Colegio de
San Francisco de Paula

BLOQUE 2. BIOLOGÍA CELULAR

2.8 Catabolismo: Respiración celular

Germán Tenorio
Biología 12º

Idea Fundamental: La respiración celular suministra energía para las funciones vitales, dado que la energía se convierte en una forma utilizable.

Catabolismo

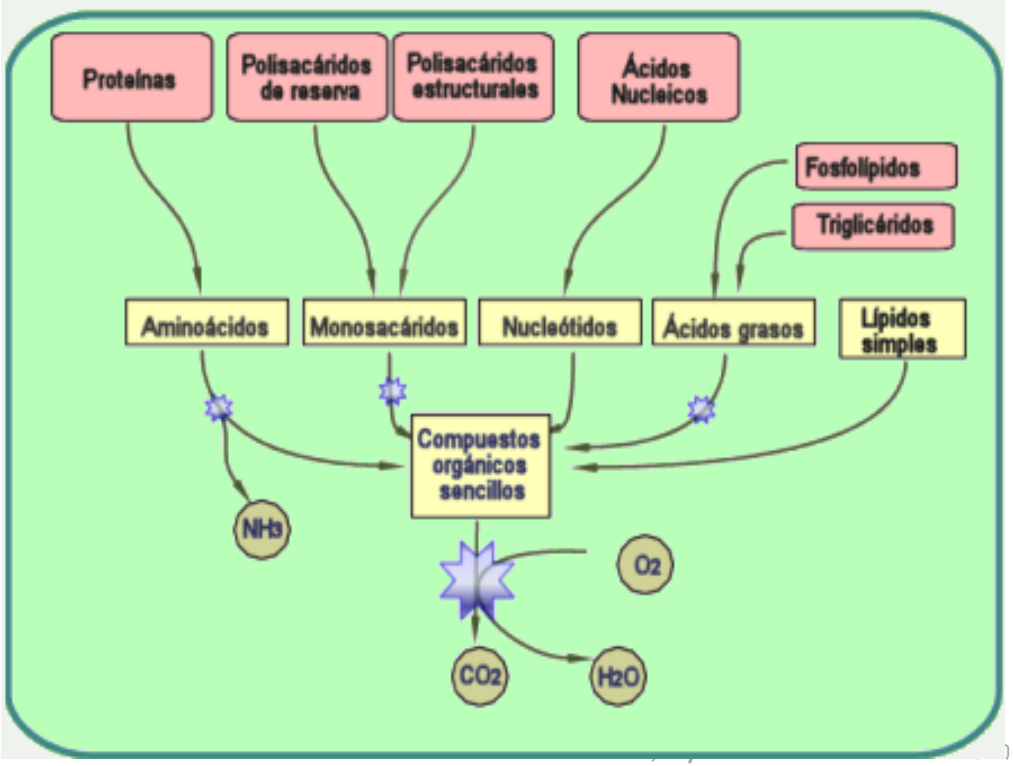
- El catabolismo es el conjunto de reacciones metabólicas cuya **finalidad** consiste en **proporcionar a la célula** los siguientes recursos:

  - **Precursores metabólicos**. Se trata de moléculas orgánicas a partir de la cuales se lleva a cabo la biosíntesis de los compuestos celulares.

  - **Energía** en forma de **ATP**.

  - **Poder reductor** acumulado en forma de dos nucleótidos en su forma reducida **(NADH y NADPH)**. El poder reductor se define como la capacidad para ceder electrones.

- Para obtener estos recursos, la célula debe tomar de su entorno nutrientes y energía, y someterlos a una serie de transformaciones, que constituyen las reacciones catabólicas.



Catabolismo

- No todas las células obtienen los precursores metabólicos, el poder reductor y el ATP de igual forma. Veamos la **clasificación** de las células o los organismos **según la fuente de energía** que empleen para conseguir el ATP o **la fuente de carbono** a partir de la cual obtienen los precursores metabólicos.

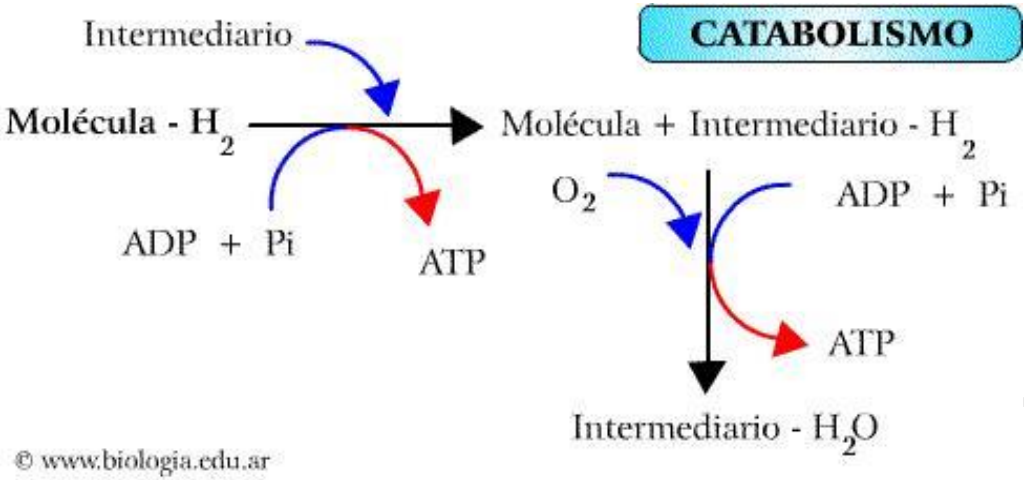
TIPOS DE ORGANISMOS		EJEMPLOS
QUIMIOTROFOS: Obtienen el ATP oxidando compuestos químicos	**Quimioheterótrofos (Quimioorganotrofos)**: Obtienen el carbono a partir de moléculas orgánicas	Animales superiores, la mayoría de los microorganismos, células no fotosintéticas de plantas
	Quimioautótrofos (Quimiolitotrofos): Obtienen el carbono a partir del CO_2	Bacterias del H, bacterias del S
FOTOTROFOS: Obtienen el ATP de la energía de la luz	**Fotoheterótrofos (Fotoorganotrofos)**: Obtienen el carbono a partir de moléculas orgánicas	Bacterias purpúreas
	Fotoautótrofos (fotolitotrofos): Obtienen el carbono a partir del CO_2	Células verdes de plantas superiores, bacterias fotosintéticas, cianobacterias, algas

Catabolismo

- El catabolismo constituye el grupo de reacciones metabólicas más generales, pues muchas de ellas están representadas de forma muy semejante tanto en células procariotas como eucariotas.

- El catabolismo reune las siguientes **características**:

  - Son reacciones de **descomposición** de moléculas orgánicas complejas (ricas en energía) hasta transformarlas en otras orgánicas más simples o en moléculas inorgánicas.



  - Son reacciones de **oxidación**, ya que la materia orgánica pierde electrones ligados a protones en forma de hidrógenos ($2H = 2H^+ + 2e^-$) recogidos por coenzimas para cederlos a otros compuestos, que se reducen.

  - Son reacciones **exotérmicas** en las que se libera cierta cantidad de energía, parte de la cual se emplea para formar enlaces fosfato del ATP y otra parte se libera en forma de calor.

Tipos de catabolismo

- **Definición de respiración celular**: tipo de **catabolismo total**, consistente en la liberación controlada de una gran cantidad de energía en forma de ATP a partir de compuestos orgánicos en las células. Puede ser a su vez de dos tipos:

  - Respiración aerobia. Conjunto de reacciones que dan como productos finales CO_2 y H_2O, debido a que se utiliza el oxígeno como aceptor para recoger los H liberados de las oxidaciones y reducirse formando agua. La realizan todas las **células eucariotas y muchas procariotas**.

  - Respiración anaerobia. Conjunto de reacciones que dan como productos finales moléculas inorgánicas distintas del agua (H_2S, CH_4, N_2, etc.), ya que utilizan como aceptores de H otras sutancias inorgánicas distintas del oxígeno. Son **exclusivas de algunas bacterias**.

Tipos de catabolismo

- **Definición de fermentación**: tipo de **catabolismo parcial**, en el que el aceptor de los H es una molécula orgánica y los productos finales del proceso son también sustancias orgánicas que no llegan a descomponerse totalmente, por lo que liberan poca energía.

  Son en parte comunes a las reacciones anaerobias, puesto que no utilizan el oxígeno como aceptor. Se tratan en general de reacciones anaerobias, que representan **evolutivamente las formas de metabolismo más primitivas**.

  Las realizan principalmente **células procariotas**, pero también **algunas eucariotas como las levaduras y algunas células animales** (musculares) cuando no disponen de suficiente oxígeno.

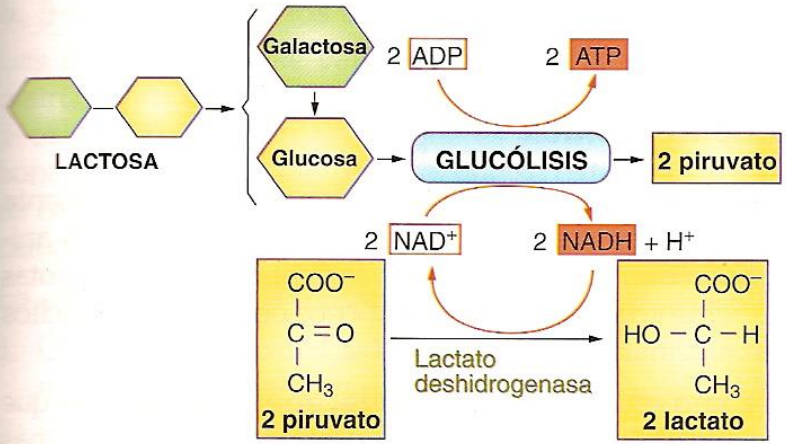


Fig. 54. Fermentación láctica.

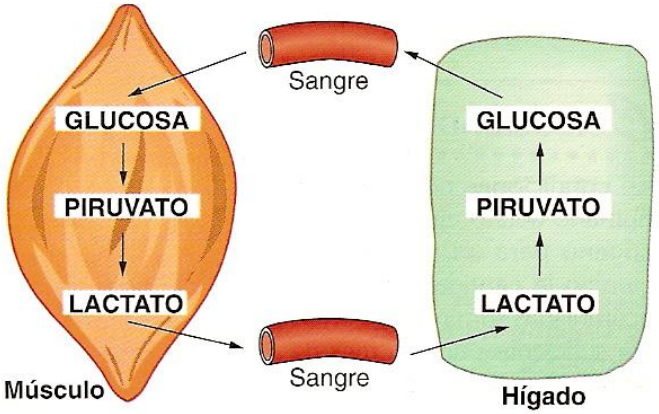


Fig. 55. Esquema del ciclo de la glucosa y el lactato entre el músculo y el hígado.

Tipos de catabolismo

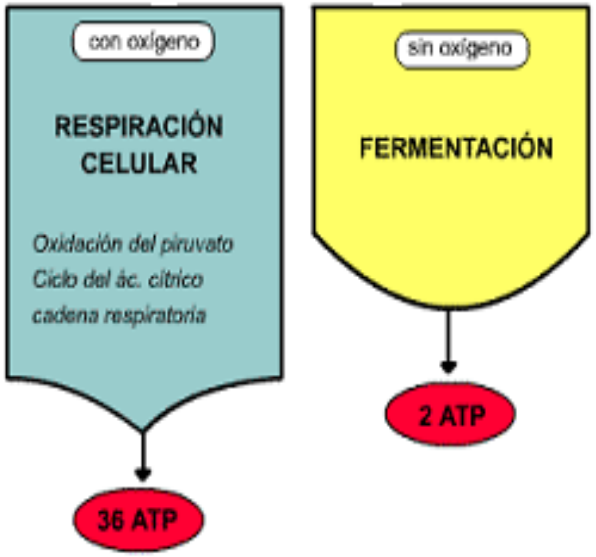
- Según el tipo de catabolismo que realizan, las células pueden clasificarse en:

  - **Aerobias**, que requieren oxígeno.

  - **Anaerobias facultativas**, que pueden vivir en ausencia o presencia de oxígeno.

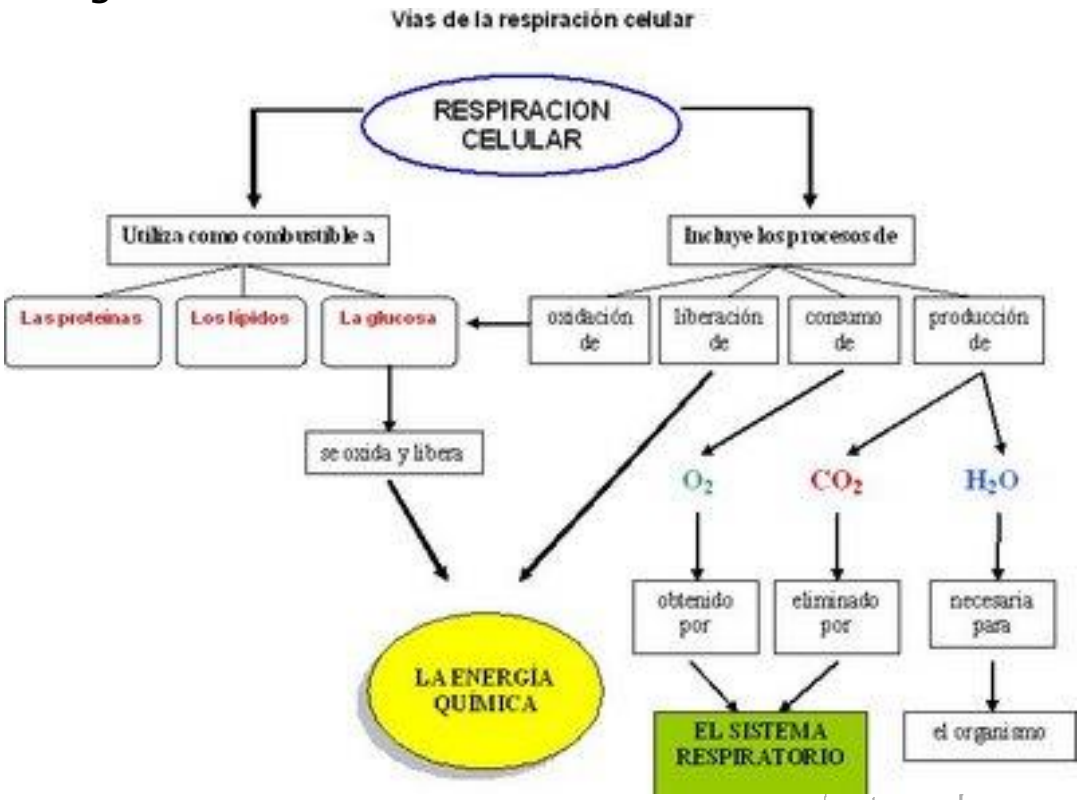
  - **Anaerobias estrictas**, que no soportan la presencia de oxígeno, hasta el extremo de resultarles tóxico.

- Se pueden considerar dos tipos de catabolismo: **respiración celular** y **fermentación**.



Respiración celular aerobia

- Catabolismo total de cualquier forma de materia orgánica que se oxida hasta dar CO_2, liberando energía e hidrógenos, los cuales son aceptados por el oxígeno, que se reduce hasta agua.
- Las células utilizan como sustrato respiratorio preferentemente los glúcidos y los lípidos, las moléculas energéticas por excelencia. Es por esto que se identifique el **catabolismo total de los glúcidos** en presencia de oxígeno como la respiración aerobia, aunque sea sólo una parte principal del total.

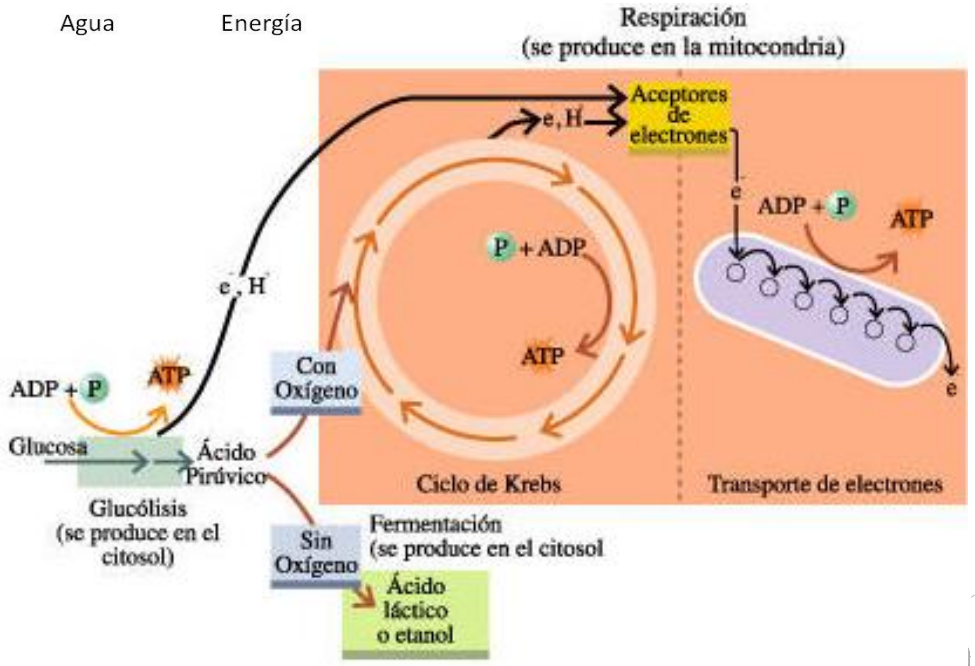


Respiración celular aerobia

- Si consideramos que la **glucosa** es la molécula más utilizada por las célula para obtener energía, es lógico que se emplee la reacción química que expresa su degradación total en presencia de oxígeno para representar en conjunto todo el proceso de la respiración aerobia:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow \rightarrow \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + ATP$$

Glucosa | Oxigeno | Dióxido de Carbono | Agua | Energía

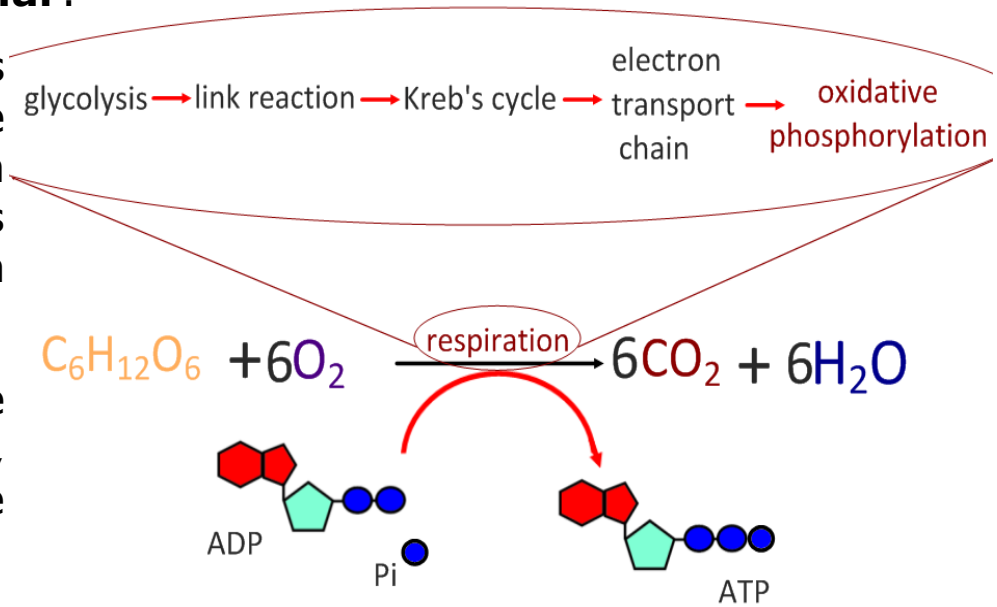


Respiración celular aerobia

- **Etapas de la respiración celular**:

- Etapa **preliminar**, donde las grandes moléculas de polisacáridos se deben descomponer en monosacáridos (fundamentalmente glucosa) en el citoplasma o citosol.

1. **Glucólisis**, reacciones de oxidación, también en el citosol, en las que la glucosa se transforma en ácido pirúvico.

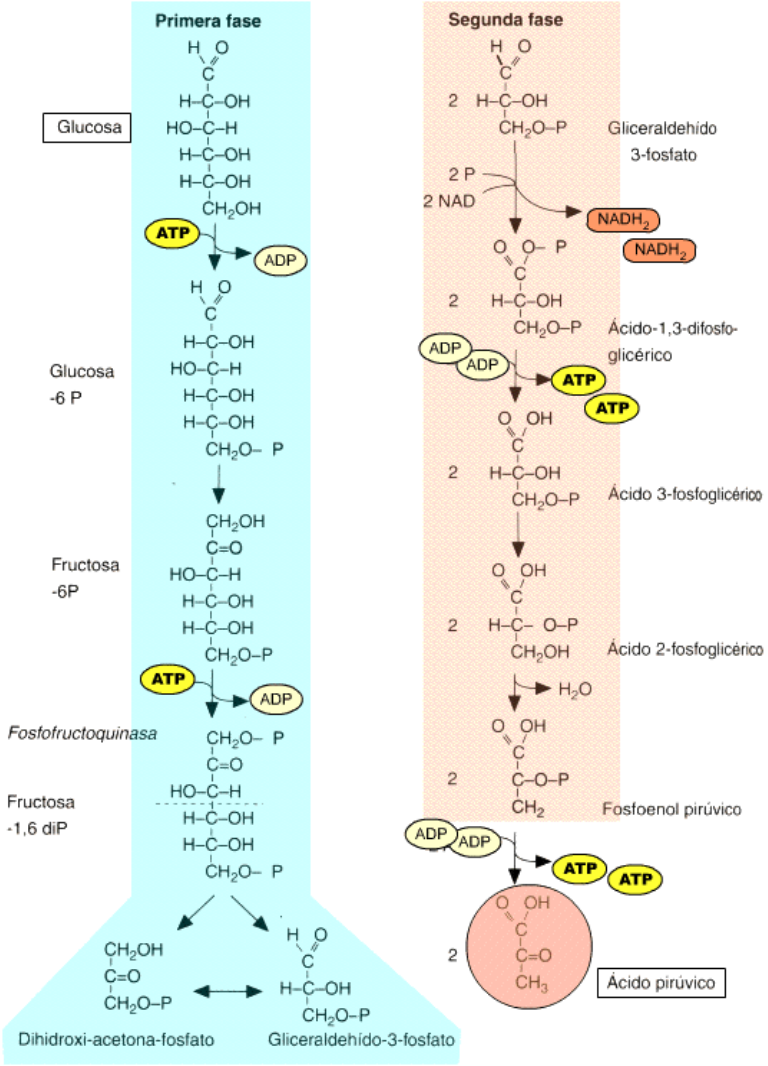


2. **Descarboxilación oxidativa**, donde el ácido pirúvico se transforma en acético en la matriz mitocondrial.

3. **Ciclo de Krebs**, también en la matriz mitocondrial, donde el acético es oxidado hasta CO_2.

4. **Cadena respiratoria** y **fosforilación oxidativa**, donde se forma ATP en la membrana mitocodrial interna a partir de la reducción del O_2 hasta agua.

Respiración aerobia: 1. Glucólisis



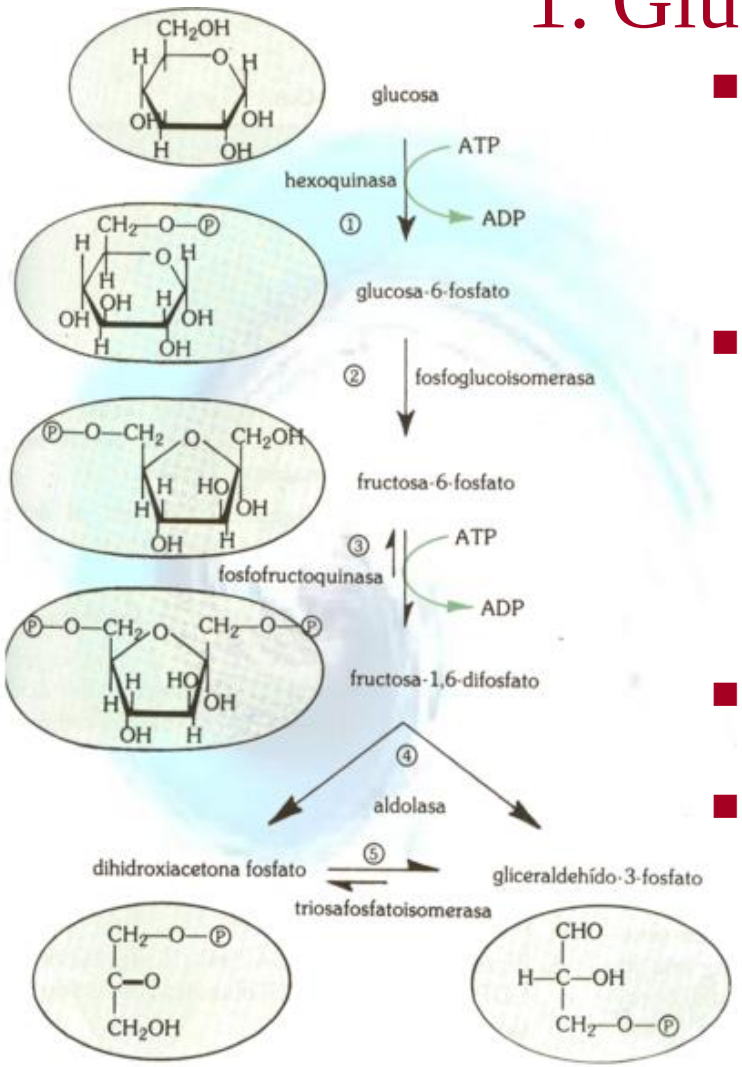
- La glucólisis, glicolisis o **vía de Embden-Meyerhof** consiste en la conversión de una molécula de glucosa (6C) en dos moléculas de ácido pirúvico (3C), con una ganancia neta de dos moléculas de ATP y dos de NADH + H^+.
- Ourre en el citosol y no requiere la presencia de oxígeno.
- Consta de 3 etapas:

  A. Fosforilación y Lisis.

  B. Oxidación.

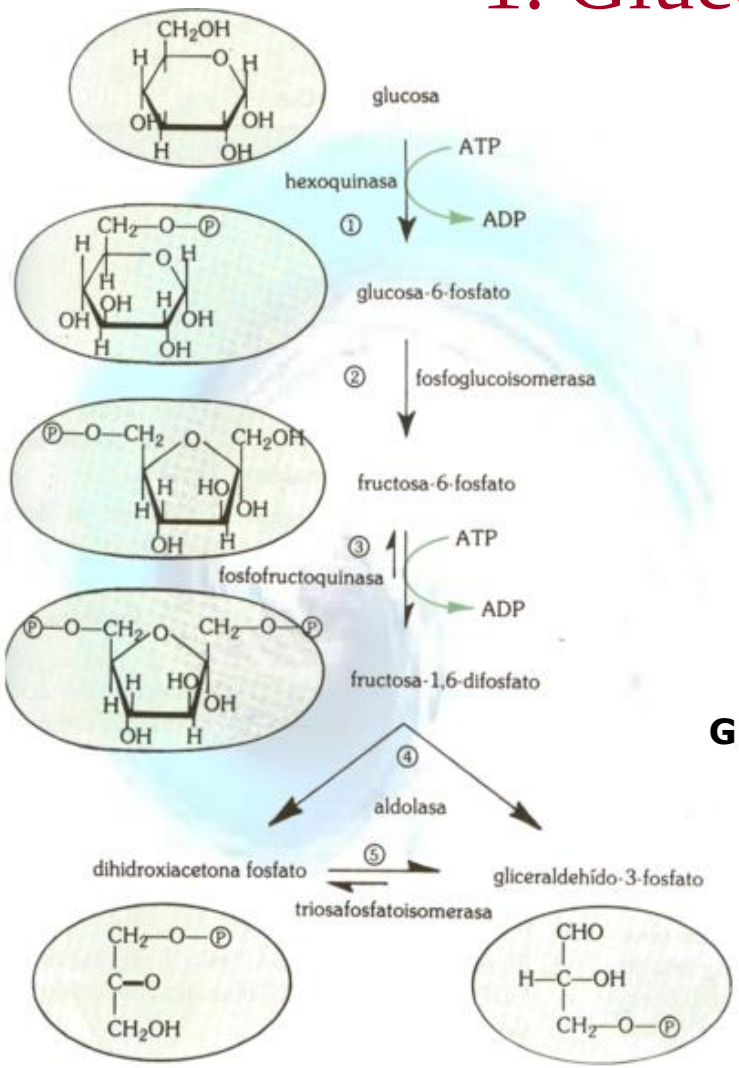
  C. Formación de ATP.

1. Glucólisis (etapas)



- **A. Fosforilación y lisis**. Se requiere un **aporte energético** en forma de ATP. Consiste en la conversión de la molécula de glucosa en dos moléculas de tres carbonos, el **gliceraldehído-3-fosfato**.
- Para que la rotura del esqueleto carbonado se produzca, hay que activar a la molécula de glucosa mediante dos fosforilaciones. Se necesitan 2 ATP de la reserva celular. Estas dos fosforilaciones aportan la energía necesaria para el desarrollo de las etapas siguientes.
- La fosforilación consiste en la adición de una molécula de fosfato a una molécula orgánica.
- En muchas reacciones, como es el caso de la glucólisis, **la fosforilacion de moléculas hace que estas sean menos estables**, es decir, que sean más propensas a reaccionar. Es por eso, por lo que se dice que la fosforilación activa a las moléculas.

1. Glucólisis (etapas)

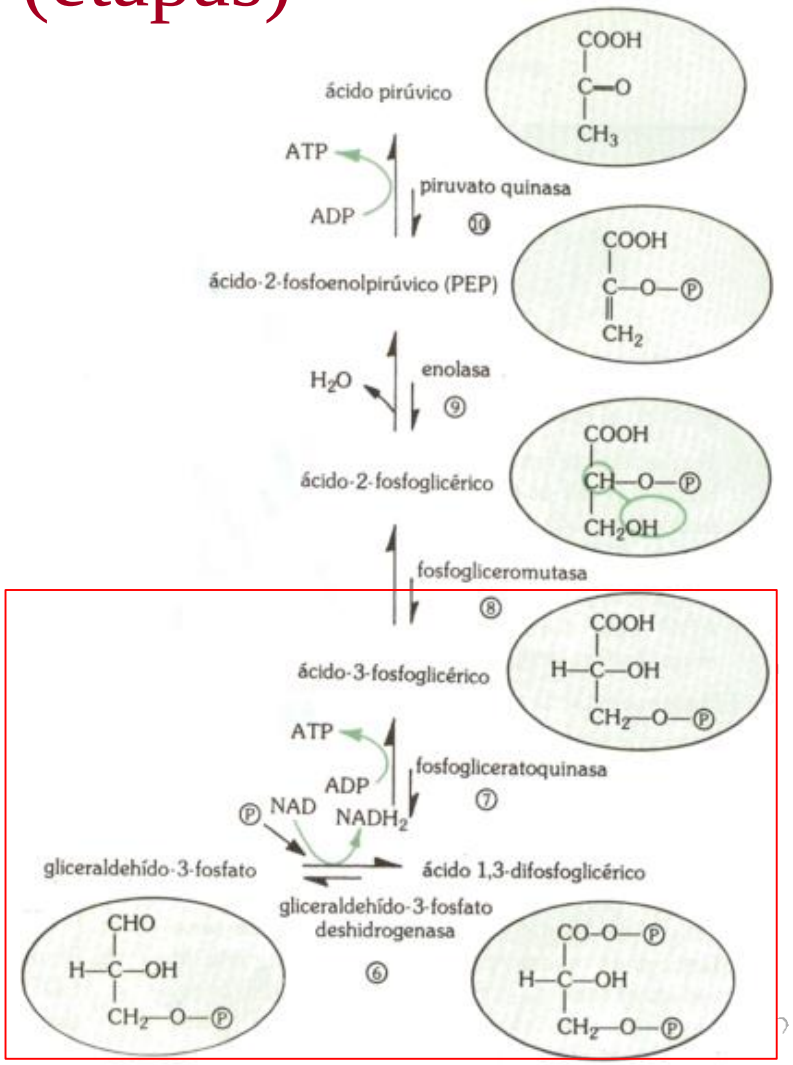


- La fosforilación de la glucosa reduce la energía de activación necesaria para el desarrollo de las etapas siguientes.
- El producto de la dos fosforilaciones es la fructosa 1,6 difosfato, molécula que es hidrolizada (**lisis**) en dos moléculas de **gliceraldehído-3-fosfato.**
- Al romperse la hexosa en dos moléculas de 3C, todos los pasos siguientes **se multiplican por 2**.

Glucosa + 2 ATP ➡ 2 gliceraldehído-3-P + 2 ADP

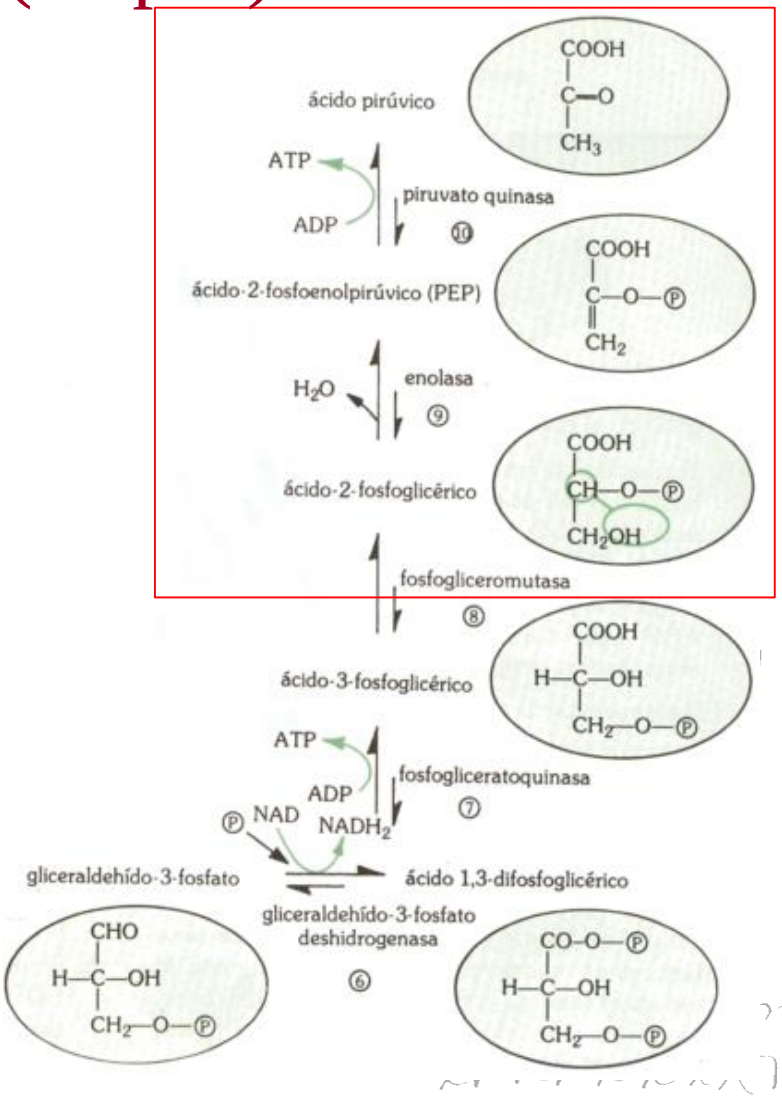
1. Glucólisis (etapas)

- **B. Oxidación**. En esta etapa tiene lugar la oxidación del grupo aldehído a grupo carboxilo con la obtención de **energía** y **poder reductor**.
- El **gliceraldehído-3-fosfato** se oxida mediante la eliminación de hidrógeno hasta 1,3 difosfoglicerato. Como consecuencia de ello, se obtienen poder reductor en forma de NADH + H^+.
- En la última reacción de esta etapa se produce la primera síntesis de ATP: El grupo fosfato de la molécula de 1,3 difosfoglicerato, se transfiere al ADP, mediante una fosforilación a nivel de sustrato para producir ATP y obtenerse 3-fosfoglicerato.



1. Glucólisis (etapas)

- **C. Formación de ATP** para restituir el consumido en la primera fase. El fosfoglicerato se transforma en **piruvato**, liberándose un grupo fosfato de cada una de las moléculas.
- Los dos fosfatos liberados (uno por cada gliceraldehido-3-fosfato convertido en piruvato), se emplean para producir dos moléculas de ATP mediante fosforilaciones a nivel de sustrato.
- La eficacia de la glucólisis como ruta energética es **muy baja**, puesto que sólo tiene un **rendimiento neto de 2 ATP**, es decir, sólo se obtiene un 20% de la energía almacenada en la glucosa. Esta es una de las razones que apoya que es una de las **rutas metabólicas más antiguas**.



1. Glucólisis (Resumen)

Glucosa + 2 NAD^+ + 2 ADP + 2 Pi ➡ 2 Ácido pirúvico + 2 NADH + 2 H^+ + 2 ATP

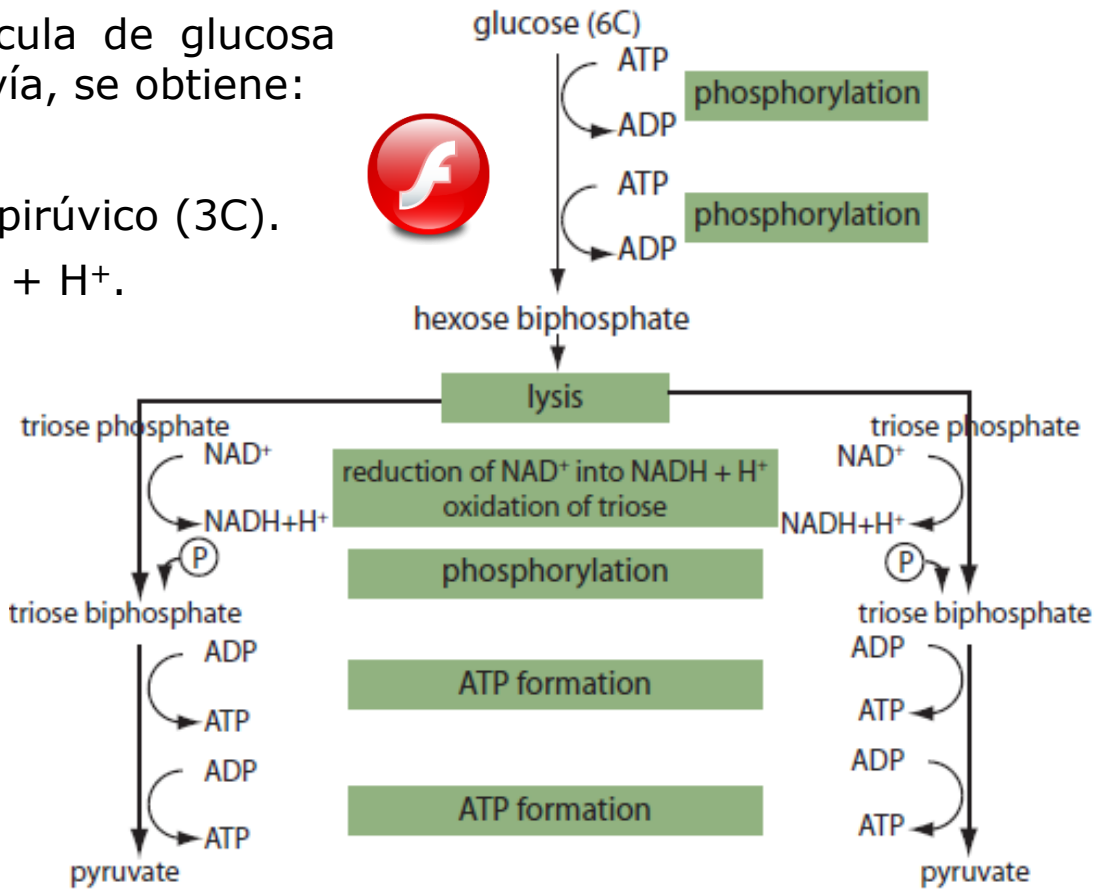
- **Balance:** Por cada molécula de glucosa (6C) que ingresa en esta vía, se obtiene:

  2 moléculas de ácido pirúvico (3C).

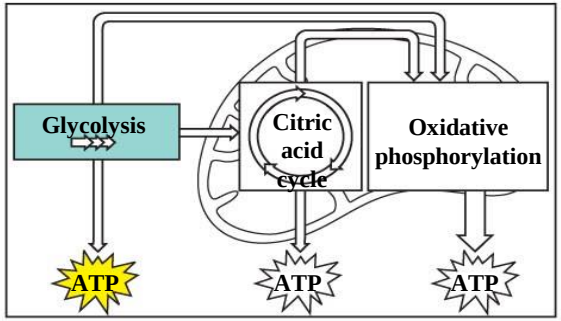
  2 moléculas de NADH + H^+.

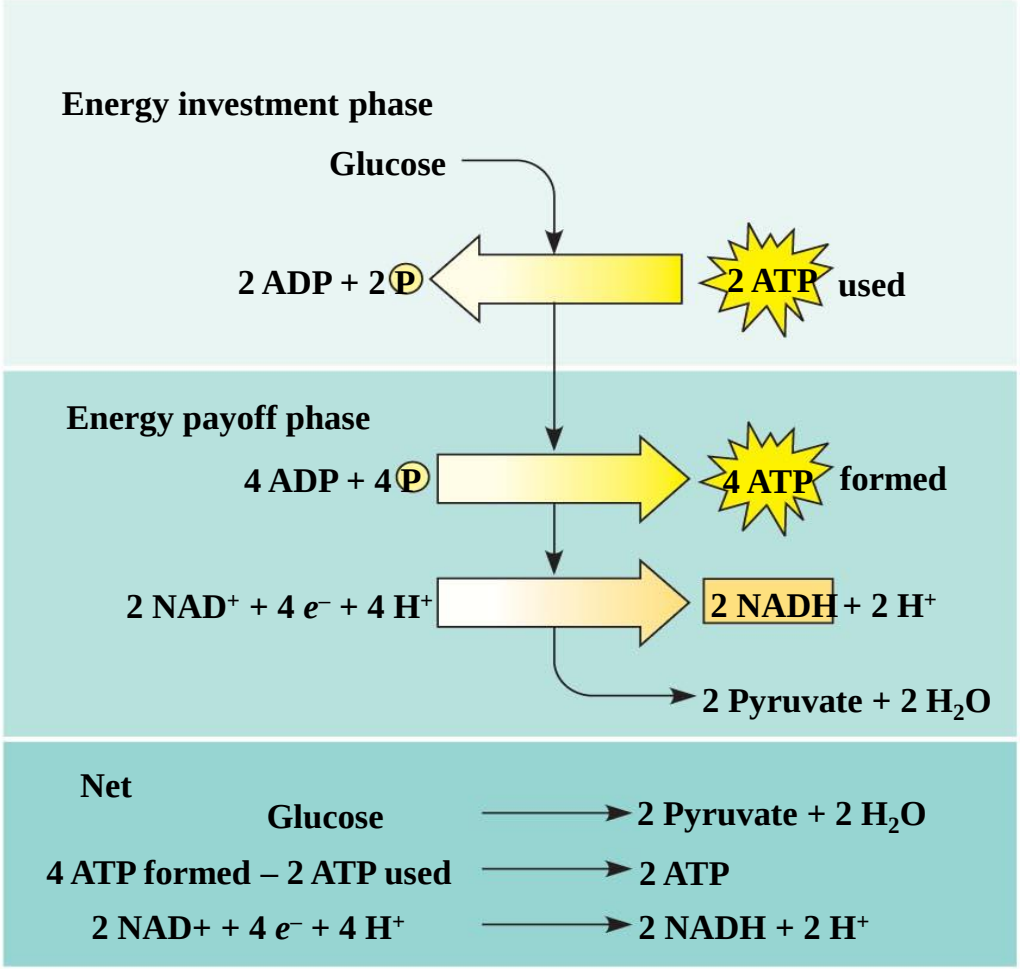
  2 moléculas de ATP.

- Por tanto, **en la glicólisis la glucosa se convierte en piruvato dentro del citoplasma, proporcionando una pequeña ganancia neta de ATP, sin que se requiera oxígeno.**



1. Glucólisis (Resumen)





Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Respiración aerobia: 2. Descarboxilación oxidativa

- El producto final de la glucólisis, el piruvato, es una molécula con un alto contenido energético, por lo que puede ser oxidada posteriormente para liberar más energía a la célula.
- La creciente concentración de oxígeno en la atmósfera primitiva, como consecuencia de la evolución, hizo posible la aparición de procesos metabólicos que llevaban a cabo oxidaciones más intensas, para lograr un rendimiento enegético más rentable en las células.
- Uno de estos procesos es el **ciclo de Krebs**, un conjunto cíclico de reacciones cuya función principal es la **oxidación de grupos acetilo hasta CO_2**.
- Para que el piruvato generado en la glucólisis pueda incorporarse al ciclo de Krebs, debe previamente sufrir una **descarboxilación oxidativa** y convertirse en un **resto acetilo**.

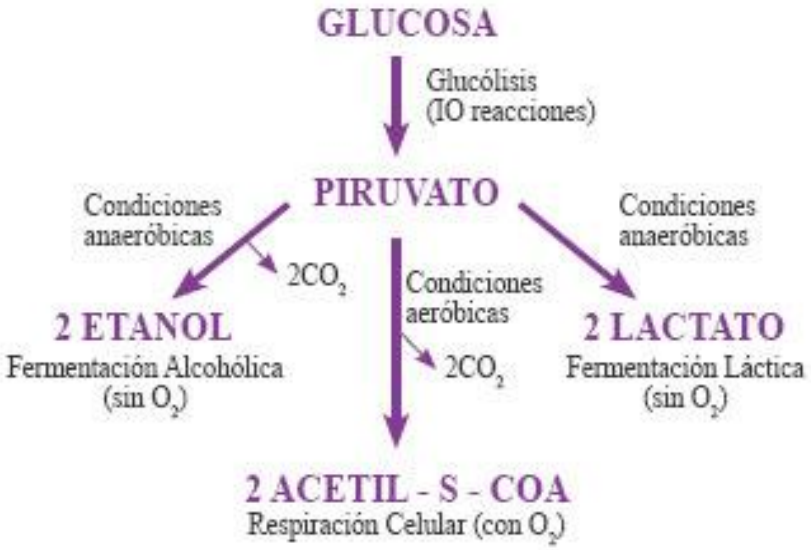


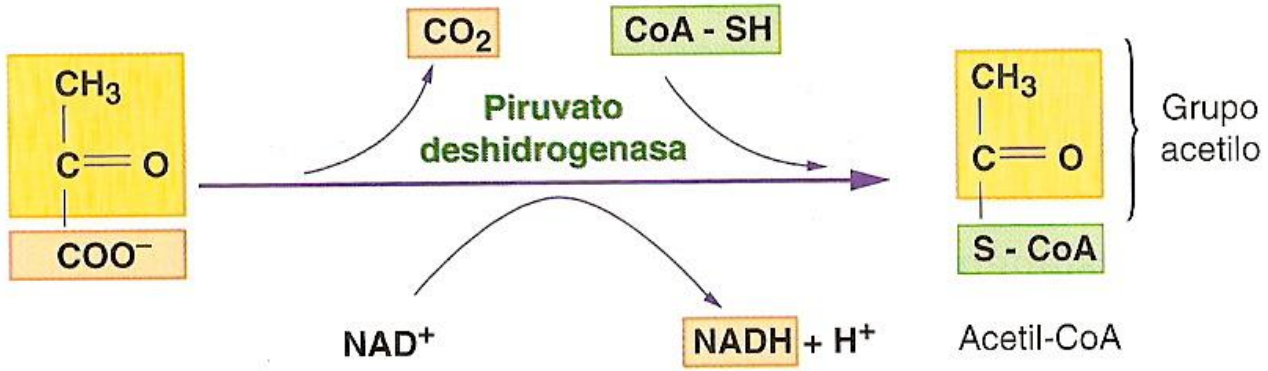
Figura 2. Rutas del piruvato: en células animales el piruvato puede pasar a lactato o a acetil CoA

Descarboxilación oxidativa del piruvato

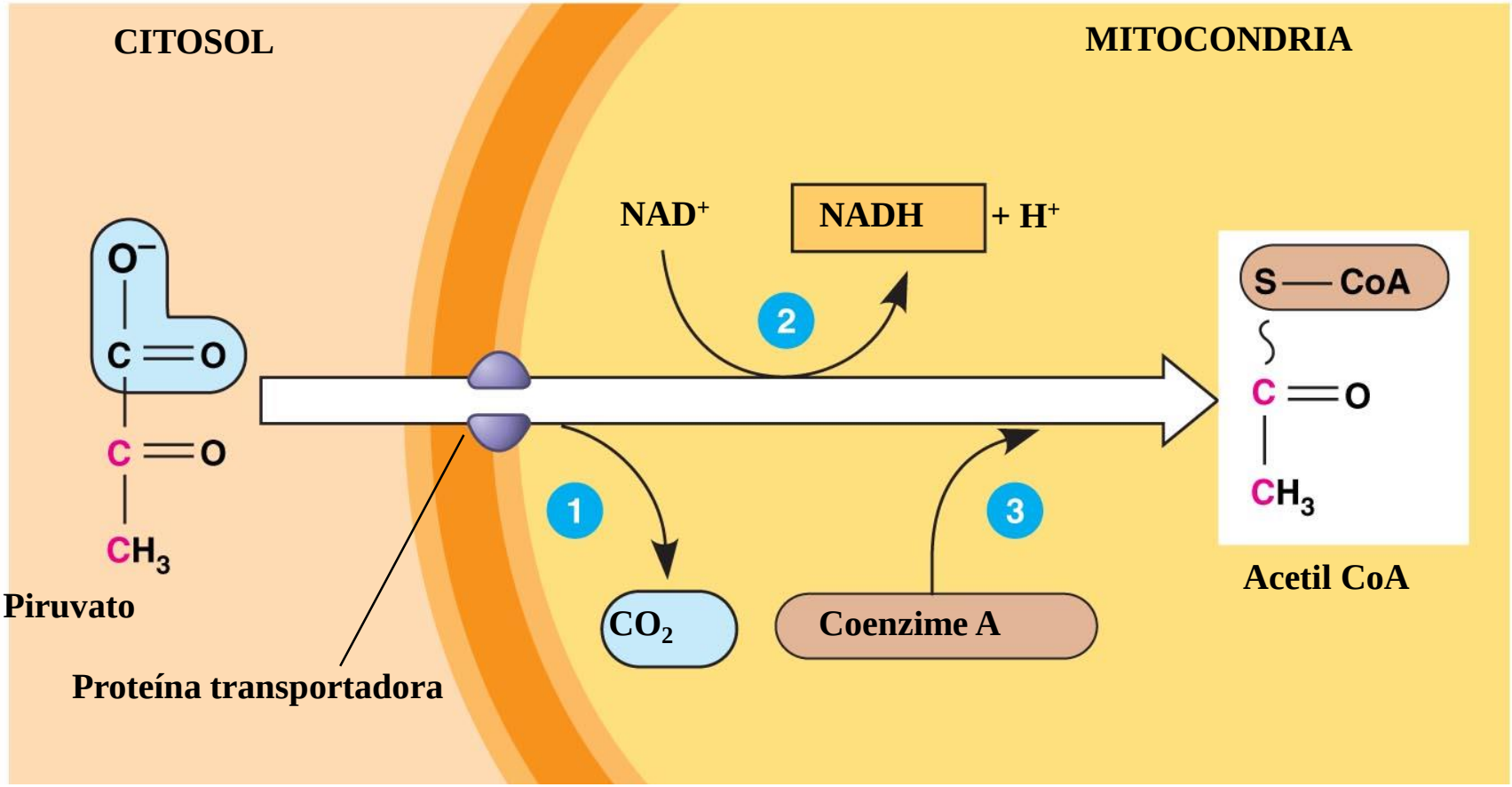
- El **piruvato (3C)** es conducido desde el citosol a la **matriz mitocondrial**, mediante transportadores específicos que le permiten atravezar las dos membranas mitocondriales.
- La descarboxilación oxidativa está mediada por la enzima **piruvato deshidrogenasa** y consta de dos etapas:

  - Pérdida del grupo carboxilo, que se transforma en CO_2.

  - Oxidación del grupo ceto a grupo acetilo. La energía liberada en esta oxidación queda atrapada en forma de enlace de alta energía entre el grupo acetilo y el coenzima A, originándose **acetil-CoA (2C)**, suministrándose también poder reductor en forma de NADH + H^+.



Descarboxilación oxidativa del piruvato



- **En la respiración celular aeróbica, el piruvato se descarboxila, se oxida y se convierte en un compuesto acetilado que se une la coenzima A para formar acetil coenzima A en la descarboxilación oxidativa.**

Respiración aerobia: 3. Ciclo de Krebs

- También conocido como **ciclo de los ácidos tricarboxílicos**, es un conjunto de reacciones que tienen lugar en la **matriz mitocondrial** y que producen la oxidación completa de grupos acetilo (CH_3CO) hasta CO_2.

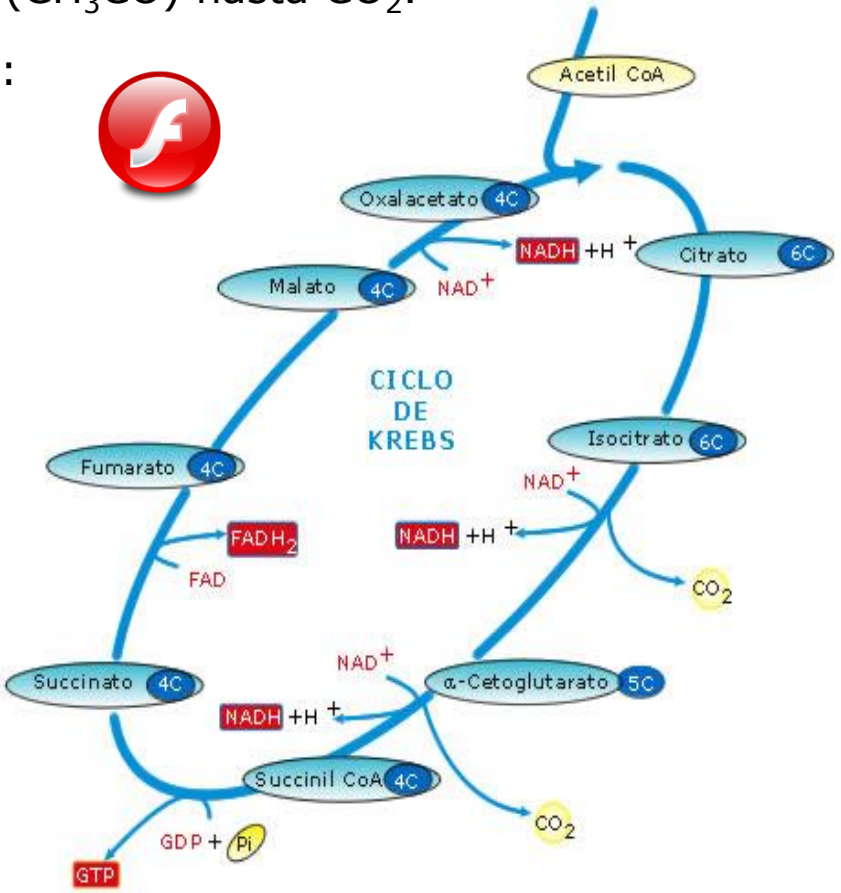
- Desempeña las siguientes **funciones**:

  - Obtención de poder reductor en forma de NADH + H^+ y $FADH_2$.

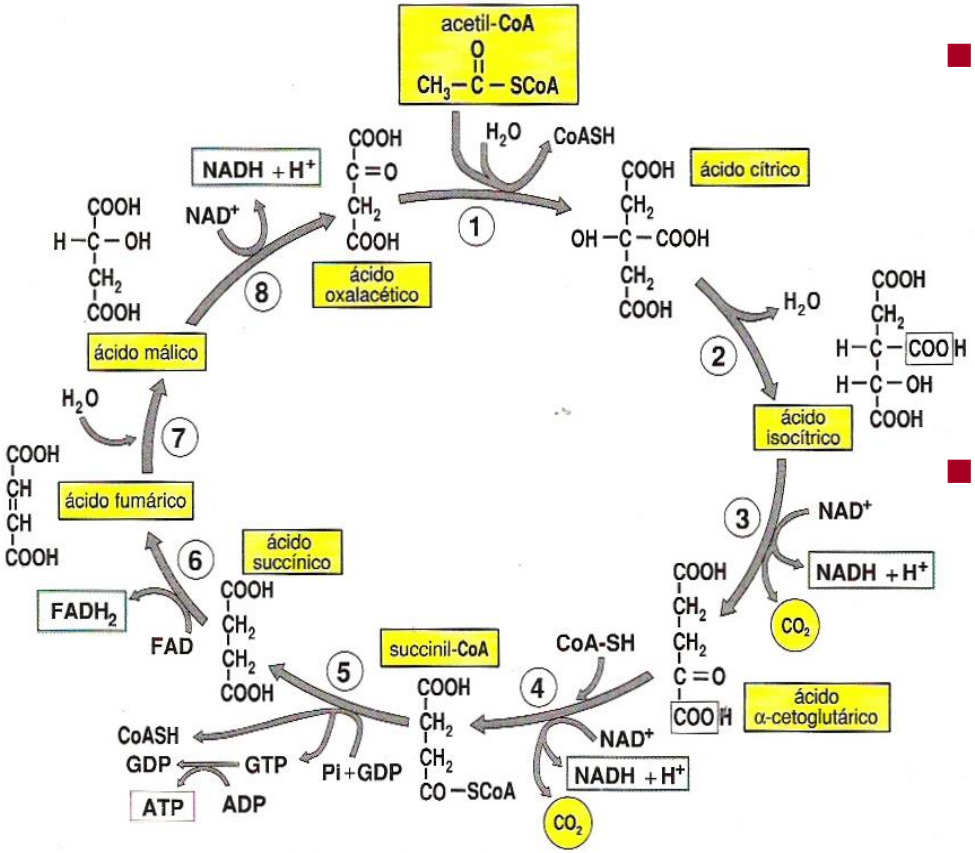
  - Obtención de energía en forma de GTP, mediante fosforilación a nivel de sustrato.

  - Obtención de precursores metabólicos.

- **En el ciclo de Krebs, la oxidación de los grupos acetilo esta acoplada a la reducción de los transportadores de iones hidrógeno, y libera dióxido de carbono.**



Respiración aerobia: 3. Ciclo de Krebs (balance)



- **Balance:** Por cada molécula de acetilo que se oxida, se obtiene:

  1 molécula de GTP (equivalente a 1 ATP).

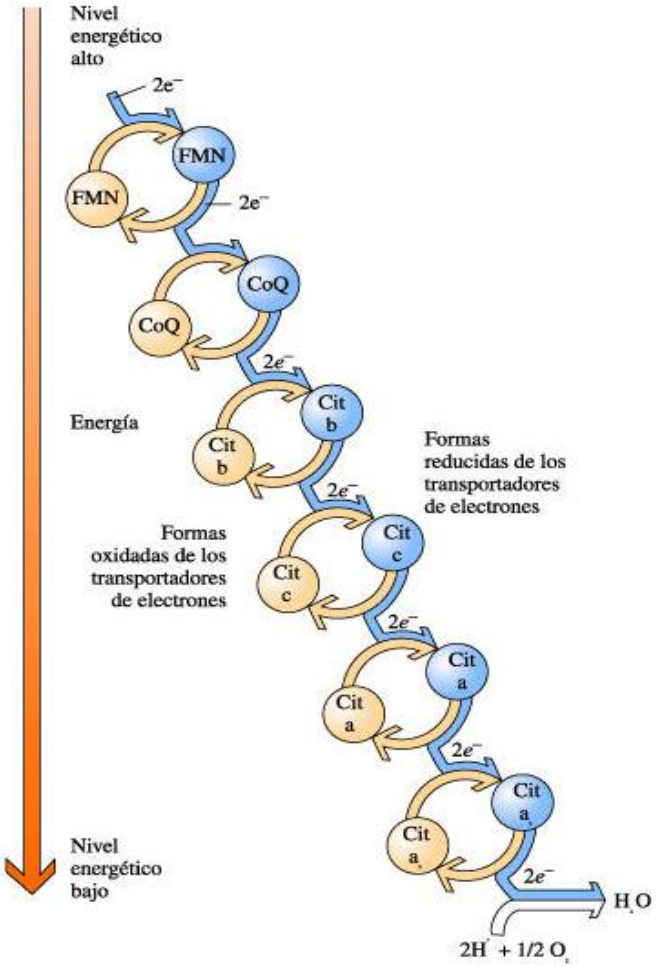
  3 moléculas de NADH + H^+.

  1 molécula de $FADH_2$.

- Como cada glucosa se oxida hasta dos pirúvicos, se obtienen dos acetilo, que le darán dos vueltas al ciclo de Krebs, por lo que hay que multiplicar por dos las cifras anteriores.

$$\textbf{Acetil-CoA}+3H_2O+3NAD^+ + FAD + ADP + Pi \rightarrow 2CO_2 + 3NADH + 3H^+ + FADH_2 + ATP + 1\textbf{CoA-SH}$$

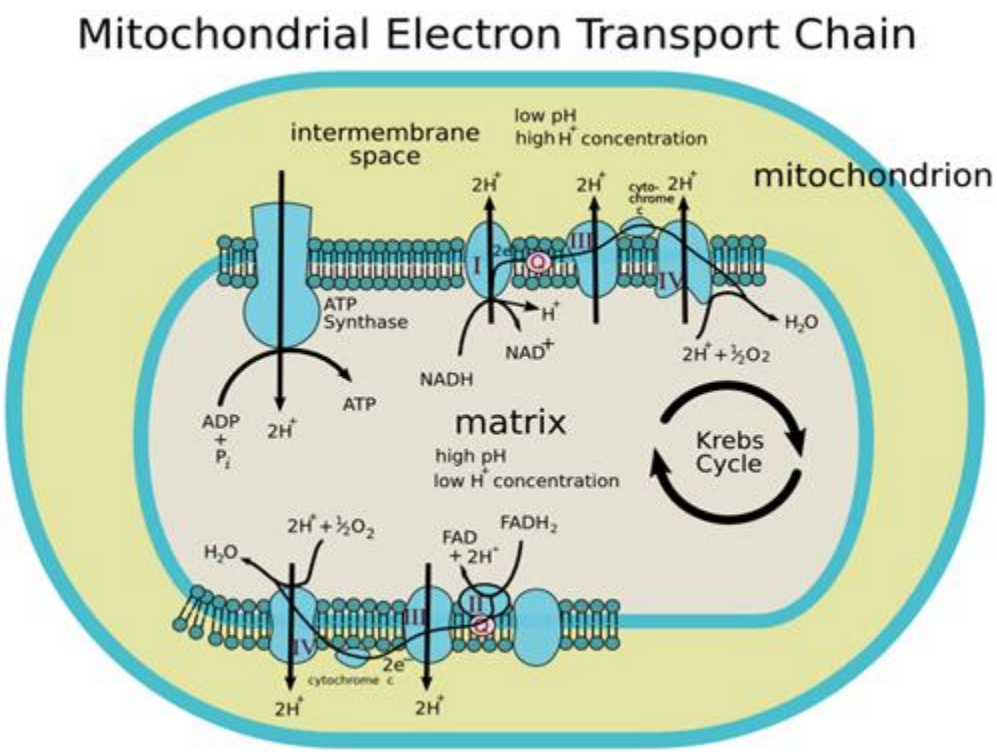
Respiración aerobia:
4. Cadena respiratoria y fosforilación oxidativa



- **La respiración celular implica la oxidación y la reducción de los transportadores de electrones.**
- **La energía liberada por las reacciones de oxidación es conducida a las crestas de las mitocondrias por el NAD y el FAD reducidos.**
- Ahora, los electrones presentes en el NADH y el FADH "descienden" a favor de un gradiente de potenciales de oxidorreducción, mediante unas moléculas **transportadoras de electrones**, hasta un compuesto **aceptor** final de electrones.
- Los electrones al caer a niveles energéticos más bajos, liberan energía, que será utilizada para fabricar ATP a partir de ADP y Pi, proceso denominado **fosforilación oxidativa** dado que el ADP es fosforilado para generar ATP usando la energía liberada por oxidación.

Respiración aerobia:
4. Cadena respiratoria y fosforilación oxidativa

- En la membrana interna (crestas) de la mitocondria se localiza un conjunto de moléculas que constituye la **cadena respiratoria de transporte de electrones**.



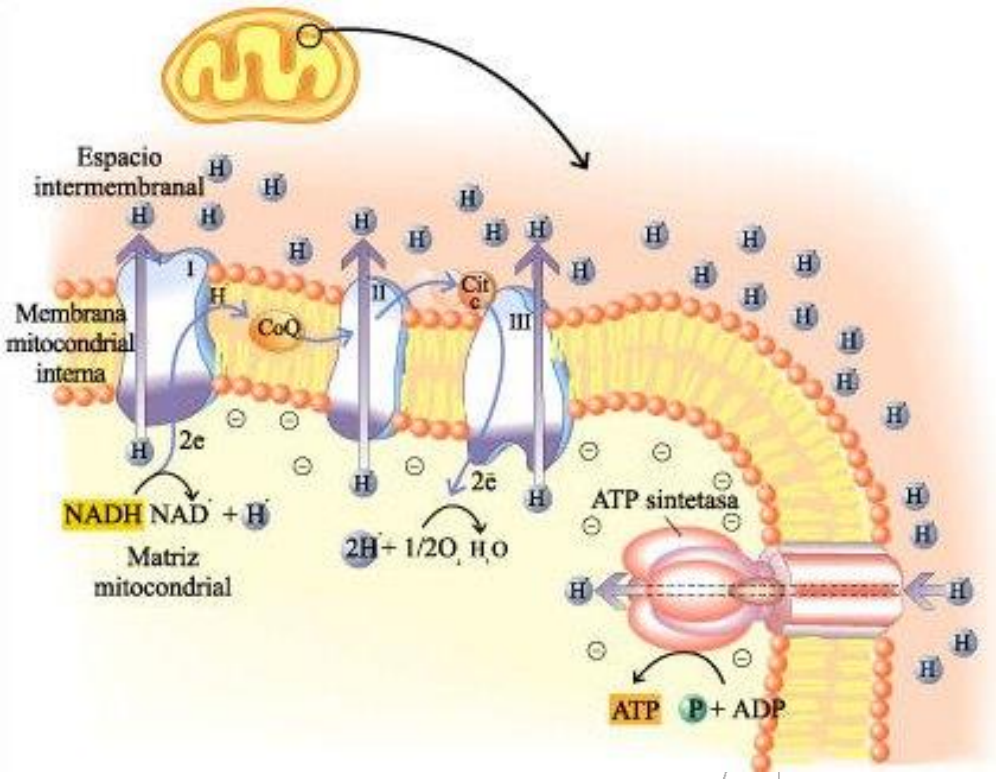
- Dichas moléculas pueden reducirse y oxidarse, y se hallan dispuestas según un gradiente de potenciales de oxidorreducción.
- La **teoría quimiosmótica de Mitchell** explica cómo se convierte la energía de dichas oxidaciones en ATP, dado que **la transferencia de electrones entre los transportadores en la cadena de transporte de electrones en la membrana de las crestas esta acoplada al bombeo de protones.**

Fosforilación oxidativa: teoría quimiosmótica

- Según Mitchell, la energía que los electrones van "perdiendo" al descender a lo largo de la cadena transportadora, se emplea para bombear protones desde la matriz a través de la membrana mitocondrial interna y acumularlos en el epacio intermembrana.

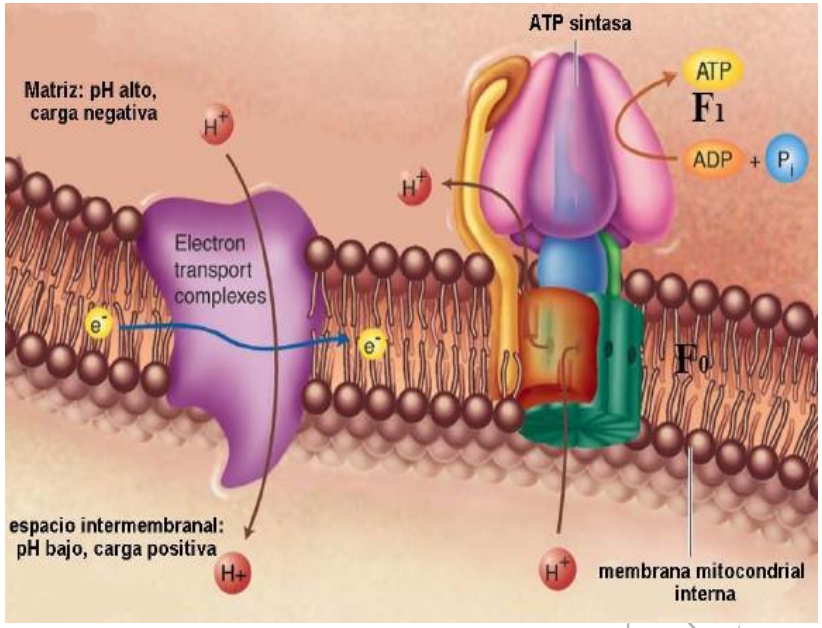
- Al ser la membrana interna impermeable a los protones, dicha acumulación de H^+ origina un **potencial electrico de membrana**, con carga negativa en la cara interna y positiva en la externa, es decir, se genera un gradiente electroquímico de protones entre la cara interna y externa.

- Esta energía constituye el motor de la fosforilación del ATP a partir de ADP y Pi (**fosforilación oxidativa**).



Fosforilación oxidativa: teoría quimiosmótica

- **En la quimiosmosis, los protones se difunden a través de una ATP sintasa para generar ATP.**
- En la membrana interna de la mitocondria se encuentran situadas las enzimas **ATP sintasas (sintetasas)**, que son proteínas transmembranas que contienen en su factor Fo un **canal de protones** a través del cual los protones pueden volver a la matriz mitocondrial.
- La entrada de protones disipa el gradiente electroquímico, como si la membrana se "descargase", y la energía almacenada se acopla a la fosforilación del ADP para formar ATP, ya que el factor F1 tiene actividad ATP sintasa mediante catálisis rotacional.

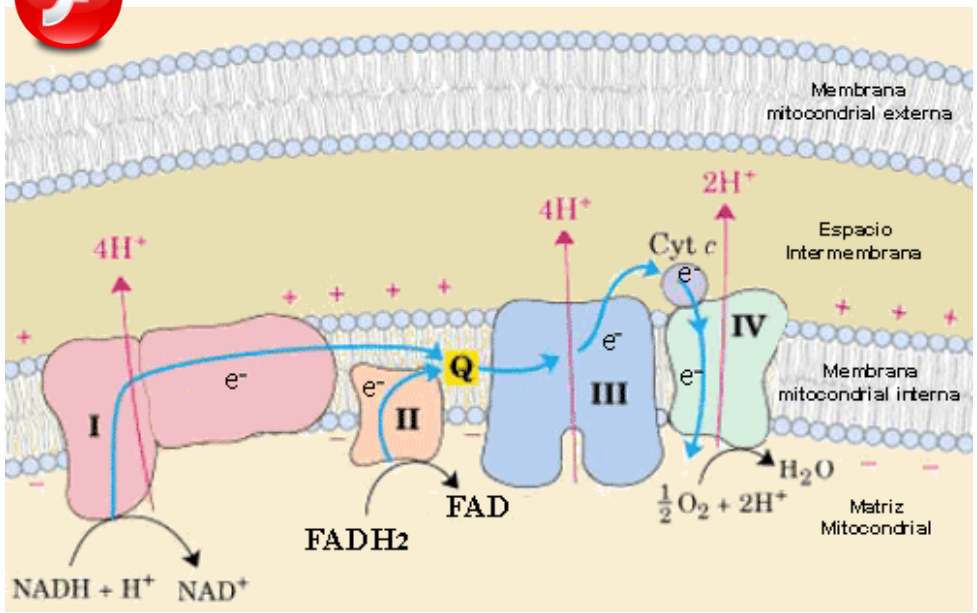


Web4

- **Resumen teoría**: La energía liberada en el transporte de e^- se emplea para bombear H^+ al espacio intermembrana en contra de gradiente electroquímico. Posteriormente, el paso de protones a la matriz mitocondrial a favor de gradiente, a través del complejo ATP sintasa, activa la síntesis de ATP.

Fosforilación oxidativa: Hipótesis quimiosmótica

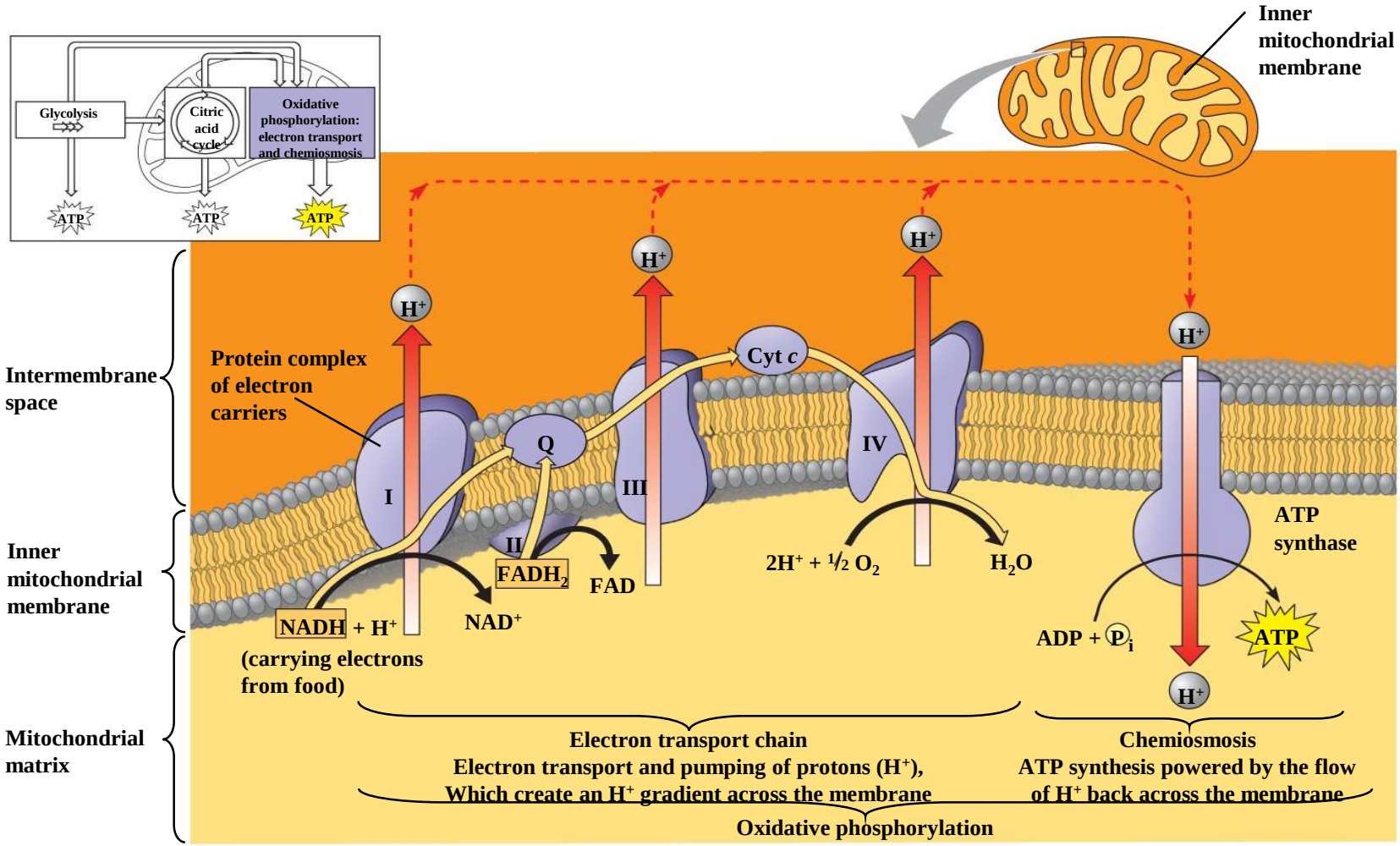
- Para que el transporte de e- tenga lugar espontáneamente, las moléculas transportadoras deben situarse según un gradiente de potenciales de oxidorreducción, de forma que al pasar de una molécula a la siguiente, los e^- desciendan a niveles energéticos inferiores.
- Entre las moléculas transportadoras que constituyen la cadena respiratoria, destacan: **complejo NADH deshidrogenasa (I),** coenzima Q, citocromo b-c_1, **citocromo oxidasa (IV)**.



- Este último complejo dona los e^- al oxígeno molecular en la matriz, que se reduce a agua. **El oxígeno es necesario para unirse a los protones libres para mantener el gradiente de hidrogeno, lo que culmina en la formación de agua**.

En las **células procariotas**, que carecen de mitocondrias, el proceso de fosforilación oxidativa transcurre en la membrana citoplasmática, en las que se encuentra las moléculas transportadoras y la ATP sintasa.

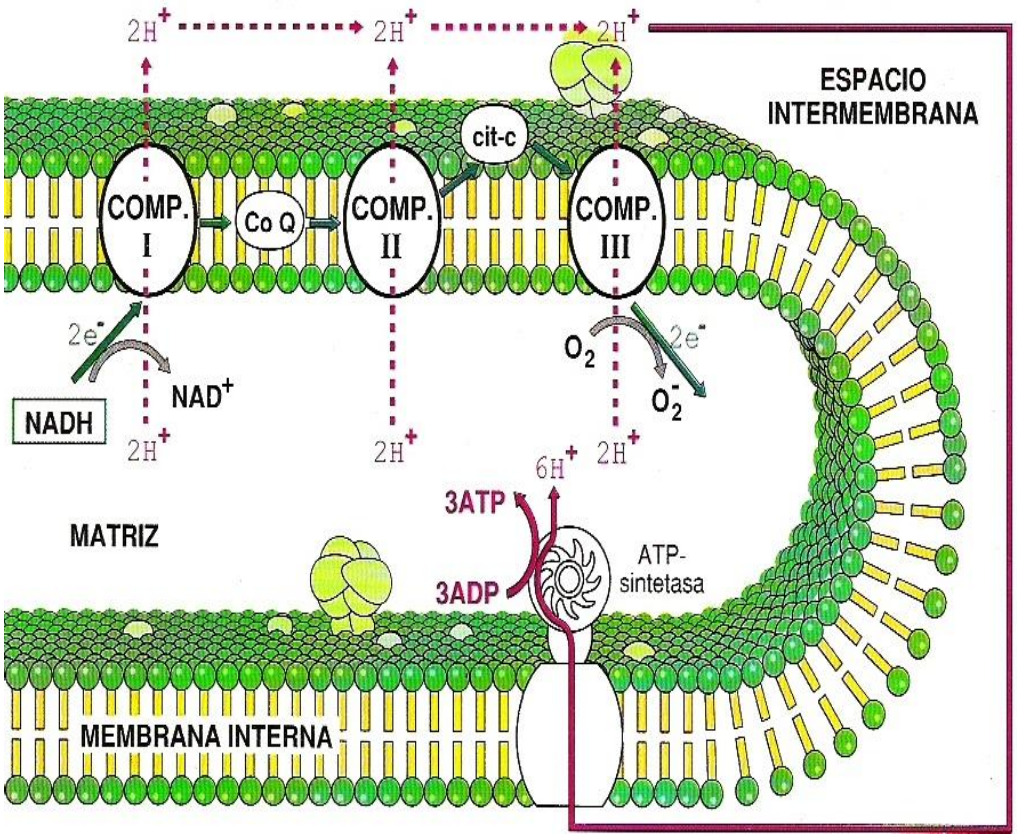
Fosforilación oxidativa: teoría quimiosmótica



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Fosforilación oxidativa: teoría quimiosmótica

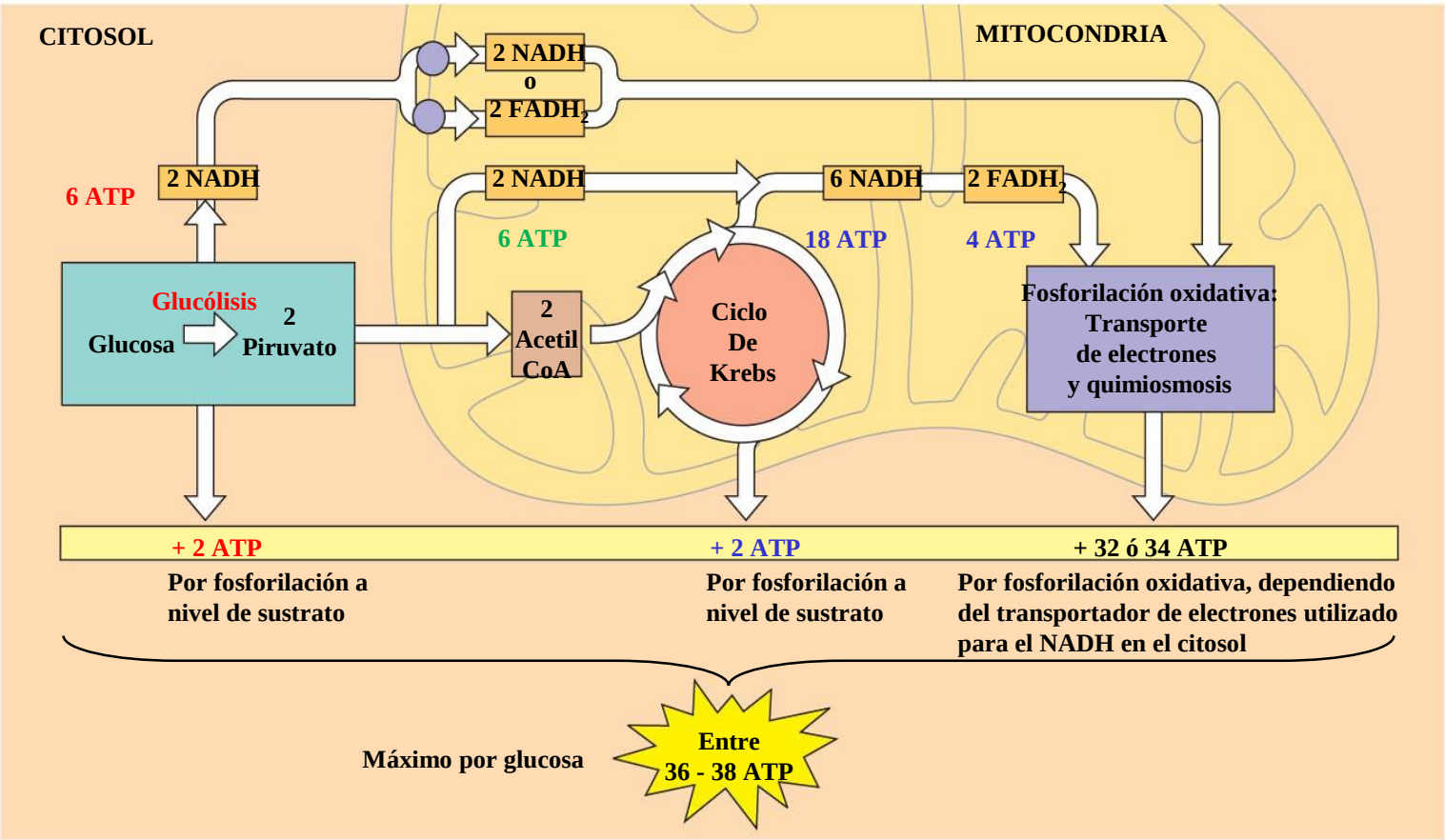
- La oxidación de cada molécula de **NADH** procedente de la matriz mitondrial produce en la cadena respiratoria **tres moléculas de ATP**, mientras que la oxidación de cada **$FADH_2$** produce **dos moléculas de ATP**.



- En este proceso se pueden formar también radicales libres, que tienen una gran reactividad y son agentes mutagénicos responsables de enfermedades degenerativas y del envejecimiento.
- Este es el precio a pagar por poseer una mayor eficiencia energética proporcionada por la respiración aerobia.

Balance energético de la respiración celular

- En la respiración celular, el 40% de la energía contenida en una molécula de glucosa es transferida a ATP .



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Balance energético de la respiración celular

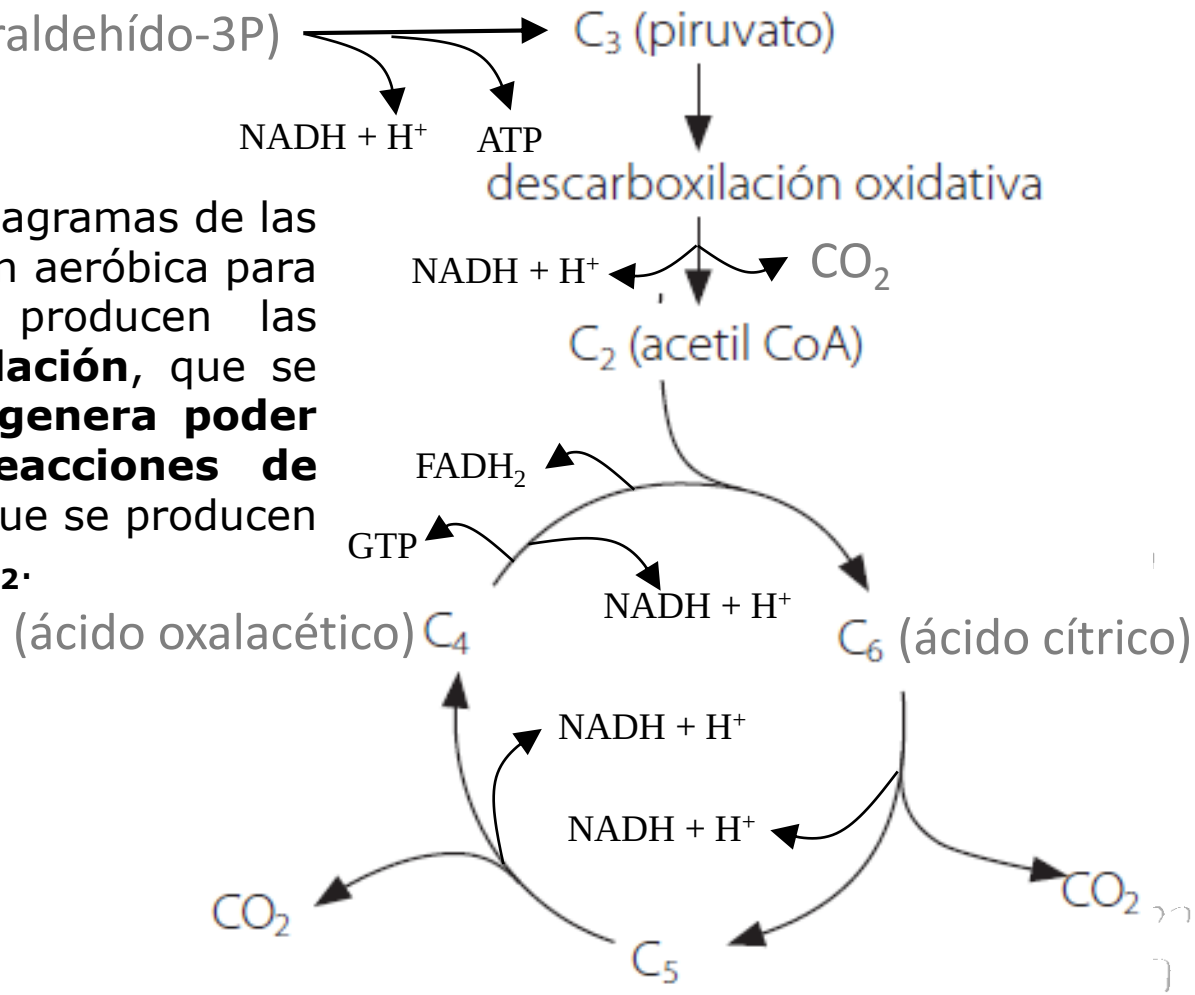
Resumen del rendimiento energético máximo obtenido por la oxidación completa de la glucosa

Proceso		Producción de moléculas en: Citosol	Matriz mitocondrial	Transporte electrónico	
Glucólisis		2 ATP			2 ATP
		2 NADH		6 ATP	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)	18 ATP
			2 x (1 FADH2)	2 x (2 ATP)	4 ATP
				Total:	38 ATP

* En algunas células, el costo energético de transportar electrones desde el NADH formado en la glucólisis, a través de la membrana interna del mitocondrio, baja la producción neta de estos 2 NADH a 4 ATP; así, la producción máxima total en estas células es 36 ATP.

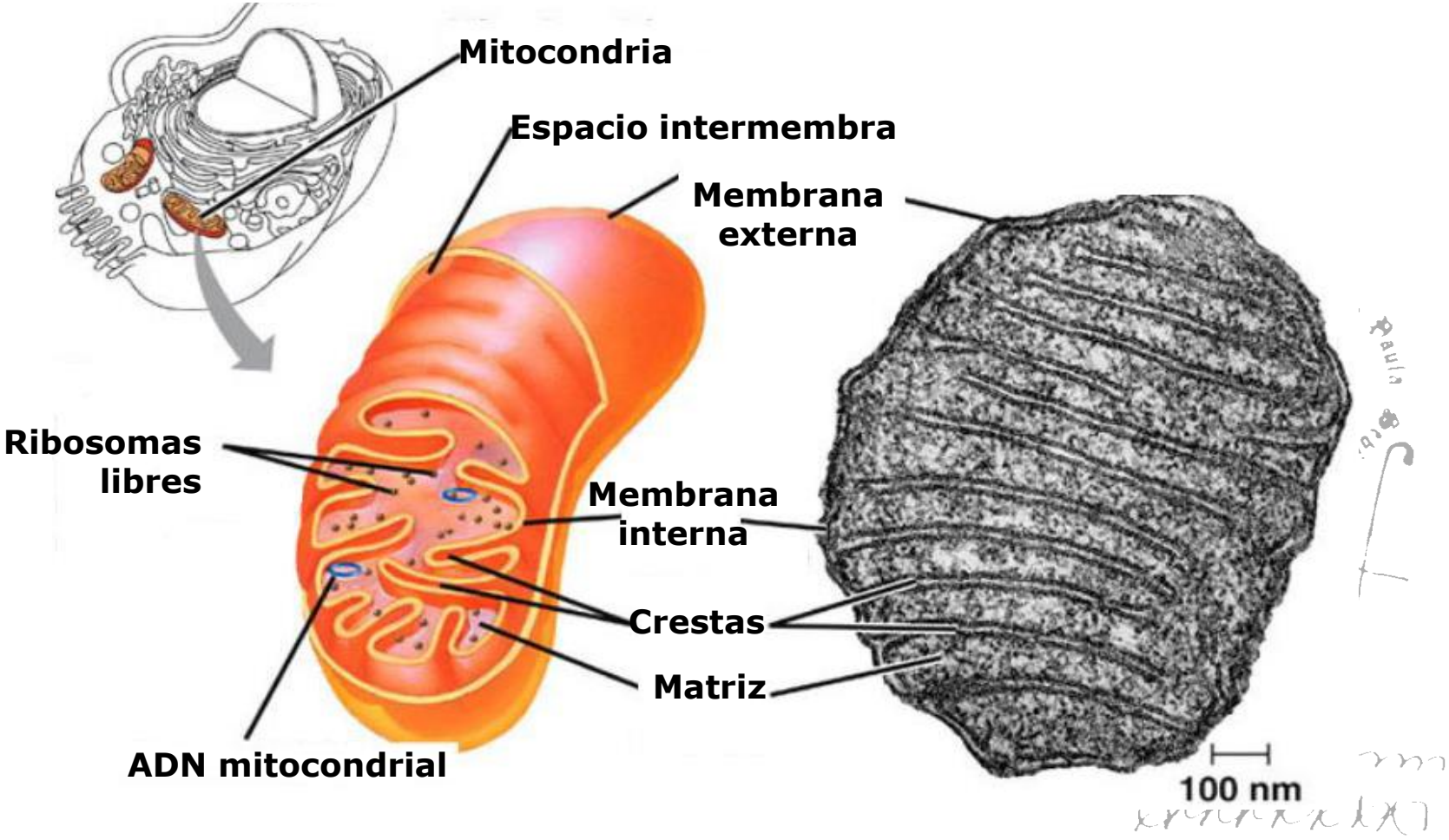
HABILIDAD: Análisis de diagramas para deducir descarboxilaciones y oxidaciones

- Se pueden analizar diagramas de las rutas de la respiración aeróbica para deducir dónde se producen las **reacciones de oxidación**, que se producen donde **se genera poder reductor**, y las **reacciones de descarboxilación**, que se producen donde **se genera CO_2**.

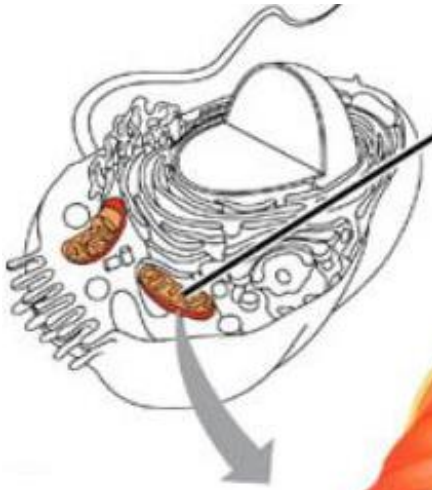


Relación estructura-función mitocondrial

- ¿Por qué tienen las mitocondrias esta morfología? **La estructura de la mitocondria está adaptada a la función que desempeña.**



Relación estructura-función mitocondrial



Mitocondria Muchas en células activas

Espacio intermembra Pequeño volumen, por lo que es fácil generar el gradiente de H^+

Membrana externa

Soportan más proteínas transportadoras y ATP sintasa

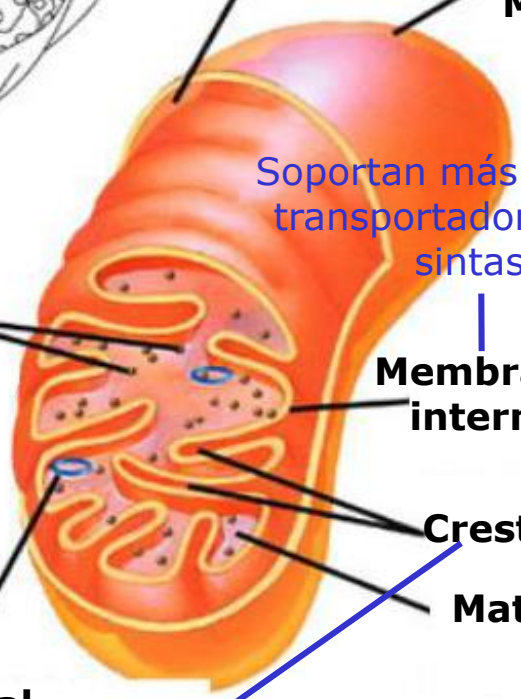
Ribosomas libres

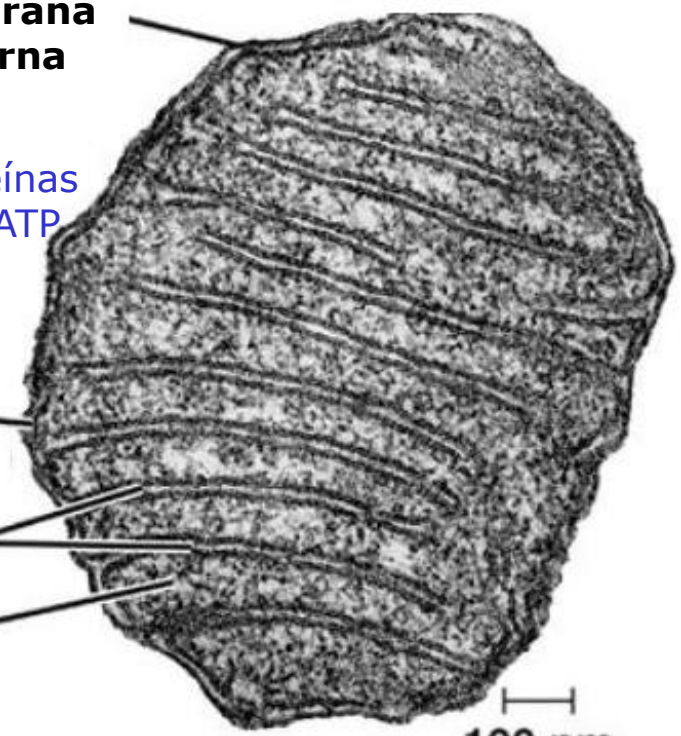
Membrana interna

Crestas

Matriz

ADN mitocondrial





Aumentan la superficie para que más reacciones tengan lugar (transporte de e- y fosforilación oxidativa para producir ATP)

Fermentación

- En condiciones **aerobias** el pirúvico producido en la glucolisis penetra rápidamente en la mitocondria, donde continúa su oxidación.
- Sin embargo, en condiciones **anaerobias** el pirúvico permanece en el citosol, siendo transformado en etanol, en ácido láctico o en otros productos, que serán excretados posteriormente, lo que es útil, ya que proporciona energía rápidamente (aunque poca) cuando el oxígeno escasea.
- Estas reacciones anaerobias se denominan **fermentaciones**, siendo las principales la láctica y la alcohólica.

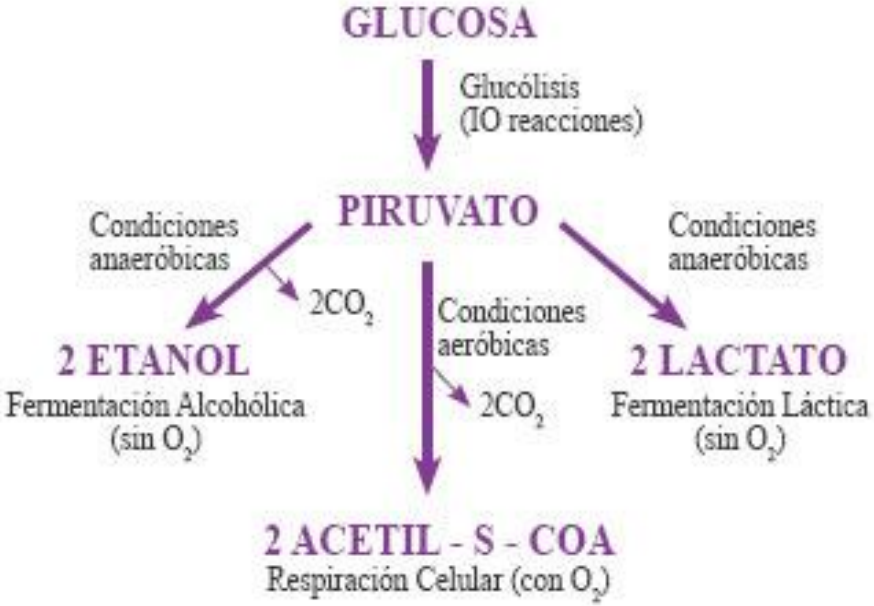


Figura 2. Rutas del piruvato: en células animales el piruvato puede pasar a lactato o a acetil CoA

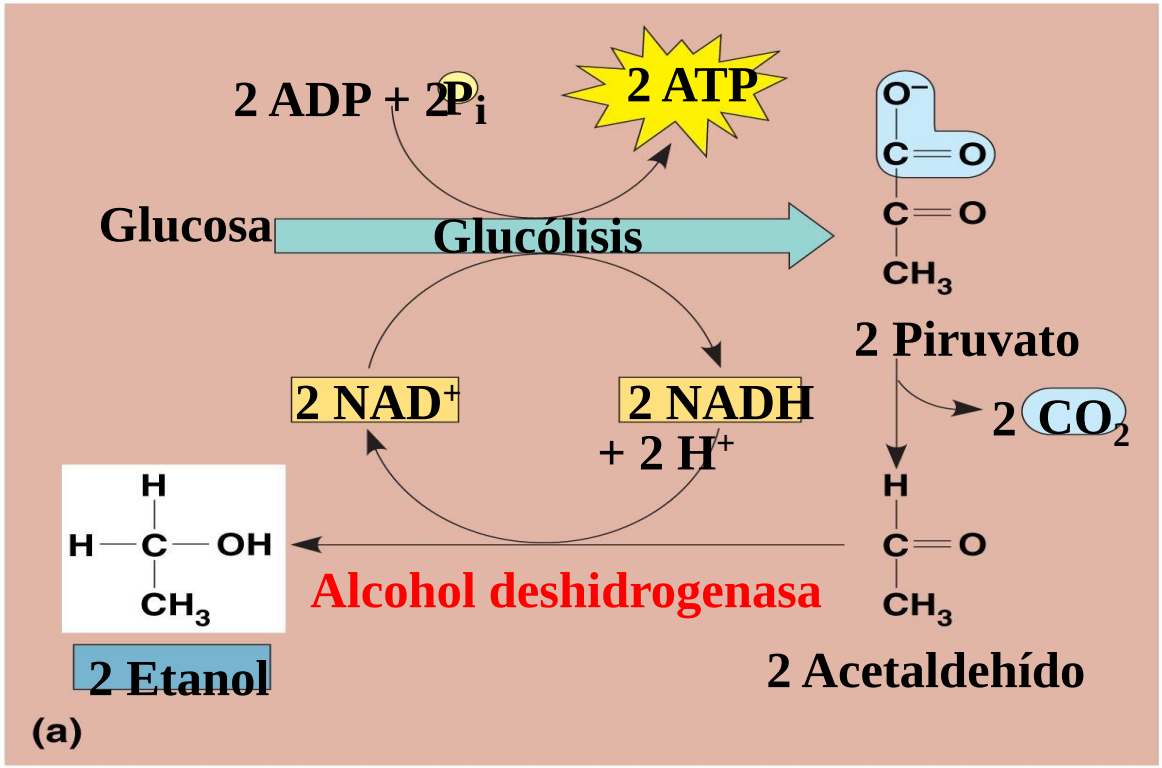
Fermentación alcohólica

- Consiste en la transformación anaerobia de la glucosa en **etanol y CO_2**.
- La glucosa se transforma en dos moléculas de pirúvico (glucólisis), el cual se descarboxila (se libera CO_2) y pasa a acetaldehído, que a continuación es reducido a etanol con el NADH.
- La realizan algunas levaduras, como *Saccharomyces*.
- **Balance:** Por cada molécula de glucosa se obtiene:

  2 moléculas ATP.

  2 moléculas CO_2.

  2 moléculas etanol.

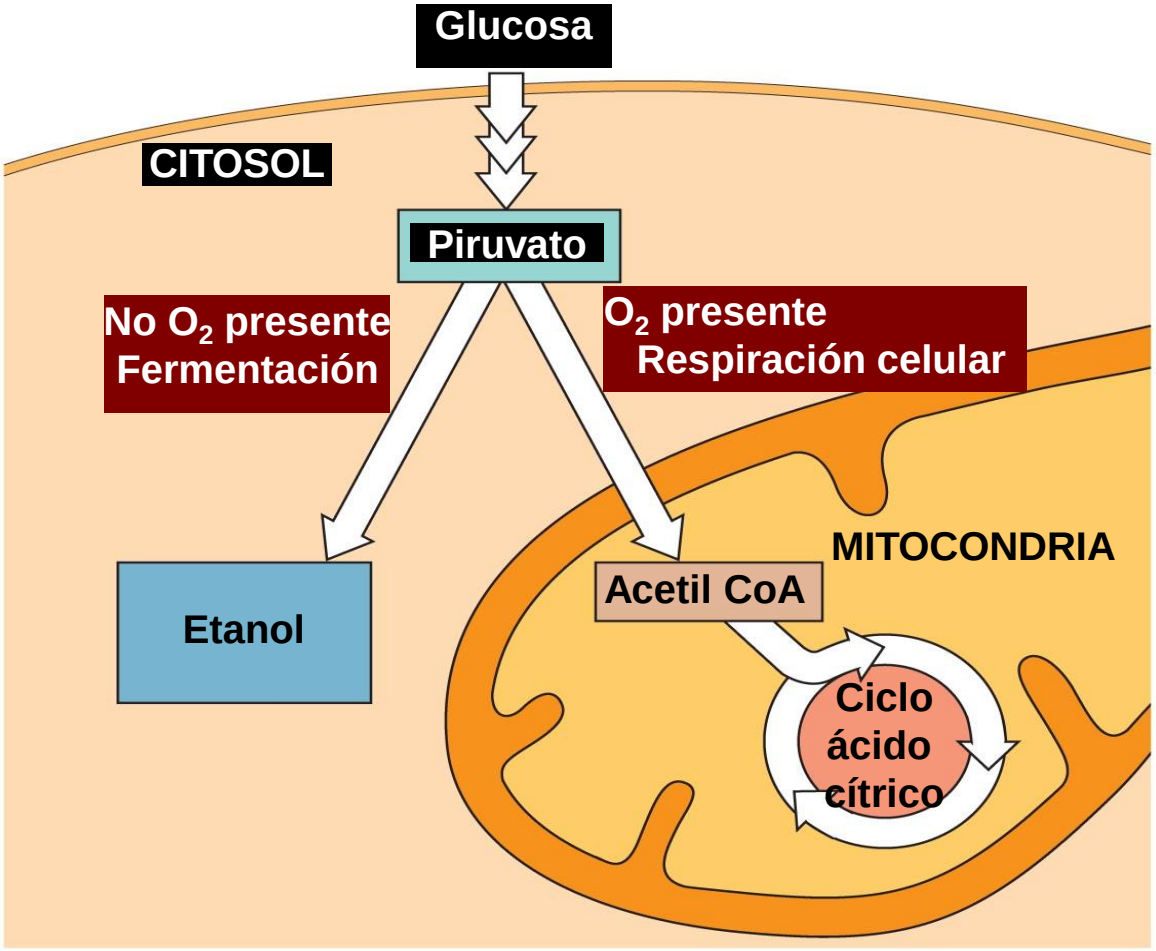


Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

Fermentación alcohólica

- La levadura realiza una ruta u otra en función de la disponibilidad de oxígeno.

- La función de la producción de etanol es oxidar el NADH + H^+ para regenerar el NAD^+ necesario para la glucólisis, y por tanto para que continúe la producción de ATP.



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

APLICACIÓN: Uso de la respiración anaerobia de levaduras en panadería y repostería*

- La levadura *Saccharomyces cerevisiae* utiliza como materia prima la harina de cereales (generalmente de trigo), sal y agua.

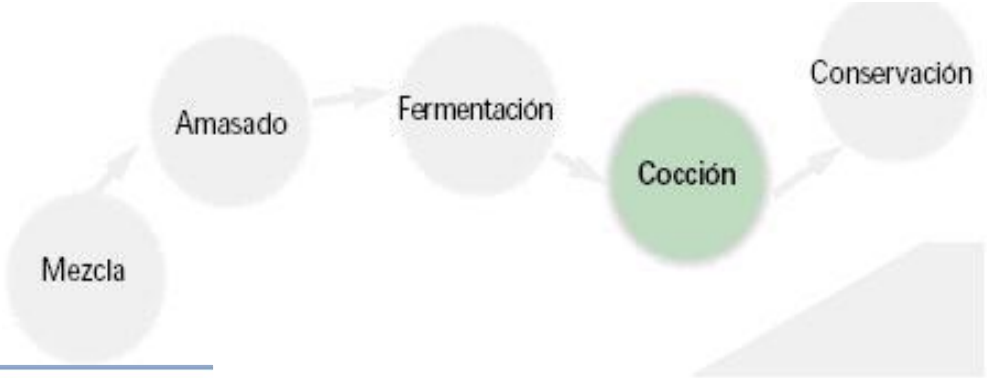
- La **descripción del proceso** es la siguiente:

1. Mezcla y amasado. En presencia de agua, las amilasas contenidas en la harina hidrolizan el almidón y producen glucosa libre.

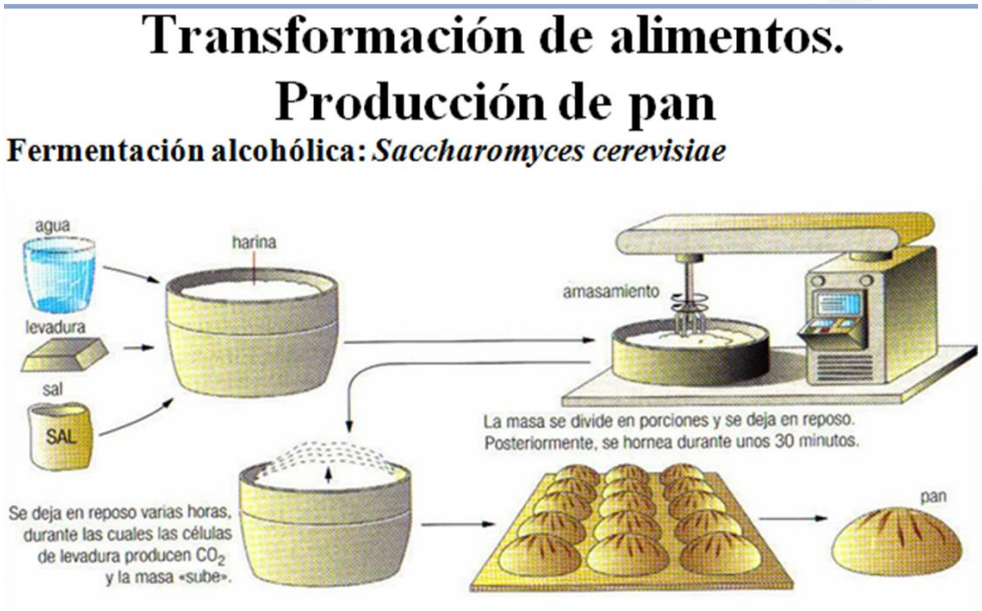
2. Adición de la levadura a la mezcla rica en glucosa. Se añade la levadura y se mantiene durante unas horas para que la masa del pan «suba». Este proceso se debe al dióxido de carbono liberado que, al quedar atrapado en el interior de la masa, esponja el pan, incrementando su volumen.

APLICACIÓN: Uso de la respiración anaerobia de levaduras en panadería y repostería*

3. Cocción. El pan se trocea, se da forma y se hornea. La cocción elimina agua, evapora el alcohol producido en la fermentación y destruye las levaduras.



Video2



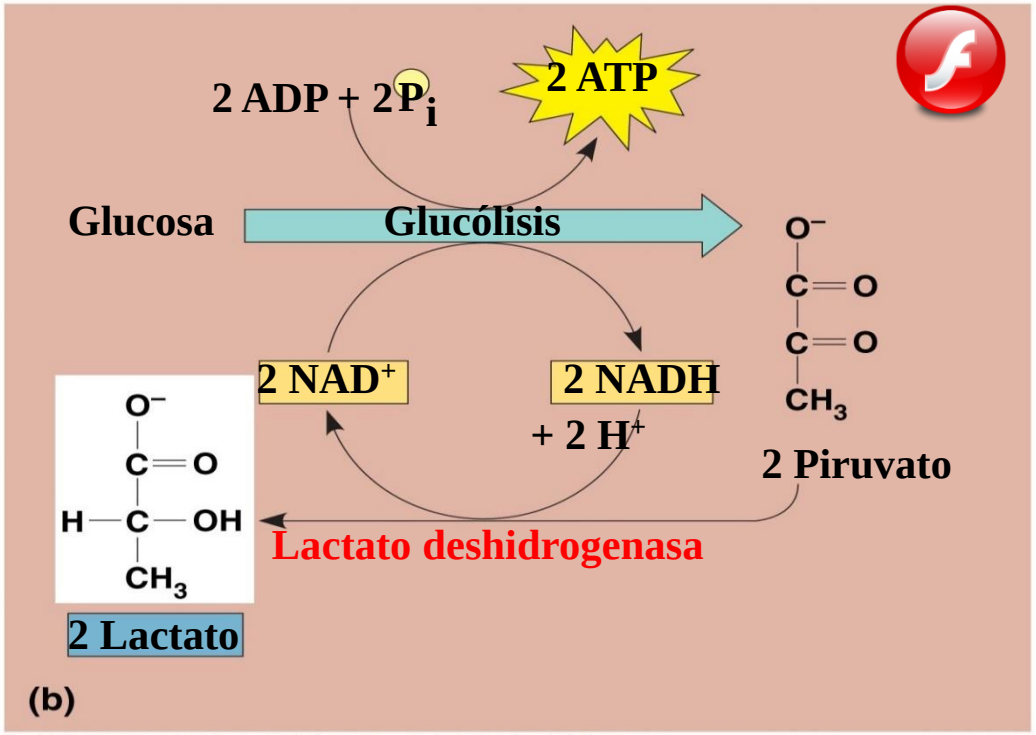
- **Resumiendo**:
  - La levadura fermenta los azúcares de la masa del pan.
  - El CO_2 hace que el pan aumente de volumen.
  - La cocción en el horno mata las levaduras, para la fermentación y evapora el etanol.

Fermentación láctica

- Consiste en la transformación anaerobia de la glucosa en **ácido láctico**.
- La lactosa de la leche se hidroliza en glucosa y galactosa, la cual se convierte a su vez en glucosa.
- La glucosa se transforma en dos moléculas de pirúvico (glucólisis), es reducido a ácido láctico con el NADH.
- La realizan algunas bacterias, como las del género *Lactobacillus*, para obtener la energía de la leche.
- También se produce en el músculo estriado cuando no hay un aporte adecuado de energía.
- **Balance:** Por cada molécula de glucosa se obtiene:

  2 moléculas ATP.

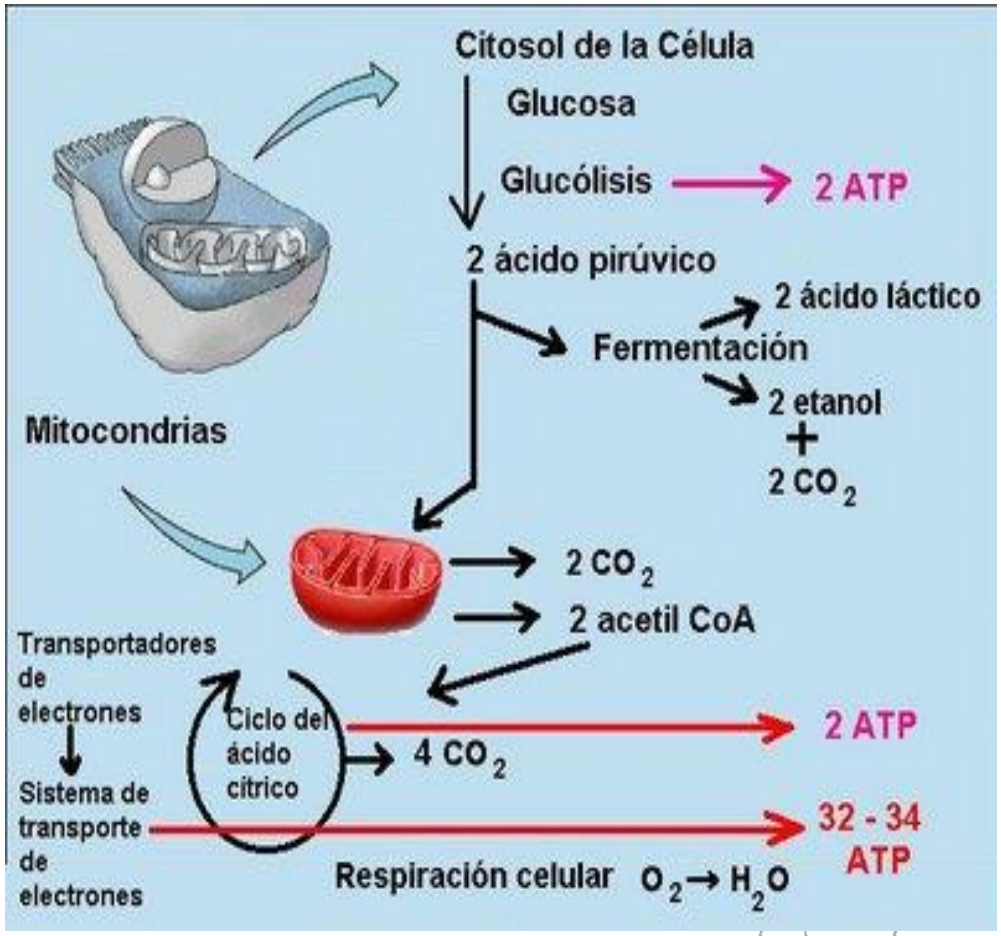
  2 moléculas ácido láctico.



Copyright © 2005 Pearson Education, Inc. Publishing as Pearson Benjamin Cummings. All rights reserved.

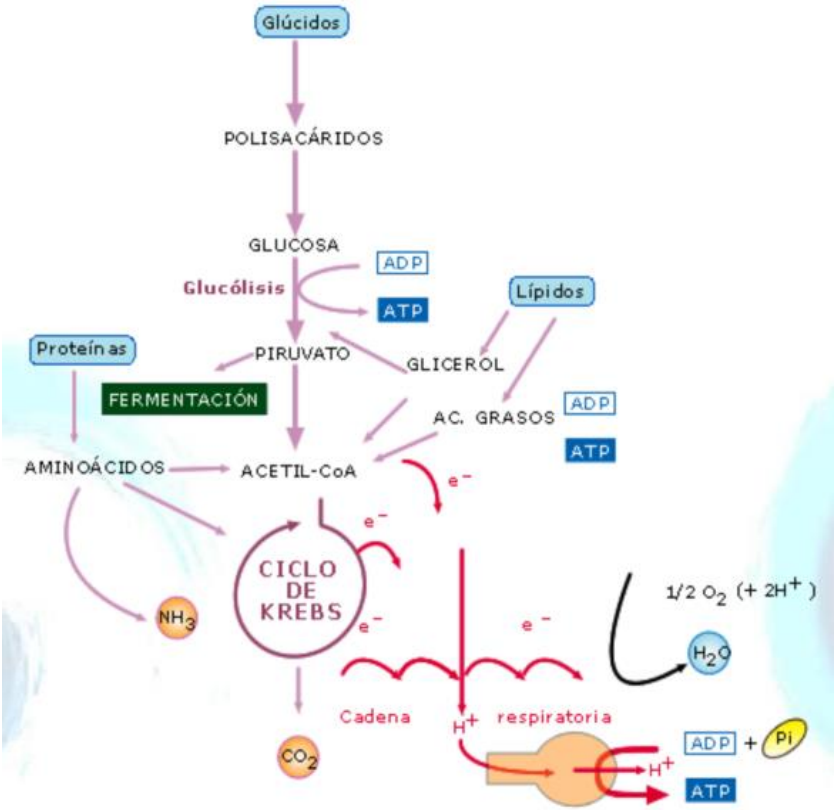
Fermentación vs Respiración

- Ambos procesos comienzan con la oxidación de la glucosa hasta piruvato (glucólisis).
- Tienen diferentes aceptores finales de electrones: oxígeno molecular la respiración celular y moléculas orgánicas, como el piruvato, la fermetación.
- **La respiración celular anaeróbica (fermentación) proporciona un pequeño rendimiento de ATP a partir de glucosa, mientras que la respiración celular aeróbica requiere oxígeno y proporciona un gran rendimiento de ATP a partir de glucosa.**



Catabolismo de los lípidos

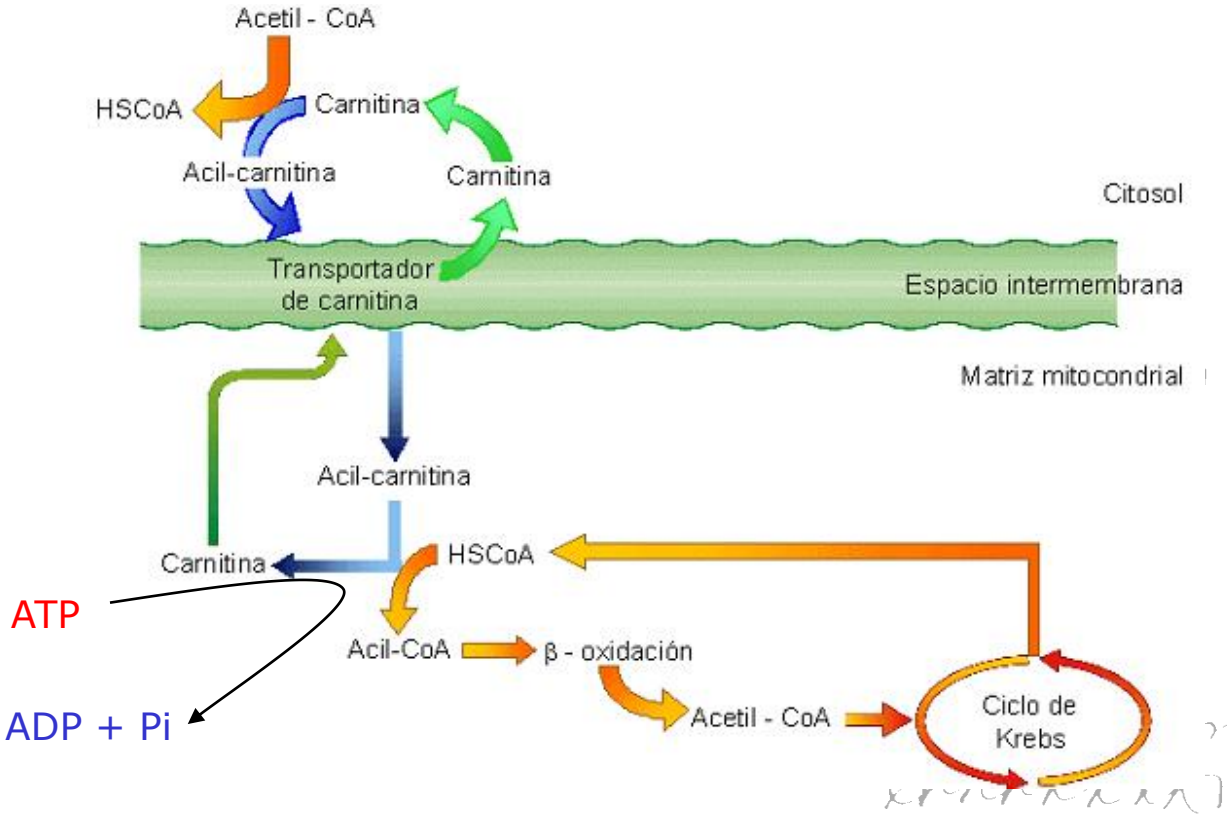
- Las grasas (mezclas de acilglicéridos y ácidos grasos) son una gran reserva de energía para la célula.
- Las células utilizan preferentemente en su metabolismo las grasas saponificables.



- Las enzimas **lipasas** rompen el enlace éster de los acilglicéridos, generando glicerina (glicerol) y ácidos grasos.
- La <u>glicerina</u> se transforma en **gliceraldehido-3-fosfato**, incorporándose a la ruta de la glucólisis hasta su oxidación total en la mitocondria.
- Los <u>ácidos grasos</u> presentan una vía catabólica más compleja llamada **beta-oxidación** que se desarrolla en la matriz mitocondrial y perosisomas (sólo peroxisomas en vegetales).

Catabolismo de los lípidos: Beta-oxidación

- Los ácidos grasos en el citoplasma son transportados al interior de la mitocondria mediante la molécula **carnitina**.
- Una vez en la matriz mitocondrial, el ácido graso debe primero activarse, con gasto de 1 ATP, mediante la unión de una molécula de Coenzima A (HS-CoA), formando **acil-CoA**, que es la que se somete a la oxidación en la matriz.

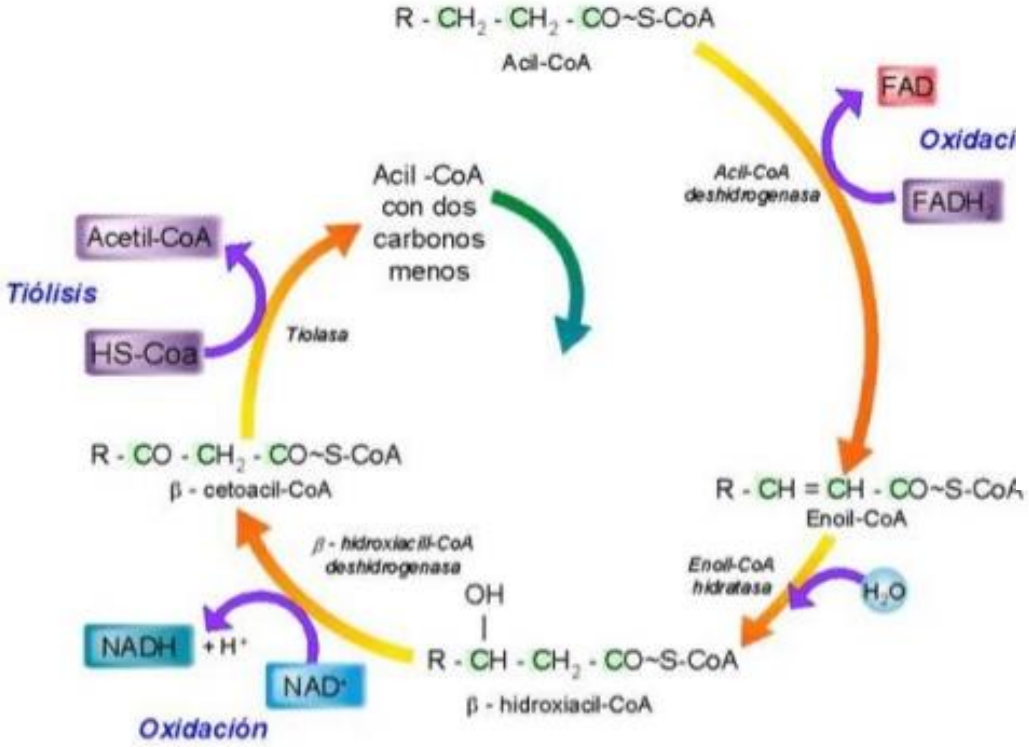


Catabolismo de los lípidos: Beta-oxidación

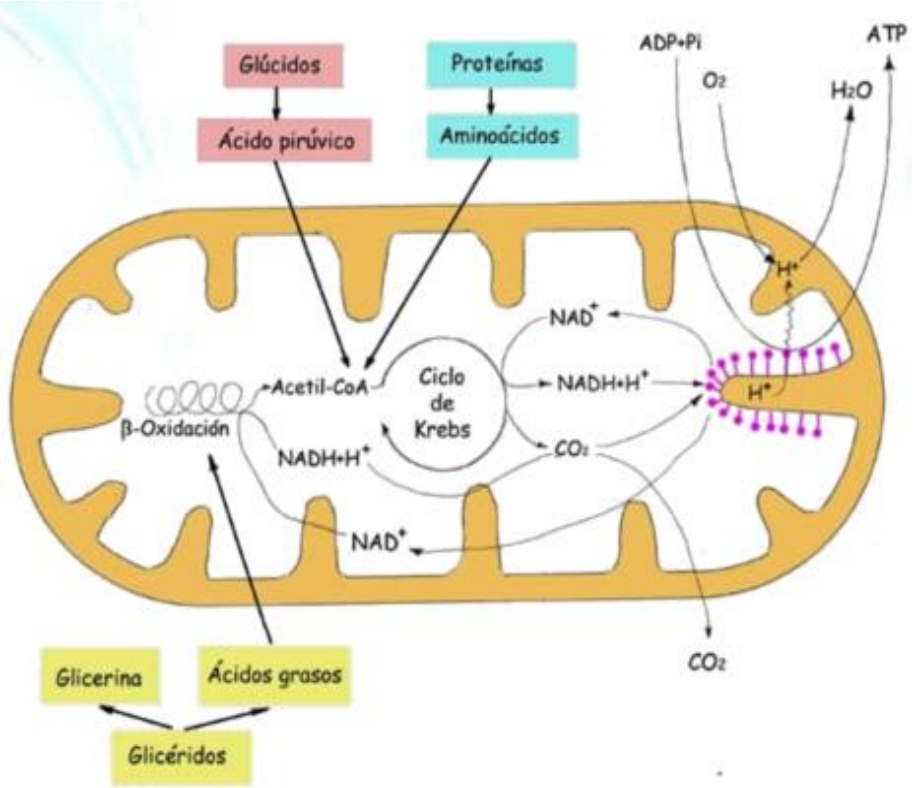
- En la beta-oxidación, **los ácidos grasos se degradan hasta moléculas de acetil-CoA** (dos carbonos) que son oxidadas posteriormente en el ciclo de Krebs (cada vuelta produce 12 ATP).

- **En cada beta-oxidación**, se separan dos átomos de carbono en forma de acetil-CoA y se producen 1 NADH y 1 $FADH_2$, es decir 5 ATP.

- Si hay número impar de carbonos, el que queda es liberado en una molécula de CO_2.



Catabolismo de los lípidos: Beta-oxidación



- Ejemplo: **Balance energético final** de la oxidación total del ácido palmítico (16C):

  - Activación **- 1ATP**

  - 7 beta-oxidaciones (5 ATP cada una) = **35 ATP**.

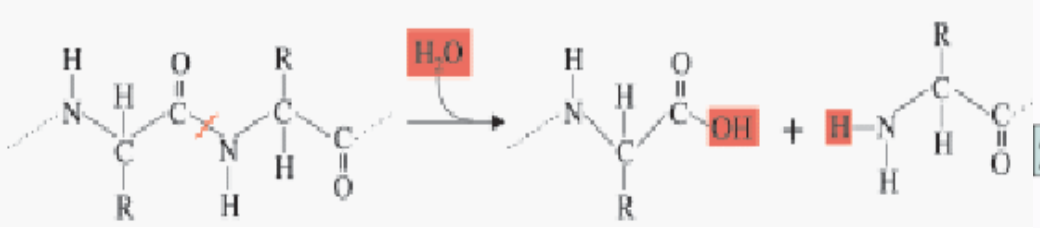
  - 8 acetil-CoA entran en el ciclo de Krebs (12 ATP en cada una) = **96 ATP**.

  TOTAL: 130 ATP

Catabolismo de las proteínas

- El catabolismo de las proteínas tiene como finalidad la renovación molecular, más que la obtención de energía, que se obtiene degradando glúcidos y lípidos. Sólo se recurre a ellas en situaciones de ayuno prolongado.

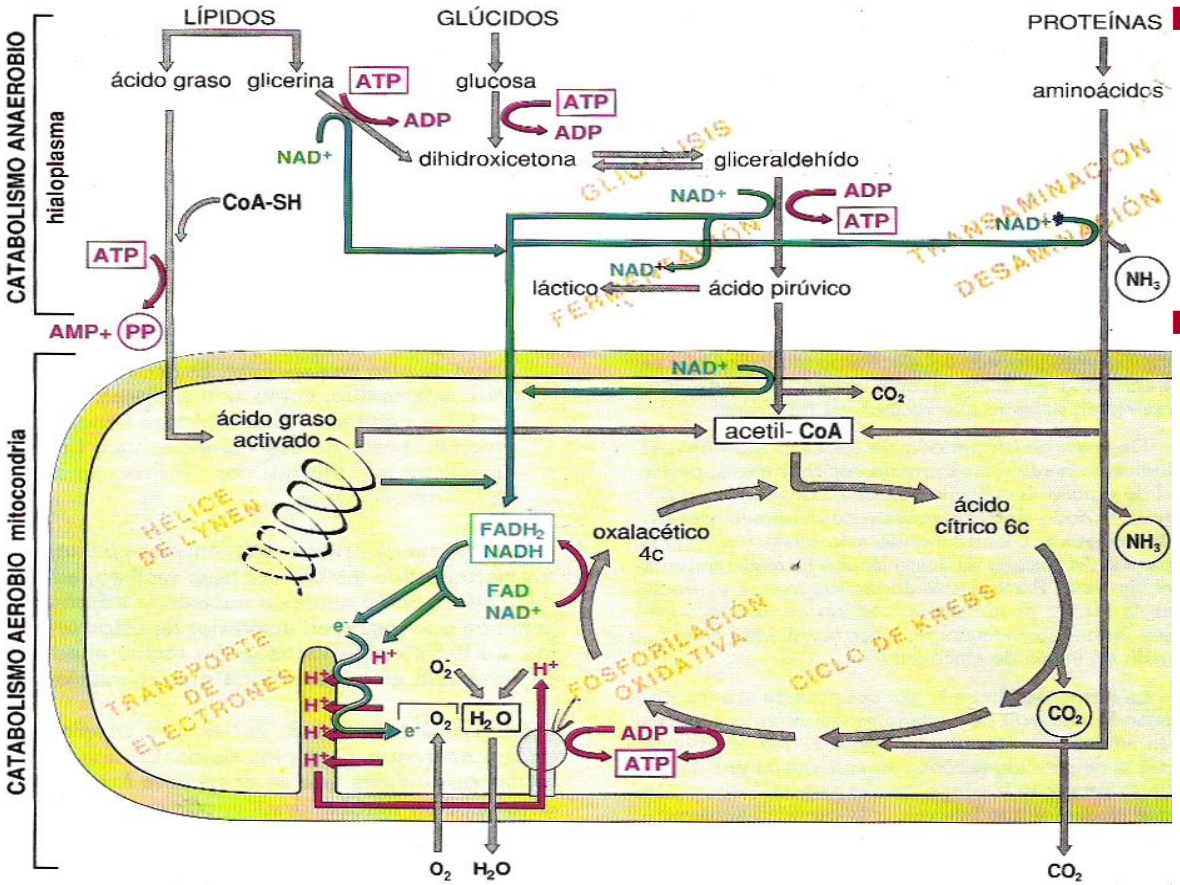
- Las **proteasas** rompen los enlaces peptídicos y convierten a la proteína en sus aminoácidos constituyentes.

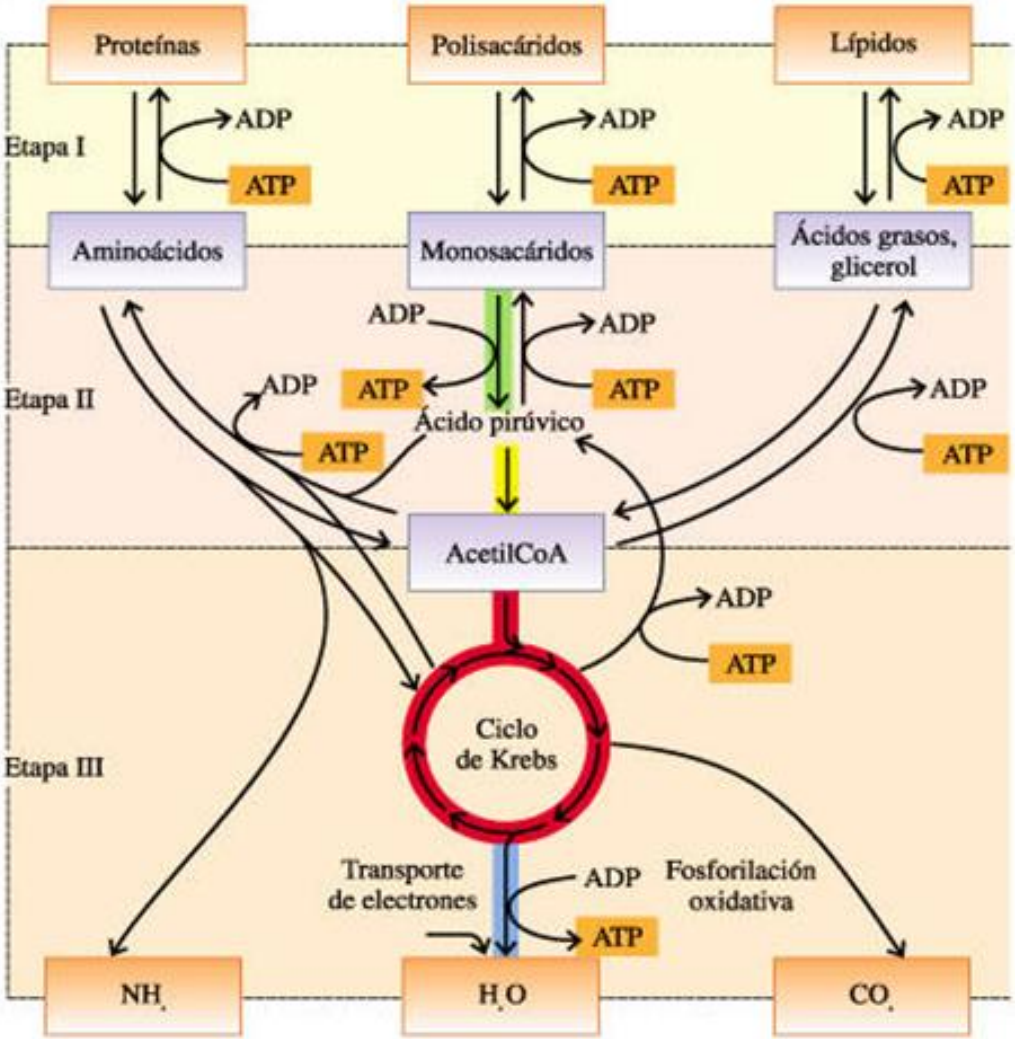


- Ahora cada **Aa** se degrada por una vía propia, originando en algún momento, o bien *acetil-CoA*, que entra directamente al ciclo de Krebs, o bien *ácido pirúvico*, que se descarboxila y entra también en Krebs.

Esquema general del Catabolismo

- **La respiración celular es la liberación controlada de energía de los compuestos orgánicos para producir ATP.**



- **El ATP de la respiración celular esta disponible de forma inmediata como una fuente de energía en la célula.**
- Las células requieren energía fundamentalmente para la biosíntesis de moléculas, el transporte activo y el movimiento intracelular (como los cromosomas), así como para generar calor, por lo que se hace necesario este aporte continuo de energía.

Esquema general del Catabolismo