

TEMA 14. EL CATABOLISMO.

1.-El catabolismo.

1.1. Tipos de catabolismo.

2.- El catabolismo de glúcidos.

2.1. La glucólisis.

2.2. La respiración aeróbea.

2.3. Otros tipos de respiración.

2.4. Las fermentaciones

3.- Catabolismo de lípidos.

3.1. La beta-oxidación de los ácidos grasos.

4.- Catabolismo de proteínas.

4.1. Catabolismo de aminoácidos.

5.- Catabolismo de ácidos nucleicos.

1.- EL CATABOLISMO

Se define como catabolismo como el conjunto de reacciones de degradación de moléculas orgánicas complejas para obtener energía y poder reductor, además de moléculas sencillas (precursores metabólicos) para el anabolismo.

Se libera:

- Energía utilizable por la célula. Se producen degradaciones oxidativas (mediante enzimas oxidativas). Al romper enlaces se obtiene su energía química y esta se guarda en forma de ATP (que será utilizada en el anabolismo).
- Poder reductor. Al ser oxidaciones se liberan protones (H^+) que se almacenan en moléculas transportadoras de hidrógenos (NAD^+ , $NADP^+$ O FAD) que posteriormente las cederán en los procesos de reducción del anabolismo.
- Moléculas sencillas. Precursores metabólicos o metabolitos a partir de los cuales se sintetizan otras más complejas en el anabolismo.

1.1. Tipos de catabolismo

La oxidación de los compuestos orgánicos puede ser realizada por los seres vivos mediante dos procesos:

- Fermentaciones: se produce una oxidación incompleta de la materia orgánica compleja a materia orgánica sencilla (que podría seguir oxidándose), con lo que se obtiene poca cantidad de energía.
- Respiración celular: se produce una oxidación completa de la materia orgánica hasta materia inorgánica, (CO₂), con lo que se libera toda la energía posible.

2.- CATABOLISMO DE GLÚCIDOS

Las reacciones para catabolizar los glúcidos, principalmente la glucosa se van a producir en dos fases:

- Glucólisis
- Respiración celular o fermentaciones.

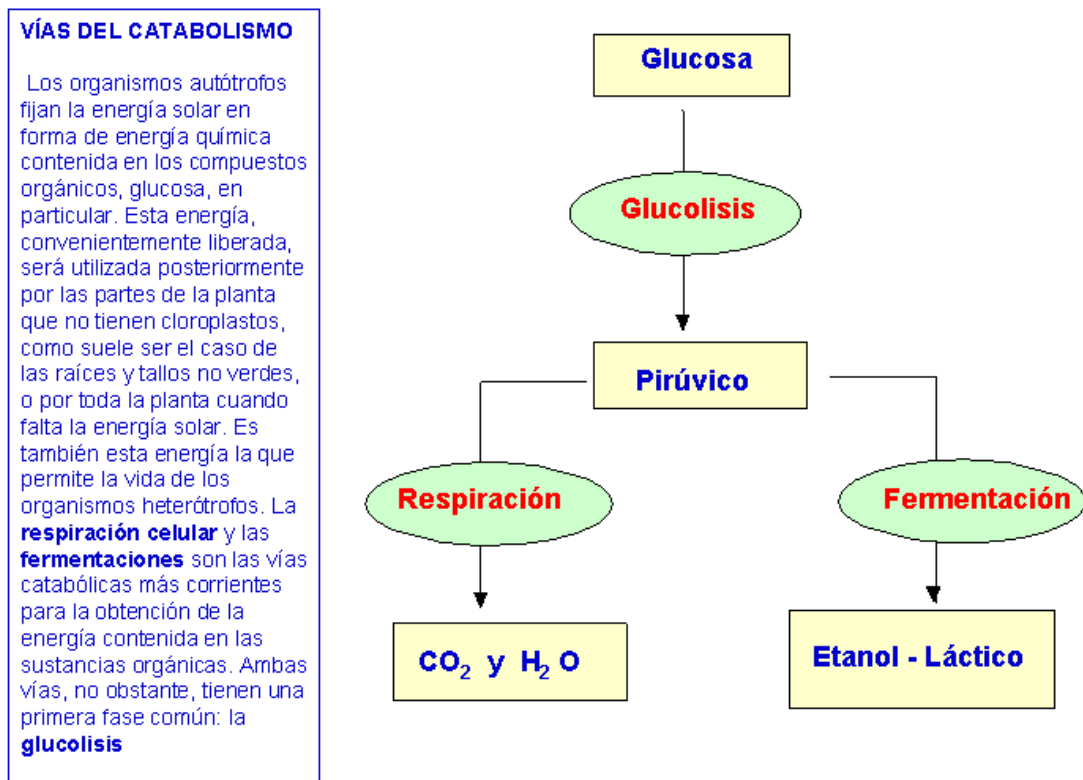


Fig. 14.1.

2.1. Glucólisis.

Esta ruta metabólica presenta las siguientes características:

- Es llevada a cabo por prácticamente todos los seres vivos. Es universal.
- Se realiza en el citoplasma celular.
- Es la ruta previa tanto a respiración como a fermentaciones.
- Es anaeróbica, con lo que se demuestra que es una de las rutas más antiguas.
- Se obtiene ATP y Piruvato.
- La obtención de ATP es mediante fosforilaciones a nivel de sustrato (a partir de un compuesto A+P se obtiene otro compuesto A y el P se utiliza para sintetizar ATP a partir del ADP)
- El proceso consiste en 10 reacciones metabólicas catalizadas por enzimas.
- El rendimiento energético neto es : 2 ATP y 2 NADH por cada molécula de glucosa. A esto hay que añadir las dos moléculas de Acido Pirúvico finales. Esto es una baja eficiencia energética.

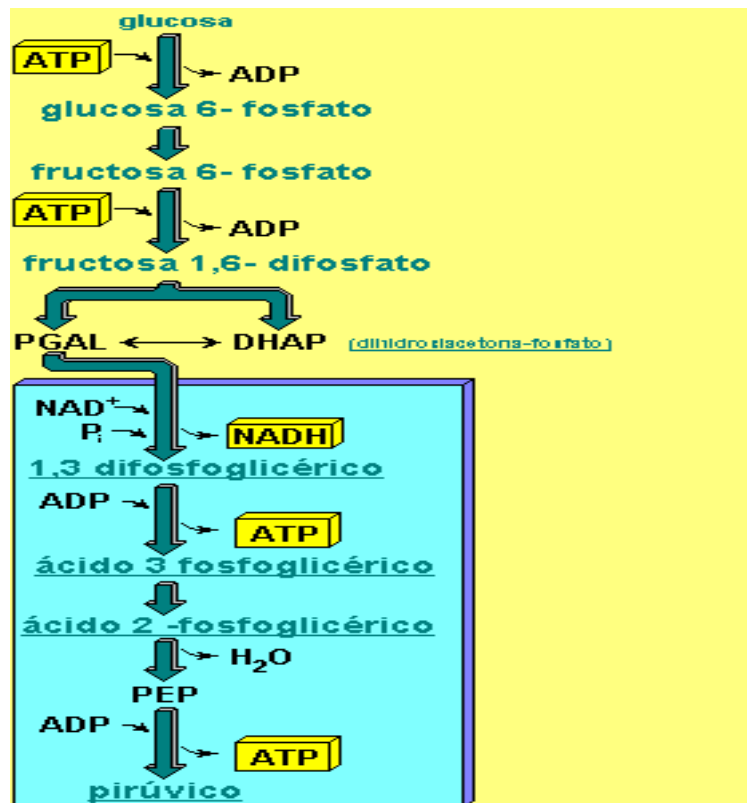


Fig. 14.2. La glucólisis.

2.2. La respiración aeróbea.

Son los procesos posteriores a la glucólisis en los que se produce la oxidación total del piruvato producto de la glucólisis.

Se lleva a cabo en varias etapas:

- Formación del Acetil-Coenzima A o descarboxilación del Piruvato.
- Ciclo de Krebs
- Fosforilación oxidativa.

A.- FORMACIÓN DEL ACETIL-CoA.

Para que el piruvato pueda seguir oxidándose debe primero transformarse en Acetil-CoA. Este proceso ocurre en el interior de la mitocondria por lo que el piruvato debe atravesar las membranas mitocondriales. Es catalizado por la enzima Piruvato-deshidrogenasa.

Se produce una descarboxilación oxidativa (pérdida de un C que pasa a formar CO₂ y obtención de NADH).

La reacción es la siguiente:

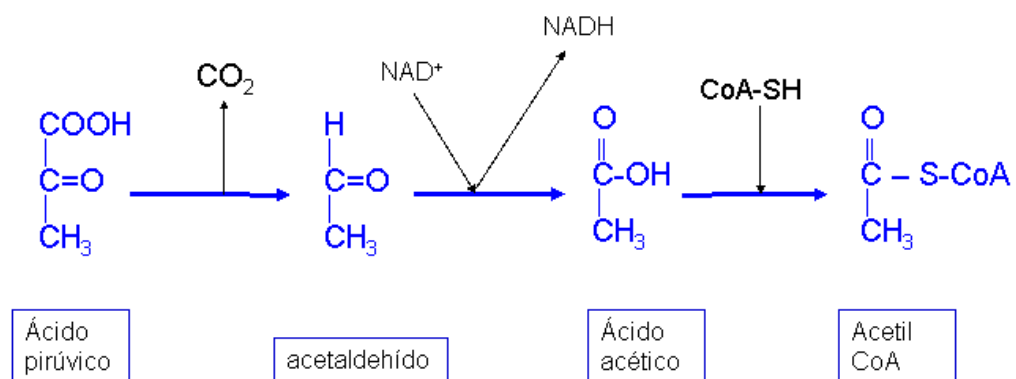


Fig. 14.3.

B.- CICLO DE KREBS O DE LOS ÁCIDOS TRICARBOXÍLICOS

Esta ruta metabólica se caracteriza por:

- Son una serie de reacciones cíclicas que oxidan completamente el Acetil-CoA hasta CO₂.
- Los electrones que se liberan en las oxidaciones generan poder reductor en forma de NADH y FADH₂.
- Ocurre en la matriz mitocondrial.
- Son ocho reacciones que parten del citrato y terminan restaurando el citrato de nuevo.
- Las reacciones serían las siguientes:

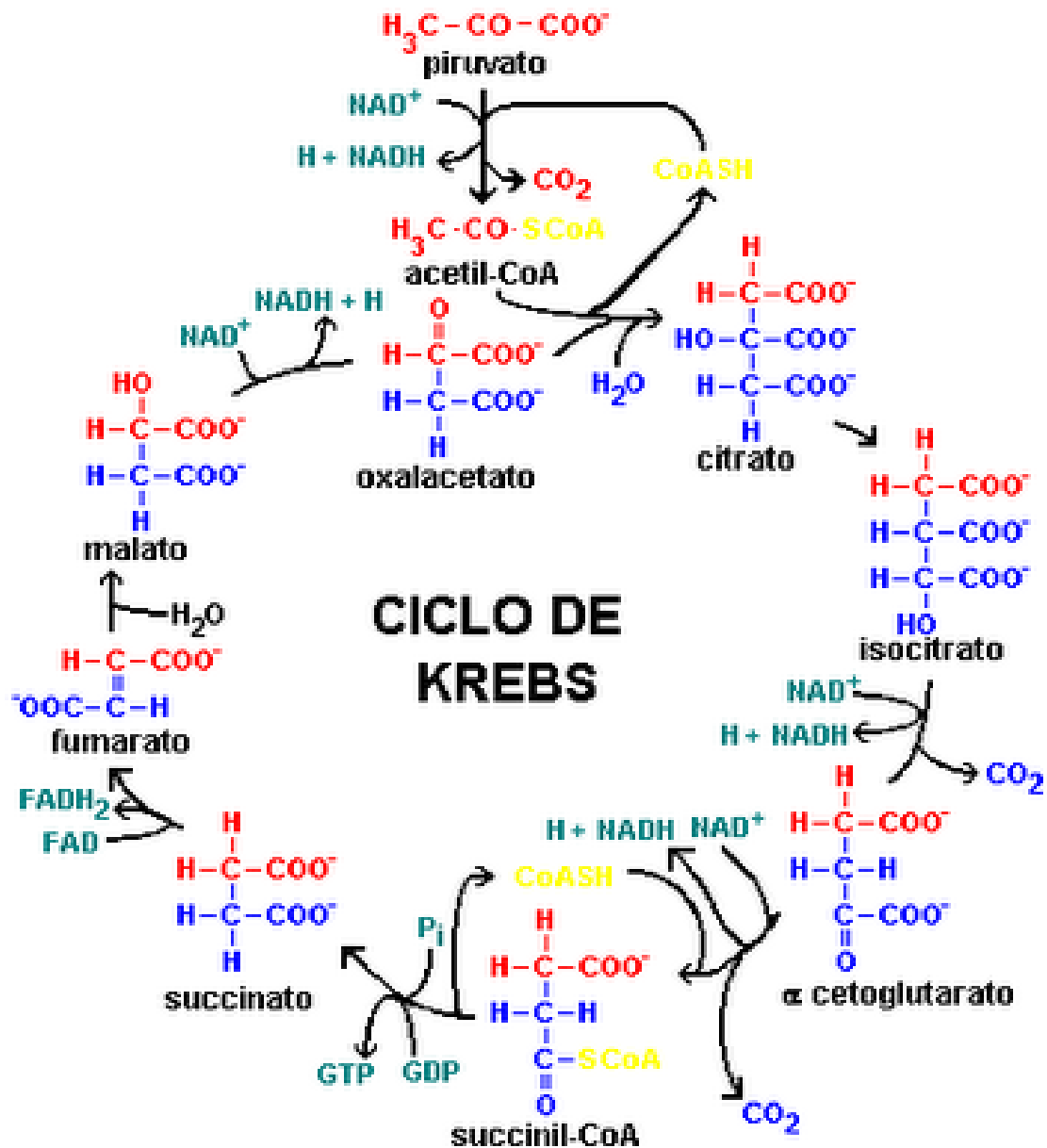


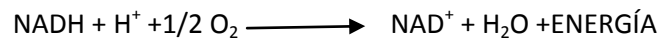
Fig. 14.4.

- Por tanto el rendimiento completo de una vuelta (es decir, por cada molécula de Acetil-CoA que entra en el ciclo) sería de:
 - o 1 molécula de GTP que equivale a 1 ATP
 - o 4 moléculas reductoras (3 NADH y 1 FADH₂)
 - o 2 moléculas de CO₂ (que corresponden a los 2 carbonos del Acetil-CoA completamente oxidados)

C.- FOSFORILACIÓN OXIDATIVA

- Mecanismo de síntesis de ATP en la respiración aeróbea.
- Ocurre en la membrana mitocondrial interna, en las Partículas F o ATPasas.

- Se produce una síntesis de ATP mediante la unión del Pi al ADP más la energía suministrada por el transporte de electrones liberados en las oxidaciones anteriores.
- Se produce una reacción oxidativa:



Esta oxidación del NADH no tiene lugar de forma sencilla. Los electrones no se transfieren directamente del NADH al O₂, sino a través de una **cadena de transporte de electrones o cadena respiratoria**, consistente en varios pasos mediados por proteínas transportadoras. El último aceptor de los electrones es el Oxígeno.

La cadena está localizada en la membrana mitocondrial interna.

La energía se va liberando a “saltos” desde un transportador a otro. La energía liberada se emplea para bombear protones desde la matriz mitocondrial hasta el espacio intermembranoso (**Teoría Quimiosmótica**) en contra de gradiente quimiosmótico.

La vuelta de los protones a la matriz a favor de gradiente se realiza a través del complejo ATP sintetasa (enzima de las partículas F), que se activa y forma ATP a partir del ADP.

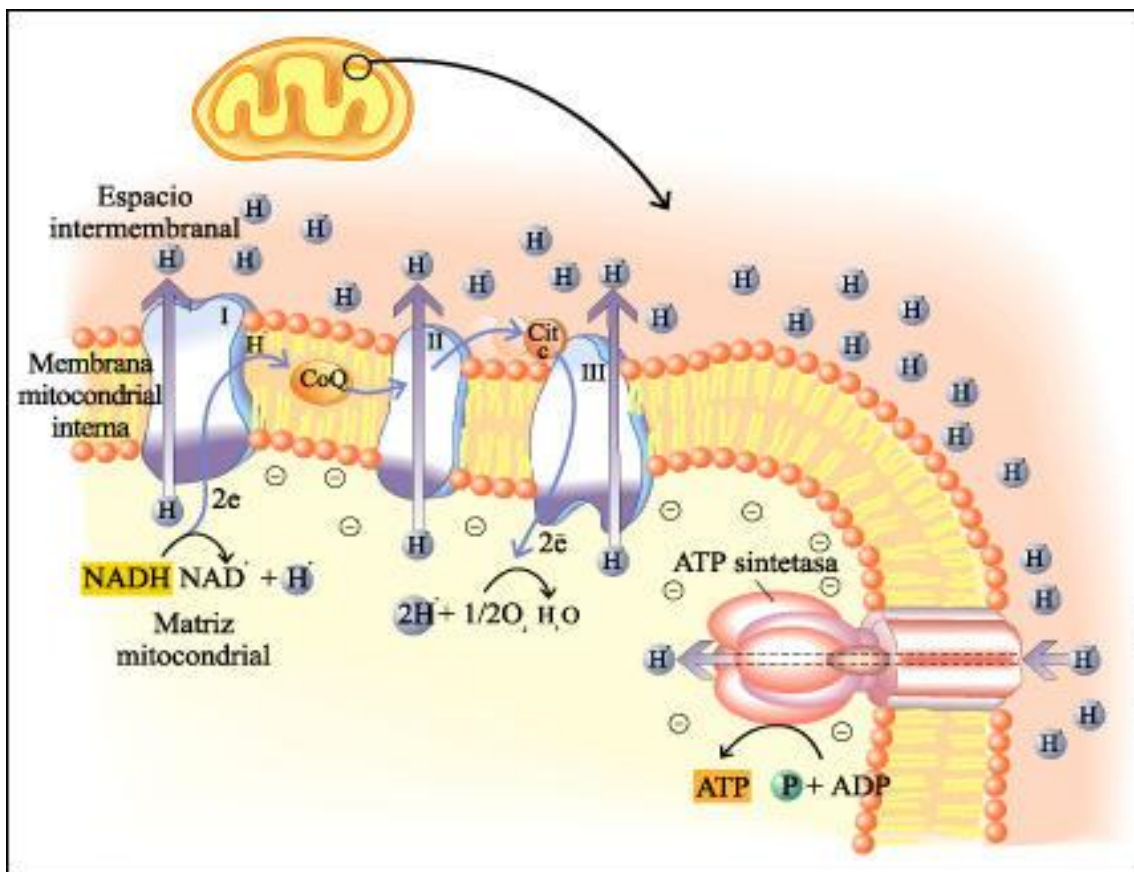


Fig. 14.5

- Rendimiento energético:
 - Por cada NADH oxidado se generan 3 moléculas de ATP
 - Por cada FADH₂ oxidado se generan 2 ATP.

• **RENDIMIENTO ENERGÉTICO TOTAL DE UNA MOLÉCULA DE GLUCOSA**

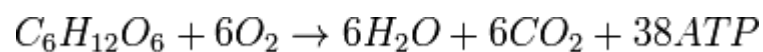
Resumen del rendimiento energético máximo obtenido por la oxidación completa de la glucosa

Producción de moléculas en:

Proceso		Citosol	Matriz mitocondrial	Transporte electrónico
Glucólisis		2 ATP		2 ATP
		2 NADH		6 ATP
Respiración	Ácido Pirúvico a acetil CoA		2 x (1 NADH)	2 x (3 ATP) → 6 ATP
	Ciclo de Krebs		2 x (1 ATP)	2 ATP
			2 x (3 NADH)	2 x (9 ATP)
		2 x (1 FADH ₂)	2 x (2 ATP)	4 ATP
				Total: 38 ATP

Fig. 14.6

• **REACCIÓN GLOBAL DE LA RESPIRACIÓN AERÓBEA**



2.3. Otros tipos de respiración

En bacterias podemos encontrar otros tipos de respiración:

- a) Respiración anaeróbea (en ausencia de O₂). El receptor final de los electrones no es el oxígeno sino otras moléculas como nitratos, hierro o compuestos orgánicos.
- b) Respiración quimiolitotrofa. Se oxidan compuestos inorgánicos (amoníaco...) que pasan sus electrones a un receptor final, normalmente el oxígeno.

2.4. Las fermentaciones

Este tipo de rutas metabólicas la realizaban los primeros organismos de la Tierra, donde las condiciones eran anaeróbicas, por lo que necesitaban obtener energía sin oxígeno. En la actualidad las siguen realizando algunos grupos de bacterias y levaduras en ambientes anoxigénicos o en las células eucariotas cuando no hay suficiente oxígeno (“agujetas” en las células musculares).

Se produce una oxidación incompleta de compuestos orgánicos por lo que no se libera toda la energía que contienen.

Se produce una síntesis de ATP por fosforilación a nivel de sustrato (no por fosforilación oxidativa).

Comienzan con la glucólisis. Primero se produce una oxidación de la glucosa hasta piruvato y posteriormente una reducción del piruvato a productos finales. Según el producto final podemos distinguir dos tipos de fermentaciones:

- a) **FERMENTACIÓN LÁCTICA.** Se produce una oxidación de la glucosa primero a piruvato (glucólisis), donde se obtienen dos ATPs y dos moléculas de NADH. Posteriormente se reduce el piruvato a lactato utilizando el poder reductor generado anteriormente. Estas fermentaciones son realizadas por bacterias de los géneros *Lactobacillus* y *Lactococcus*. También se produce en las células musculares en ausencia de oxígeno. Este proceso es aprovechado por la industria para la fabricación de queso, yogurt....

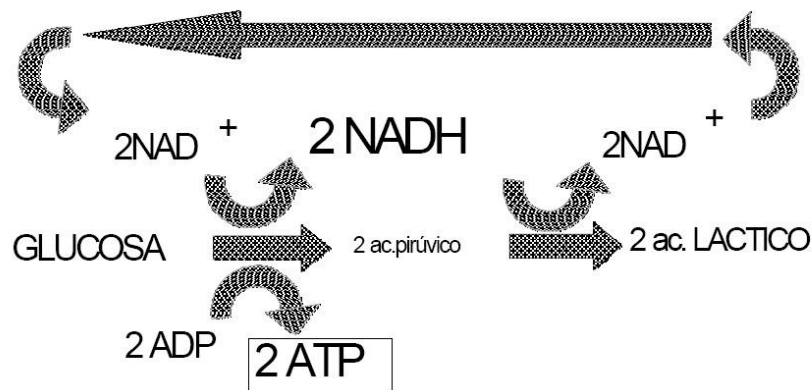


Fig. 14.7.

- b) **FERMENTACIÓN ALCOHÓLICA.** Igualmente se produce una primera oxidación de la glucosa a piruvato, obteniéndose 2 ATP y 2 moléculas de NADH. El piruvato se oxida dando acetaldehído y CO₂ y por último el acetaldehído se reduce a etanol utilizando los NADH obtenidos anteriormente. Este proceso es realizado por levaduras como *Sacharomyces cerevisiae*. También se utiliza industrialmente para la fabricación de vino, cerveza, pan, etc.

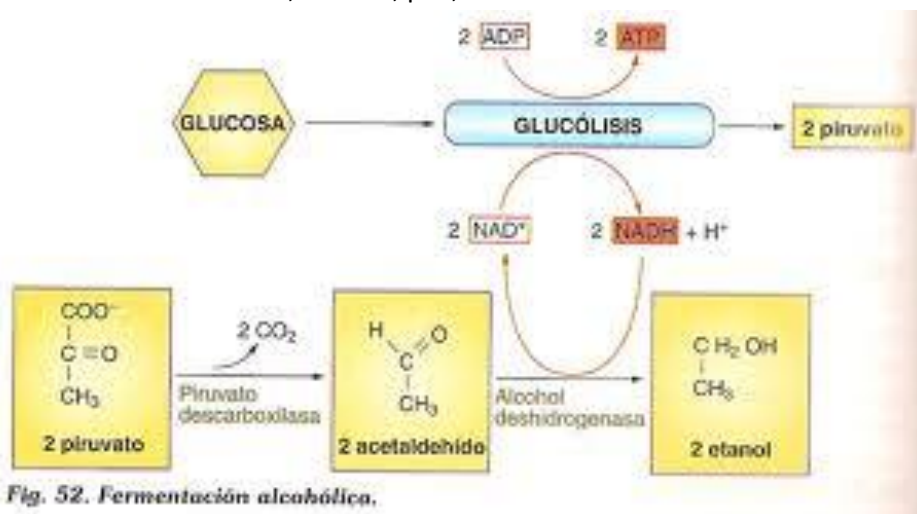


Fig. 52. Fermentación alcohólica.

Fig. 14.8

Por tanto el **RENDIMIENTO ENERGÉTICO** de las fermentaciones es muy bajo. Únicamente dos moléculas de ATP por cada glucosa oxidada. Esto es debido a que son fosforilaciones a nivel de sustrato y por ser oxidaciones incompletas de modo que las moléculas finales son orgánicas todavía y por tanto también contienen energía.

3.-CATABOLISMO DE LÍPIDOS

Los lípidos son las moléculas de reserva energética más importantes (entendemos los lípidos de reserva energética como los triglicéridos y no las hormonas lipídicas o los fosfolípidos) . Su catabolismo proporciona más energía que los glúcidos.

Su degradación no es fácil: son insolubles en agua, tienen poca reactividad química...

Su catabolismo comienza con una hidrólisis en la digestión:

Lípidos (triglicéridos) \longrightarrow glicerina + ácidos grasos

La glicerina que se degrada a gliceraldehido 3P que pasaría a la glucólisis.

Los ácidos grasos se degradan en un proceso que se denomina β -oxidación.

3.1. La β -oxidación de los ácidos grasos

Esta ruta catabólica es la fuente de energía más importante para las células.

Se produce una oxidación que dará lugar a Acetil-CoA que se incorporará al Ciclo de Krebs.

Tiene lugar en la matriz mitocondrial. Pero para que los ácidos grasos pasen a la mitocondria primero necesitan atravesar las membranas mitocondriales. Para ello utilizan una proteína transportadora, la **L-carnitina**.

El proceso se divide en dos fases, en primer lugar se produce una activación de los ácidos grasos y posteriormente la β -oxidación propiamente dicha.

II.- ACTIVACIÓN DE LOS ÁCIDOS GRASOS

- Se produce en la membrana mitocondrial externa.
- Tiene lugar la unión del ácido graso con la Coenzima A para dar una nueva molécula llamada **Acil-CoA**, que es transportada por la L- carnitina al interior de de mitocondria.
- Este proceso implica un gasto de 2 moléculas de ATP.

II.- β -OXIDACIÓN

- Consiste en una ruta cíclica en la que se liberan sucesivamente (en cada vuelta al ciclo) fragmentos de 2 carbonos (recordar que los ácidos grasos son cadenas carbonadas con un número par de carbonos) a partir del extremo carboxilo del Acil-CoA.
- En cada vuelta tienen lugar cuatro etapas: deshidrogenación, hidratación, oxidación y tiólisis.
- Cada rotura origina FADH₂, NADH y Acetil-CoA.
- El proceso se repite hasta la total degradación a Acetil-CoA.
- El NADH y el FADH₂ pasan a oxidarse en la cadena respiratoria generando ATP y el Acetil-CoA pasa al Ciclo de Krebs.

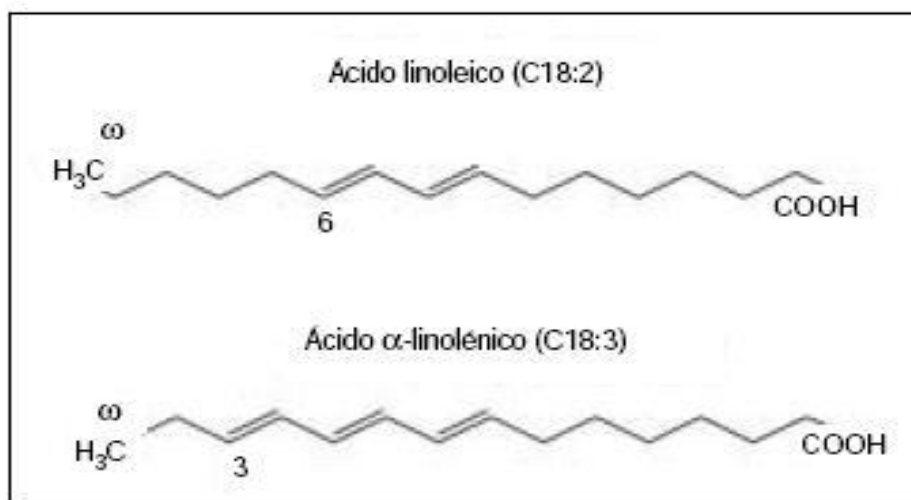


Figura 1. Estructura química de los ácidos grasos indispensables: ácido linoleico y ácido linolénico. C18:2 y C18:3 indican que ambos ácidos grasos contienen 18 carbonos con dos y tres dobles enlaces, respectivamente.

Fig. 14.9

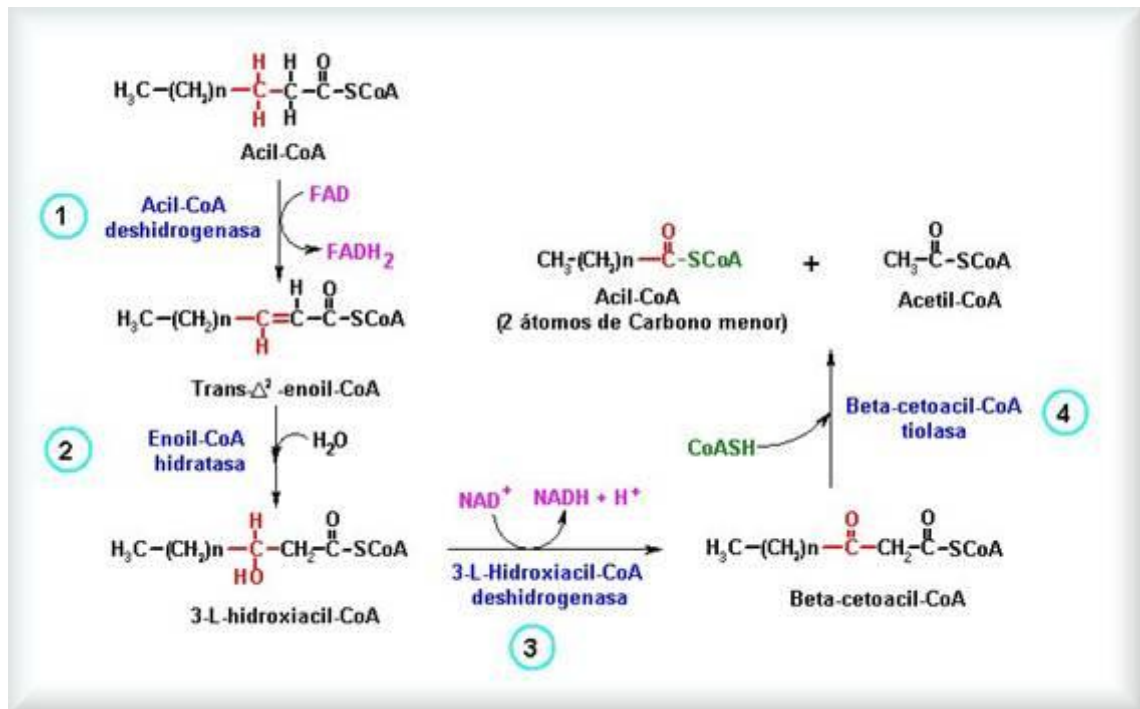


Fig. 14.10. La beta-oxidación

• **RENDIMIENTO ENERGÉTICO DE LA β-OXIDACIÓN**

Si tomamos como ejemplo el [ácido palmítico, ácido graso saturado](#) de 16 carbonos, el rendimiento energético es el siguiente:

- 7 NADH que en la cadena respiratoria generan 3 ATP cada uno 21
- 7 FADH₂ que en la cadena respiratoria generan 2 ATP cada uno 14
- 8 acetil-CoA que ingresan en el [ciclo de Krebs](#) y generan 12 ATP 96
- 2 ATP menos, dados en la activación del ácido graso..... - 2 ATP
- Total **129 ATP**

4. CATABOLISMO DE PROTEÍNAS

Debemos decir que las proteínas no tienen función energética, únicamente se utilizan como fuente de energía en condiciones de ayuno. Para catabolizarlas primero deben romperse los enlaces peptídicos para dar lugar a los aminoácidos. Por tanto, hablaremos de catabolismo de aminoácidos.

4.1. Catabolismo de aminoácidos.

Los aminoácidos sólo se van a catabolizar en tres circunstancias:

- a) Por excedente de aminoácidos, por ejemplo en dietas ricas en proteínas.
- b) En condiciones de ayuno o diabetes en las que no hay glúcidos ni lípidos disponibles.
- c) En la degradación normal de las proteínas para el recambio y renovación de tejidos.

Este catabolismo se produce en dos etapas:

I.- Eliminación del grupo amino.

II. Oxidación de la cadena carbonada.

I. ELIMINACIÓN DEL GRUPO AMINO

Puede realizarse por dos vías:

➤ TRANSAMINACIÓN

Se produce una transferencia del grupo amino (NH_2) desde el aminoácido hasta una molécula receptora denominada α -cetoglutarato que se transforma en glutamato. Esta molécula se convierte en una reserva de grupos amino para formar nuevos aminoácidos. El resto de aminoácido sin el grupo amino pasa a llamarse α -cetoácido.

Las enzimas que realizan este proceso se denominan transaminasas que están presentes en el hígado, donde se realiza la transaminación.

➤ DESAMINACIÓN OXIDATIVA

Consiste en una eliminación del grupo amino en forma de amoniaco (NH_3) o ión amonio (NH_4^+). Tiene lugar en el hígado y en los riñones. Es catalizada por la enzima glutamato- deshidrogenasa. El amoniaco es altamente tóxico por lo que pasa a urea (en animales ureotéticos) o a ácido úrico (uricotéticos) para ser expulsado en la excreción.

II. OXIDACIÓN DE LA CADENA CARBONADA

El α -cetoácido generado tras la eliminación del grupo amino sufre transformaciones para ser incorporado a otras rutas. Según la ruta a la que sean derivados los diferentes aminoácidos, distinguimos dos grupos de aminoácidos:

- Aminoácidos glucogénicos: originan piruvato o intermediarios del Ciclo de Krebs que darán glucosa por gluconeogénesis.
- Aminoácidos cetogénicos: que originan Acetil-CoA que se incorporarán al Ciclo de Krebs.

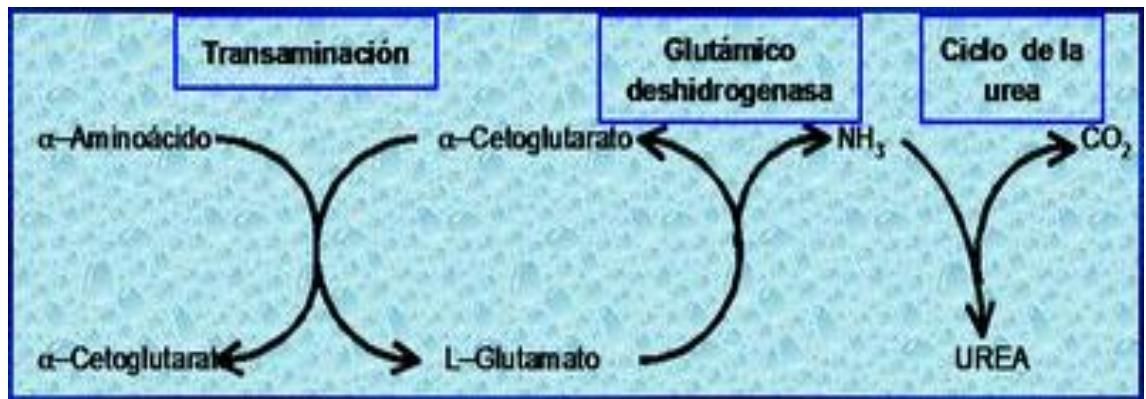


Fig. 14.11. Catabolismo de proteínas.

5. CATABOLISMO DE ÁCIDOS NUCLEICOS

Los ácidos nucleicos únicamente se catabolizan para la renovación de los mismos.

El ADN y el ARN se hidrolizan primero por la acción de enzimas nucleolasas.

Los nucleótidos obtenidos se rompen en pentosas, fosfatos y bases para formar nuevas moléculas de ácidos nucleicos.

La degradación de las bases puede formar urea o ácido úrico que es eliminado.

✓ ESQUEMA GENERAL DEL CATABOLISMO AERÓBEO

