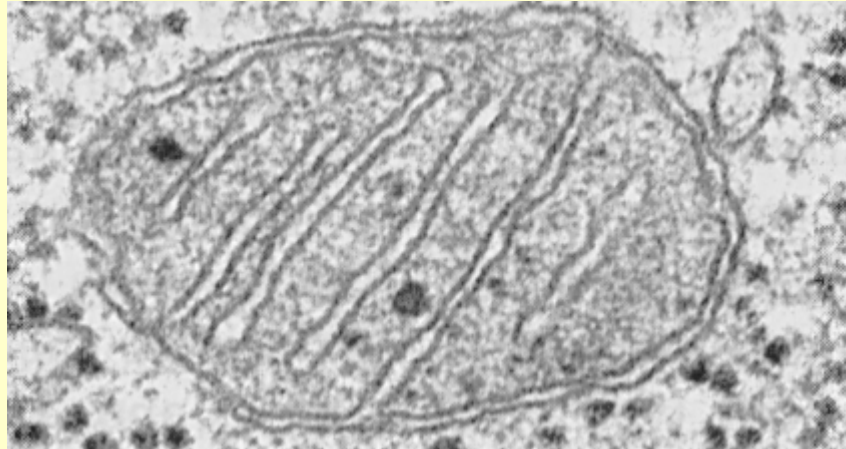


CATABOLISMO



Carmen Cid Manzano

**I.E.S. Otero Pedrayo. Ourense.
Departamento Bioloxía e Xeoloxía.**

Nos procesos catabólicos as moléculas orgánicas degrádanse, paso a paso, ata formar outras moléculas máis sinxelas. Globalmente son procesos de oxidación nos que as moléculas orgánicas van perdendo electróns que serán captados por unha **molécula aceptora final**. A enerxía liberada permite a formación de moléculas de ATP. Segundo quen sexa o aceptor final de electróns pódense diferenciar tres modalidades:

□ **Respiración aerobia.** O aceptor terminal de electróns é o osíxeno. A degradación do substrato que se oxida é total, sendo os produtos resultantes CO_2 e H_2O , substancias inorgánicas practicamente carentes de enerxía. Por esta circunstancia a respiración aerobia é a que máis cantidade de enerxía libera e polo tanto a forma máis frecuente respiración nos seres vivos.

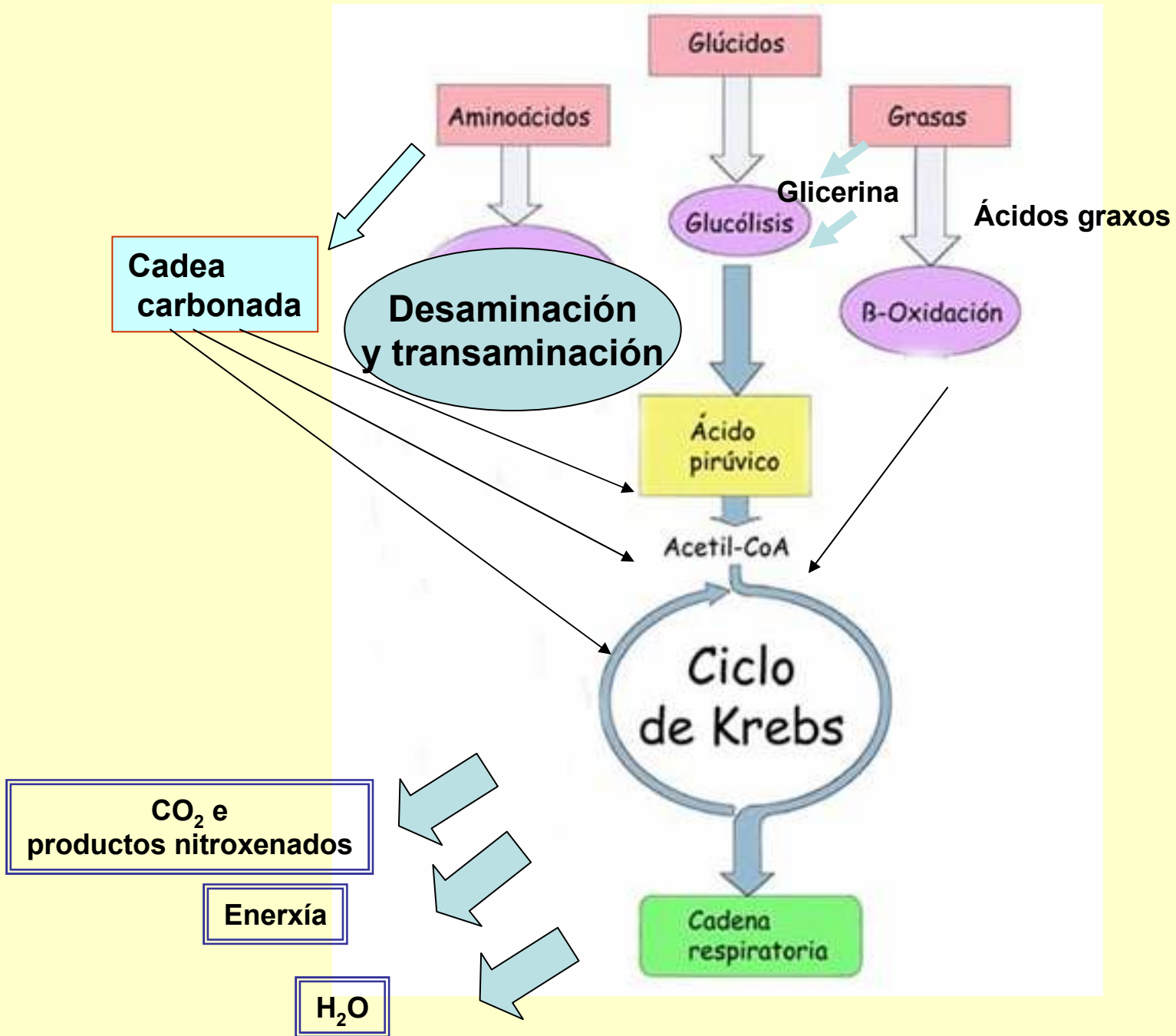
❑ **Respiración anaerobia.** O aceptor final de electróns é un composto inorgánico, pero distinto do osíxeno (NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2). Esta forma de respiración existe en algunhas bacterias (anaerobias estrictas, anaerobias facultativas).

❑ **Fermentacións.** O aceptor final de electróns é un composto de natureza orgánica. Os procesos fermentativos liberan unha menor cantidade de enerxía que a respiración aerobia, debido a que a oxidación do substrato non é completa. Dentro das fermentacións pódense incluír as **putrefaccións** (fermentación das proteínas). As fermentacións as realizan varias bacterias e levaduras e ten unha gran importancia polas súas aplicacións industriais (fabricación de cervexa, viño, iogur, pan, etc.). En ausencia de osíxeno tamén poden sufrir fermentacións as células musculares.

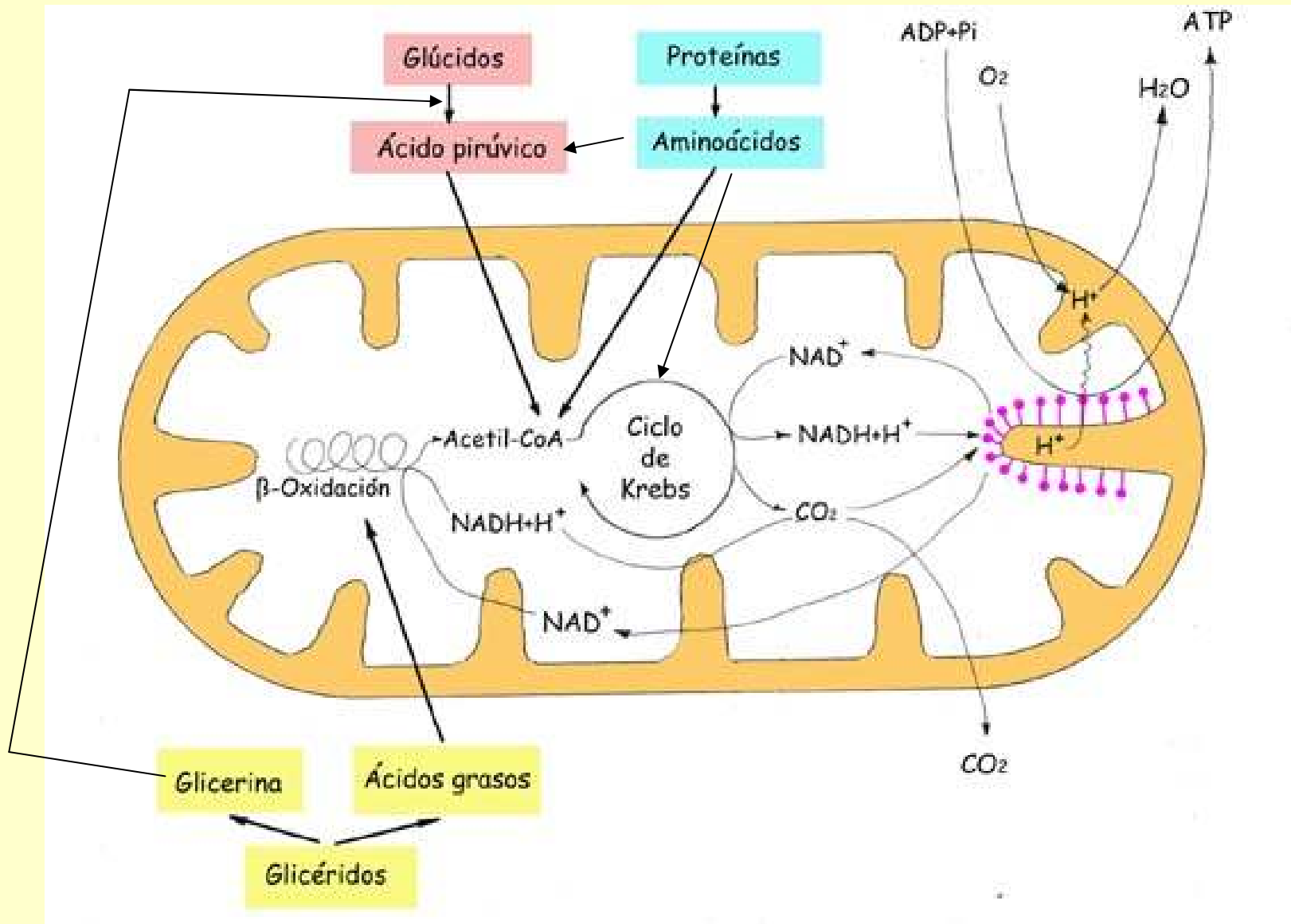
Respiración aerobia

O **catabolismo aerobio** está formado por varias rutas metabólicas que conducen finalmente á obtención de enerxía química (ATP) e enerxía en forma de calor. As moléculas de ATP máis tarde serán imprescindibles para funcións vitais como: dar enerxía ás rutas anabólicas, transporte activo a través das membranas, movementos celulares, etc.

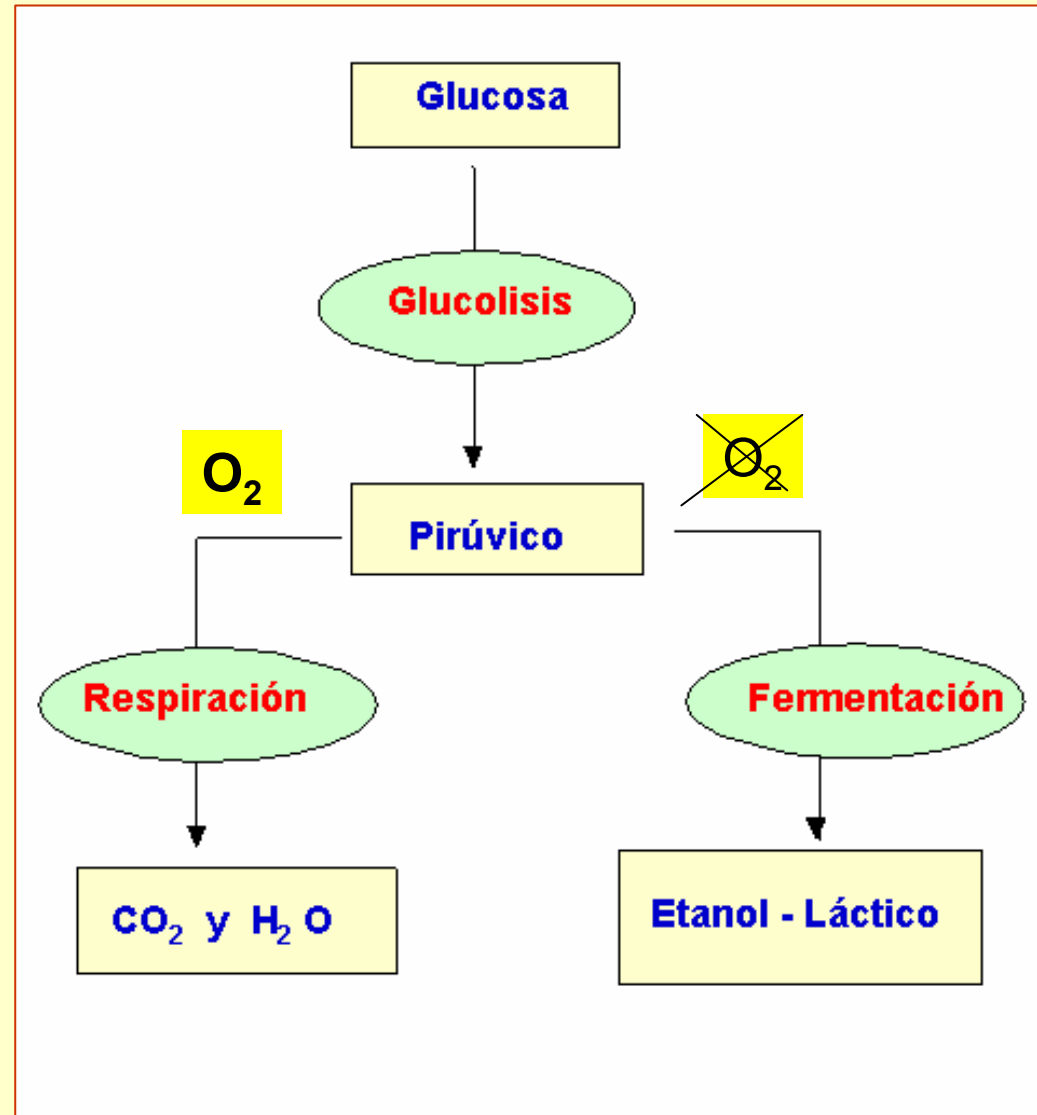




Fonte: modificada: http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/contenidos3.htm



CATABOLISMO DE LA GLUCOSA



FASES DA RESPIRACIÓN AEROBIA DA GLICOSA

1. GLICÓLISE

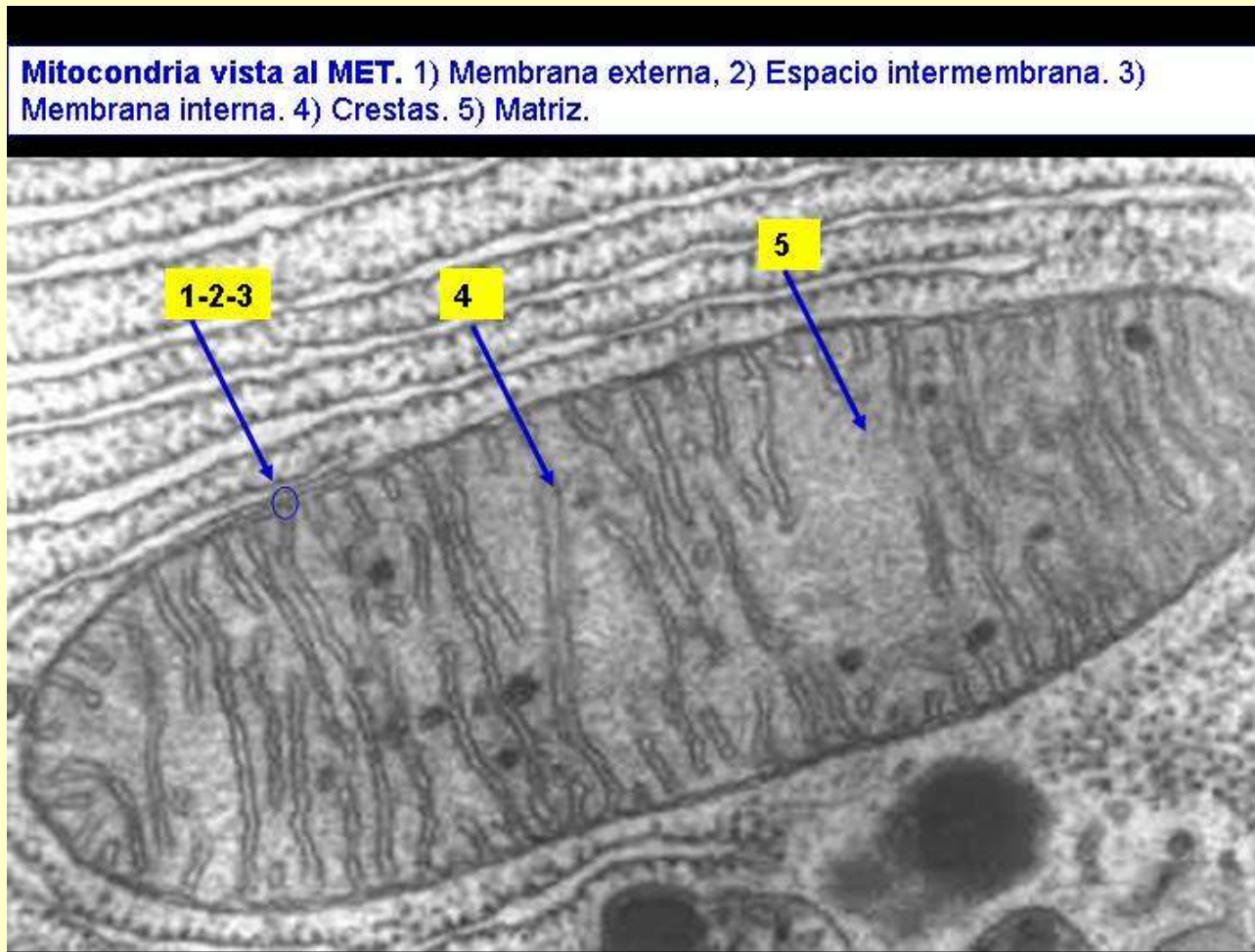
2. DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA DO ÁCIDO PIRÚVICO

3. CICLO DE KREBS

**4. CADEA DO TRANSPORTE ELÉCTRÓNICO
OU CADEA RESPIRATORIA**

5. FOSFORILACIÓN OXIDATIVA

A **glicolise** ten lugar no citosol. A **descarboxilación oxidativa** e o **ciclo de Krebs** teñen lugar na matriz mitocondrial, a **cadea respiratoria** e a **fosforilación oxidativa** nas crestas mitocondriais.

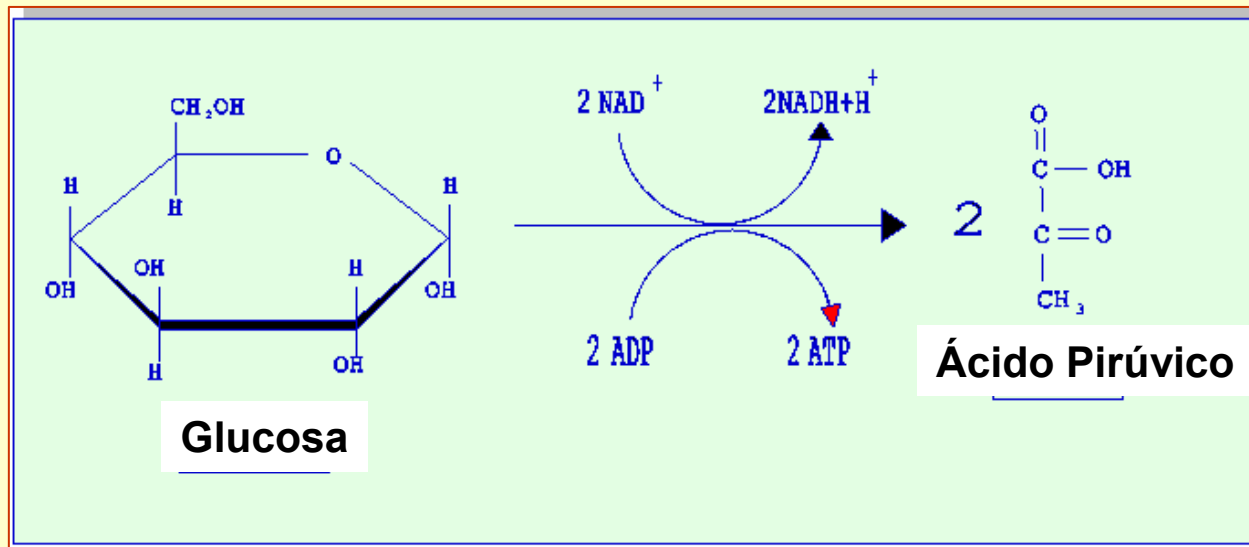


1. GLICÓLISE

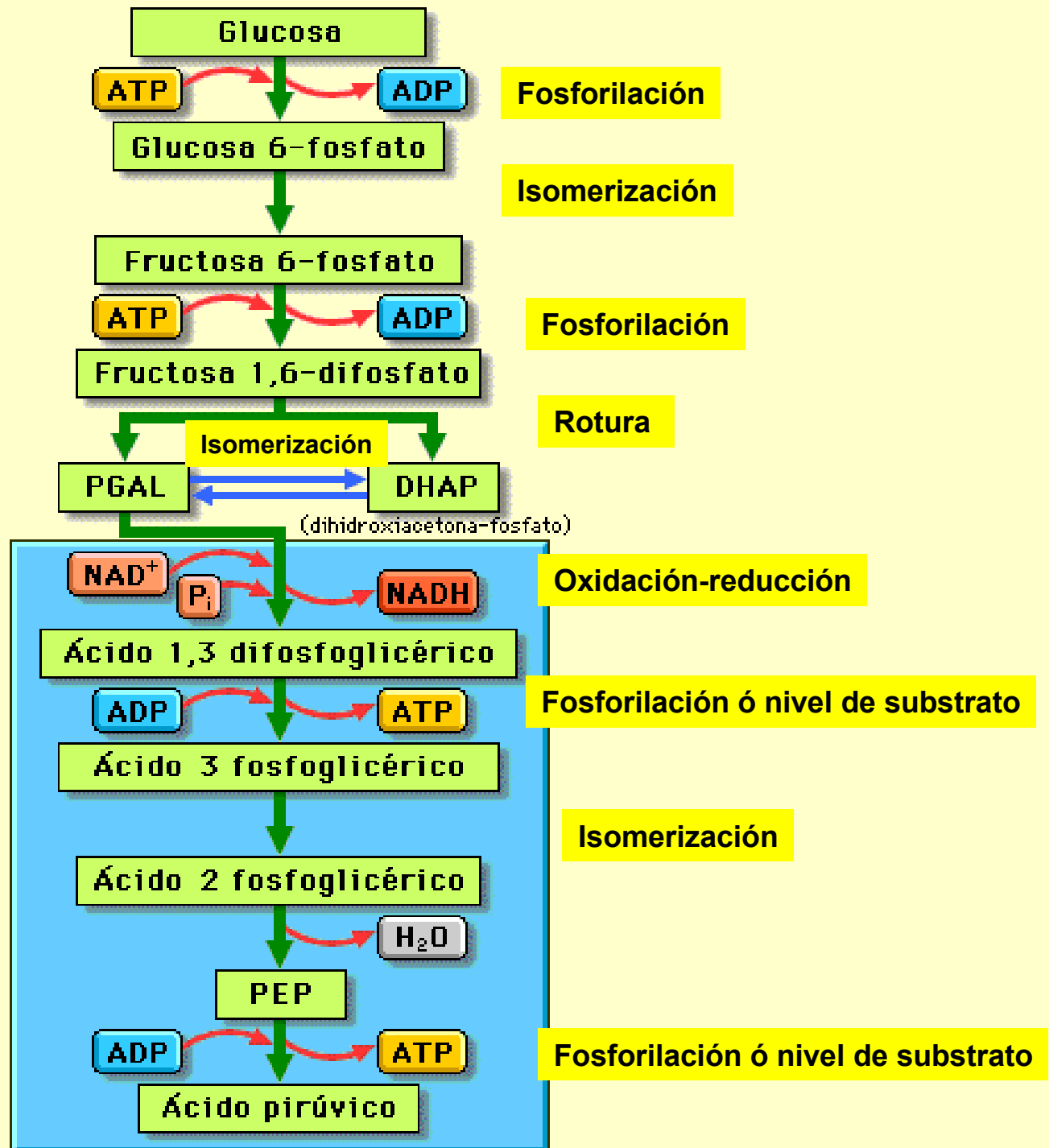
Prodúcese en todas as células vivas, desde procariotas ata eucariotas animais e vexetais. Necesítase a enerxía de 2 moléculas de ATP para iniciar o proceso, pero unha vez iniciado prodúcese 2 moléculas de NADH e 4 de ATP polo que o balance final é de: 2 NADH e 2 ATP por molécula de glicosa:

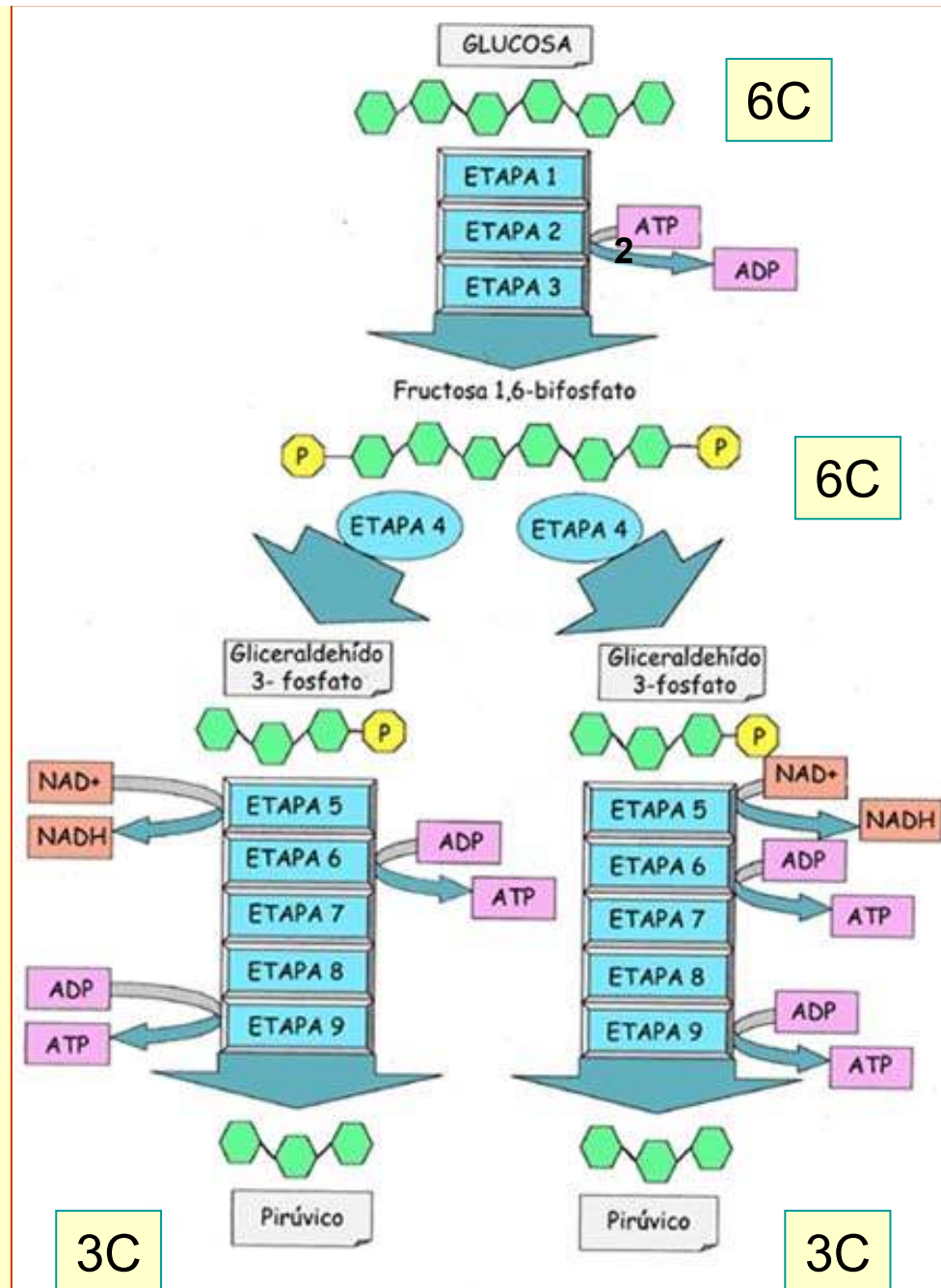
(6C)

(3C)

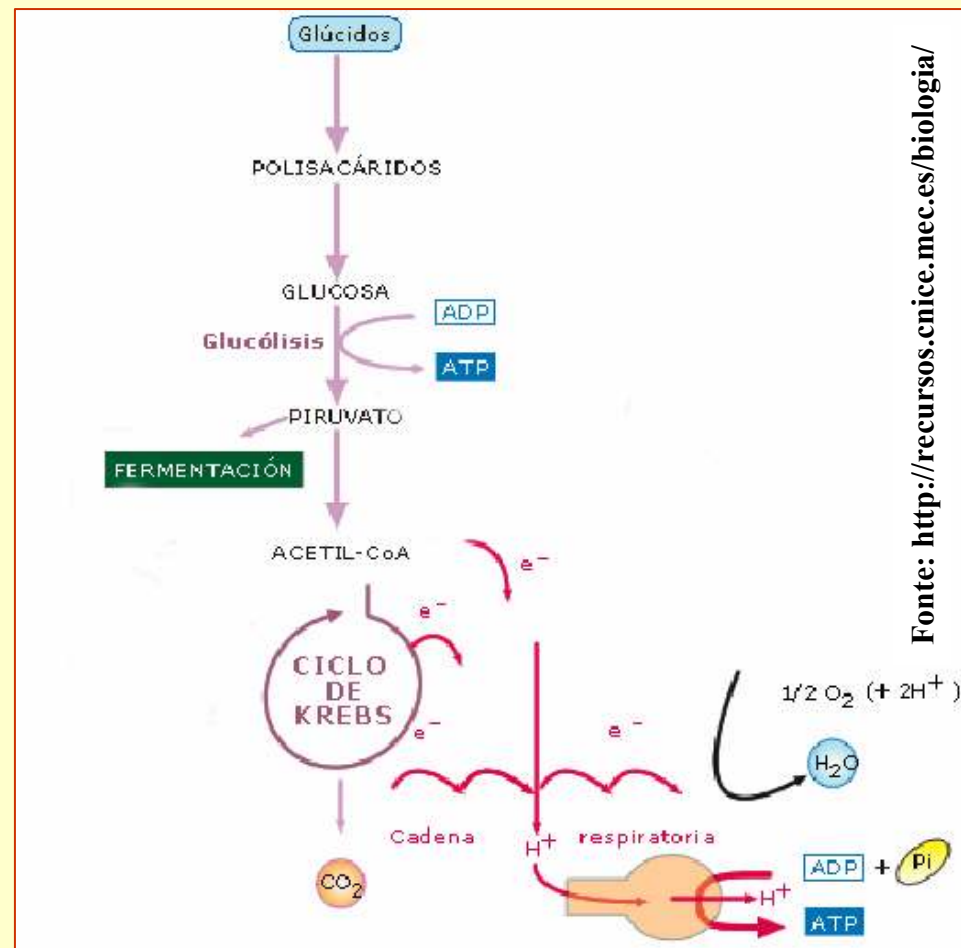


A glicolise é unha ruta anaeróbica que se realiza no hialoplasma



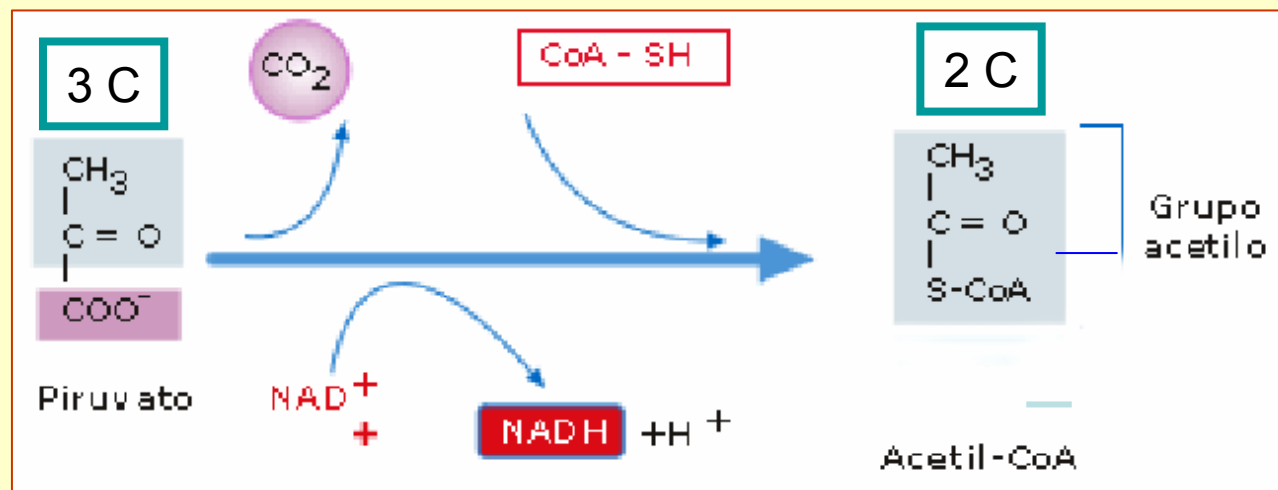


O piruvato que se obtén ó final da glicólise atópase nunha encrucillada metabólica na que pode seguir dous destinos, dependendo da presenza de osíxeno e o tipo de célula. Pode seguir a vía anaerobia das fermentacións ou a vía aerobia da respiración celular.



2. DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA DO ÁCIDO PIRÚVICO

Tras a glicólise, o **ácido pirúvico**, en presenza de osíxeno pasa desde o citoplasma á matriz mitocondrial, atravesando as membranas.



Fonte: <http://recursos.cnice.mec.es/biologia/>

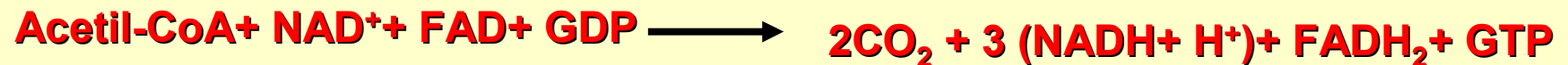
O CICLO DE KREBS

O Ciclo de Krebs trátase dunha ruta metabólica que ten lugar na matriz mitocondrial e na que o acetil- CoA vai completar a súa oxidación.

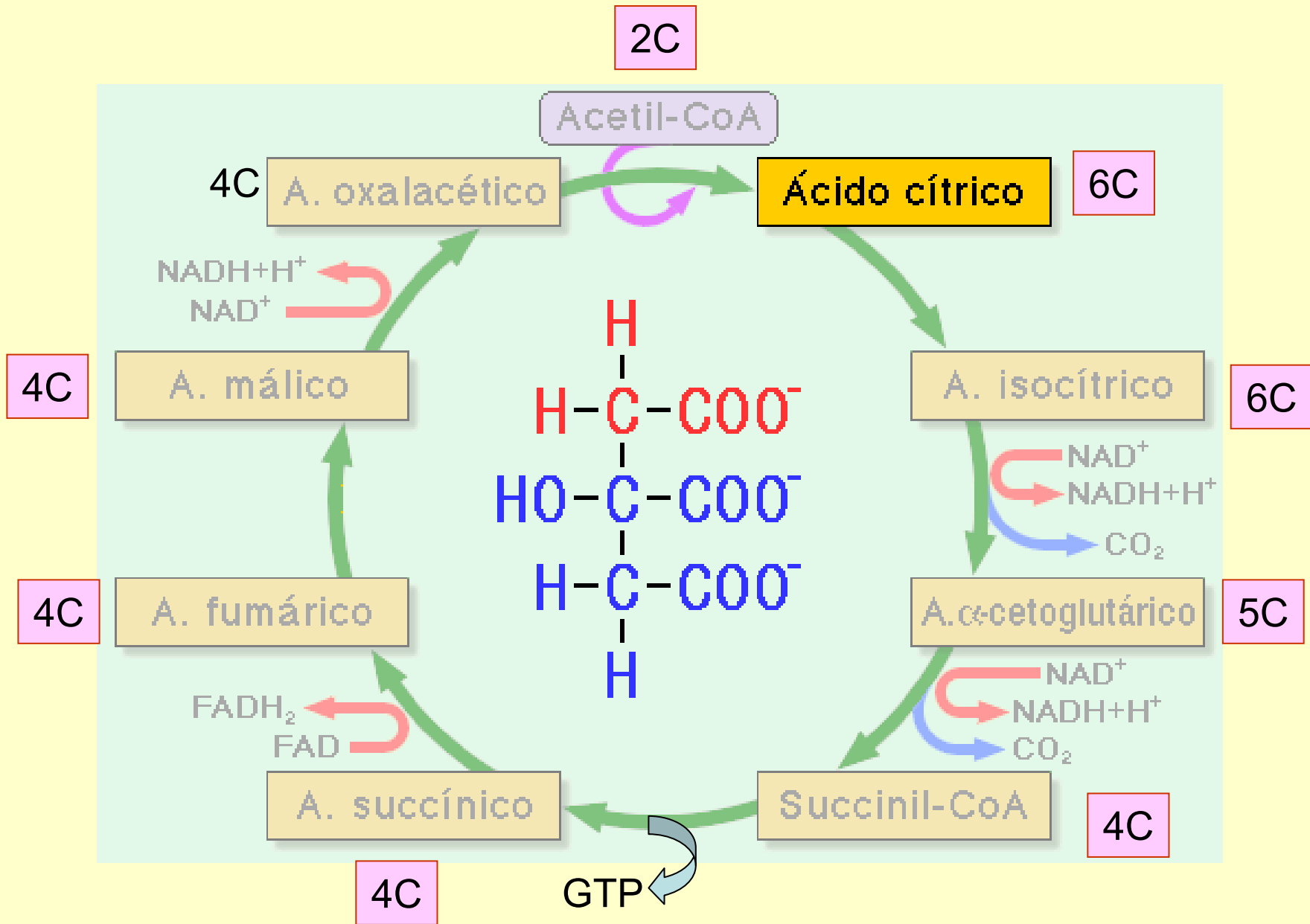
Trátase dunha ruta central do metabolismo na que non só van a a ser degradados os glúcidos senón ademais os ácidos graxos e algúns aminoácidos.



Hans Krebs (Hildesheim –
Alemania -1900-1981)



O ciclo de Krebs tamén é unha encrucillada de rutas anabólicas polo que se lle denomina ruta anfibólica (catábolica e anabólica).



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)**.

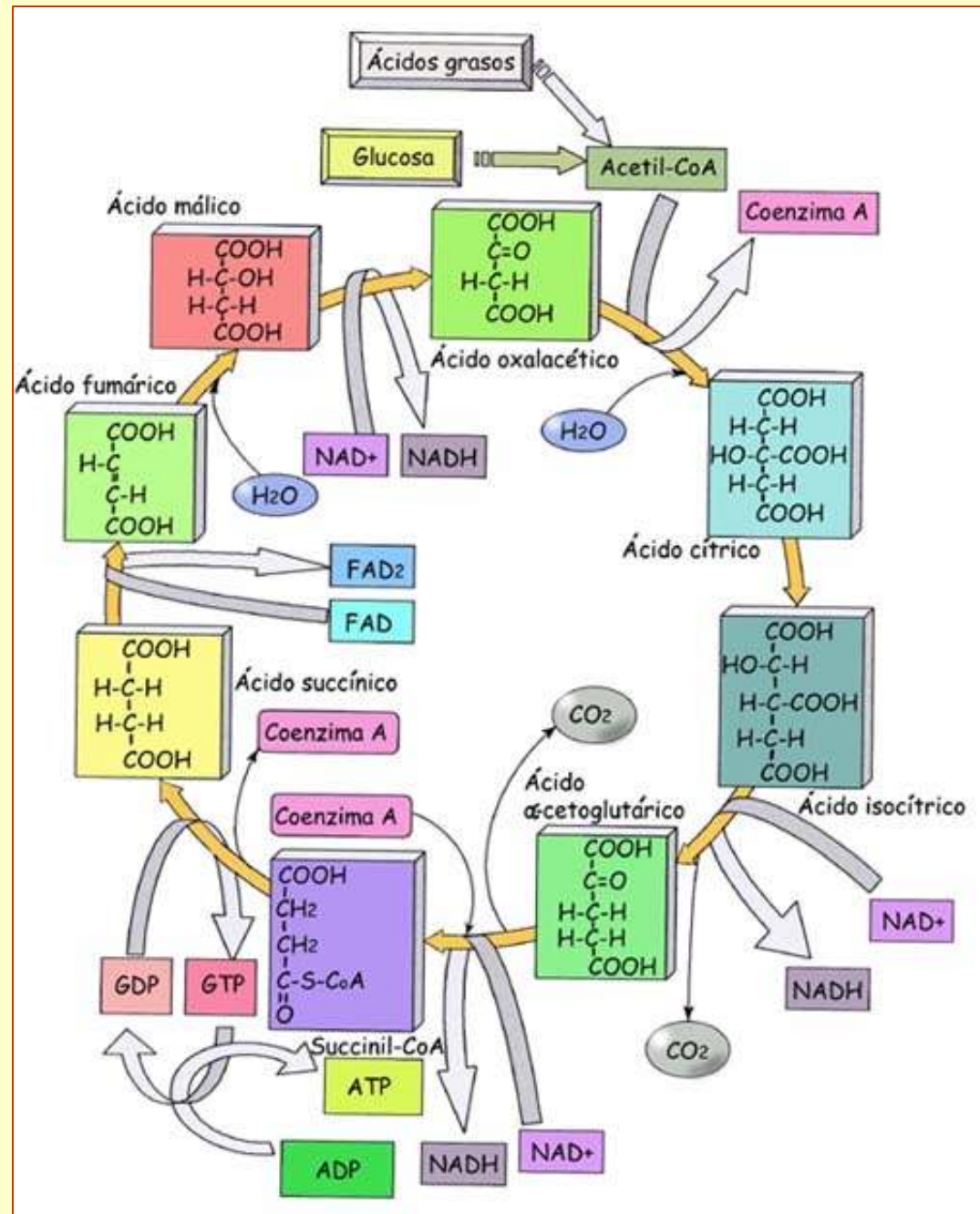
3ª) Descarboxilación oxidativa del **ácido isocítrico (ISO)** que se transforma en **α -cetoglutárico (α -KG)** con la formación de **CO₂** y **NADH+H⁺**.

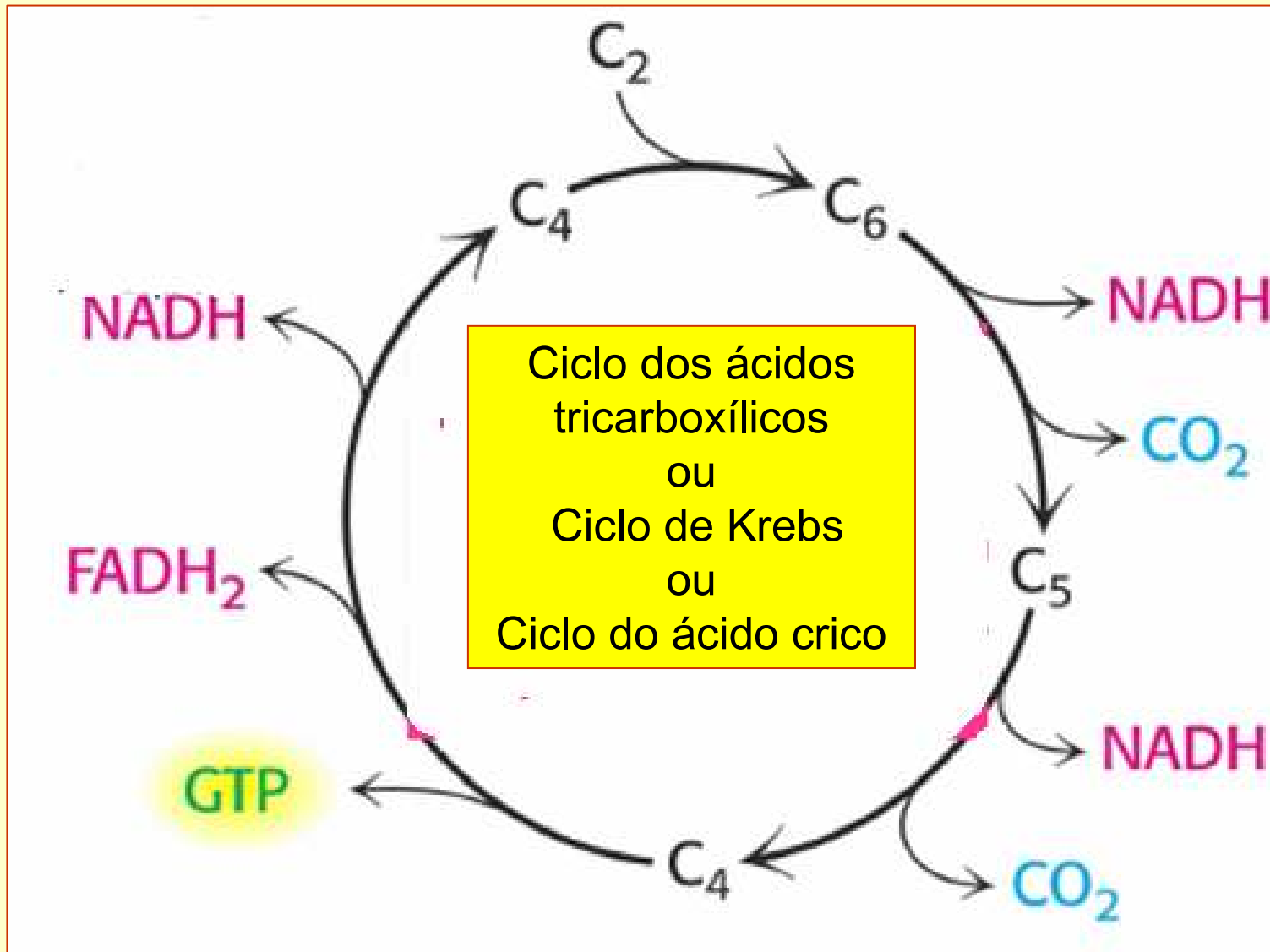
4ª) Descarboxilación oxidativa del **ácido α -cetoglutárico (α -KG)** formándose **CO₂**, **NADH+H⁺** y 1 **GTP (ATP)**. El **α -cetoglutárico (α -KG)** se transforma en **ácido succínico (SUC)**.

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 **FADH₂**.

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

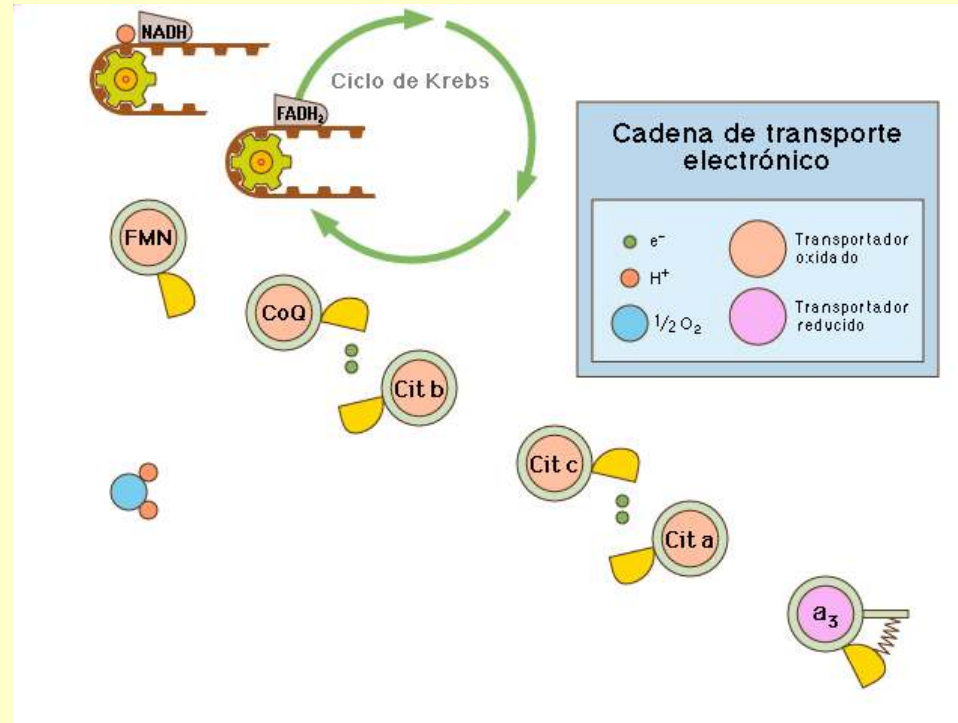
7ª) Oxidación por el **NAD⁺** del alcohol del ácido málico, que se transforma en el **ácido oxalacético (OXA)**, completándose el ciclo.





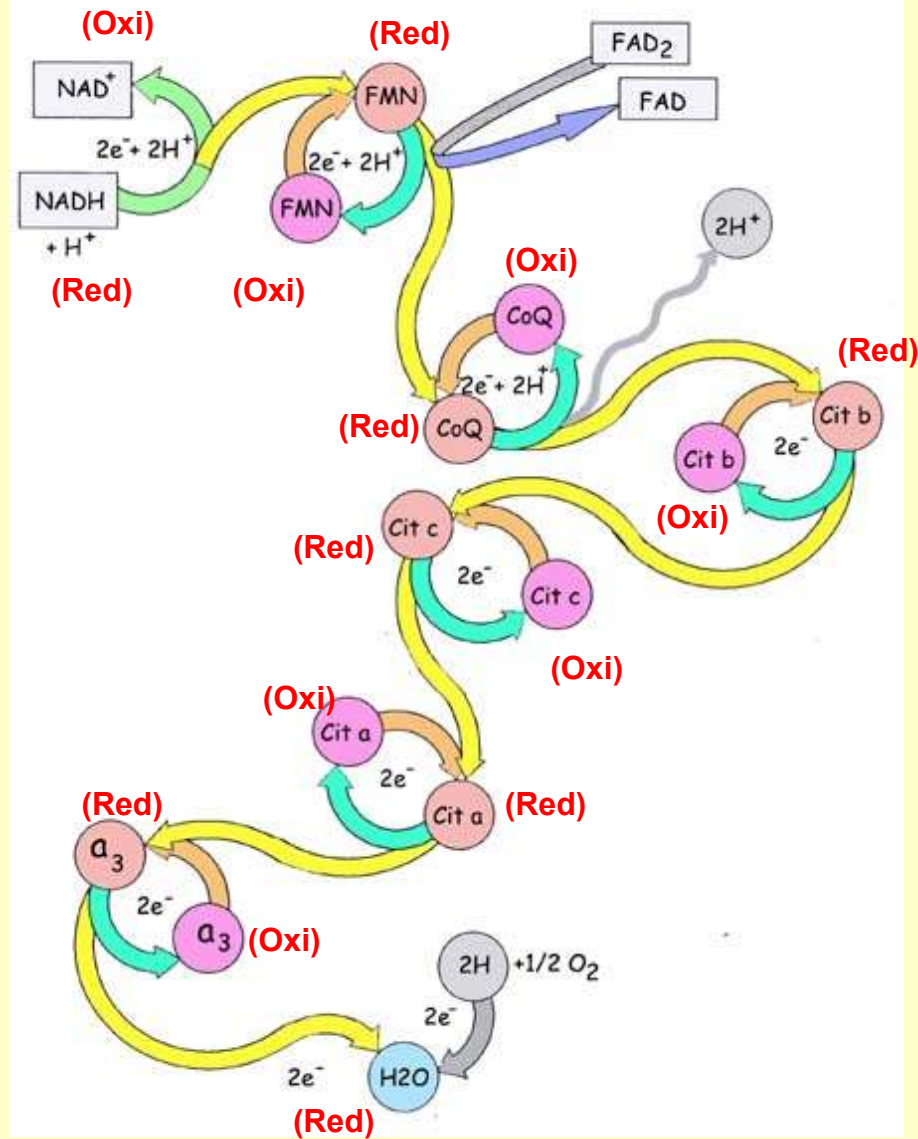
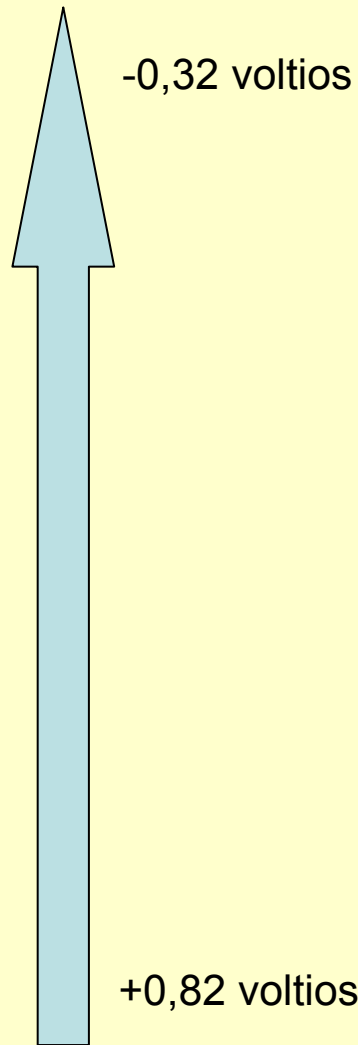
4. CADEA DO TRANSPORTE ELÉCTRÓNICO OU CADEA RESPIRATORIA

A molécula de **glicosa** que iniciou a glicólise está completamente oxidada. Parte da súa enerxía invirtiuse na síntese de ATP. Sen embargo, a maior parte da enerxía está nos electróns capturados polo NAD^+ e o FAD.



http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/contenidos3.htm

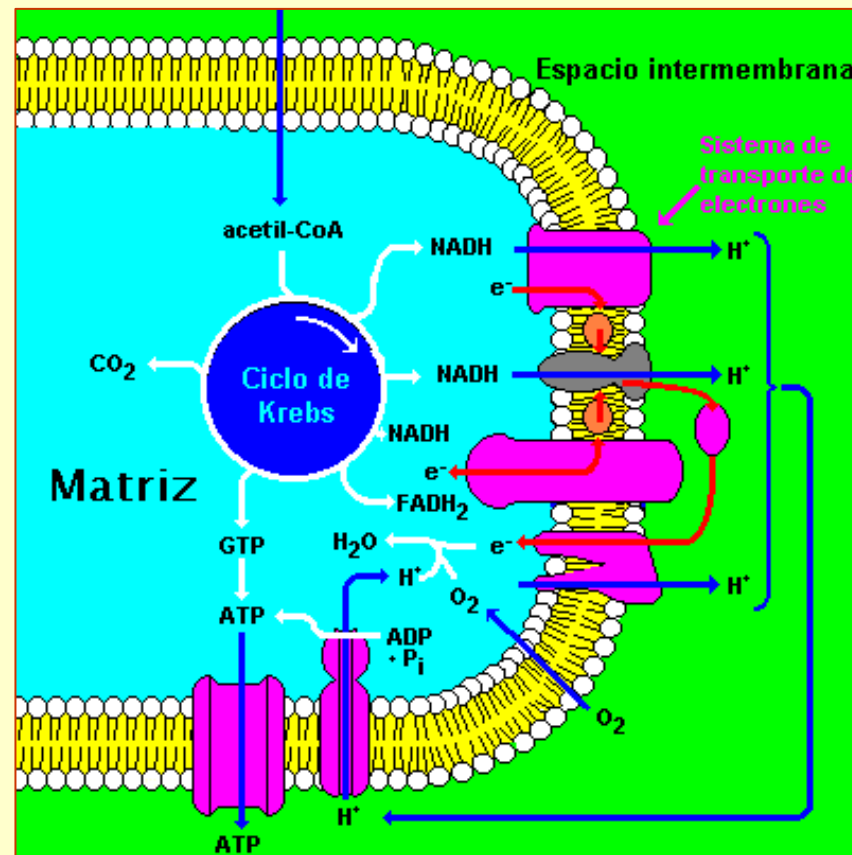
Os **electróns** procedentes da glicólise, da oxidación do ácido pirúvico e do ciclo de Krebs incorpóranse á cadea do transporte de electróns e son conducidos a través dunha cadea con múltiples e sucesivos aceptores, cada un dos cales é capaz de aceptar electróns a un nivel lixeiramente inferior ó precedente.



http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/contenidos3.htm

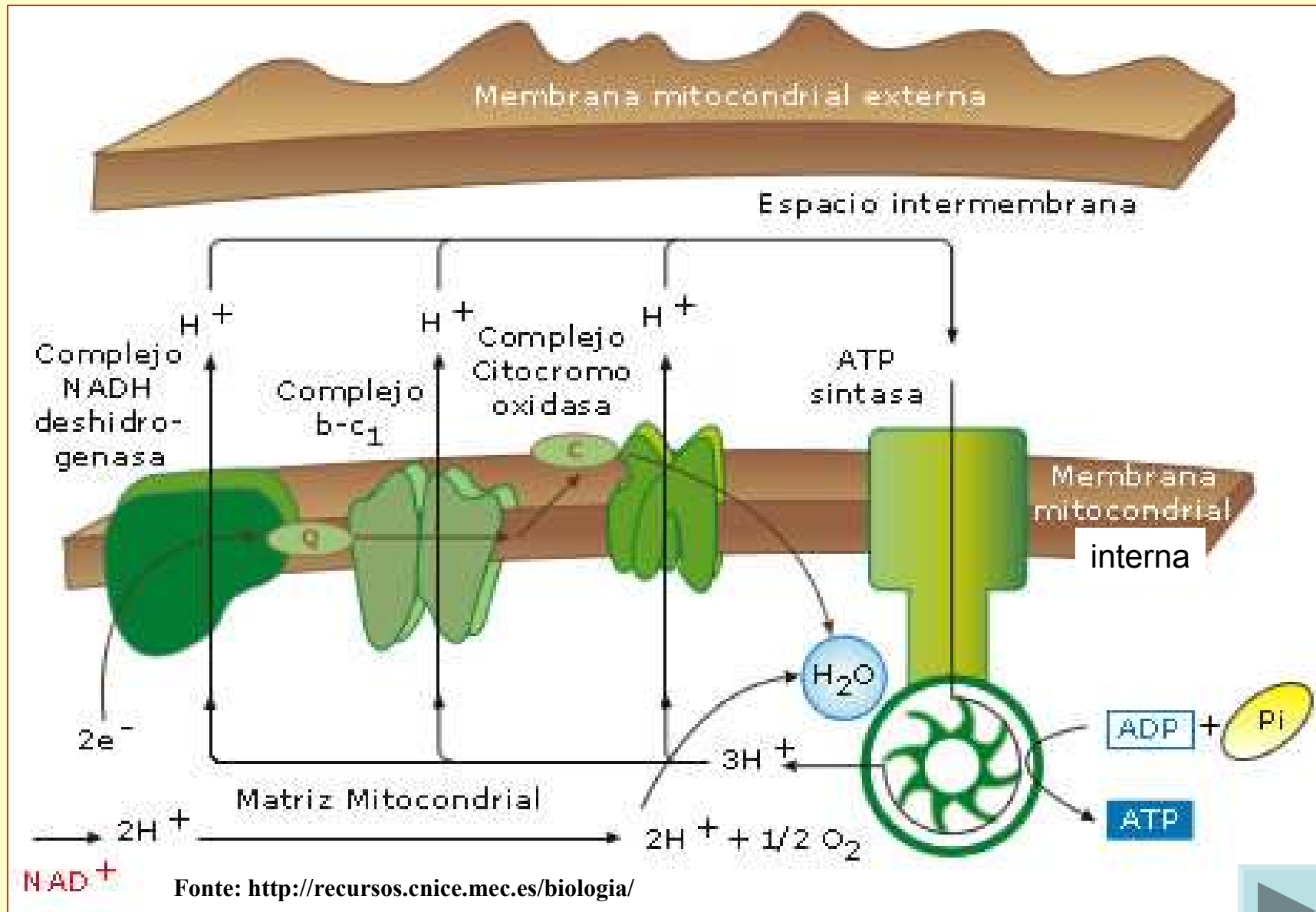
Cada **par redox** só pode recibir electróns doutro par que teña potencial de redución máis negativo e só pode cedelos ó par que o teña menos negativo. O potencial máis negativo da cadea respiratoria é o NAD^+ con $-0,32$ voltios. No outro extremo está a auga con $+0,82$ voltios.

Tanto o NADH como o FADH₂ ceden os electróns á cadea de transportadores e, a medida que pasan dun transportador a outro, os electróns van liberando enerxía. Esa enerxía (**segundo a teoría quimiosmótica de Mitchell**) permite o bombeo de protóns desde a matriz mitocondrial ó espacio intermembrana da mitocondria. Deste modo xérase un gradiente electroquímico de protóns, cunha concentración de protóns maior no espacio intermembrana que na matriz.



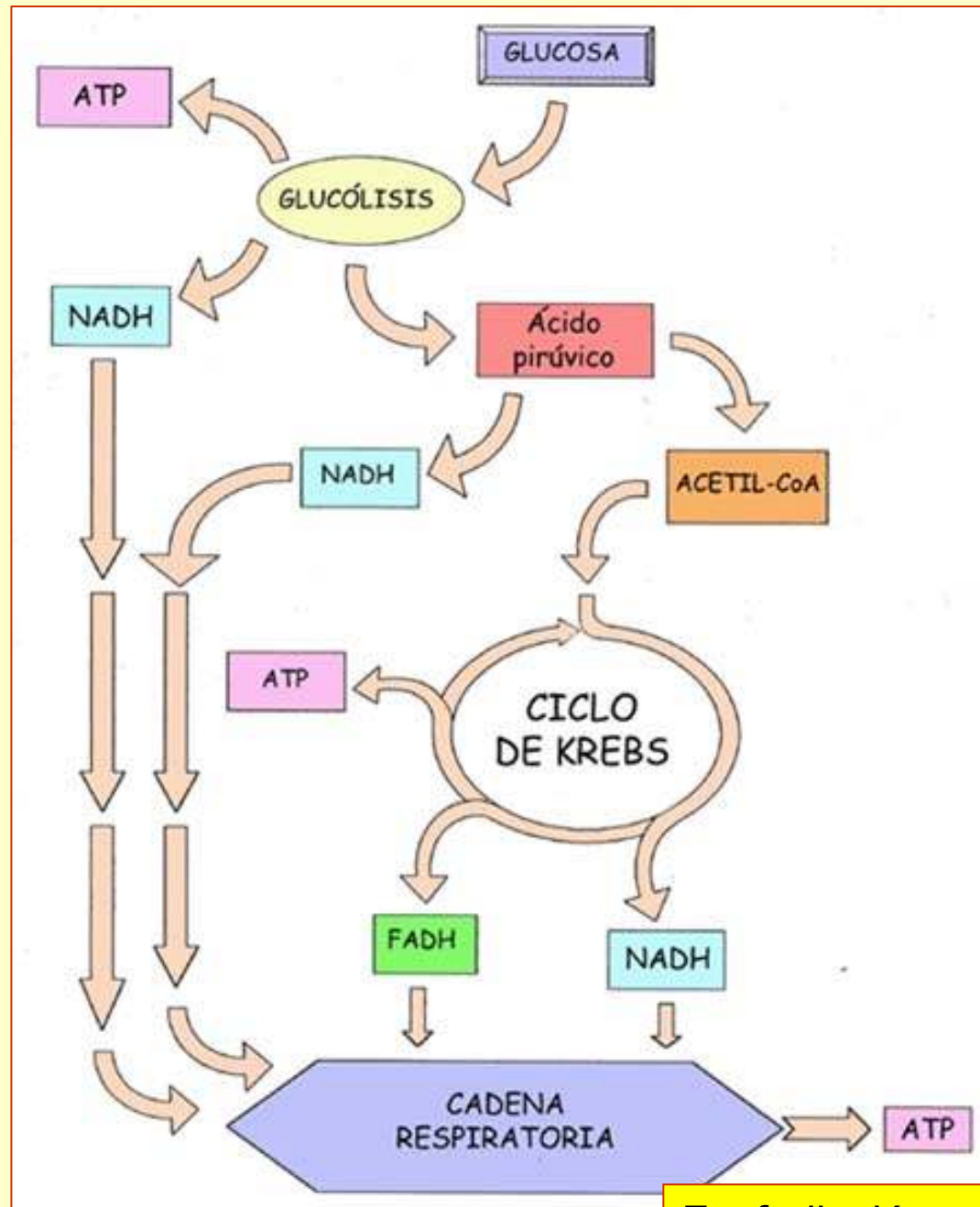
A **forza protón-motriz** xerada, impulsa os protóns a través das **ATP sintasas** presentes na membrana mitocondrial interna, permitindo a unión do ADP a un grupo fosfato, coa conseguinte formación de ATP. O conxunto destes procesos, que culminan coa formación de ATP, constitúen a **fosforilación oxidativa**.

Con fines prácticos, aínda que non é exacto, considérase que unha molécula de NADH permite a formación de 3 moléculas de ATP, mentras que unha de FADH₂ só aportará 2 ATP.



Transferencia de electróns e fosforilación oxidativa na cadena respiratoria mitocondrial





http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/contenidos3.htm



Fosforilación oxidativa

A célula viva é máis eficaz que calquera motor. Cerca do 40% da enerxía liberada da oxidación da glicosa emprégase en converter o ADP en ATP.

Resumindo todo o anteriormente explicado podemos facer un **balance enerxético** global dos procesos do catabolismo dos glúcidos:

BALANCE GLOBAL DA RESPIRACIÓN AEROBIA DA GLICOSA

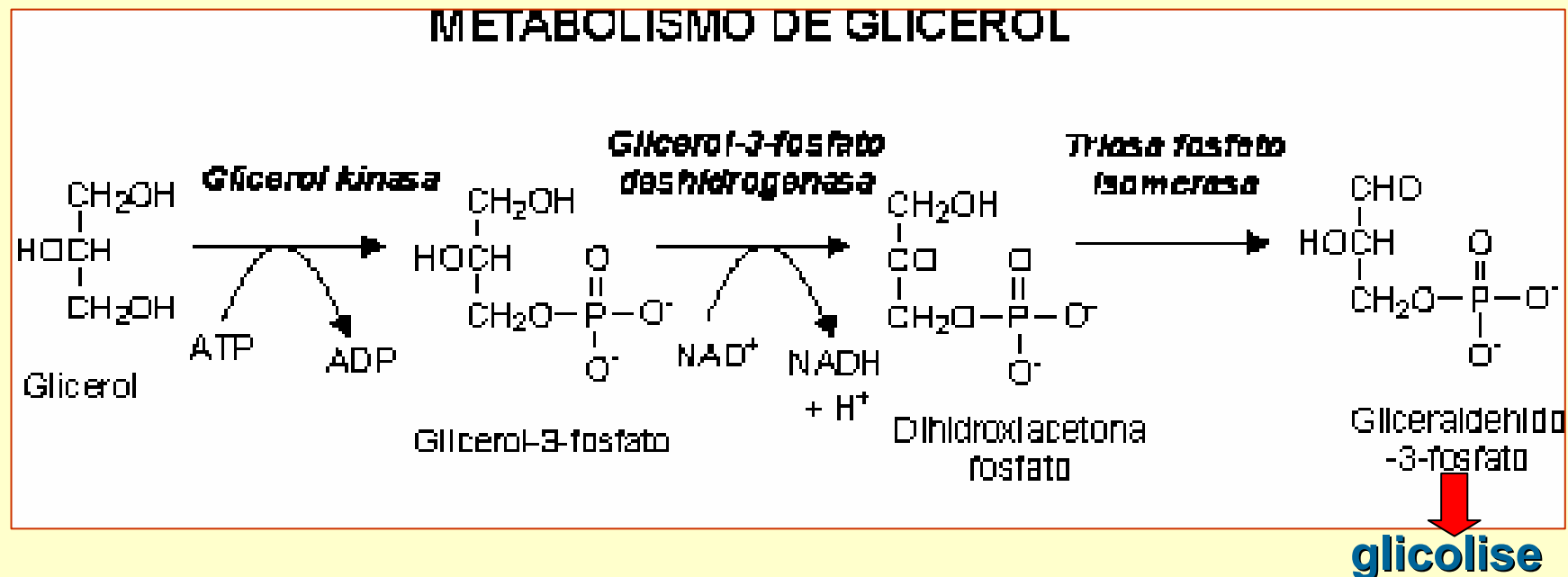
Proceso	Substancia inicial	Substancia final	Coencimas reducidas e ATP	Moles de ATP totais
Glicolise	Glucosa	2 ácid. pirúvico	2 NADH 2 ATP	4 ATP/ 6ATP 2 ATP
Dercarboxilación oxidativa	2 ácid. pirúvico	2 acetil-Co A 2 CO ₂	2 NADH	6 ATP
Ciclo de Krebs	2 acetil-Co A	4 CO ₂	6 NADH 2 FADH ₂ 2 GTP	18 ATP 4 ATP 2 ATP
Balance global	Glucosa 6 O₂	6 CO₂ 6 H₂O		36 ATP ou 38ATP

CATABOLISMO DOS LÍPIDOS

A hidrólise das graxas, catalizada por lipasas, produce glicerina e ácidos graxos.

Catabolismo da glicerina

A glicerina transfórmase con facilidade en gliceraldeído-3-fosfato e incorpórase ó catabolismo xeral dos glúcidos ó través da glicolise.

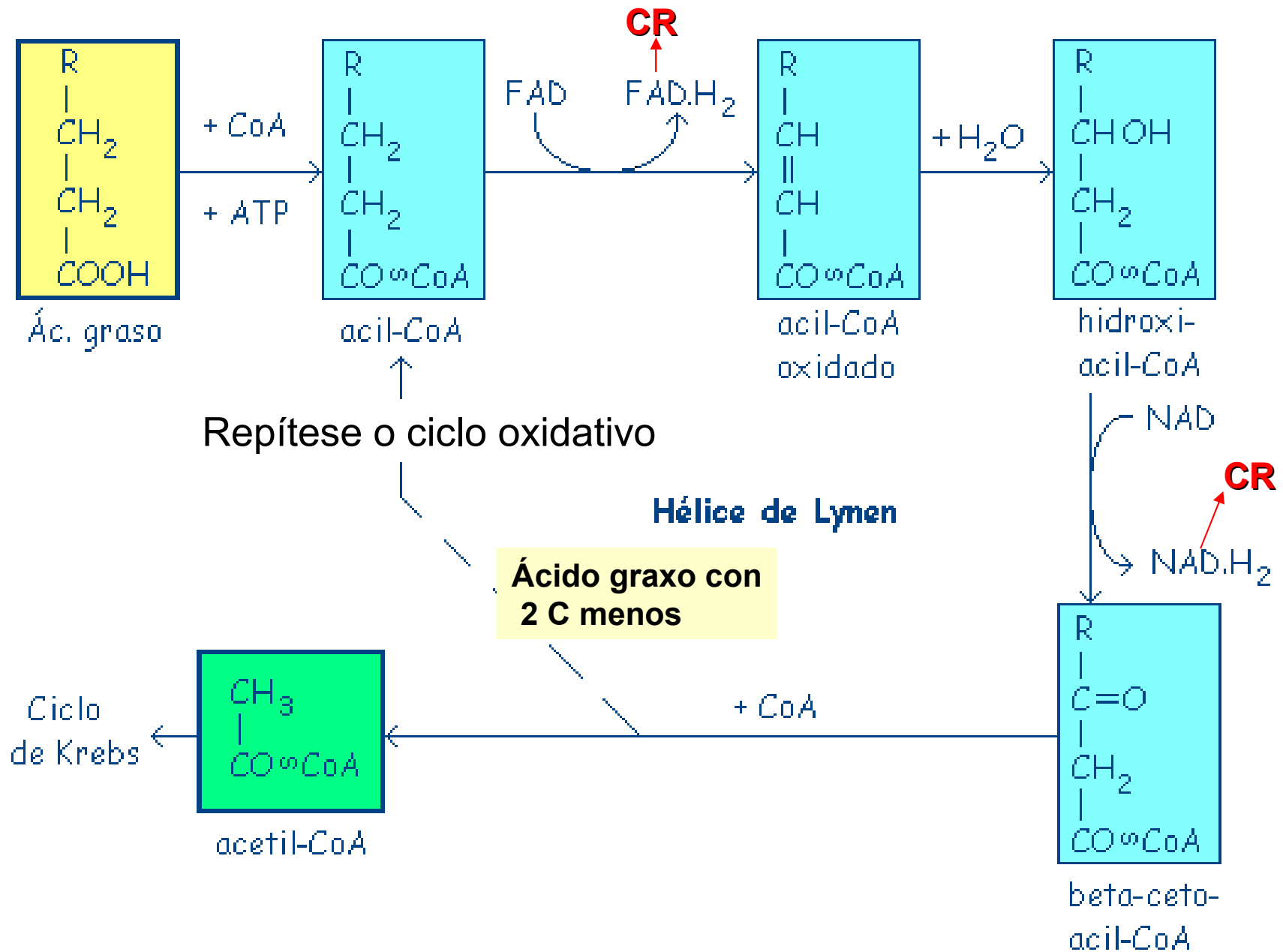


Catabolismo dos ácidos graxos

Antes de entrar nas mitocondrias, os ác.graxos actívanse co CoA, necesitando o aporte de ATP, e transfórmase en acil-CoA. O acil-CoA entra nun ciclo de β - oxidación na matriz mitocondrial.

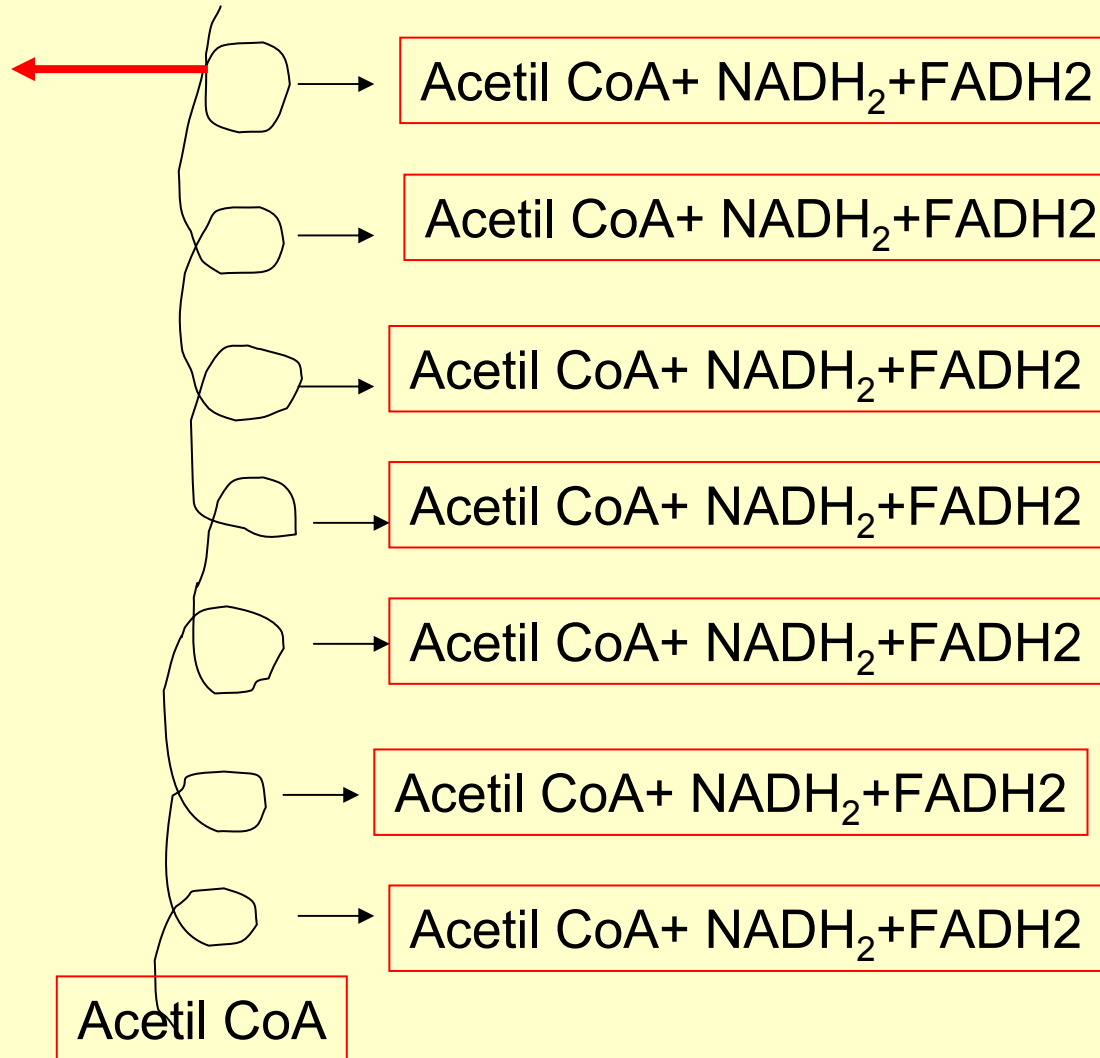
Neste proceso cada ác. graxo vaise oxidando, liberando, paso a paso, "fragmentos" de dous carbonos ata que termina por "consumirse". En cada ciclo fórmase unha molécula de FADH_2 , unha de NADH e un acetil-CoA.

ESQUEMA DA BETA-OXIDACIÓN DUN ÁCIDO GRAXO



Ácido graxo con 16 C (Ácido palmítico)

Ciclo de β - oxidación



Catabolismo do ácido palmítico 7 ciclos de β - oxidación

Balance do catabolismo do ácido palmítico (16C):

- a) 7 FADH₂, equivalentes a 14 ATP na cadea respiratoria.
- b) 7 NADH₂, equivalentes a 21 ATP na cadea respiratoria.
- c) 8 moléculas de acetil-CoA, que rendirán 96 ATP (8 x 12) tras oxidarse no ciclo de Krebs.

Como se utiliza previamente 1 ATP na activación coa CoA, o balance de enerxía será:

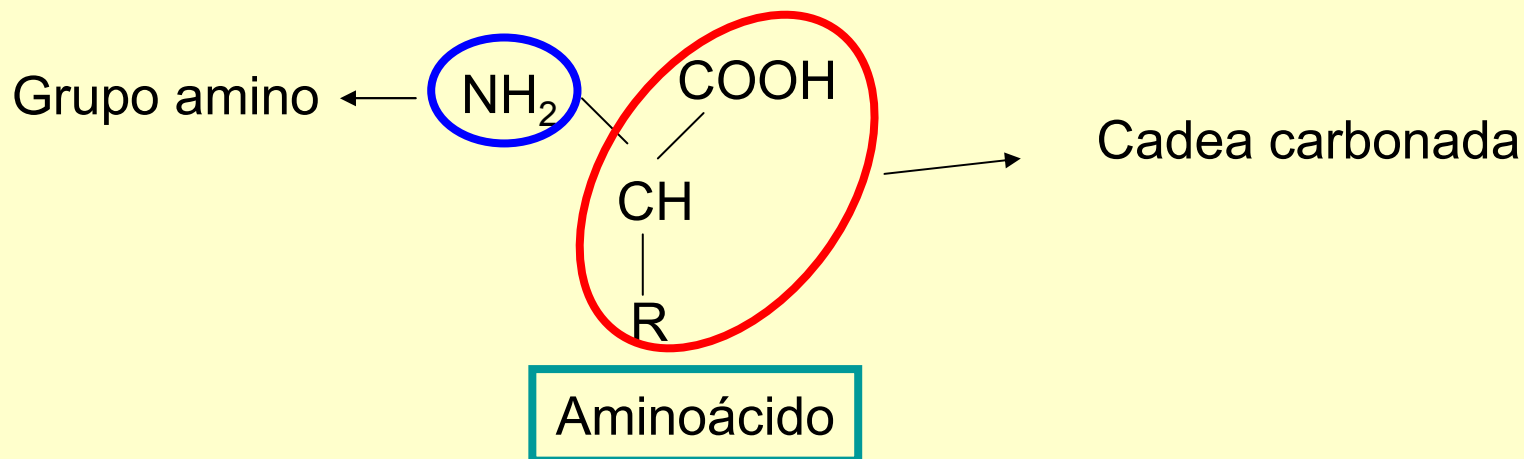
$$14 + 21 + 96 - 1 = \mathbf{130 \text{ ATP}}$$

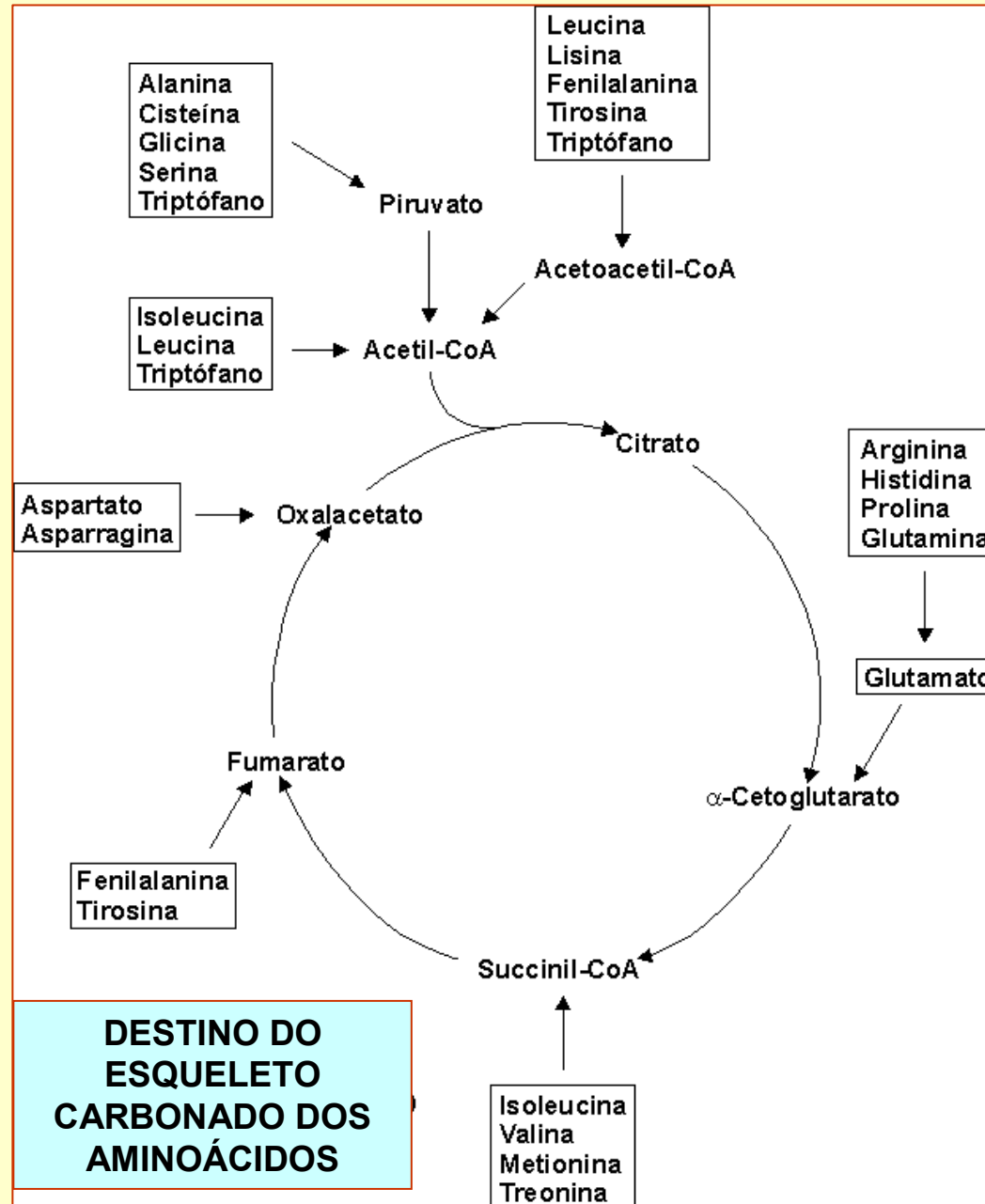
Oxidación das proteínas

As proteínas teñen fundamentalmente funcións biolóxicas distintas ás enerxéticas. Sen embargo, en caso de necesidade, os aminoácidos son oxidados e os derivados das oxidacións poden entrar no ciclo de Krebs e na cadea respiratoria.

O **grupo amino** sepárase dos aminoácidos por **transaminación** ou **desaminación oxidativa**, convertíndose ó final en urea.

A **cadea carbonada** resultante incorpórase ás rutas centrais do catabolismo

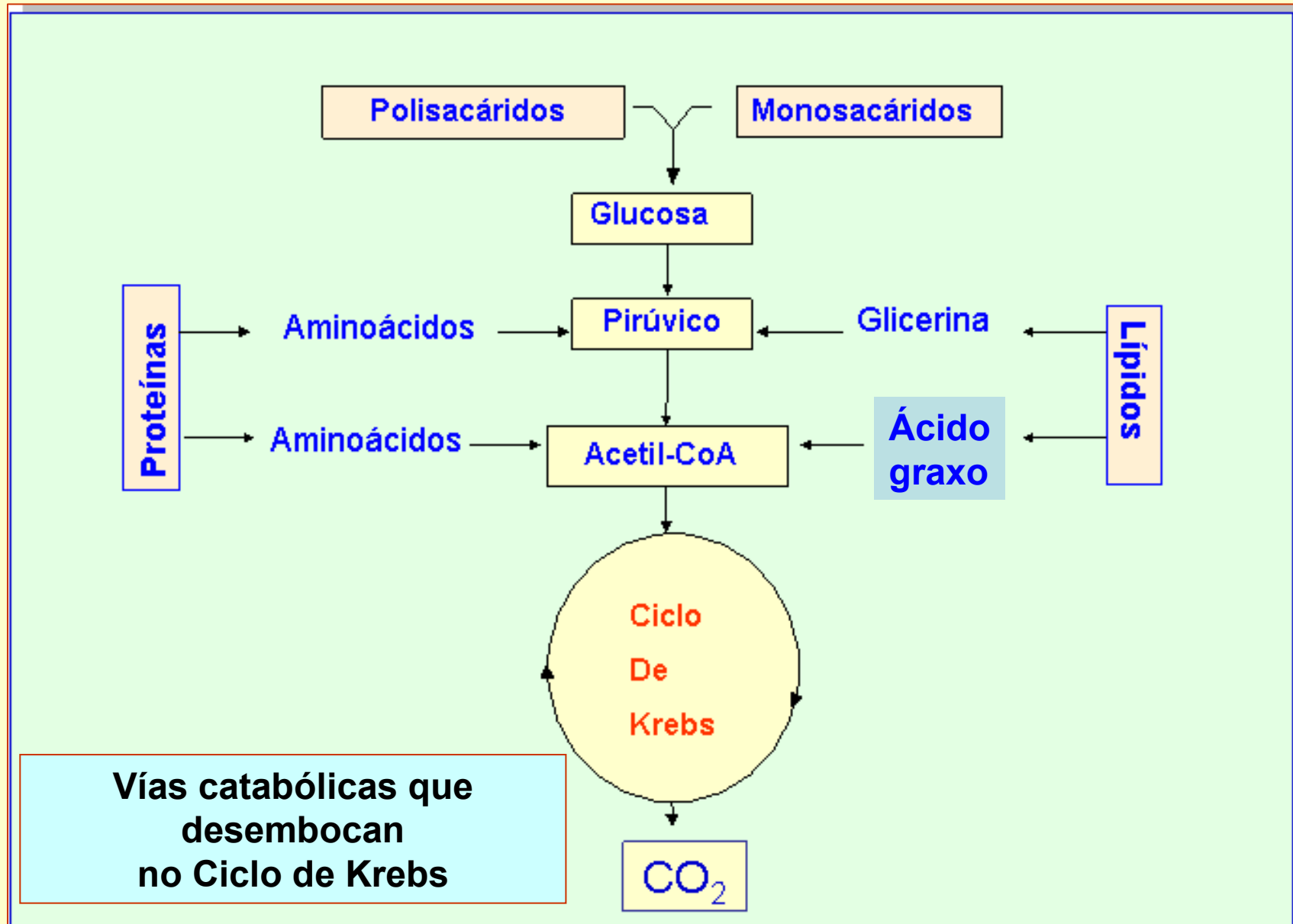




PANORÁMICA XERAL DO CATABOLISMO

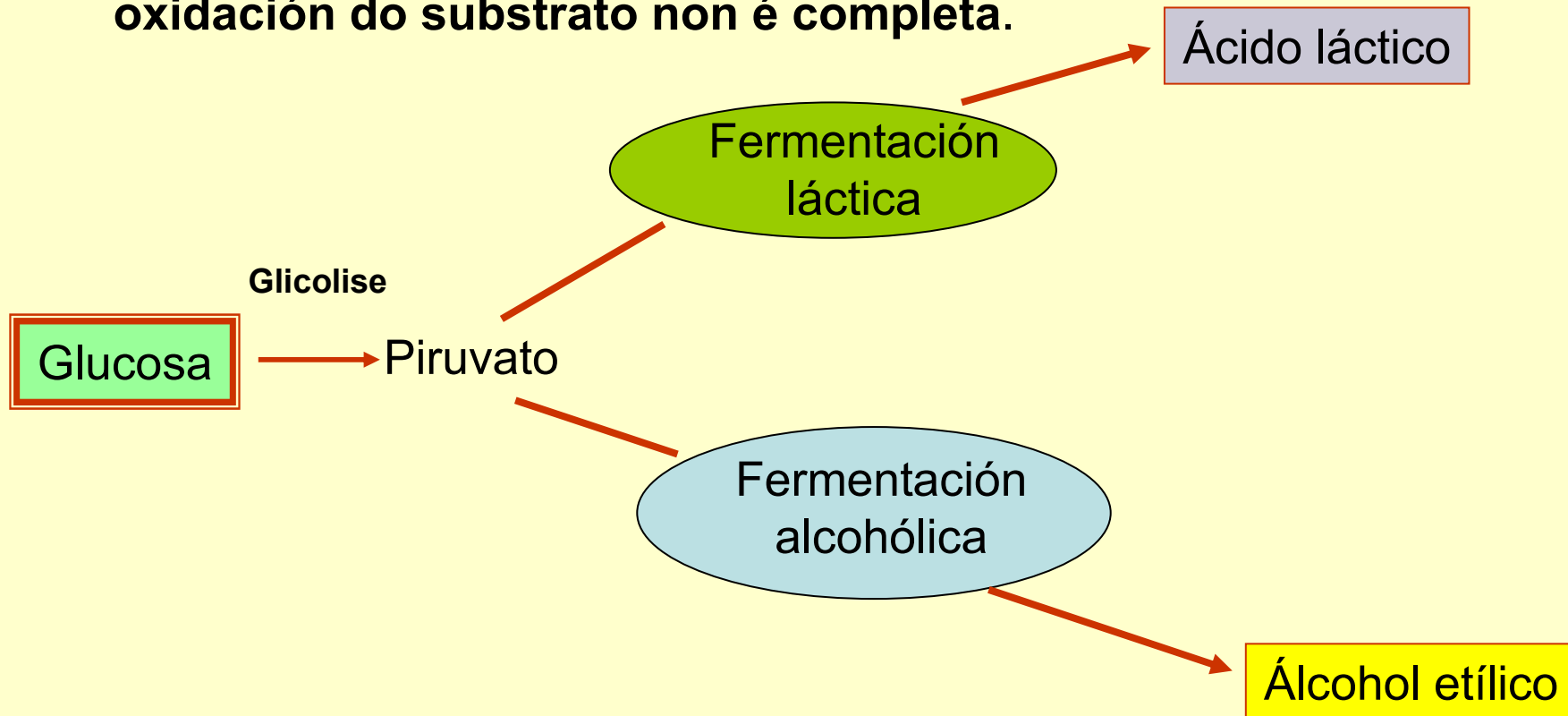
A maior parte das reaccións catabólicas lévanse a cabo nas **mitocondrias**, polo que son consideradas os **orgánulos respiratorios da célula**.

Os distintos principios inmediatos orgánicos, nun principio seguen as súas propias rutas catabólicas, pero todas acaban confluindo no ciclo de Krebs, onde se obteñen os produtos finais: CO_2 , protóns e electróns, que producirán enerxía na cadea transportadora de electróns.



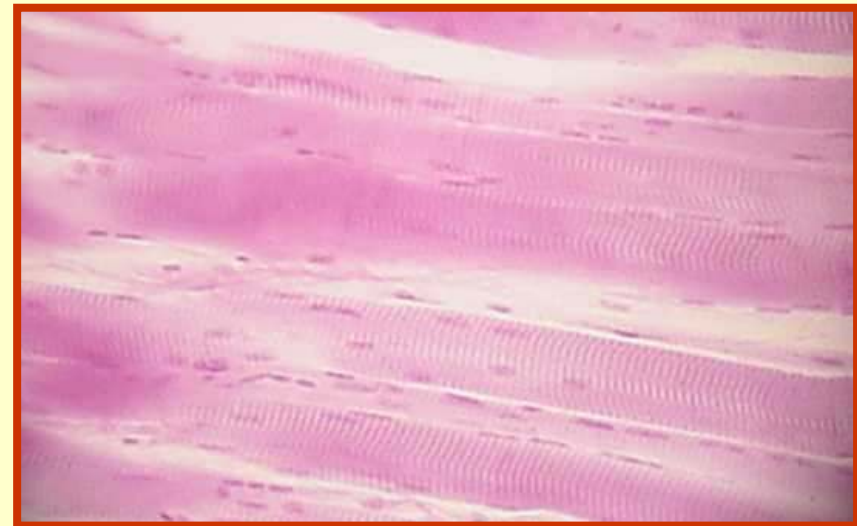
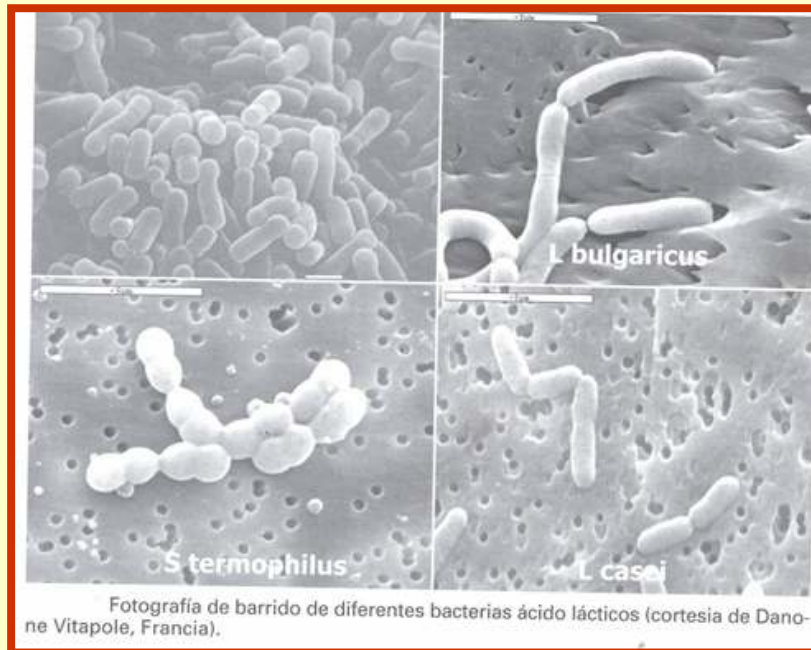
Fermentacións anaerobias

O aceptor final de electróns é un composto de natureza orgánica. Os procesos fermentativos liberan unha menor cantidade de enerxía que a respiración aerobia, debido a que a oxidación do substrato non é completa.



Fermentación láctica

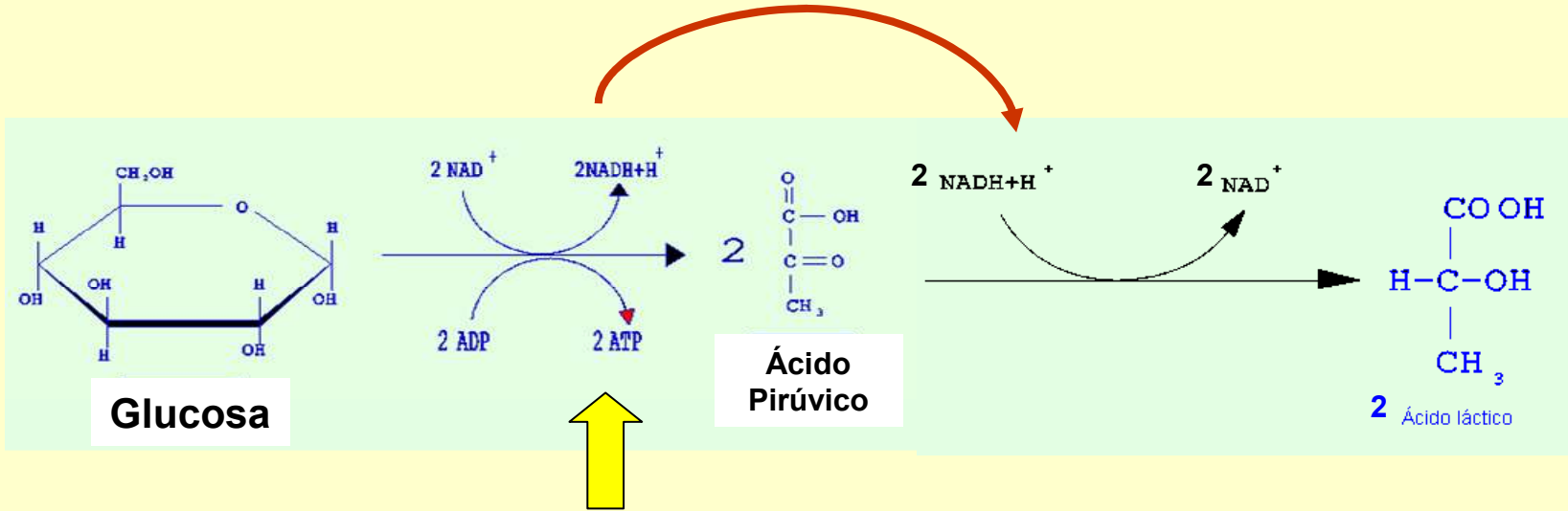
A realizan as bacterias lácticas e as células musculares cando non reciben un aporte suficiente de osíxeno.



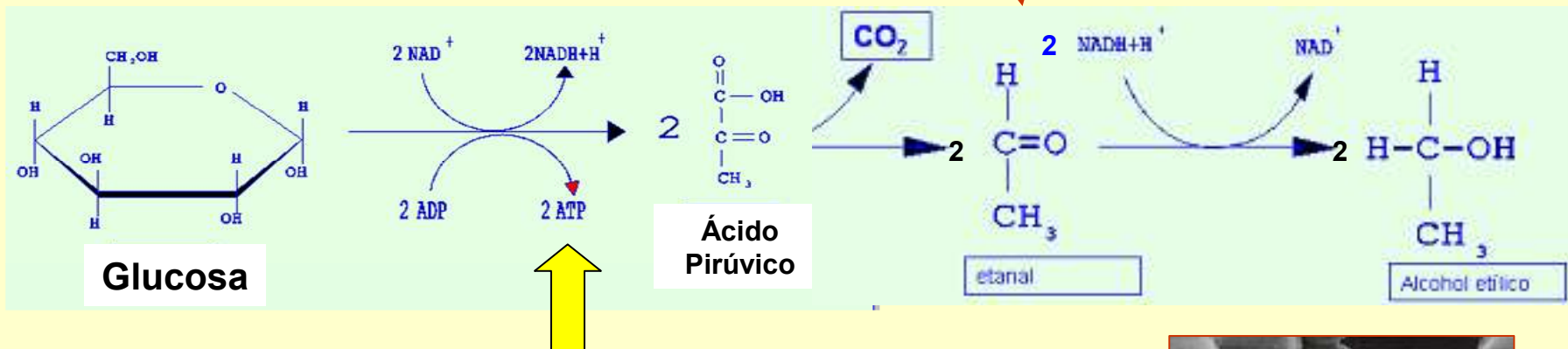
Fibras musculares estriadas

Fonte: Rowland, I. (2002): Alimentos funcionales. Nuevas tendencias en Ortega, R.M. *et al*: *Alimentos funcionales Probióticos*. Madrid: Panamericana

Fermentación láctica

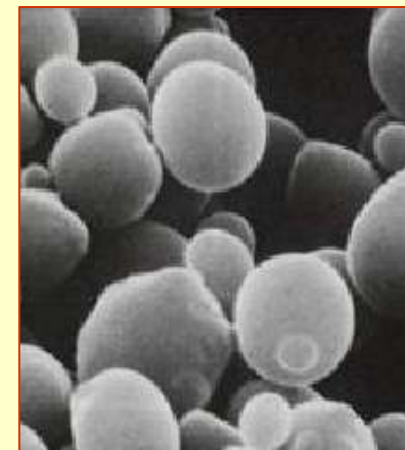


Fermentación alcohólica



Trátase dun proceso de gran importancia industrial dependendo do tipo de levadura dará lugar un tipo de bebida alcohólica: viño, cervexa, sidra...

Saccharomyces cerevisiae



Balance global das diferentes vías da degradación da glicosa

Proceso	Productos Iniciais	Productos finais	ATP
Respiración aerobia	Glicosa	$6 \text{ CO}_2 + 6 \text{ H}_2\text{O}$	36/38ATP
Fermentación láctica	Glicosa	2 Ácido Láctico	2 ATP
Fermentación alcohólica	Glicosa	2 Alcohol etílico + 2 C_2O	2ATP

DIFERENCIAS ENTRE A RESPIRACIÓN AEROBIA E AS FERMENTACIONES

Respiración aerobia	Fermentación
Oxidación total Prodúcense compostos inorgánicos pobres en enerxía	Oxidación parcial Obtense compostos orgánicos ricos en enerxía
O último aceptor de electróns é o O ₂	O último aceptor de electróns é unha molécula orgánica
Realízase no hialoplasma e nas mitocondrias	Realízase no hialoplasma
Obtense gran cantidade de enerxía (38 ATP)	Obtense menos cantidade de enerxía (2 ATP)
Células eucarióticas	Microorganismos e células musculares



*Departamento Bioloxía e Xeoloxía
I.E.S. Otero Pedrayo. Ourense.*