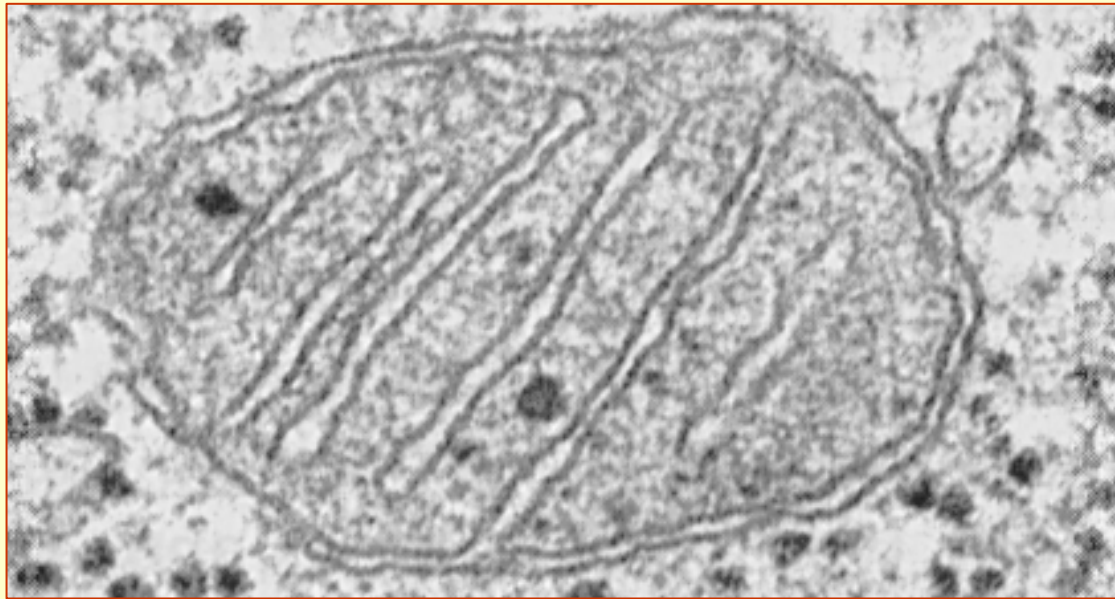


CATABOLISMO



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**

☐ **Respiración anaerobia**

☐ **Fermentacións**

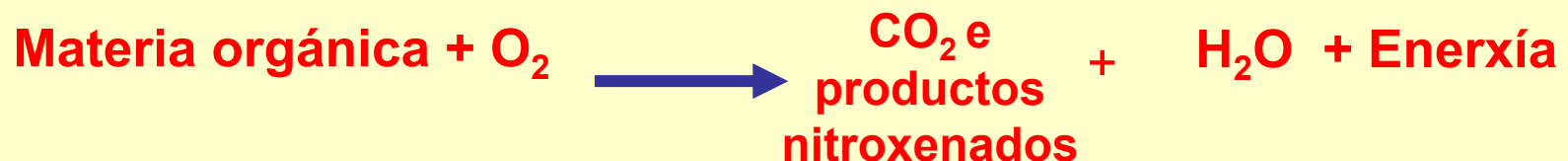
❑ **Respiración aerobia.** O aceptor terminal de electróns é o osíxeno. A degradación do substrato que se oxida é total, sendo os produtos resultantes CO_2 e H_2O , substancias inorgánicas practicamente carentes de enerxía. Por esta circunstancia a respiración aerobia é a que máis cantidade de enerxía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

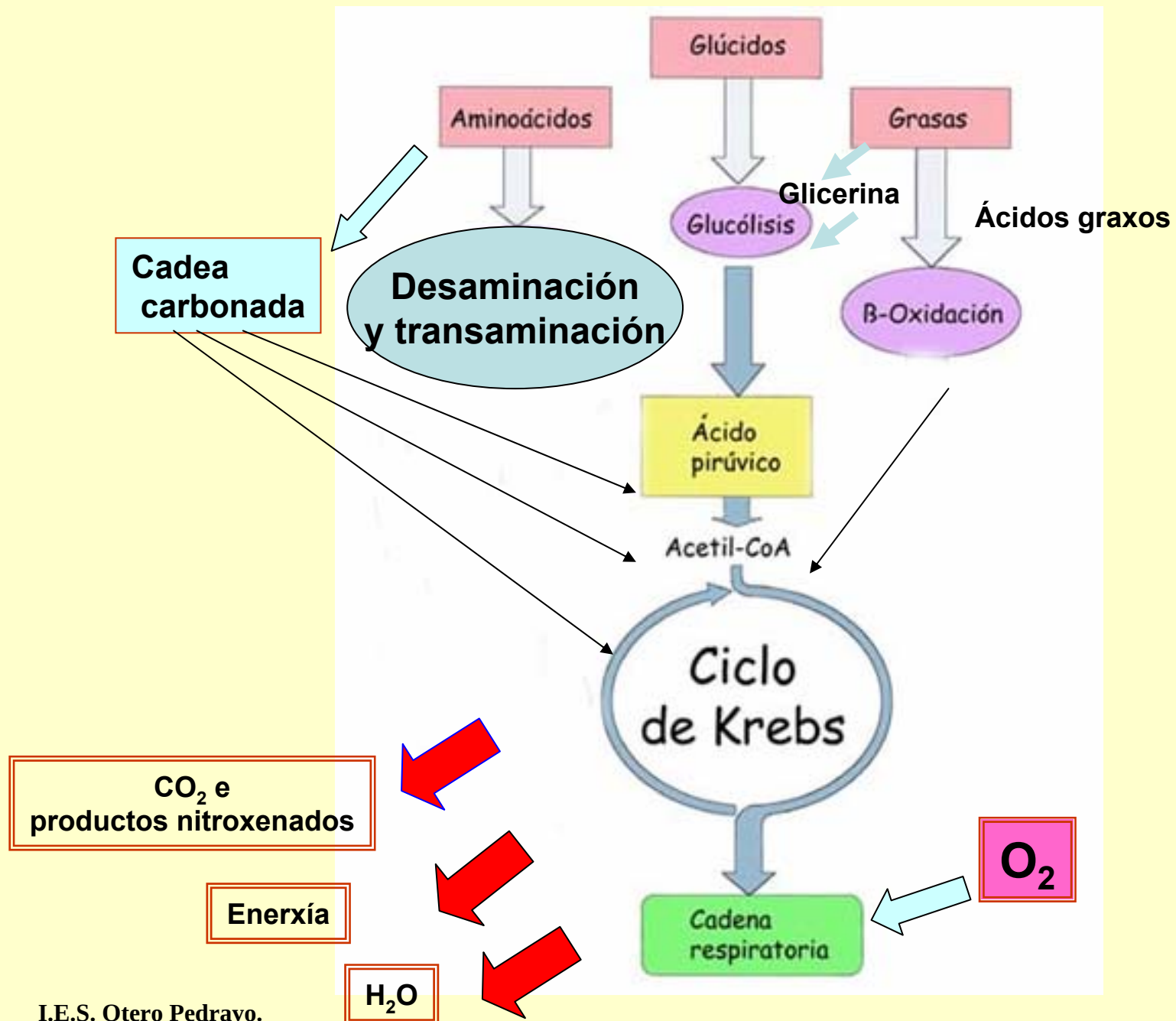
❑ **Respiración anaerobia.** O aceptor final de electróns é un composto inorgánico, pero distinto do osíxeno (NO_3^- , SO_4^{2-} , CO_2). Esta forma de respiración existe en **algunhas bacterias** (anaerobias estrictas, anaerobias facultativas).

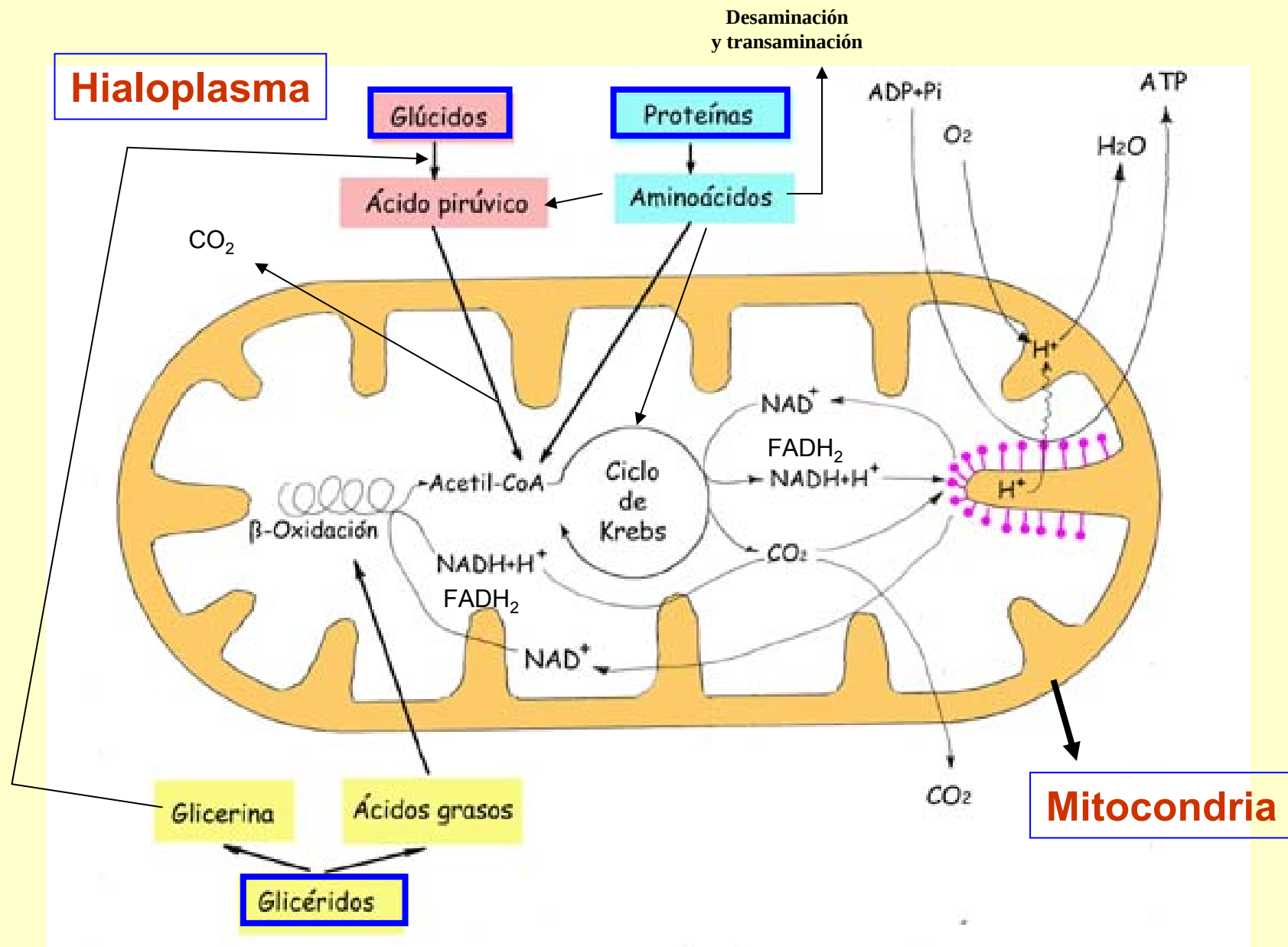
❑ **Fermentacións.** O aceptor final de electróns é un composto de natureza orgánica. Os procesos fermentativos liberan unha menor cantidade de enerxía que a respiración aerobia, debido a que a **oxidación do substrato non é completa.** Dentro das fermentacións pódense incluír as **putrefaccións** (fermentación 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.

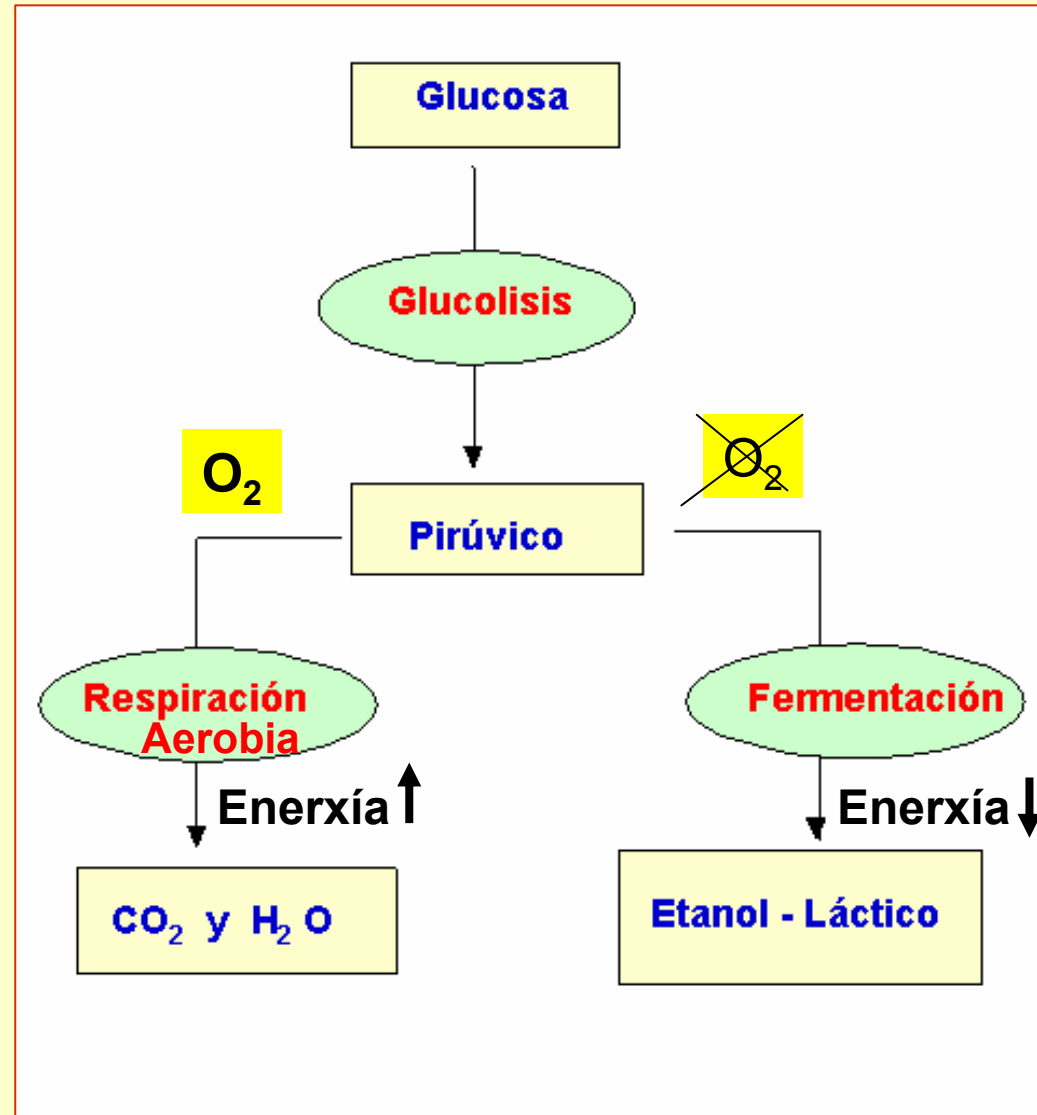






Fonte modificada http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/contenidos3.htm

CATABOLISMO DE LA GLUCOSA



FASES DA RESPIRACIÓN AEROBIA DA GLICOSA

1. GLICÓLISE

2. DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA DO ÁCIDO PIRÚVICO

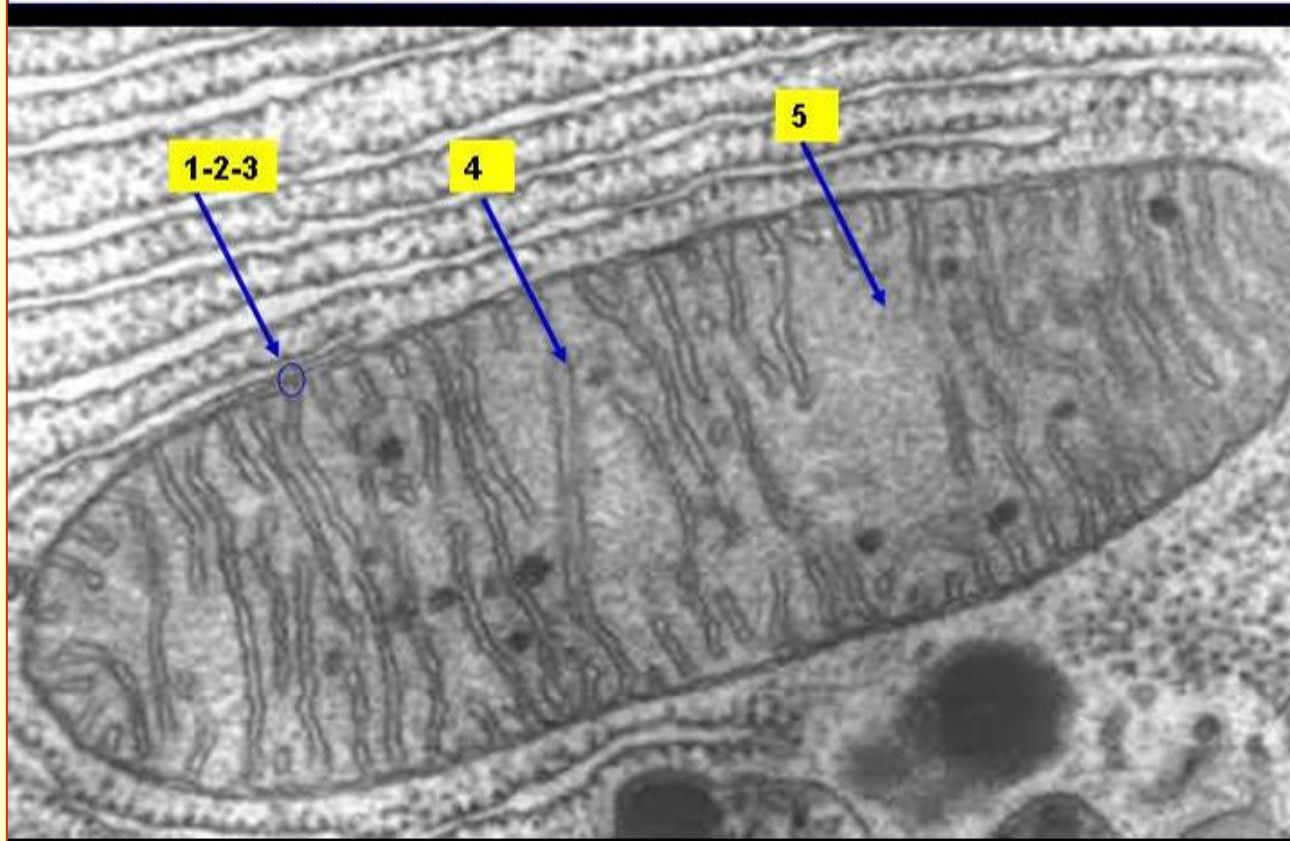
3. CICLO DE KREBS

**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.

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

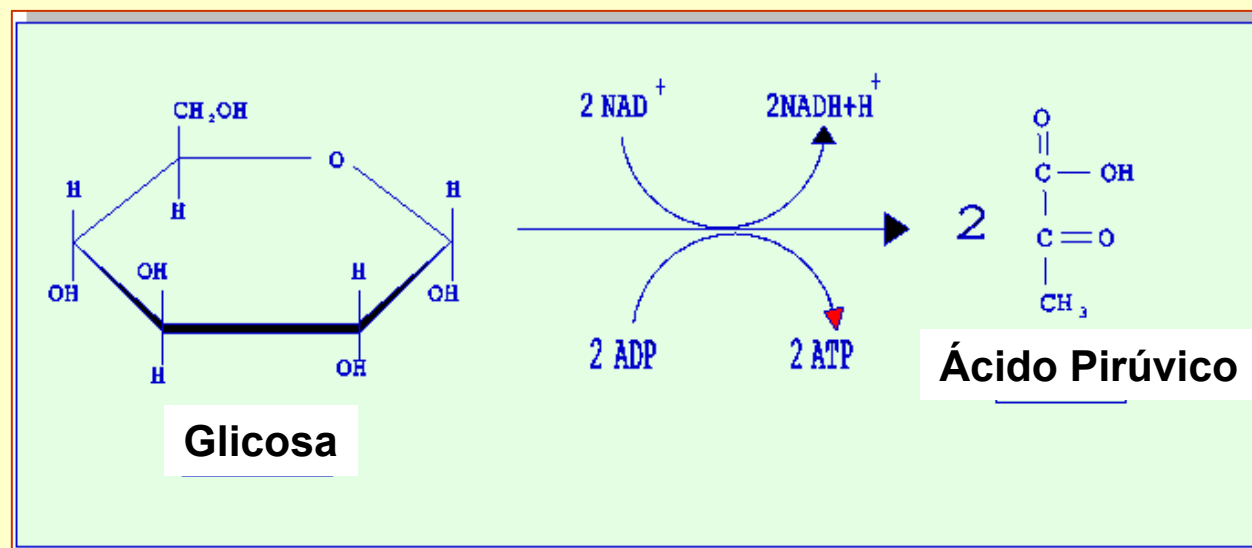


1. GLICÓLISE

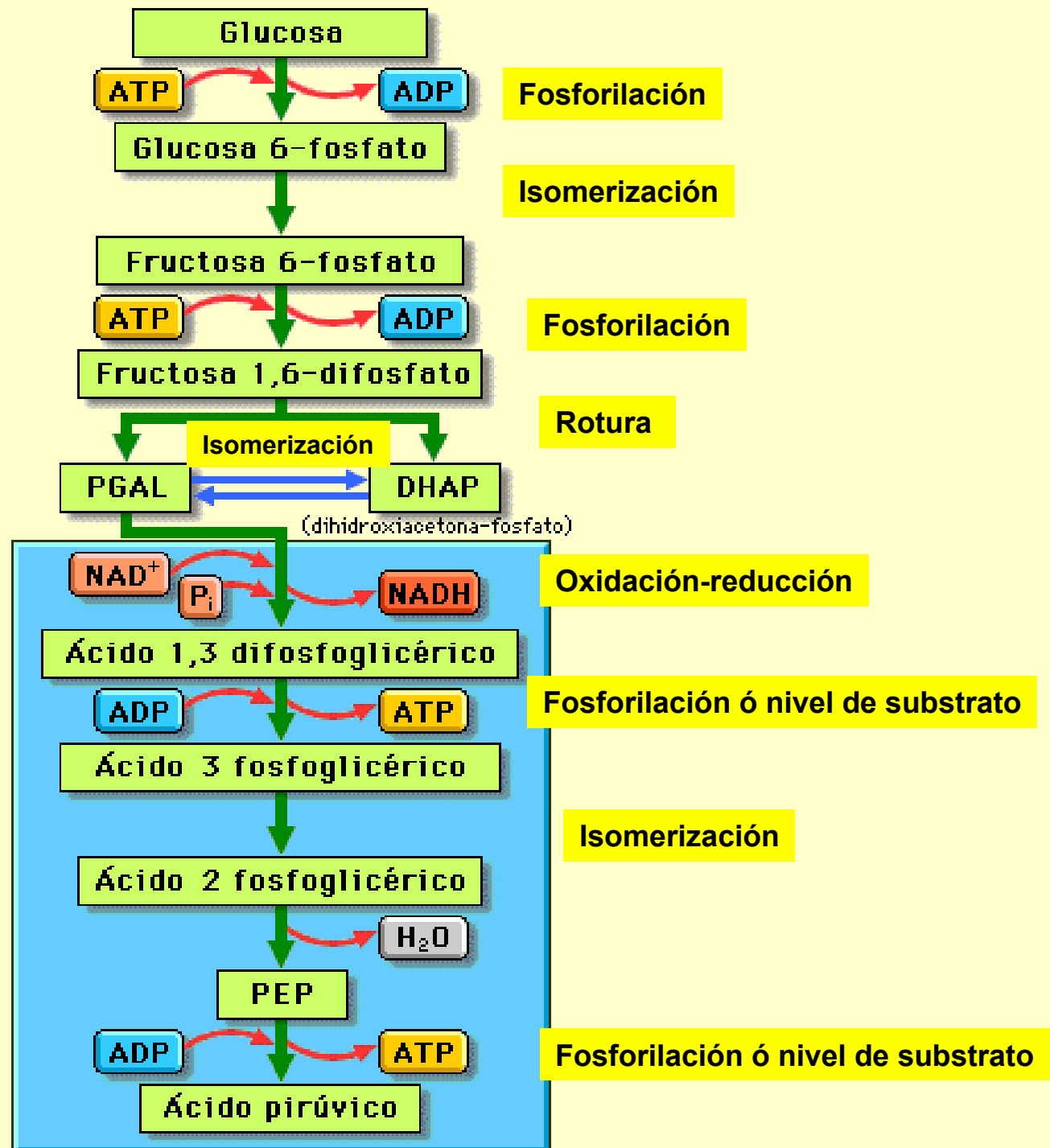
Prodúcese en todas as células vivas, desde procariotas ata eucariotas animais e vexetais. Necesítase a enerxía de 2 moléculas de ATP para iniciar o proceso, pero unha vez iniciado prodúcese 2 moléculas de NADH e 4 de ATP polo que o balance final é de: 2 NADH e 2 ATP por molécula de glicosa.

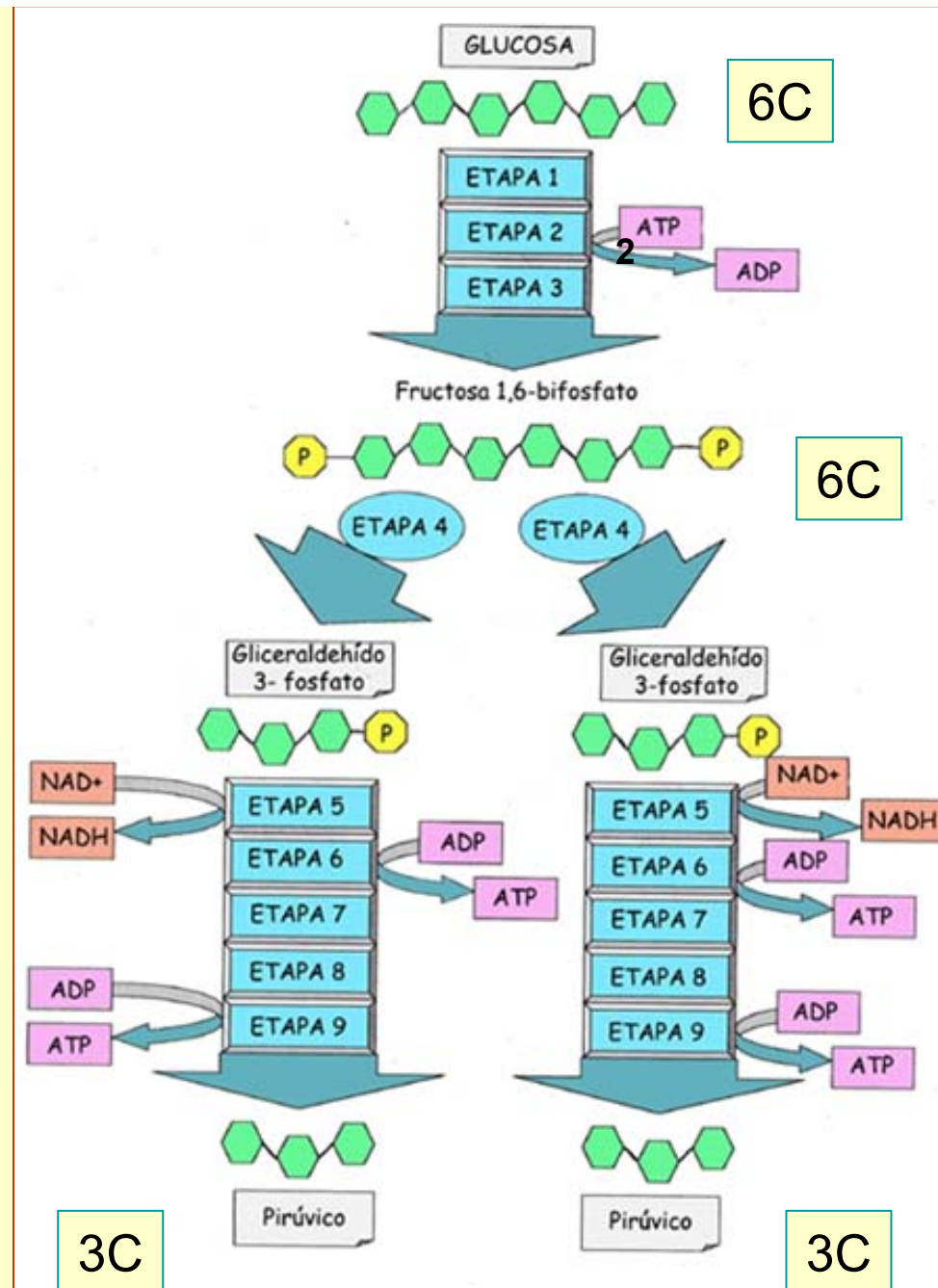
(6C)

(3C)

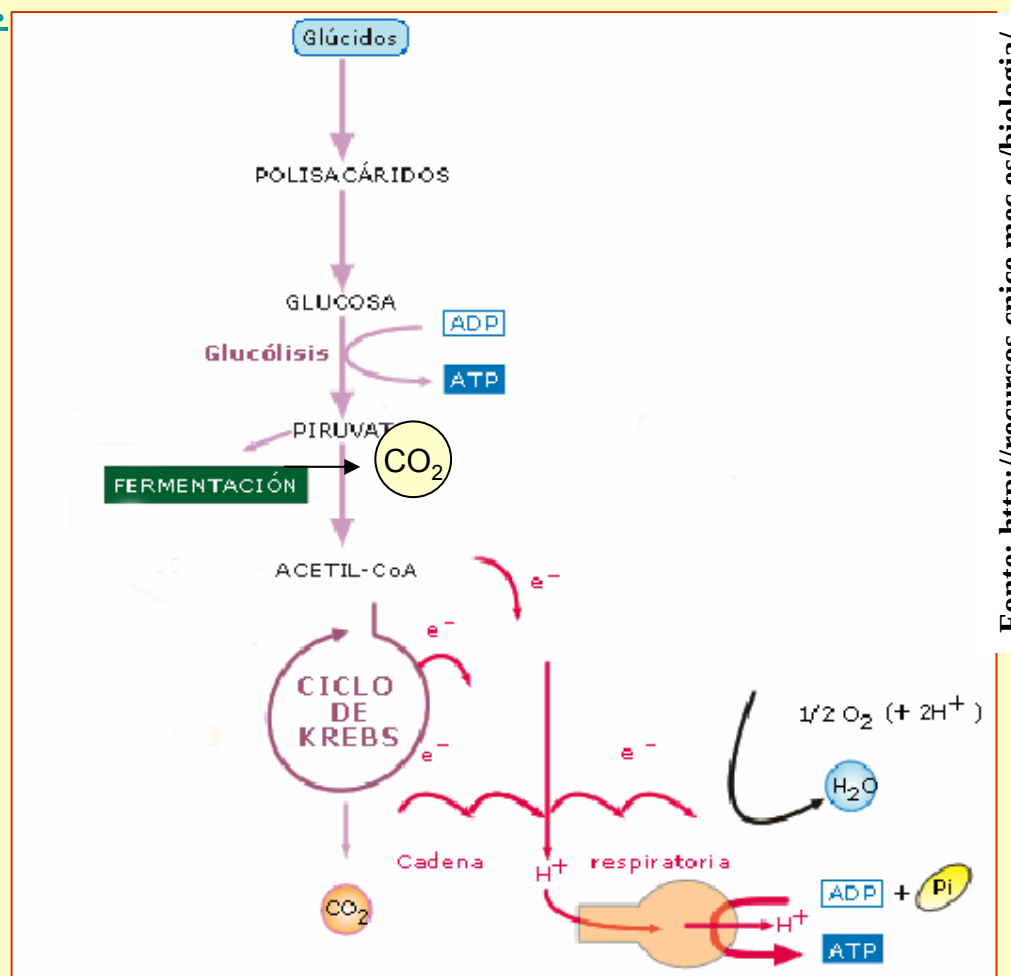


A glicolise é unha ruta anaeróbica que se realiza no hialoplasma





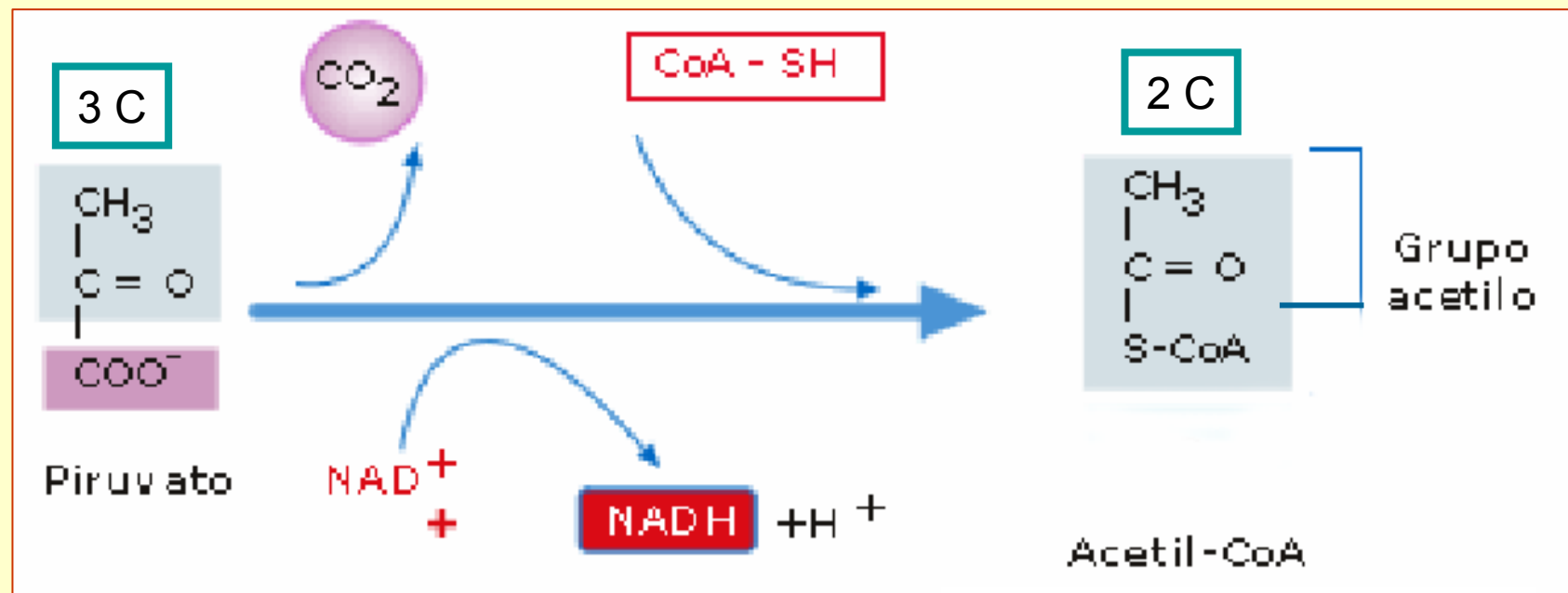
O piruvato que se obtén ó final da glicólise atópase nunha encrucillada metabólica na que pode seguir dous destinos, dependendo da presenza de osíxeno e o tipo de célula. Pode seguir a vía anaerobia das fermentacións ou a vía aerobia da respiración celular.



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

2. DESCARBOXILACIÓN OXIDATIVA DO ÁCIDO PIRÚVICO

Tras a glicólise, o **ácido pirúvico** (3C), en presencia de osíxeno pasa desde o citoplasma á matriz mitocondrial, atravesando as membranas e, mediante a descarboxilación oxidativa, obtentense un composto de 2C o **acetil-CoA**.



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

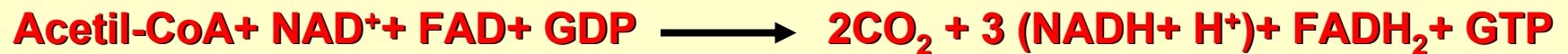
3. CICLO DE KREBS

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.

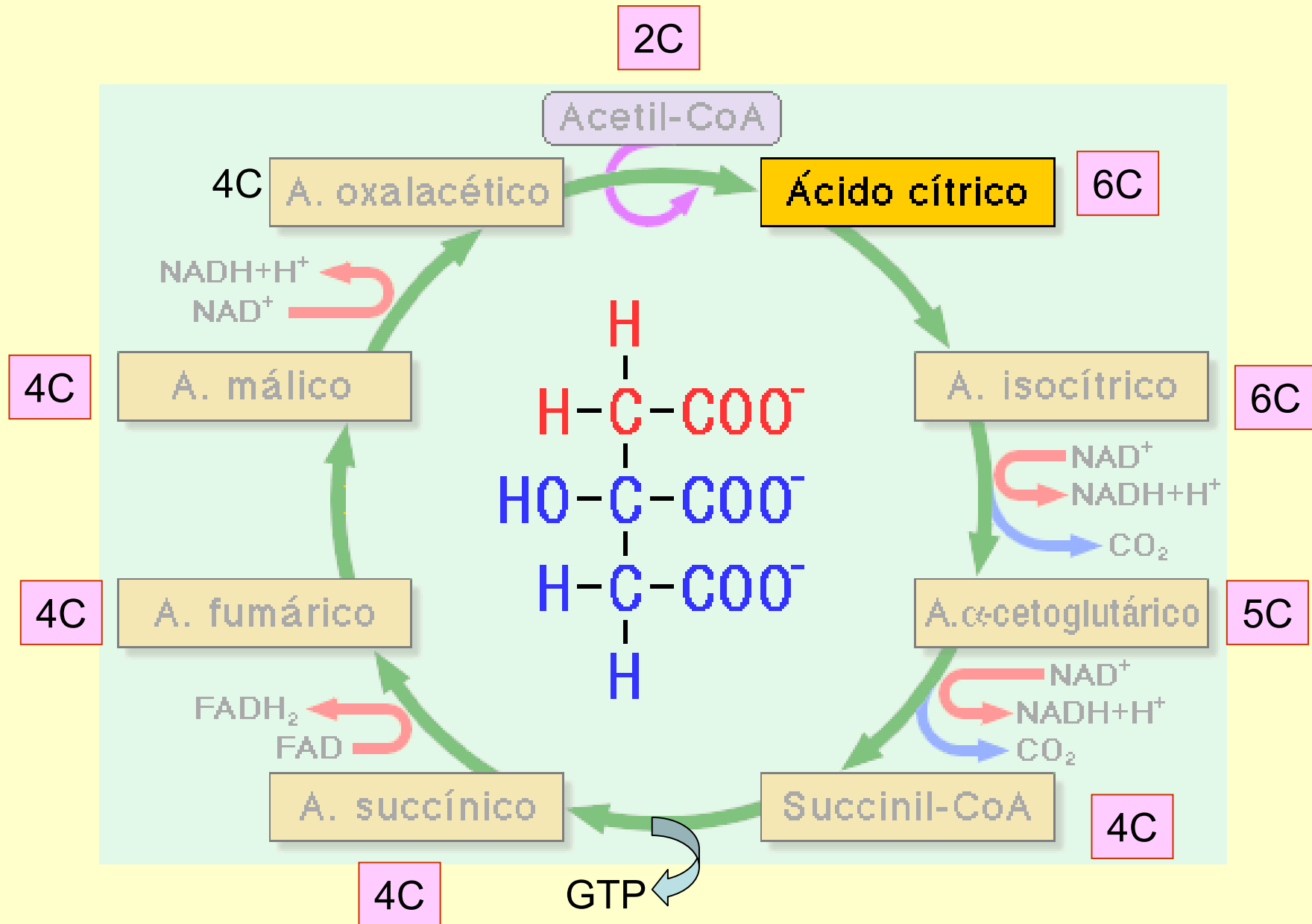
Trátase dunha ruta central do metabolismo na que non só van a a ser degradados os glúcidos senón ademais os ácidos graxos e algúns aminoácidos.



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)**.

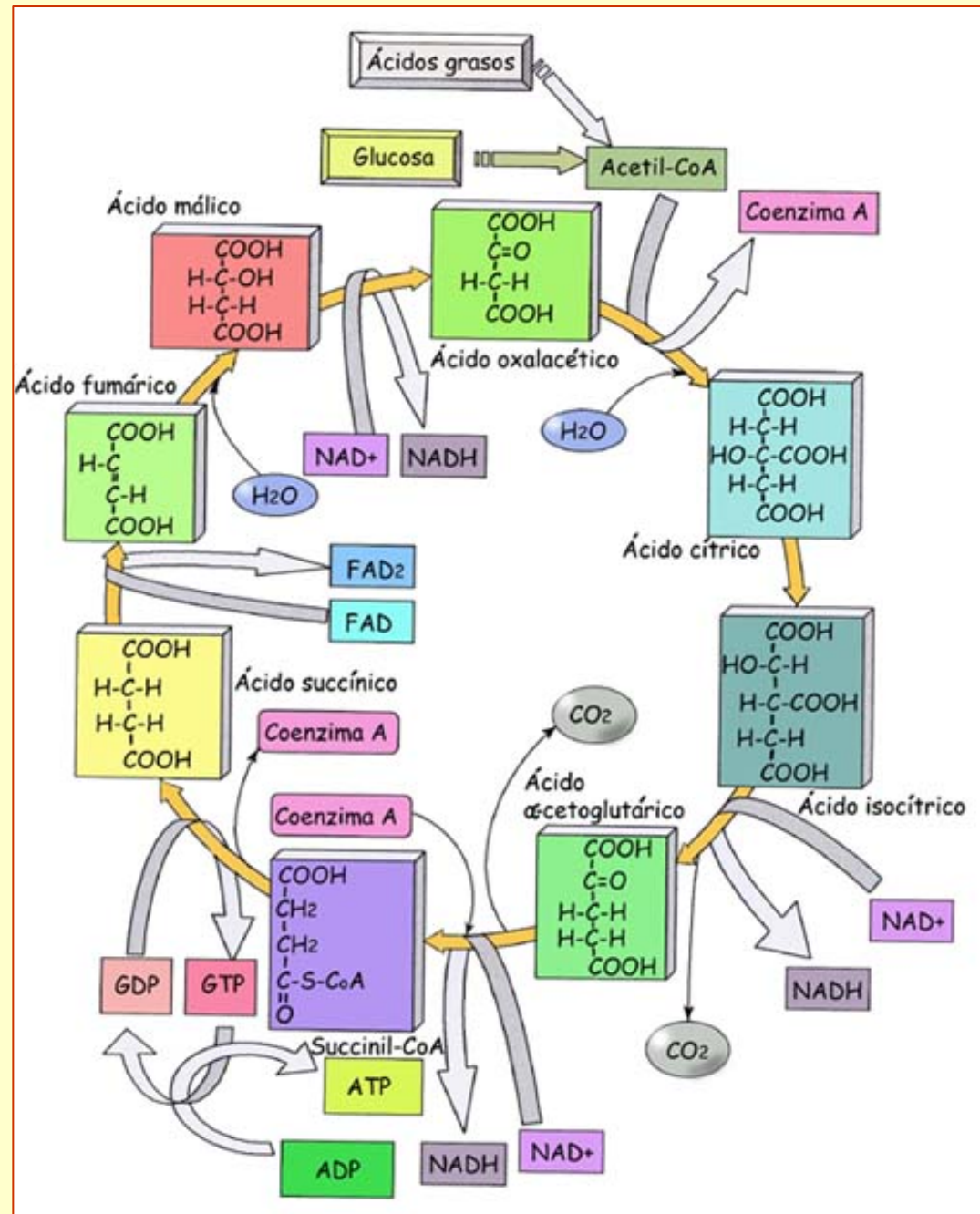
3ª) Descarboxilación oxidativa del **ácido isocítrico (ISO)** que se transforma en **α -cetoglutarico (α -KG)** con la formación de **CO₂** y **NADH+H⁺**.

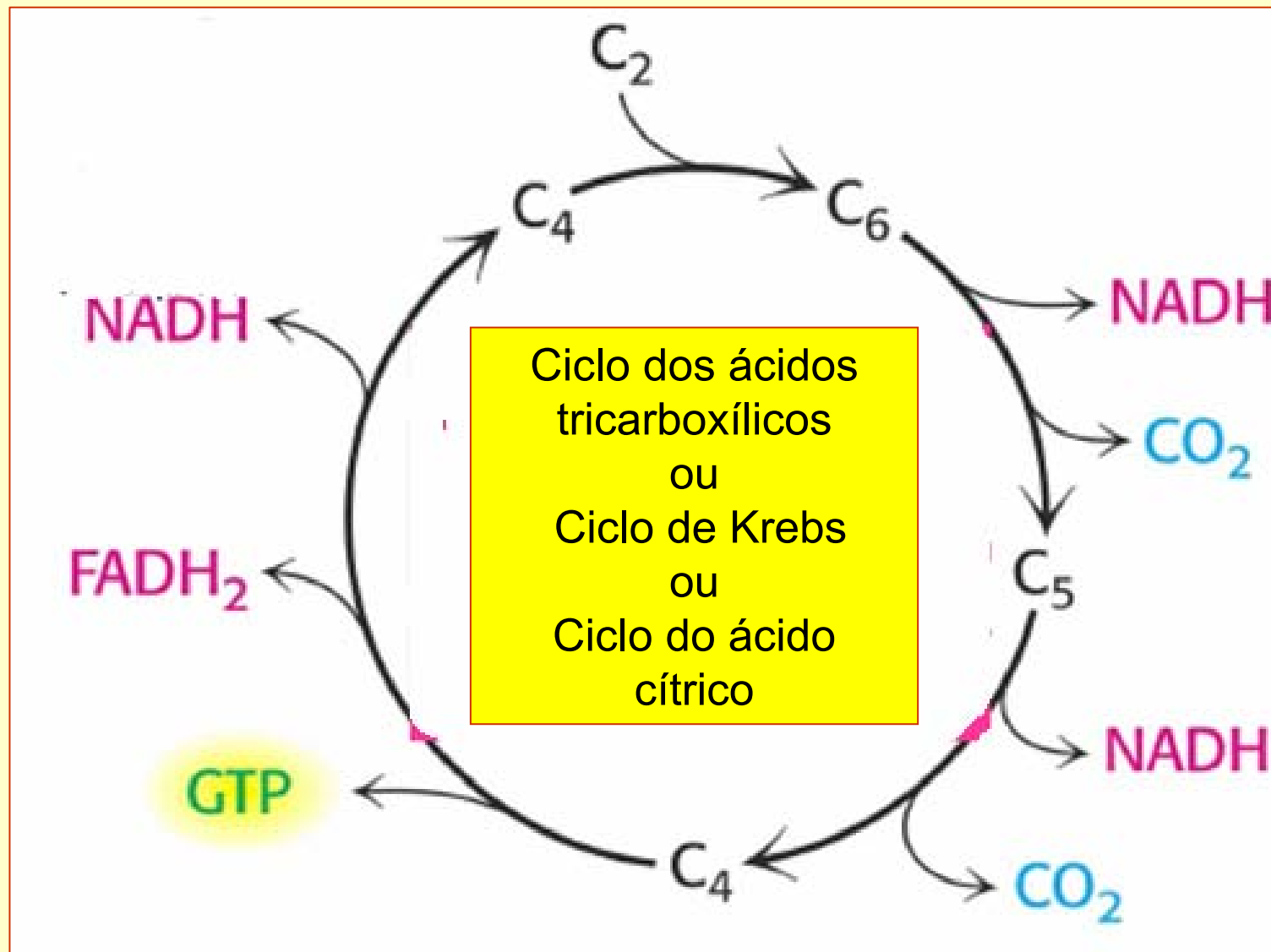
4ª) Descarboxilación oxidativa del **ácido α -cetoglutarico (α -KG)** formándose **CO₂**, **NADH+H⁺** y 1 **GTP (ATP)**. El **α -cetoglutarico (α -KG)** se transforma en **ácido succínico (SUC)**.

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)**.

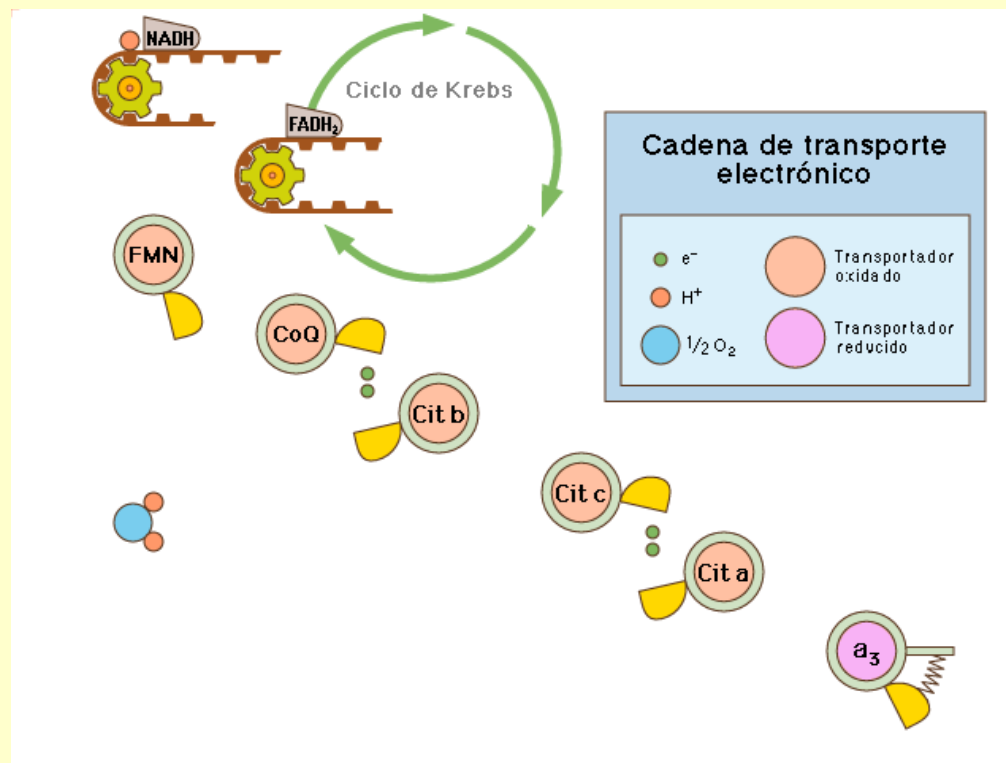
7ª) Oxidación por el **NAD⁺** del alcohol del ácido málico, que se transforma en el **ácido oxalacético (OXA)**, completándose el ciclo.





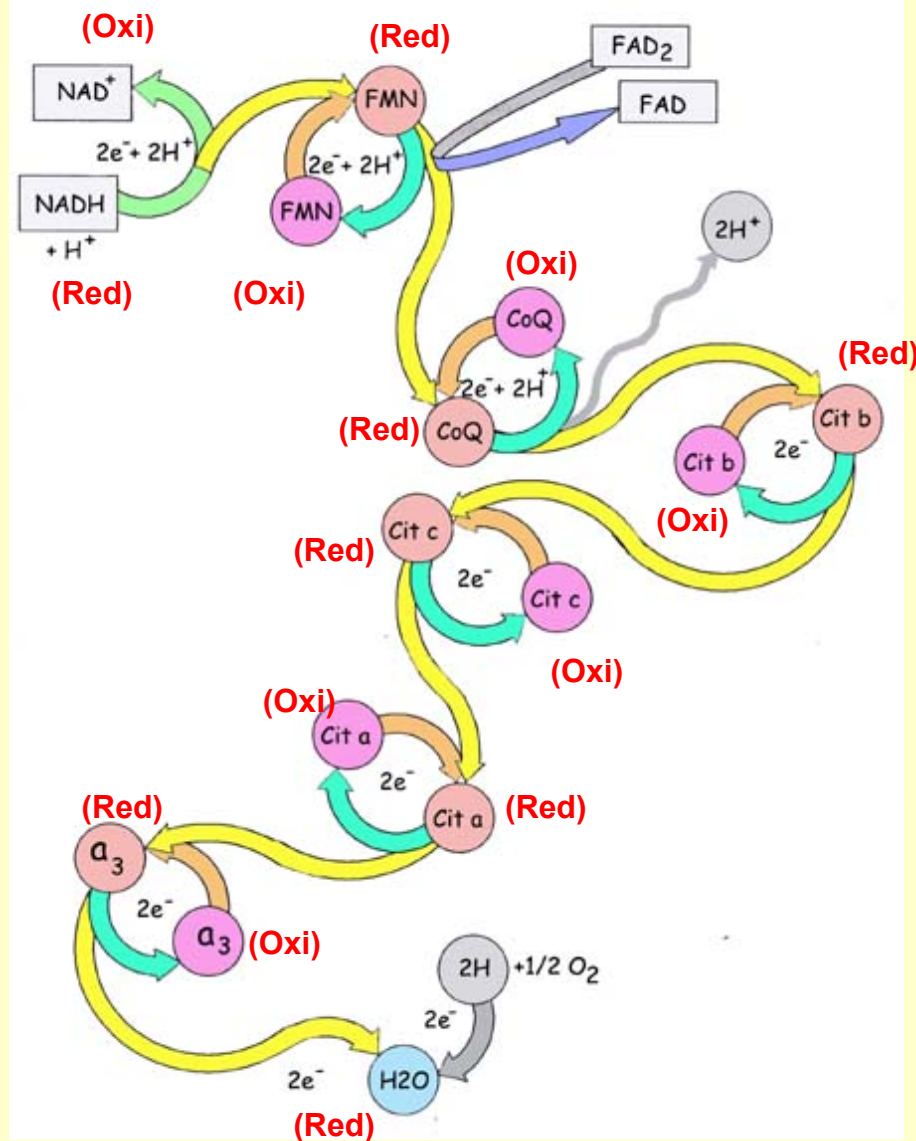
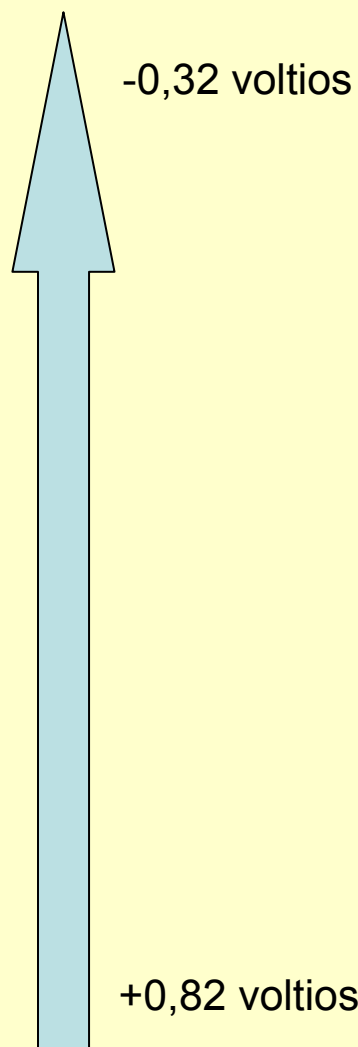
4. CADEA DO TRANSPORTE ELÉCTRÓNICO OU CADEA RESPIRATORIA

A molécula de **glicosa** que iniciou a glicólise está completamente oxidada. Parte da súa enerxía investíuse 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

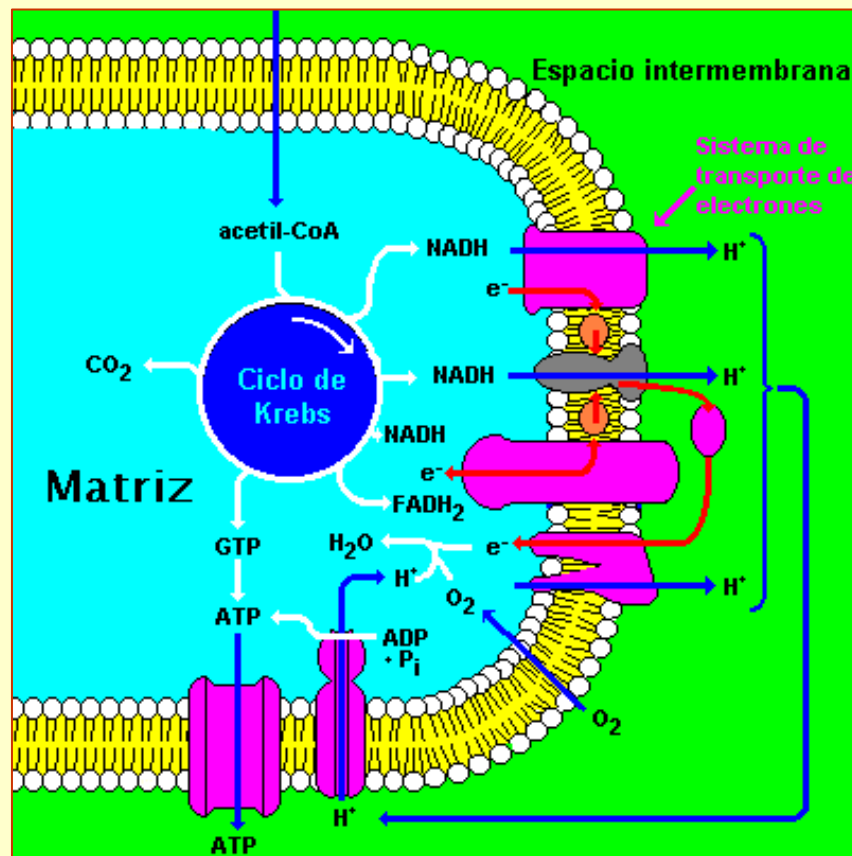
Os **electróns** procedentes da glicólise, da oxidación do ácido pirúvico e do ciclo de Krebs incorpóranse á cadea do transporte de electróns e son conducidos a través dunha cadea con múltiples e sucesivos aceptores, cada un dos cales é capaz de aceptar electróns a un nivel lixeiramente inferior ó precedente.



http://recursos.cnice.mec.es/biostera/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 FADH_2 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.



***Teoría quimiosmótica de Mitchell, ver tema: Fotosíntese**

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**.

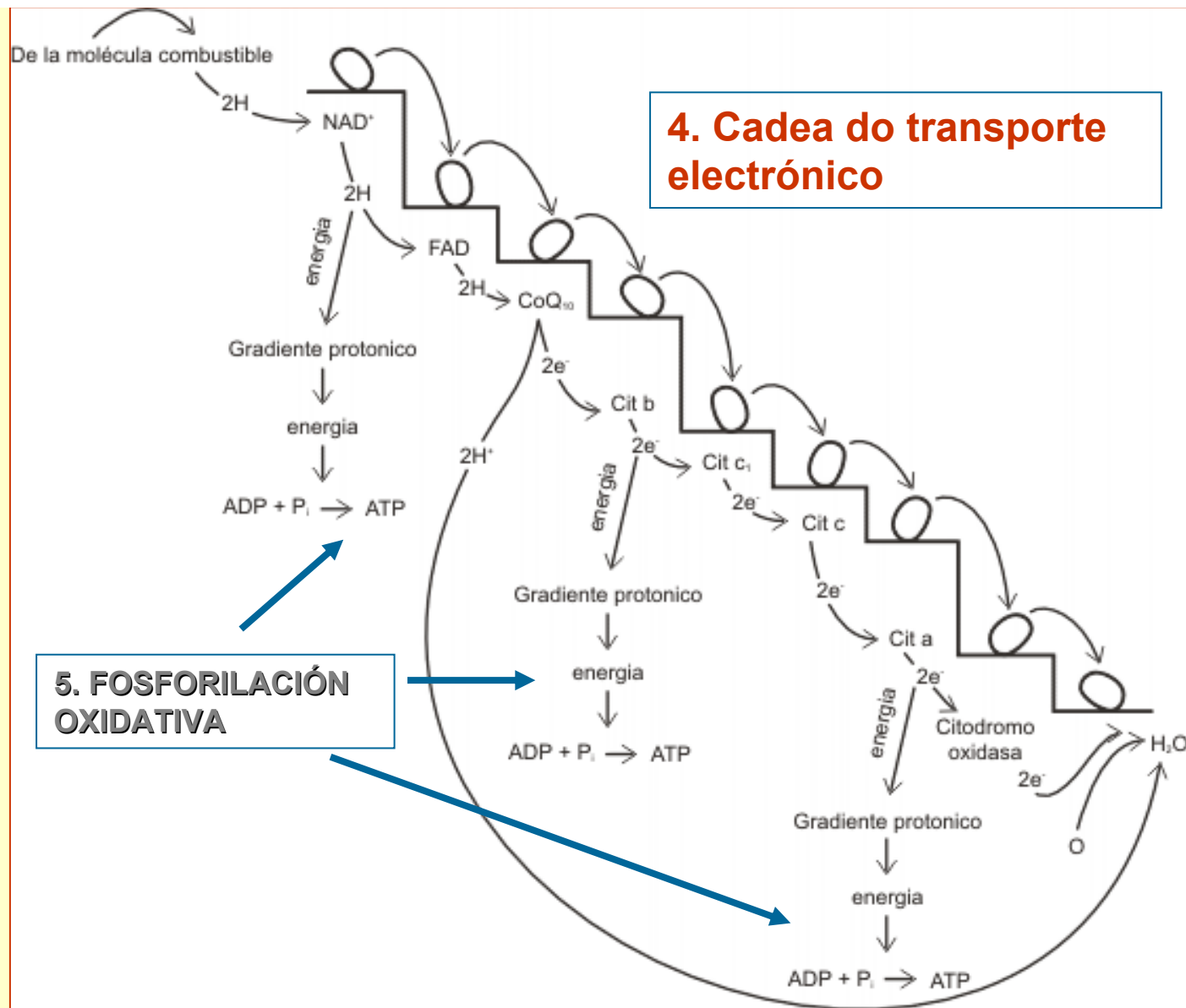
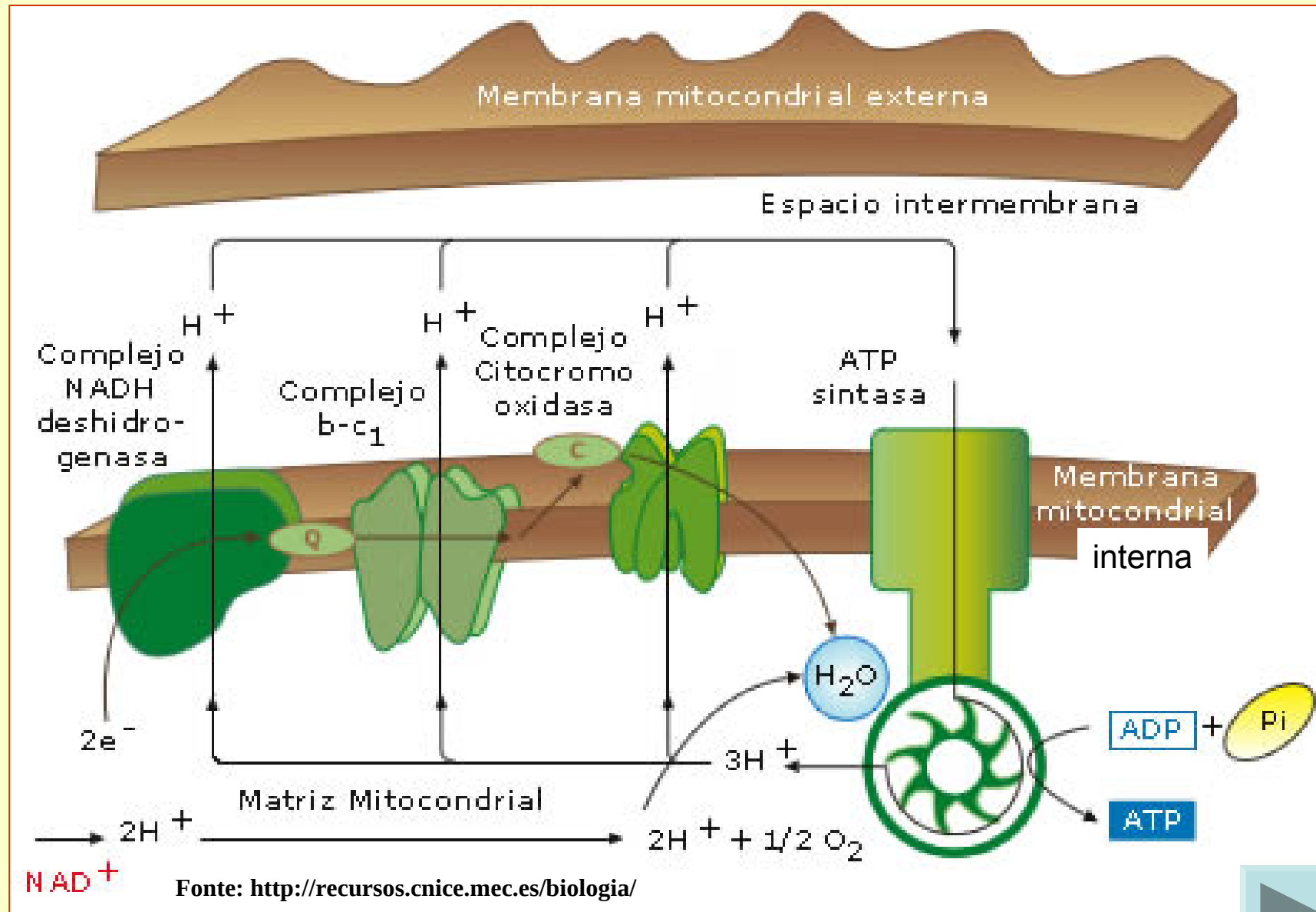


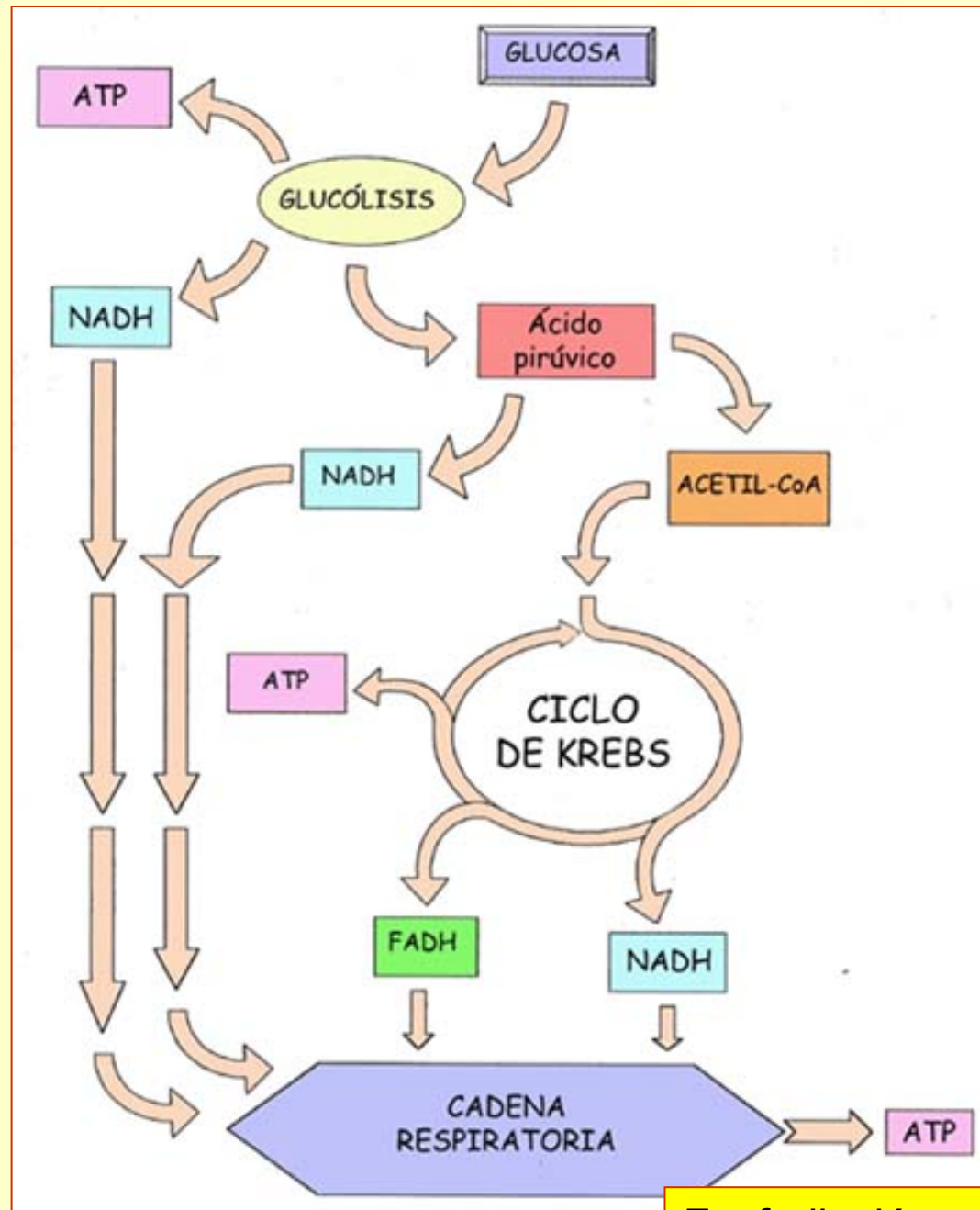
Diagrama da cadea respiratoria e da fosforilación oxidativa asociada

<http://genomasur.com/lecturas/Guia09.htm>



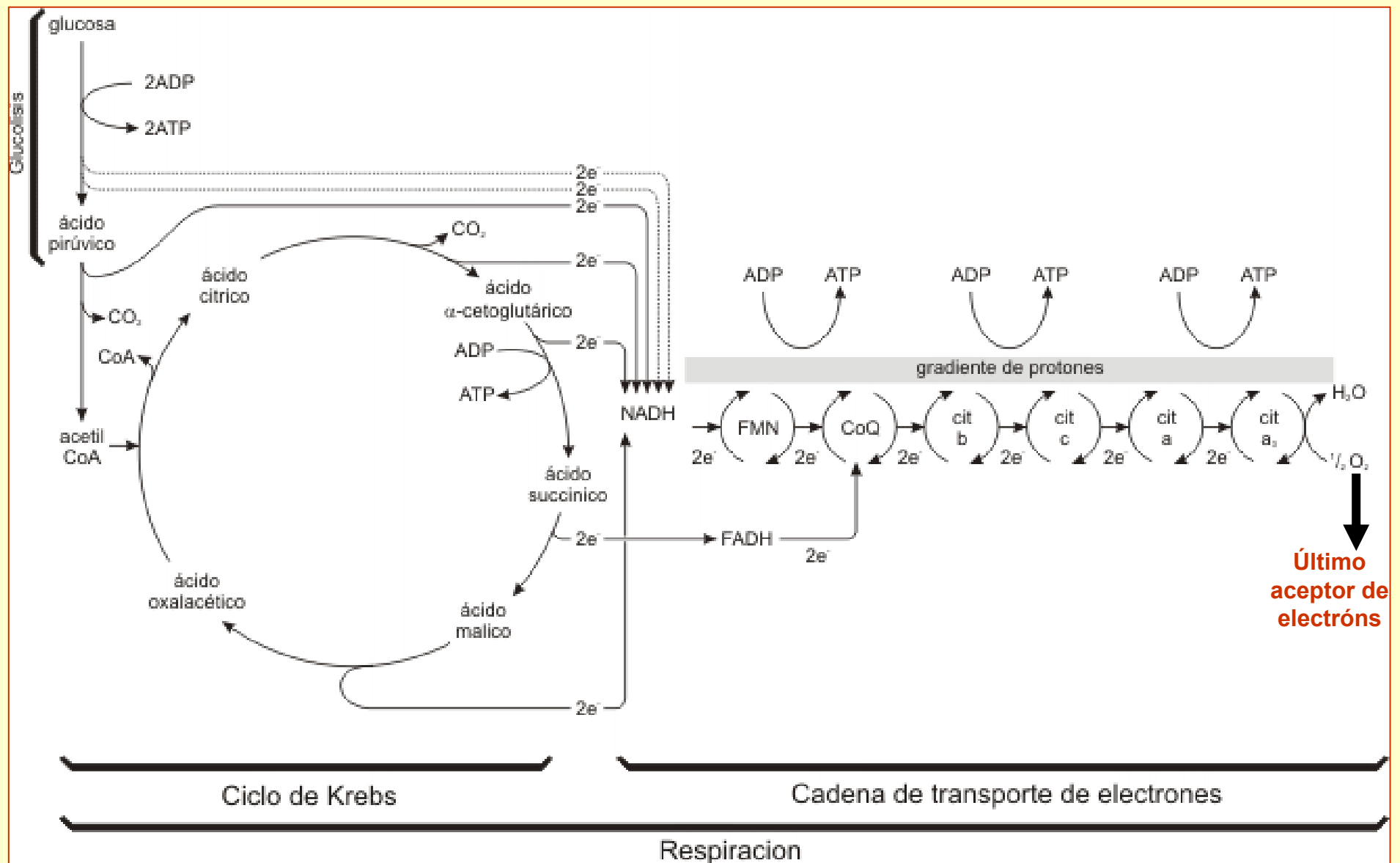
Transferencia de electróns e fosforilación oxidativa na cadena respiratoria mitocondrial





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





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.

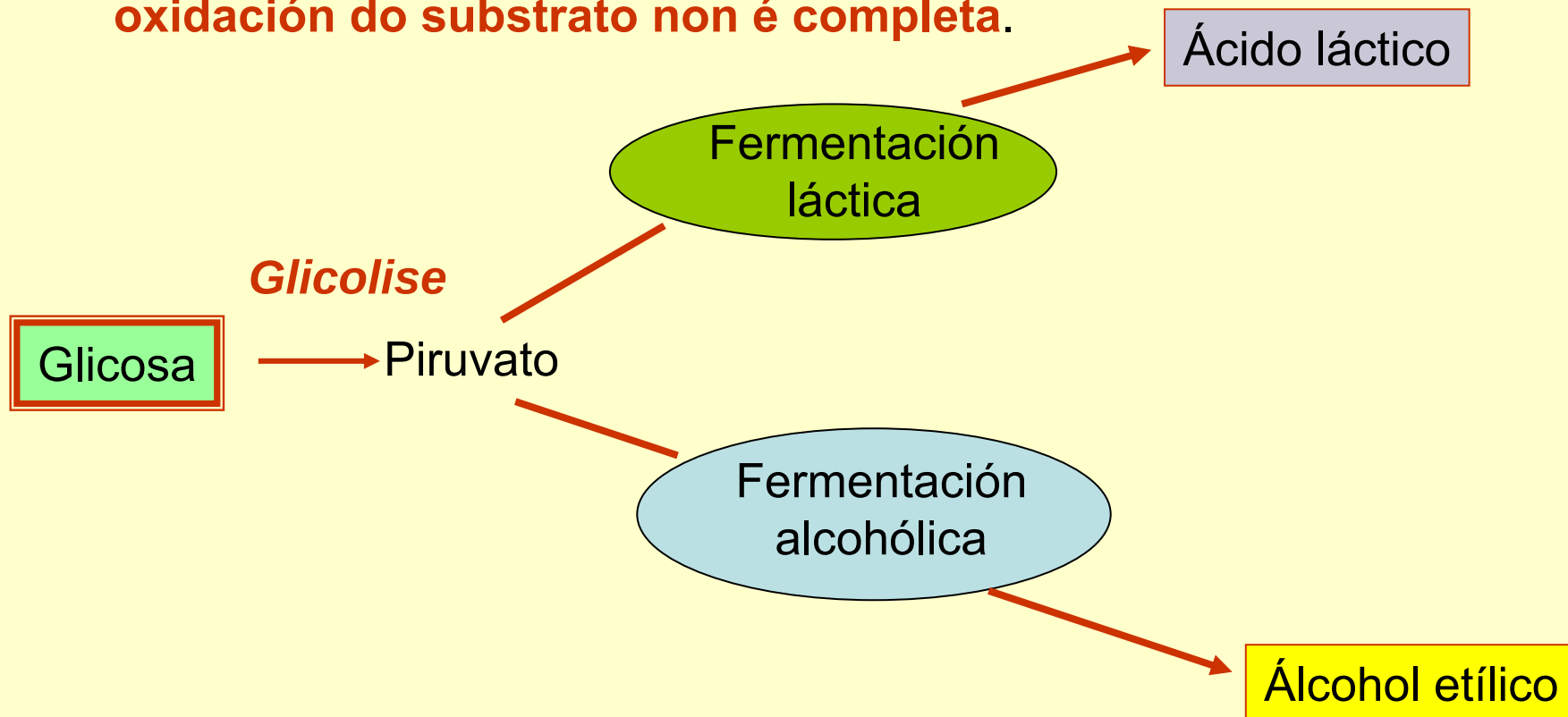
Resumindo todo o anteriormente explicado podemos facer un **balance enerxético global dos procesos do catabolismo dos glúcidos:**

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

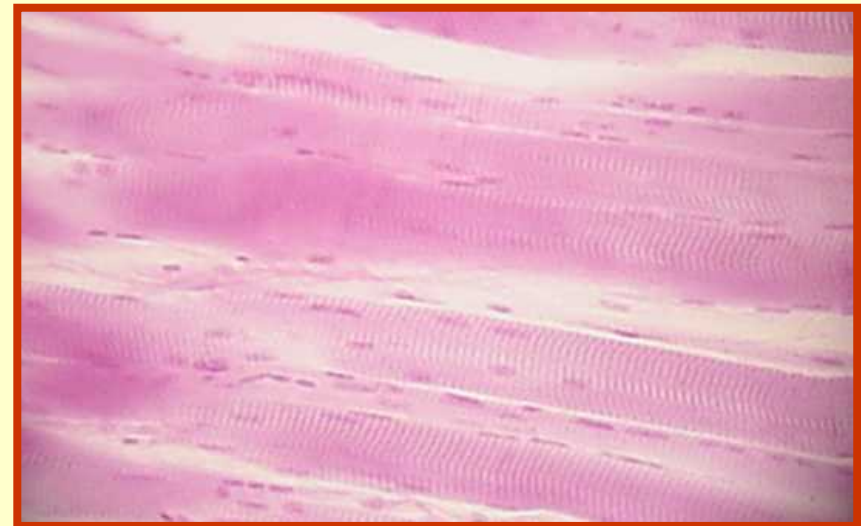
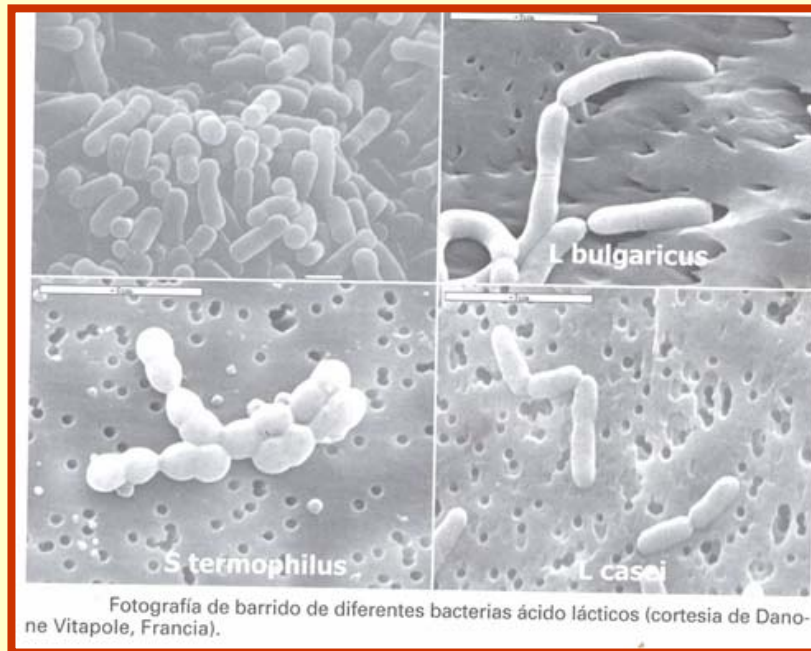
Fermentacións anaerobias

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

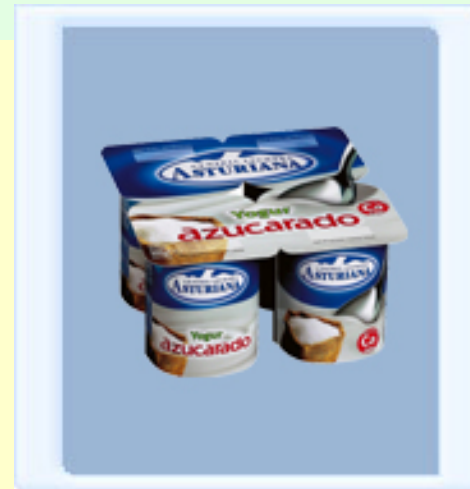
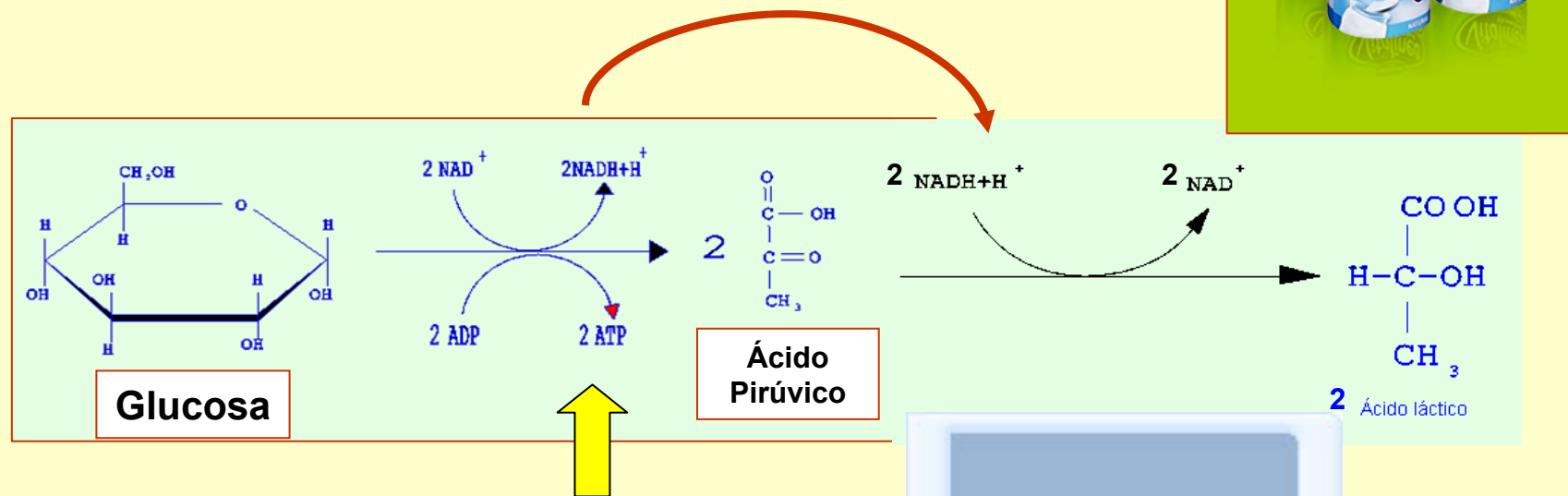
A realizan as bacterias lácticas e as células musculares cando non reciben un aporte suficiente de osíxeno.

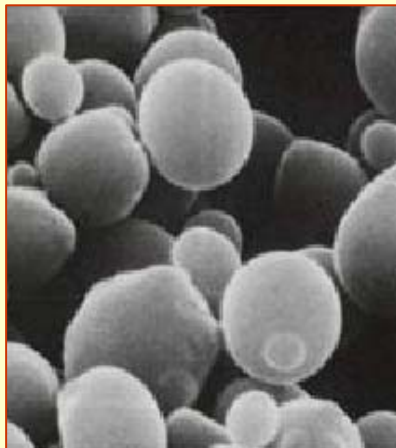


Fibras musculares estriadas

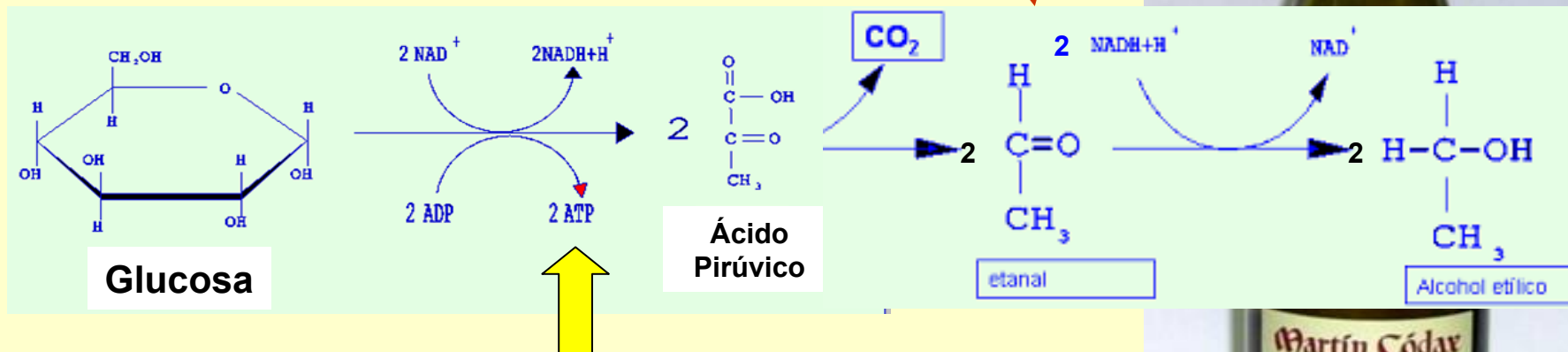
Fonte: Rowland, I. (2002): Alimentos funcionales.
Nuevas tendencias en Ortega, R.M. et al: *Alimentos funcionales Probióticos*. Madrid: Panamericana

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

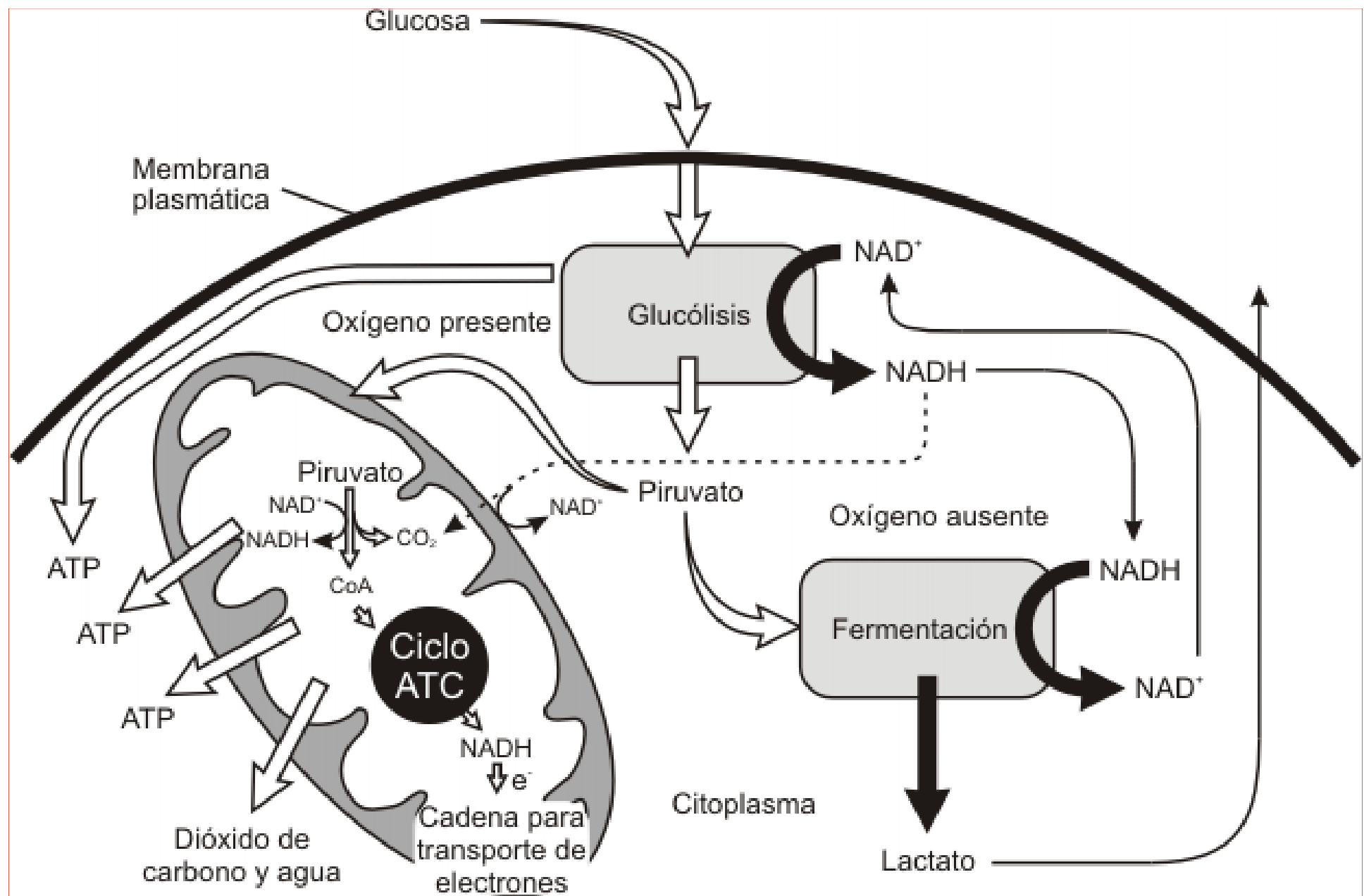


Balance global das diferentes vías da degradación da glicosa

Proceso	Productos Iniciais	Productos finais	ATP
Respiración aerobia	Glicosa	6 CO ₂ + 6H ₂ O	36/38ATP
Fermentación láctica	Glicosa	2 Ácido Láctico	2 ATP
Fermentación alcohólica	Glicosa	2 Alcohol etílico + 2 CO ₂	2ATP

DIFERENCIAS ENTRE A RESPIRACIÓN AEROBIA E AS FERMENTACIÓNS

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 ultimo 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

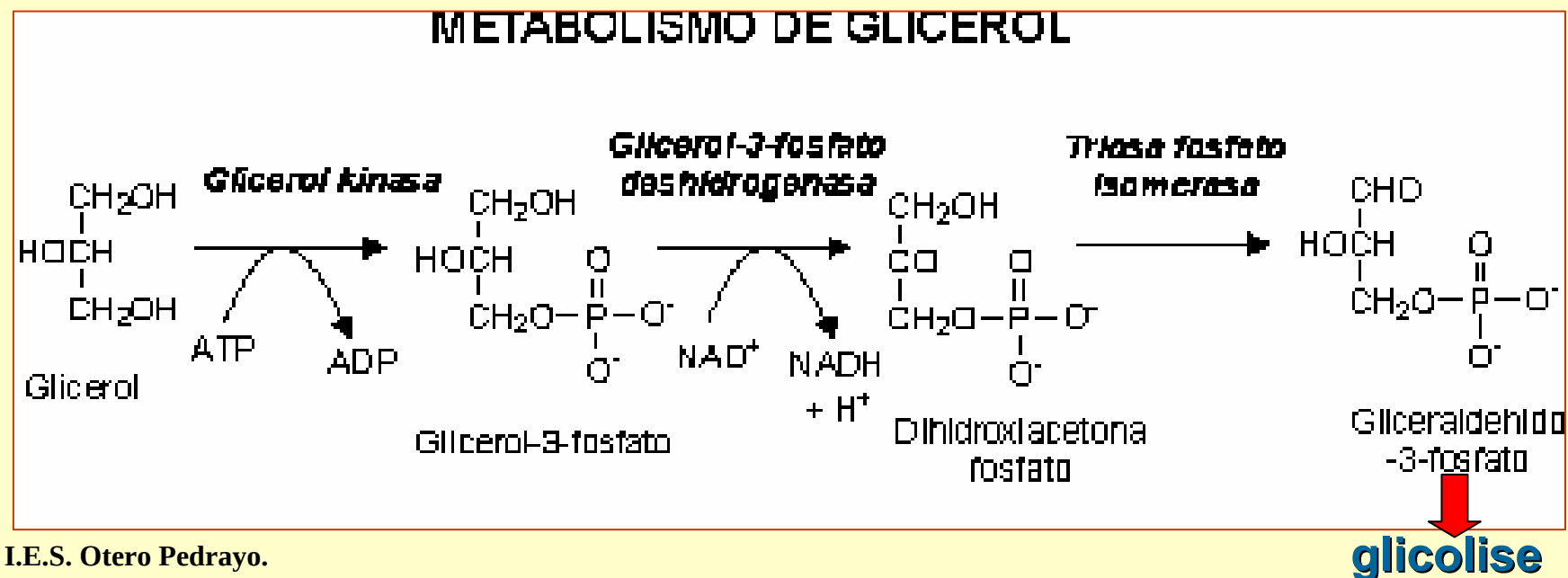


CATABOLISMO DOS LÍPIDOS

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

Catabolismo da glicerina

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

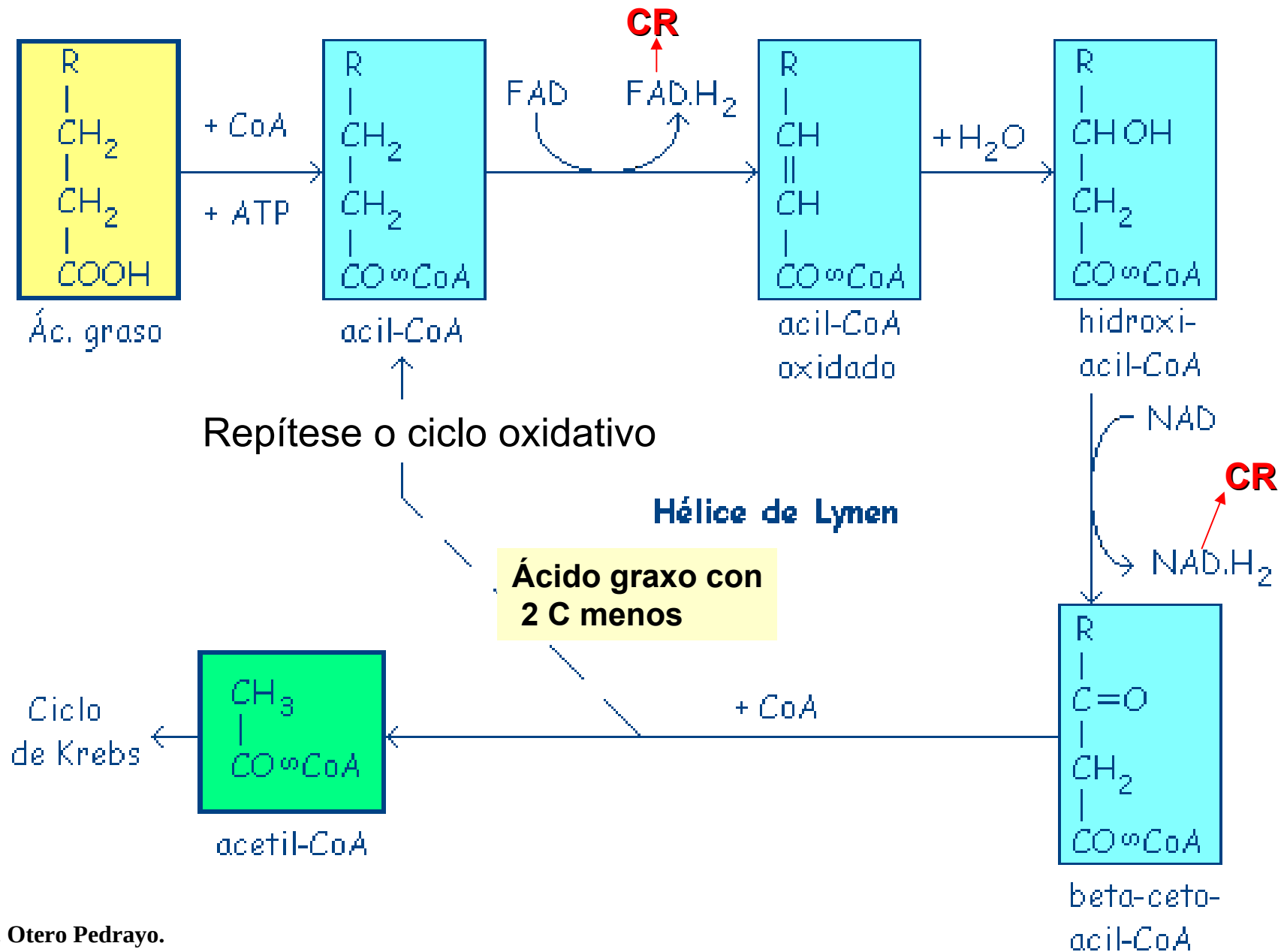


Catabolismo dos ácidos graxos

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**.

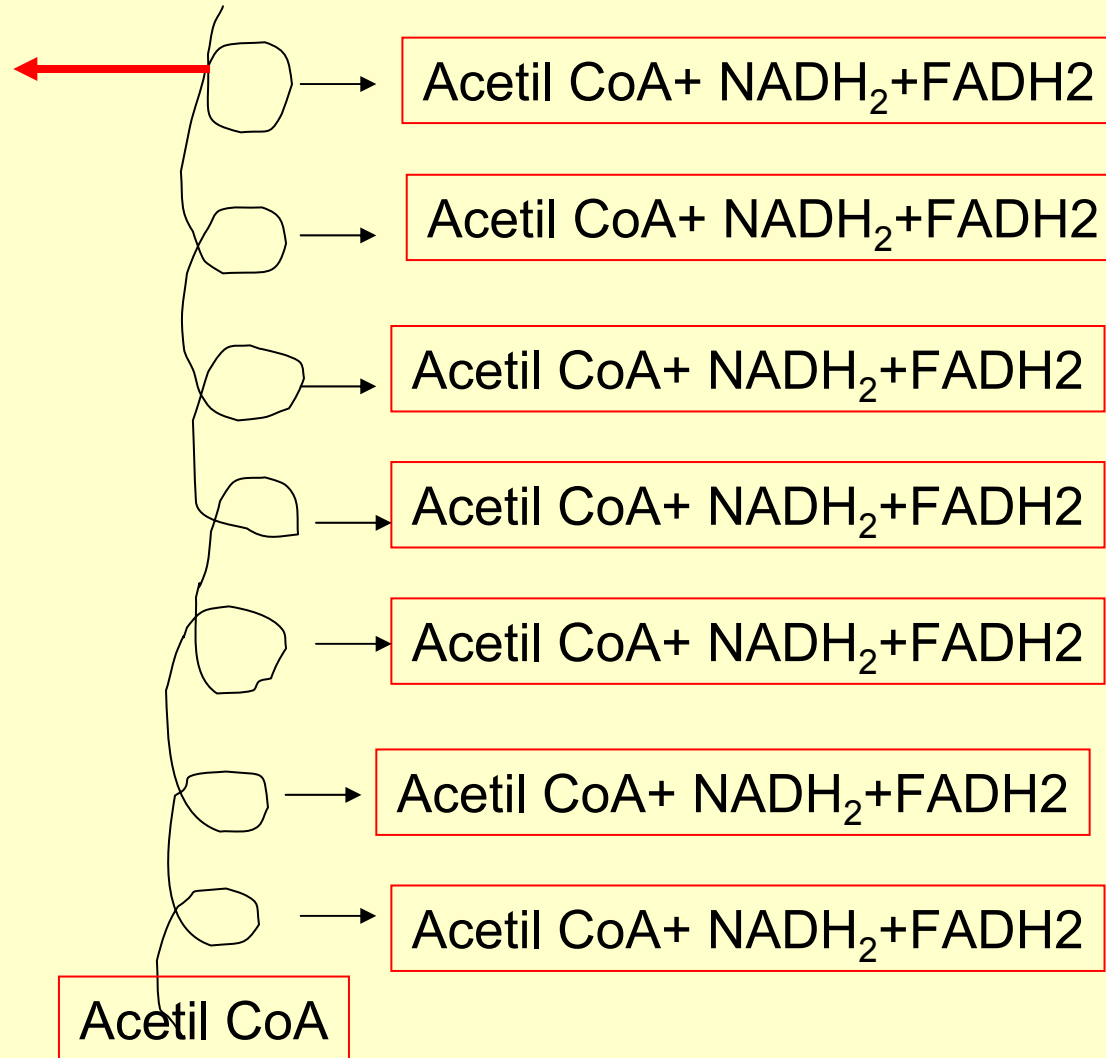
Neste proceso cada ác. graxo vaise oxidando, liberando, paso a paso, "fragmentos" de dous carbonos ata que termina por "consumirse". **En cada ciclo fórmase unha molécula de FADH_2 , unha de NADH e un acetil-CoA.**

ESQUEMA DA BETA-OXIDACIÓN DUN ÁCIDO GRAXO



Ácido graso con 16 C (Ácido palmítico)

Ciclo de β - oxidación



Balance do catabolismo do ácido palmítico (16C):

- a) 7 FADH_2 , equivalentes a 14 ATP na cadea respiratoria.
- b) 7 NADH_2 , 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:

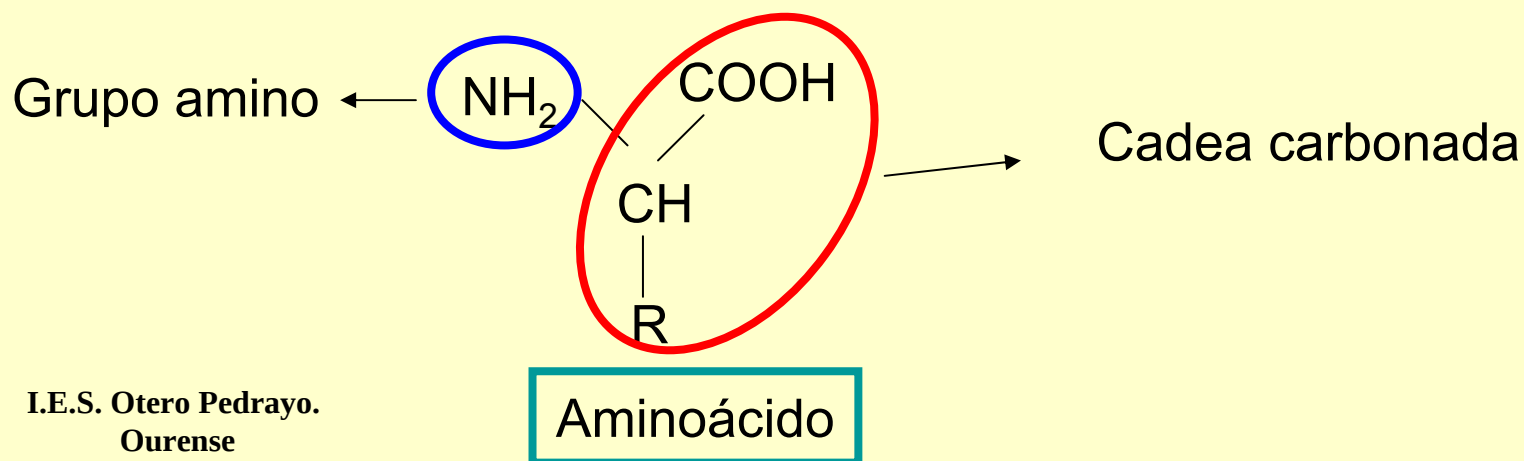
$$14 + 21 + 96 - 1 = \mathbf{130 \text{ ATP}}$$

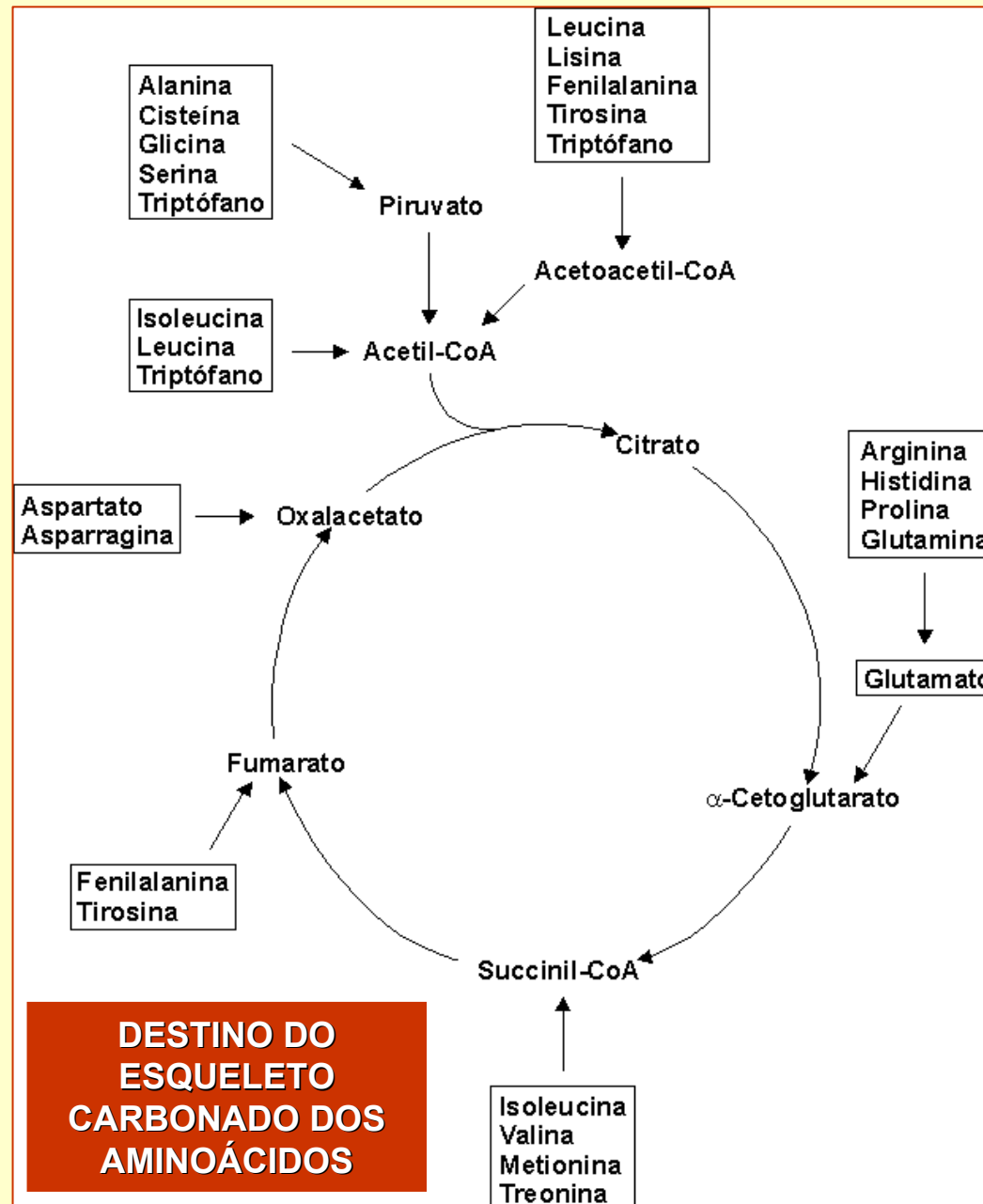
Oxidación das proteínas

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

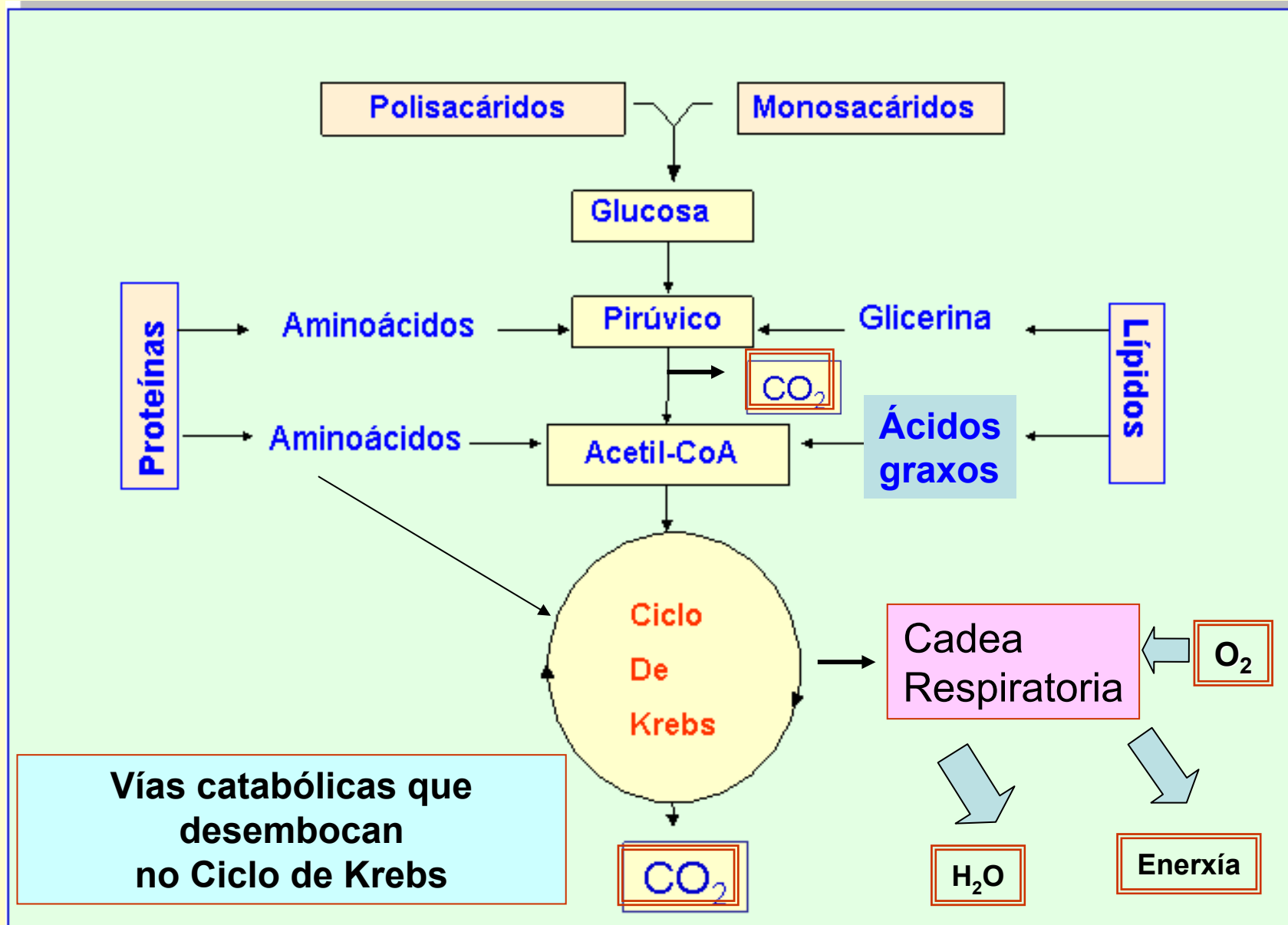




PANORÁMICA XERAL DO CATABOLISMO

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 confluíndo no ciclo de Krebs, onde se obteñen os produtos finais: CO_2 , protóns e electróns, que producirán enerxía na cadea transportadora de electróns.





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