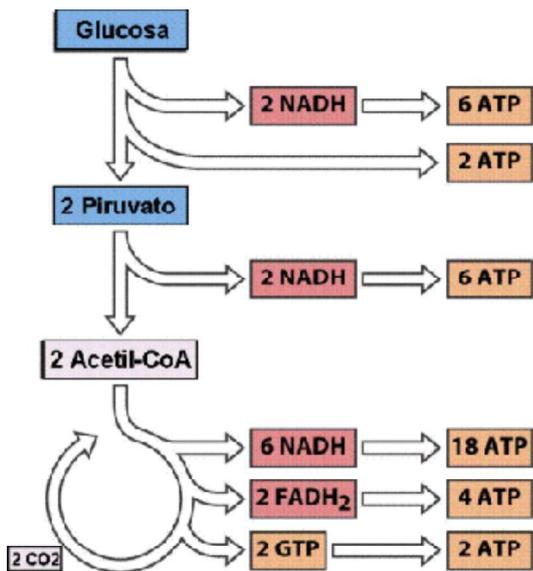
Este flujo de  $H^+$  pasando a favor de gradiente (**QUIMIÓSMOSIS** o **HIPÓTESIS QUIMIOSMÓTICA** de Mitchell) a través de las ATP-sintasas (similares a una turbina), libera energía que se aprovecha para fosforilar el ADP y sintetizar ATP. A este proceso se le denomina **fosforilación oxidativa**. Es decir, es el paso de  $H^+$  a favor de gradiente electroquímico, también llamado **fuerza protón-motriz**, el que provoca la síntesis de ATP.

Mediante el bombeo de  $H^+$  de las ATP-sintasas (FOSFORILACIÓN OXIDATIVA), por cada **NADH** se obtienen **3 ATP** y por cada **FADH<sub>2</sub>** se obtienen **2 ATP** (ya que el  $FADH_2$  entra directamente al complejo II). Pero esta cantidad de ATP es una aproximación y, además, se trata de una cifra máxima teórica.

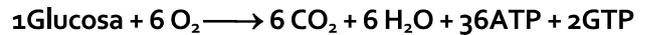
Por tanto, en el balance clásico, se obtendrán 4 ATP por fosforilación a nivel de sustrato (2 ATP de la glucólisis y 2 ATP/GTP el ciclo de Krebs) y unos 34 a partir del  $NADH$  y  $FADH_2$  que entra a la cadena de transporte electrónica. **No obstante, en la actualidad se sabe que en condiciones de células reales el rendimiento es menor. Se cree que, en realidad, a partir de una glucosa se obtienen unos 30 ATP aproximadamente (2,5 ATP por cada  $NADH+H^+$  y 1,5 ATP por cada  $FADH_2$ ).**

¡OJO! Al inhibirse/ bloquearse cualquiera de los componentes de la cadena de transporte, como p.ej. el complejo IV (citocromo C oxidasa) por falta de  $O_2$ , e impedirse que capte o ceda  $e^-$ , se bloquearán las reacciones redox previas en la cadena y dejará de haber gradiente de protones entre ambos lados de la membrana mitocondrial interna y, por tanto, la fosforilación oxidativa se detendrá.

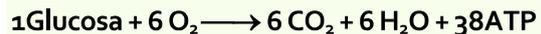
## BALANCE ENERGÉTICO DE LA RESPIRACIÓN DE 1 MOLÉCULA DE GLUCOSA:



Sumando miembro a miembro y simplificando:



Teniendo en cuenta que el GTP es equivalente a ATP:



### 1.5. FERMENTACIONES

En condiciones de anaerobiosis (o cuando las necesidades energéticas en las fibras musculares son elevadas), el ácido pirúvico, que se obtenía al final de la glucólisis, puede seguir degradándose por vía anaerobia dando lugar a las **fermentaciones**. Las fermentaciones reciben distintos nombres, según el compuesto orgánico que se obtiene al final. Las más importantes son: la láctica y la alcohólica.

Las fermentaciones son vías catabólicas que tienen las siguientes características:

- ❖ Son procesos **anaerobios** que ocurren en el **citósol**.
- ❖ Son procesos **catabólicos**, en los que los compuestos orgánicos **se oxidan de forma incompleta** (con la glucólisis) y, por tanto, los **productos finales** no son CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O, sino otros **compuestos orgánicos**. Por ejemplo, el ácido láctico en la fermentación láctica o el etanol en la fermentación alcohólica.
- ❖ El **aceptor final** de los e<sup>-</sup> y H<sup>+</sup> desprendidos no es el O<sub>2</sub> sino un **compuesto orgánico**. En la **fermentación láctica es el ácido pirúvico** que se reduce a ácido láctico. En la **fermentación alcohólica, el acepto final de los e<sup>-</sup> es el acetaldehído** que se reduce a etanol.
- ❖ Se **libera** mucha **menos energía** que en la respiración, pues la oxidación es incompleta. De hecho, los 2 ATP conseguidos proceden de la glucólisis. Lo único que se consigue con la fermentación láctica o alcohólica es **regenerar** coenzimas oxidados (**NAD<sup>+</sup>**) para que la glucólisis pueda seguir realizándose.

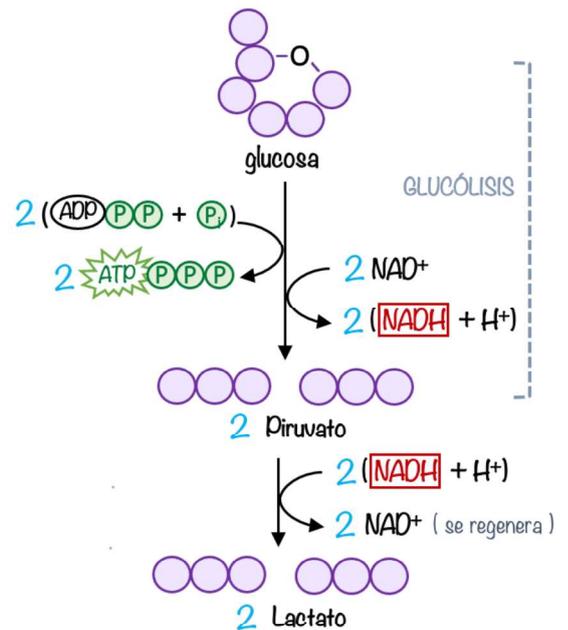
Los microorganismos **anaerobios estrictos**, utilizan esta vía metabólica como la única forma de obtener energía. Los **anaerobios facultativos** como las levaduras la utilizan durante períodos en los que no disponen de O<sub>2</sub>. En humanos, solo se da la fermentación láctica (nunca la alcohólica) en células musculares.

#### 1.5.1. Fermentación láctica

Esta fermentación es típica de las **bacterias ácido-lácticas**, como las del género *Lactobacillus*, que son las responsables de la obtención de muchos derivados lácteos: yogur, queso, kéfir, etc.). La lactosa es fermentada a ácido láctico que aumenta la acidez y precipita las proteínas de la leche.

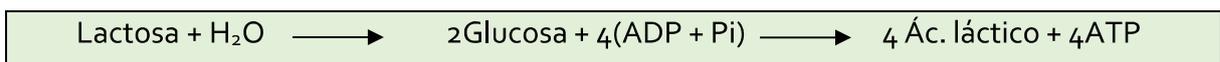
También, realizan este tipo de fermentación las **células musculares esqueléticas** cuando no reciben suficiente O<sub>2</sub> (sobreesfuerzo físico).

<b>Significado biológico</b>	Forma de obtener energía en ausencia de O <sub>2</sub> (más rápida que la respiración aerobia pero con mucho menor rendimiento energético)
<b>Lugar en el que se realiza</b>	En el <b>citósol</b>
<b>Tipo de metabolismo</b>	Se produce sin O <sub>2</sub> (ANAEROBIOSIS). El aceptor final de e <sup>-</sup> es el ÁCIDO PIRÚVICO.
<b>Sustratos que intervienen</b>	El <b>ÁCIDO PIRÚVICO</b> procedente de la glucólisis (también NADH + H <sup>+</sup> )
<b>Producto final</b>	<b>ÁCIDO LÁCTICO</b> o <b>LACTATO</b> (también se regenera el NAD <sup>+</sup> )
<b>Balance energético</b>	En la glucólisis (glucosa → 2 ác. pirúvico) se obtienen <b>2 ATP</b> y 2 (NADH + H <sup>+</sup> ) y después del paso de ác. pirúvico a ác. láctico se gastan esos 2 (NADH + H <sup>+</sup> ) oxidándose a 2 NAD <sup>+</sup> (se regenera y el proceso no se detiene)



El paso de ác. pirúvico a ác. láctico está catalizado por la **lactato-deshidrogenasa** (enzima que presenta **isoenzimas** diferentes en el músculo que en el corazón).

\* Los microorganismos de la leche como *Lactobacillus bulgaricus* o *Streptococcus casei* utilizan la lactosa de la leche, que **hidrolizan** en **glucosa y galactosa**. La **galactosa** a su vez se **isomeriza** dando **glucosa**. Estas 2 **glucosas** entrarán en la vía de la **glucólisis** (generando **2 ATP** cada una) y posterior **fermentación láctica**.



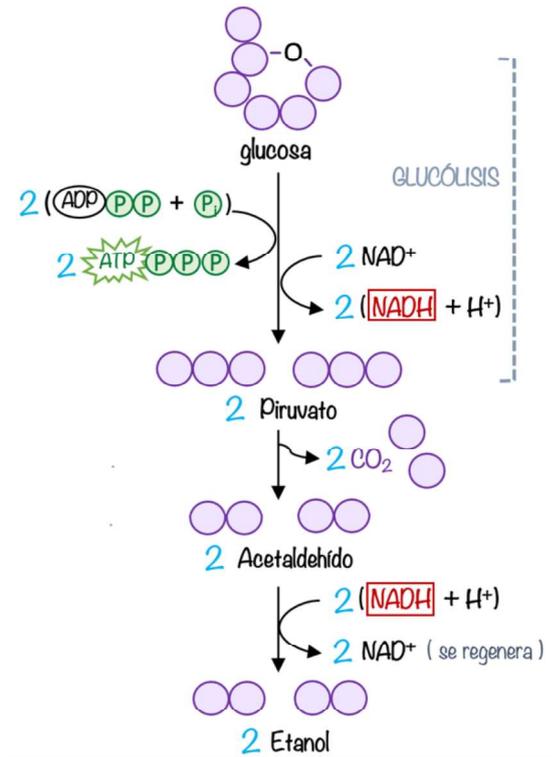
### 1.5.2. Fermentación alcohólica

La realizan, principalmente, **levaduras** del género ***Saccharomyces*** (anaerobias facultativas). Este proceso tiene lugar en la fabricación del vino y la cerveza en grandes fermentadores industriales. También ocurre en la fabricación del pan, en la que el etanol se evapora en el horno y las burbujas de CO<sub>2</sub> confieren al pan su textura esponjosa.

Se parte de la glucosa, de la que, gracias a la glucólisis, se obtienen 2 moléculas de **ácido pirúvico**, liberándose **2 ATP** y **2 NADH + H<sup>+</sup>**. El **ác. pirúvico** pierde CO<sub>2</sub> y se transforma en **acetaldehído**. Posteriormente, el **acetaldehído** se reduce por acción del **NADH + H<sup>+</sup>** que se obtuvo en la glucólisis y se transforma en **etanol** (y se regenera el NAD<sup>+</sup>).



<b>Significado biológico</b>	Forma de obtener energía en ausencia de O <sub>2</sub> (más rápida que la respiración aerobia pero con mucho menor rendimiento energético)
<b>Lugar en el que se realiza</b>	En el <b>citósol</b>
<b>Tipo de metabolismo</b>	Se produce sin O <sub>2</sub> (ANAEROBIOSIS)
<b>Sustratos que intervienen</b>	El ÁCIDO PIRÚVICO procedente de la glucólisis. En la 1ª reacción perderá un C en forma de CO <sub>2</sub> dando lugar a ACETALDEHÍDO. Luego el acetaldehído aceptará los e- del NADH + H <sup>+</sup> , reduciéndose a etanol.
<b>Producto final</b>	2 ETANOL y 2 CO <sub>2</sub> (y se regenera el NAD <sup>+</sup> )
<b>Balance energético</b>	En la glucólisis (glucosa → 2 ác. pirúvico) se obtienen <b>2 ATP</b> y 2 (NADH + H <sup>+</sup> ). En el paso de acetaldehído a etanol se gastan esos 2 (NADH + H <sup>+</sup> ) oxidándose a 2 NAD <sup>+</sup> (se regenera y el proceso no se detiene)

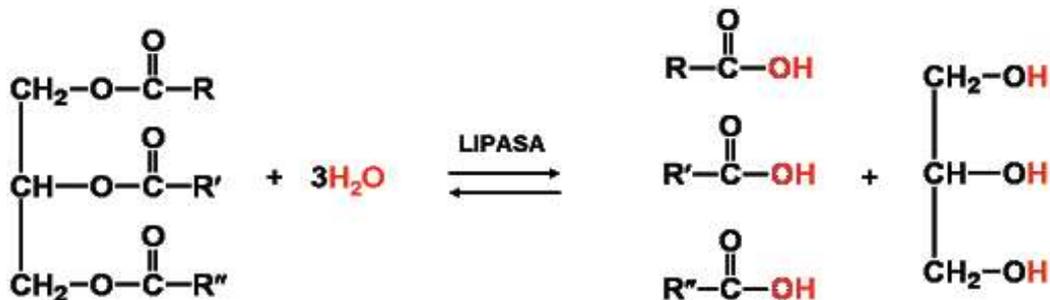


## 2. CATABOLISMO DE LOS LÍPIDOS

La principal reserva energética de las células animales son los **triglicéridos**, que se acumulan en el tejido adiposo (proporciona 9 Kcal/g), concretamente en unas células llamadas adipocitos.

El 1º paso en el catabolismo de los triglicéridos es su hidrólisis, por acción de las lipasas, en **glicerol** y **ác. grasos**.

A la hidrólisis de los lípidos en ácidos grasos y glicerol (=glicerina), también se puede denominar **LIPÓLISIS**.



### 2.1. Catabolismo de los ácidos grasos → activación + β-oxidación

En 1º lugar, los ácidos grasos deben activarse en el citósol uniéndose a una molécula de coenzima **A**. Esta activación requiere energía y **consume 2 ATP** por cada ácido graso. Una vez activados, los ácidos grasos se introducen en las mitocondrias a través de una proteína llamada **carnitina** para el siguiente paso, la β-oxidación.



### 3. CATABOLISMO DE LAS PROTEÍNAS Y ÁCIDOS NUCLÉICOS

Si hay aminoácidos en exceso, como no se pueden almacenar ni excretar, son utilizados como fuente de energía (catabolismo). También en casos de ayuno prolongado, se pueden empezar a degradar proteínas para obtener energía (aunque puede peligrar la salud). En los lisosomas y proteasomas, las proteínas se hidrolizan en aminoácidos (proteólisis). En la degradación de los aminoácidos, en 1º lugar se **elimina el grupo amino** mediante una desaminación o una transaminación (transferirle el grupo amino a otra molécula).

Al perder el grupo amino, los compuestos resultantes pueden ir a parar al ciclo de Krebs (en el catabolismo muchas rutas son convergentes, p.ej. productos metabólicos procedentes tanto del catabolismo de glúcidos como del de lípidos y de proteínas van a converger en el ciclo de Krebs).

En sus etapas finales, el catabolismo de proteínas acaba generando restos nitrogenados que se excretan como urea y ácido úrico a través de la orina.

En cuanto al metabolismo de los ácidos nucleicos, comienza por la hidrólisis de los enlaces fosfodiéster y luego la separación de los nucleótidos en sus componentes. Las pentosas entrarán en el catabolismo de los glúcidos y las bases nitrogenadas se degradan a  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$  y ácido úrico.

## CATABOLISMO

