

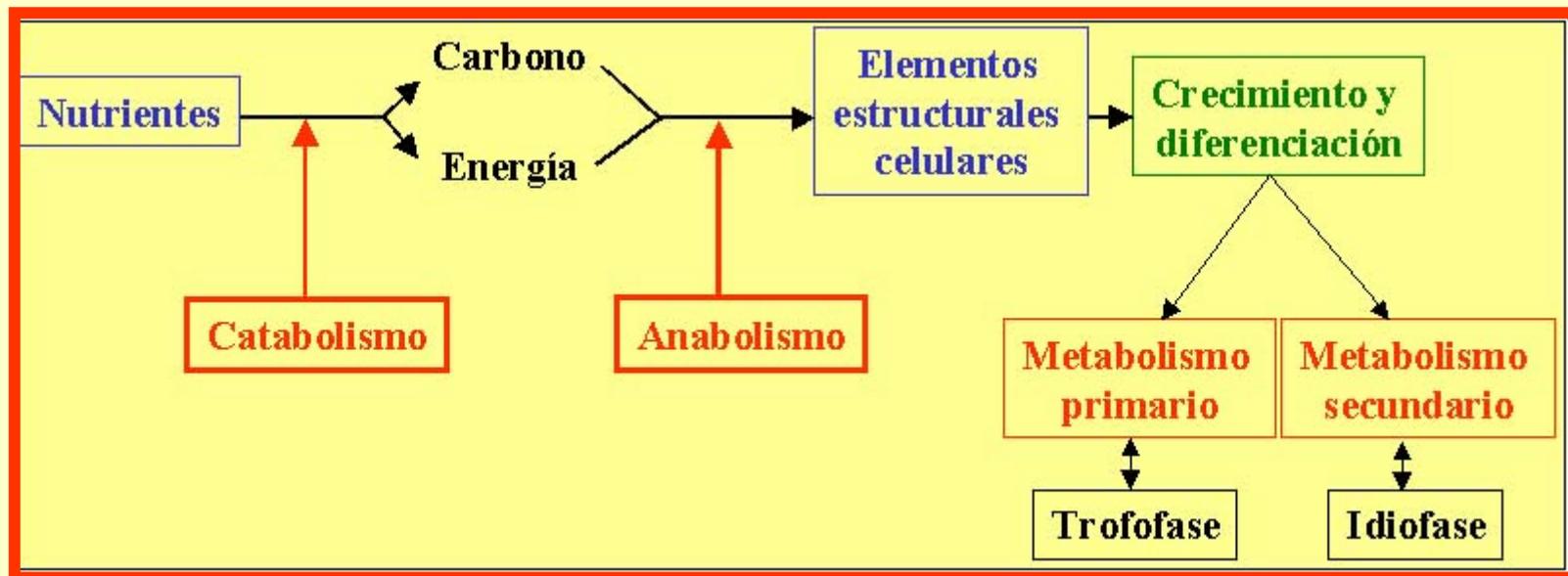
Tema 4.- Principios generales de metabolismo, respiración y fermentación

Microbiología General
Curso 2006-2007

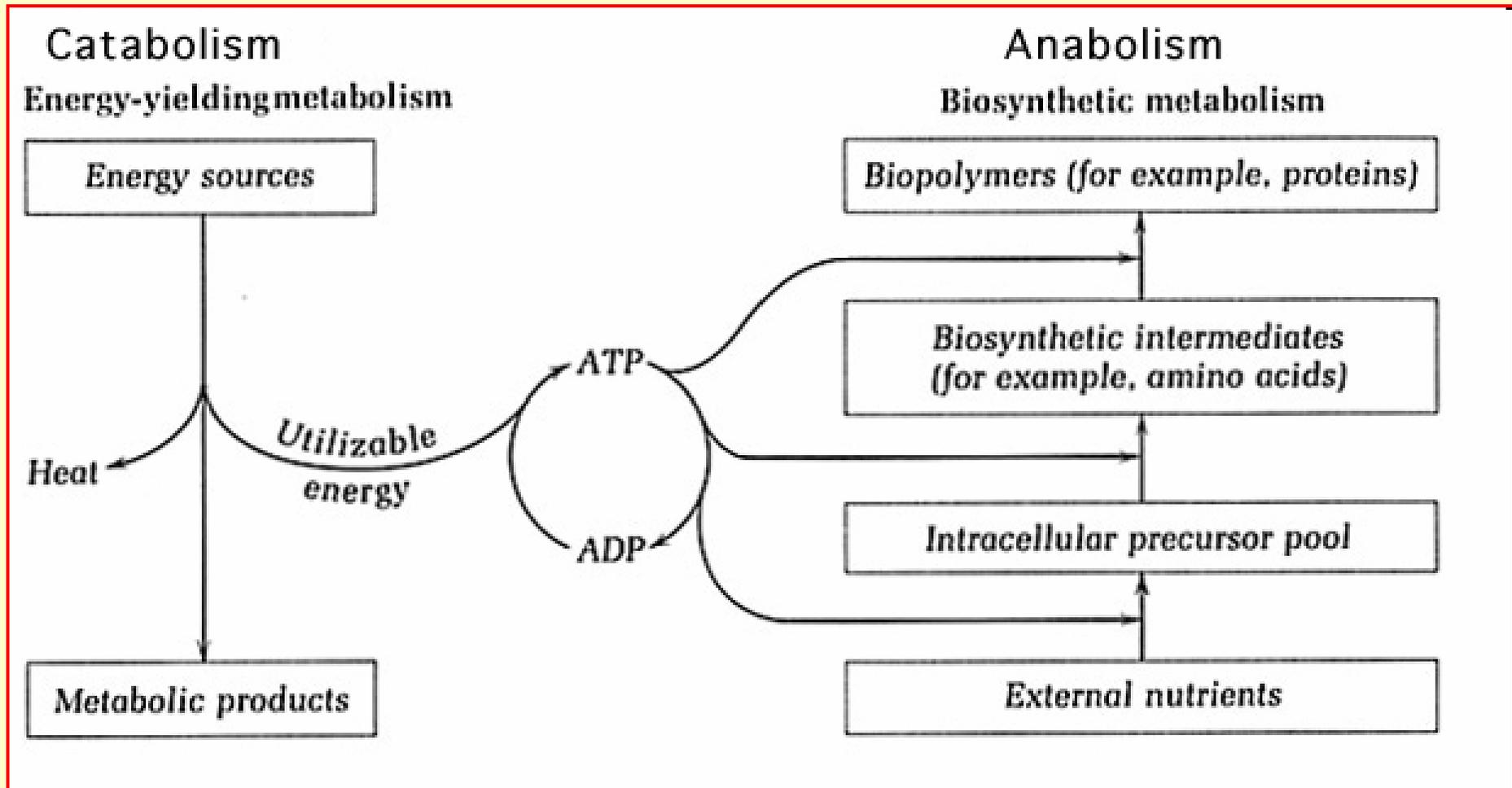
Principios generales de metabolismo, respiración y fermentación

- Esquema general de metabolismo.
- Catabolismo y anabolismo.
- Metabolismo primario y secundario.
- Categorías de microorganismos según su metabolismo.
- Mecanismos de generación de energía:
 - fotosíntesis
 - fosforilación oxidativa
 - fosforilación a nivel de substrato
- Conceptos de respiración y fermentación.
- Respiración aerobia y anaerobia.
- Metabolismo central: catabolismo y anabolismo
- Diversidad de fermentaciones:
 - alcohólica,
 - homoláctica,
 - heteroláctica,
 - ácido-mixta,
 - butanodiólica,
 - Propiónica
 - acetona-butanol.
- Otras fermentaciones.
- Metabolismo secundario.
- Fijación de nitrógeno.

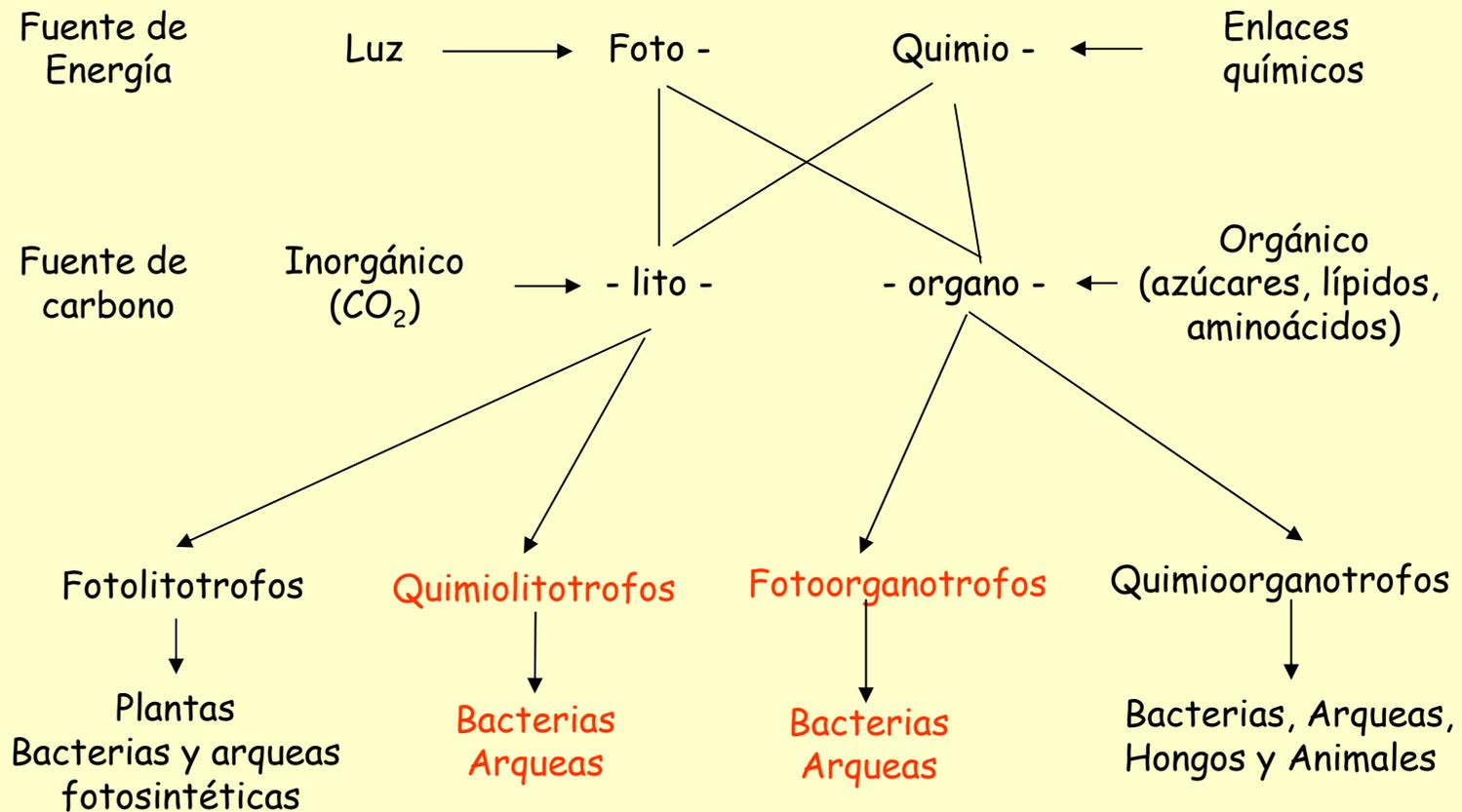
Esquema general de metabolismo



Esquema general de metabolismo



Categorías de los organismos según su metabolismo



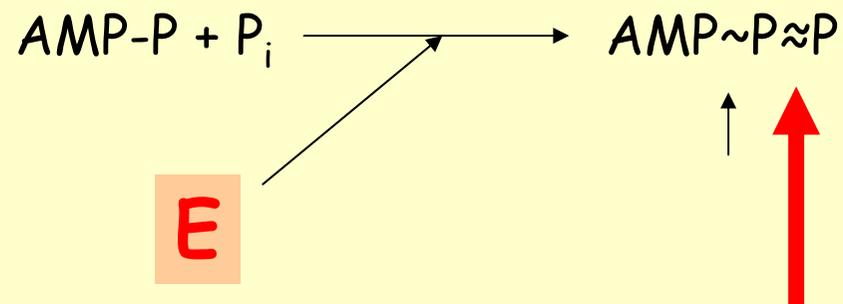
Categorías de los organismos según su metabolismo

	Energy Source	Carbon Source	Name	Example
Autotrophs				
	Light	Inorganic	Photoautotroph	Most photosynthetic bacteria, e.g. <i>Chromatium</i> (anaerobic), <i>Cyanobacteria</i> (aerobic)
	Inorganic	Inorganic	Chemolithotrophic autotroph (chemoautotroph)	<i>Nitrobacter</i>
	Organic	Inorganic	Chemoorganotrophic autotroph	<i>Pseudomonas oxalaticus</i>
Heterotrophs:				
	Light	Organic	Photoheterotroph	Purple and green photosynthetic bacteria, e.g. <i>Rhodospirillum</i>
	Inorganic	Organic	Chemolithotrophic heterotroph ("mixotroph")	<i>Desulphovibrio</i>
	Organic	Organic	(Chemo)heterotroph	<i>E. coli</i>

Mecanismos de generación de energía

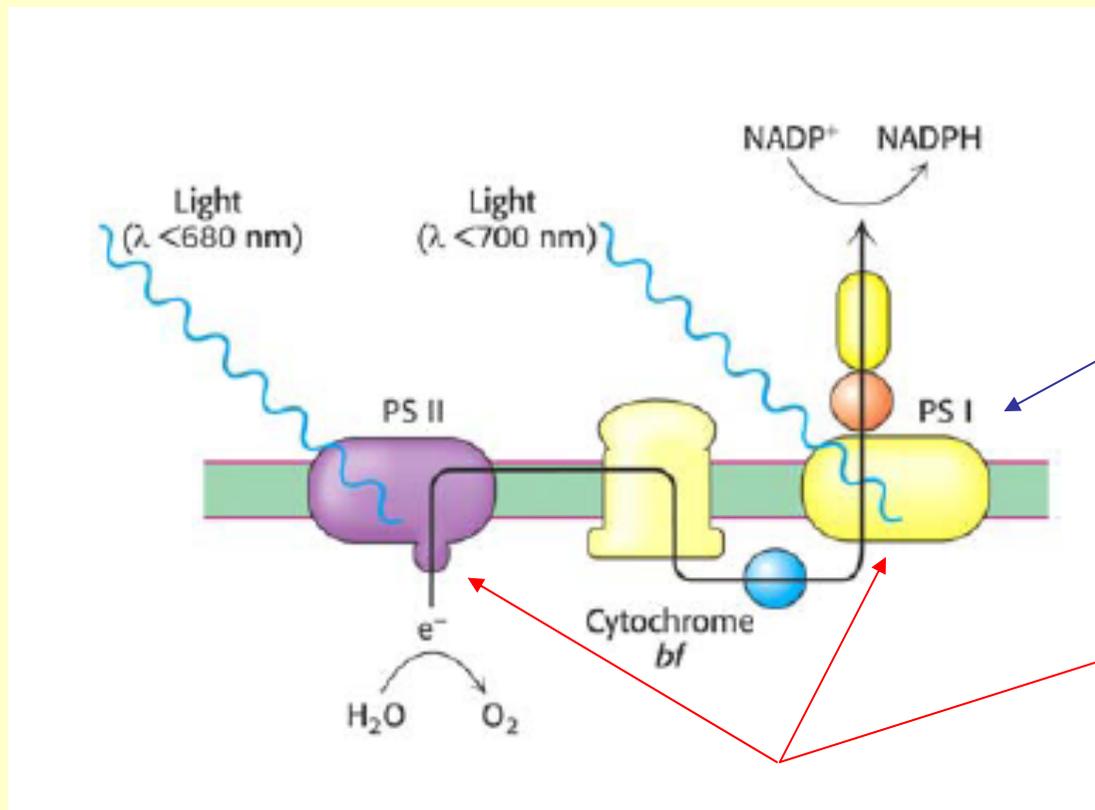
- fotofosforilación: fotosíntesis
- fosforilación oxidativa
- fosforilación a nivel de substrato

Fosforilación



Mecanismos de generación de energía

- fotosíntesis

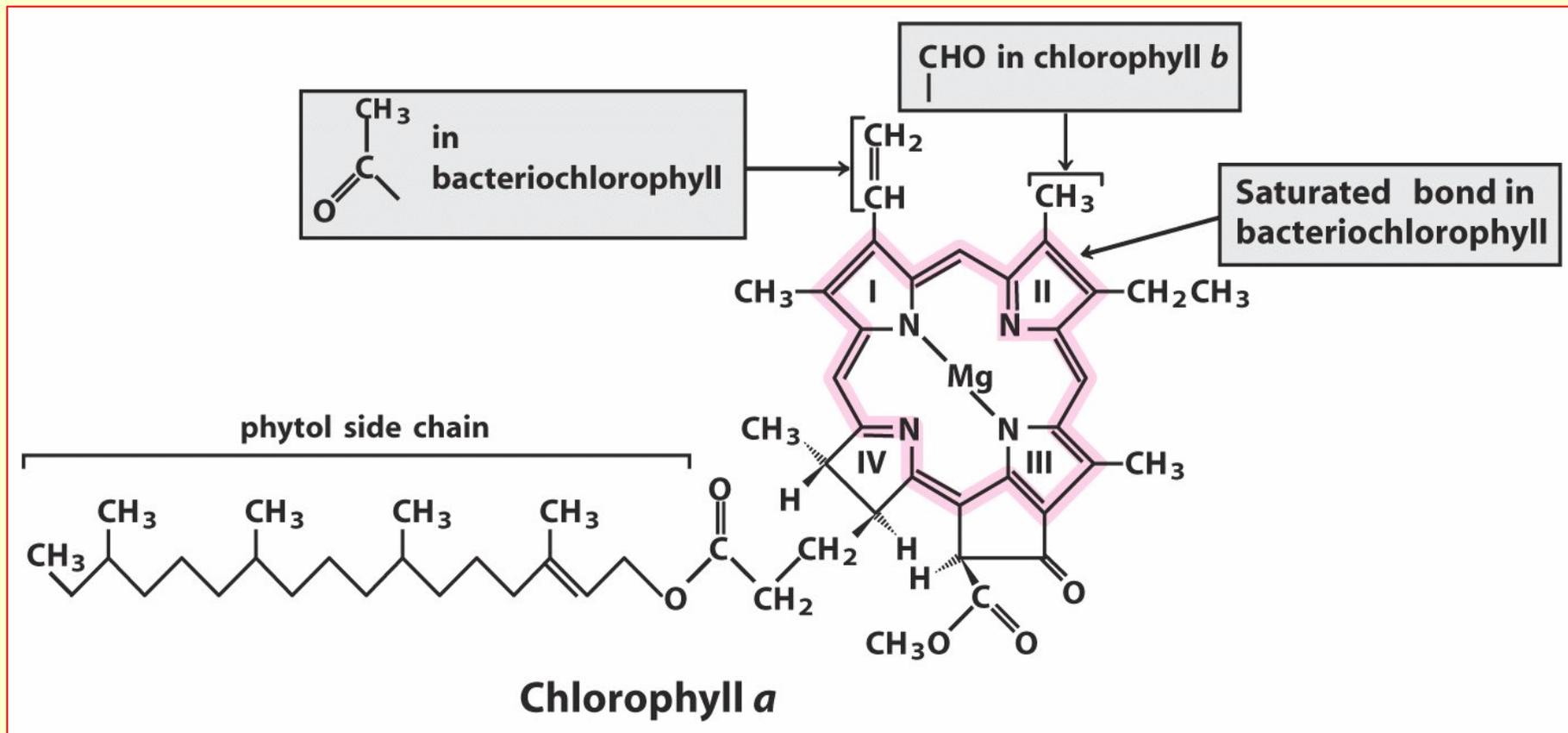


Fotosíntesis anoxigénica
• Sólo PSI
• Bacterias rojas y púrpura

Fotosíntesis oxigénica
• PSII y PSI
• Cianobacterias

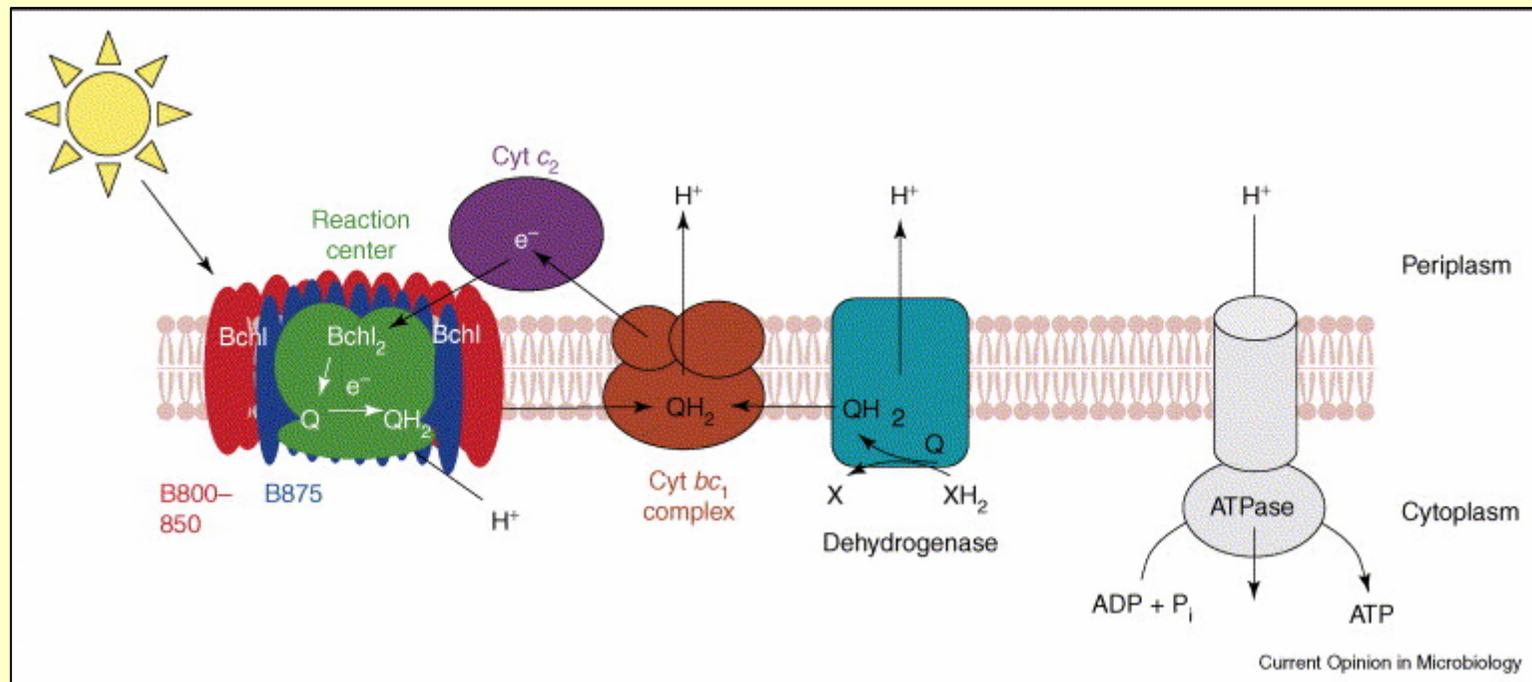
Mecanismos de generación de energía

- fotosíntesis



Mecanismos de generación de energía

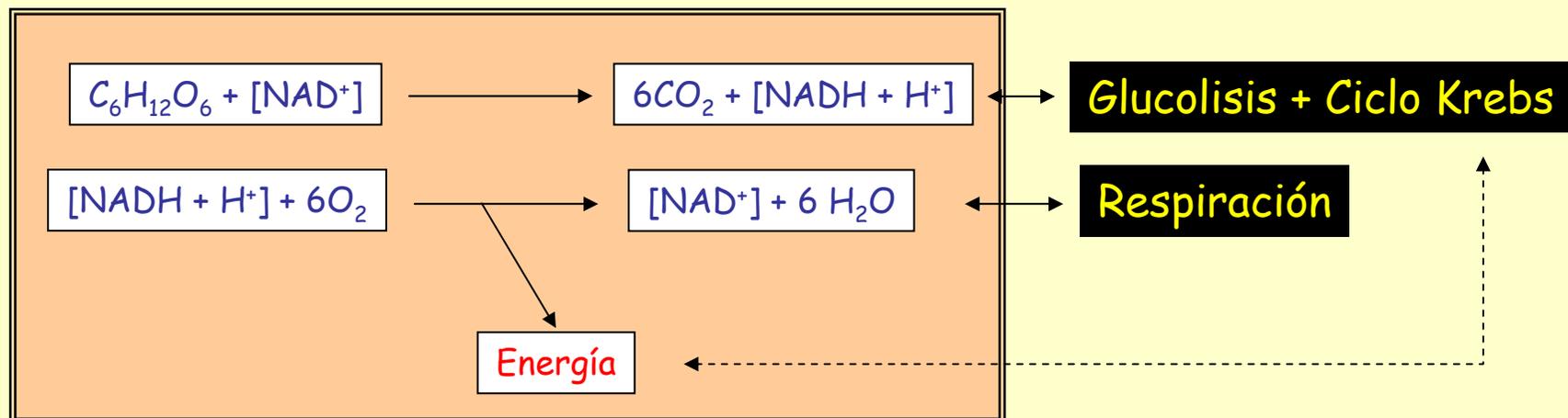
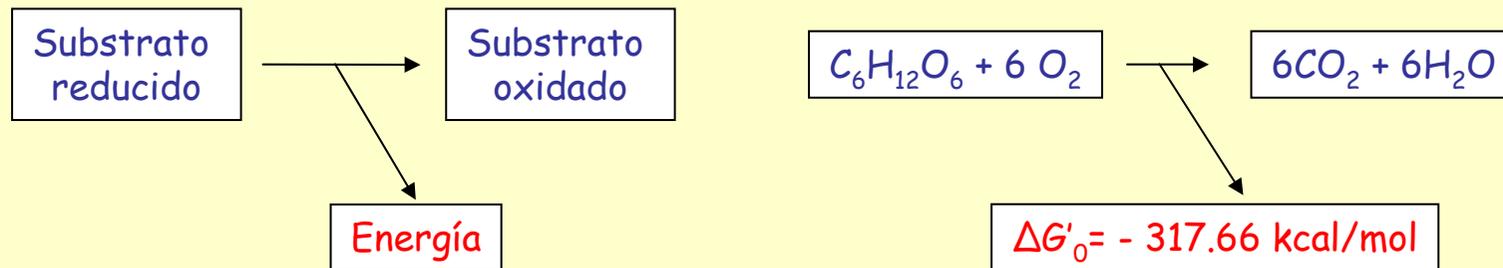
- fotosíntesis



Cross-section of the *R. sphaeroides* ICM, illustrating the function of the major components of this bioenergetic membrane. The figure depicts the orientation of ICM components relative to the cytoplasmic and periplasmic compartments. Abbreviations: Bchl, bacteriochlorophyll; Bchl₂, bacteriochlorophyll special pair; ADP, adenosine diphosphate; ATP, adenosine triphosphate; P_i, phosphate; e⁻, electron; Q, ubiquinone; cyt c₂, cytochrome c₂; B800-850 & B875, light harvesting complexes, respectively.

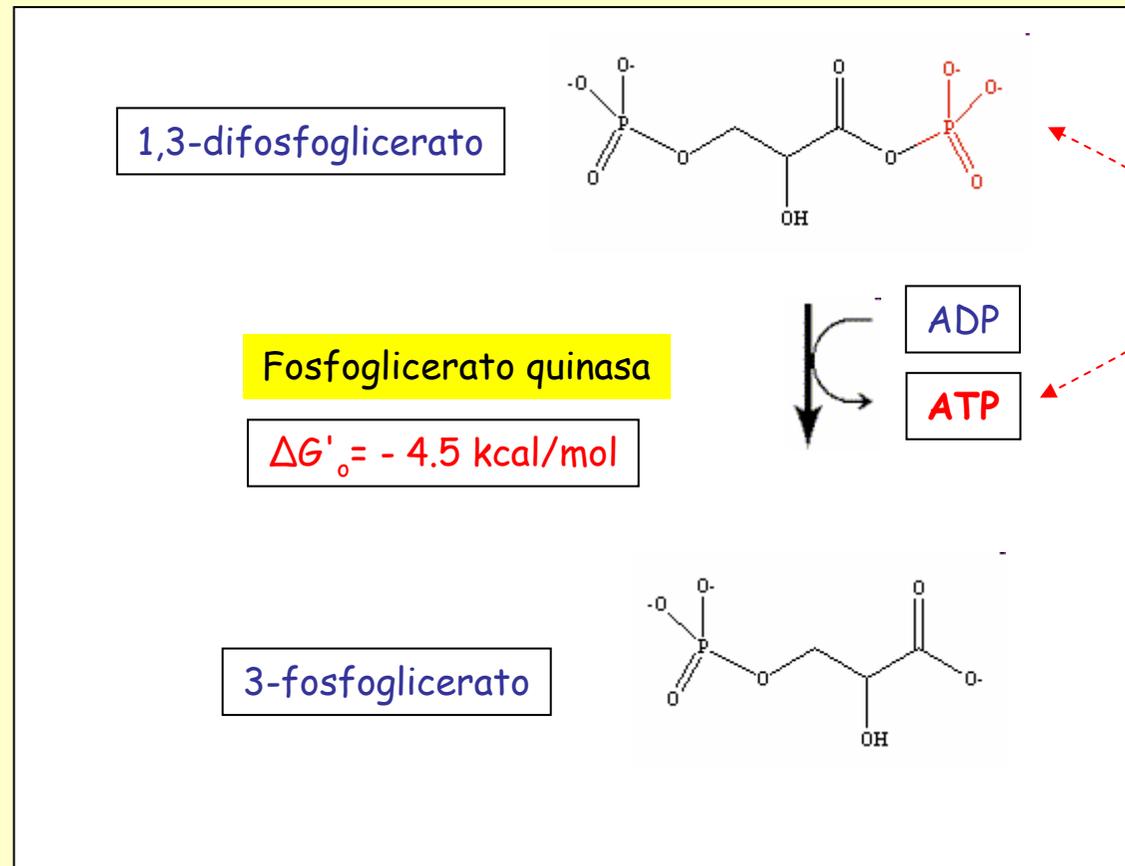
Mecanismos de generación de energía

- fosforilación oxidativa



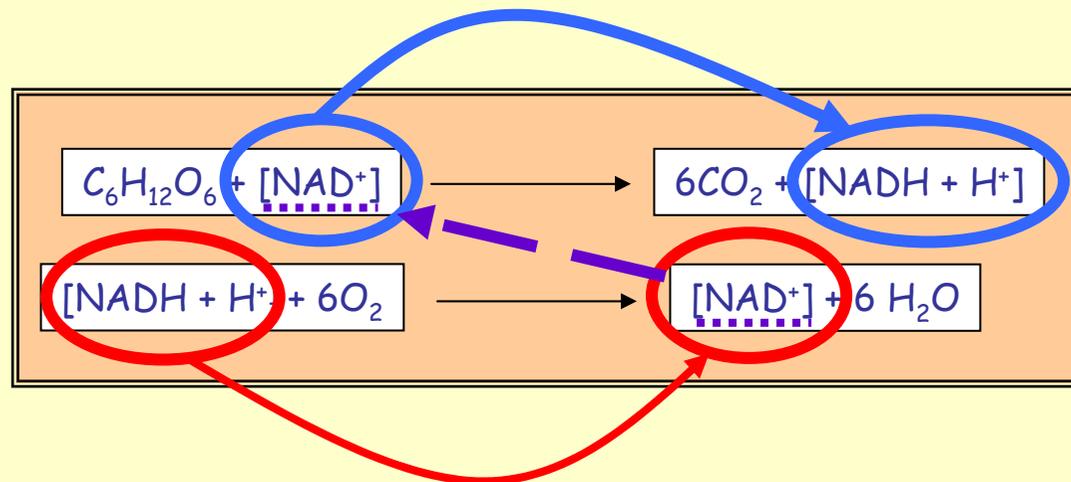
Mecanismos de generación de energía

- fosforilación a nivel de sustrato



Conceptos de respiración y fermentación

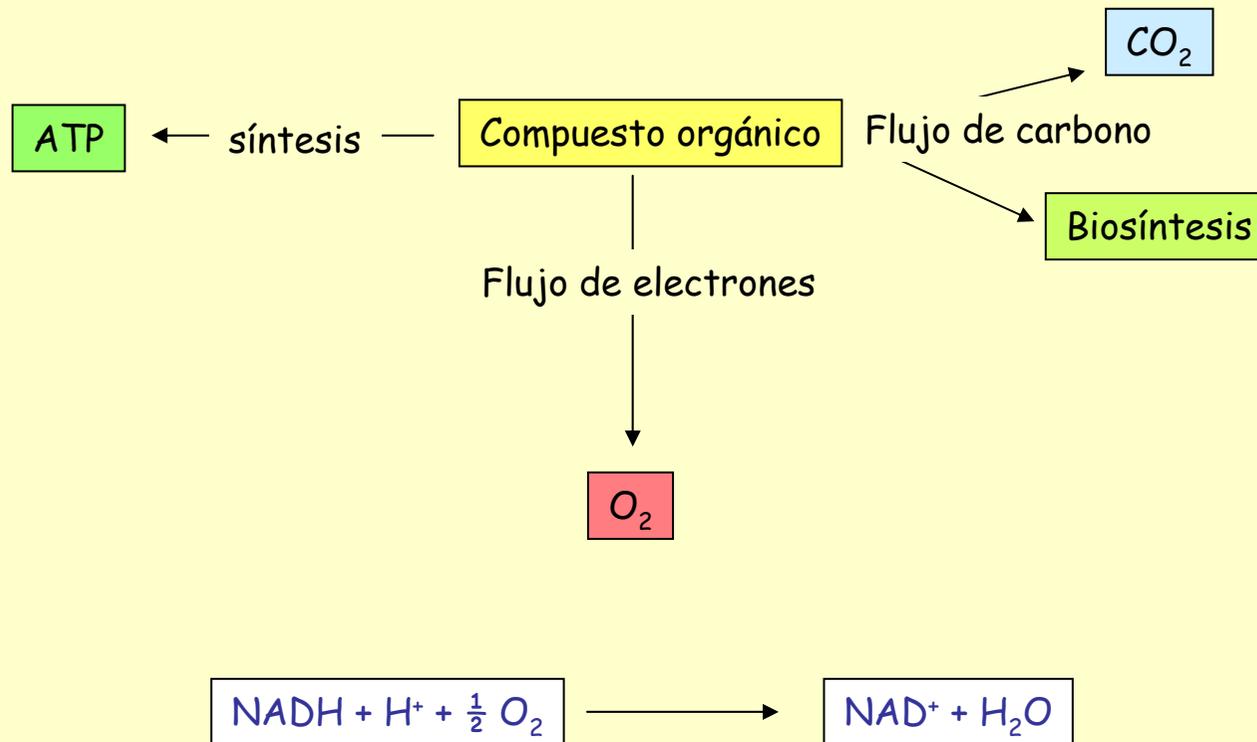
El contenido de NAD^+ de la célula es limitado y puede agotarse



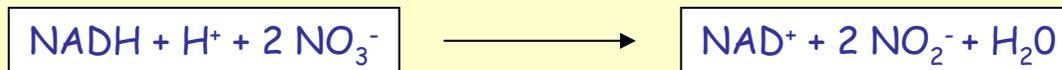
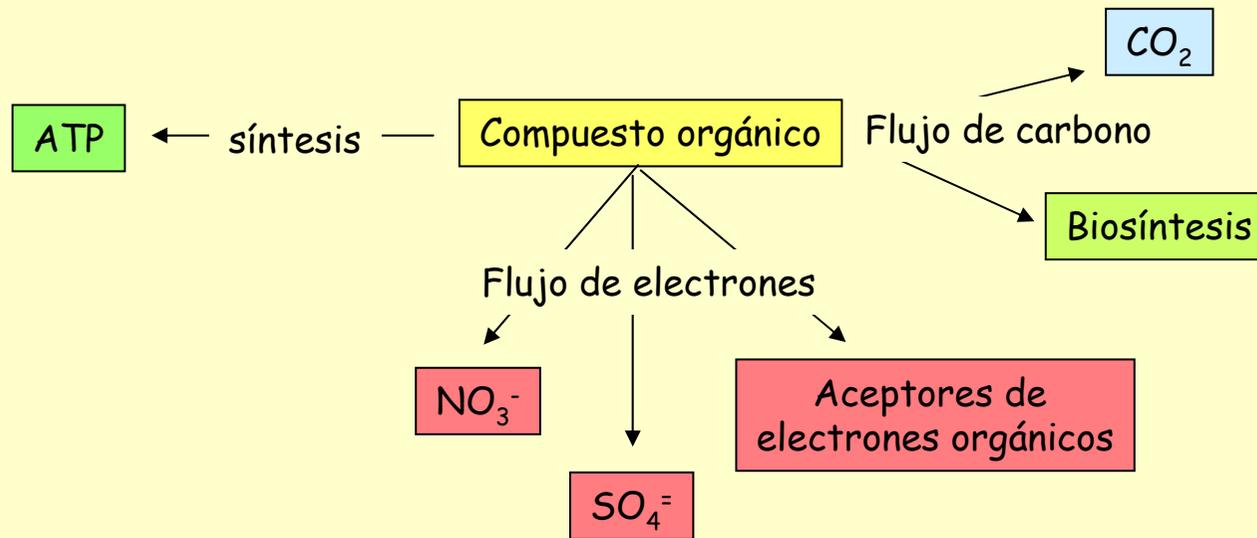
La respiración y la fermentación son procesos que recuperan el contenido celular de NAD^+

En la **RESPIRACIÓN**, el $[\text{NADH}_2]$ se oxida usando un aceptor de electrones **EXTERNO**
En la **FERMENTACIÓN**, el $[\text{NADH}_2]$ se oxida usando un aceptor de electrones **INTERNO**

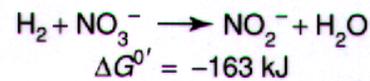
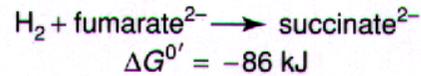
Respiración aerobia



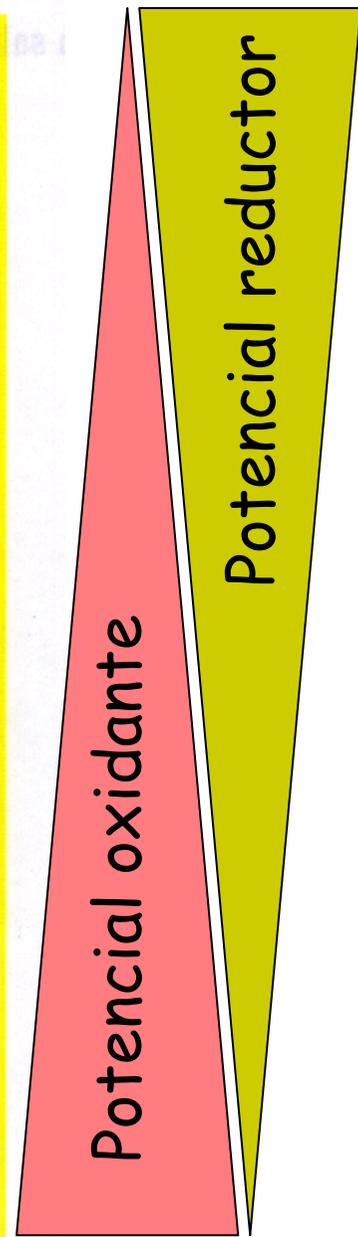
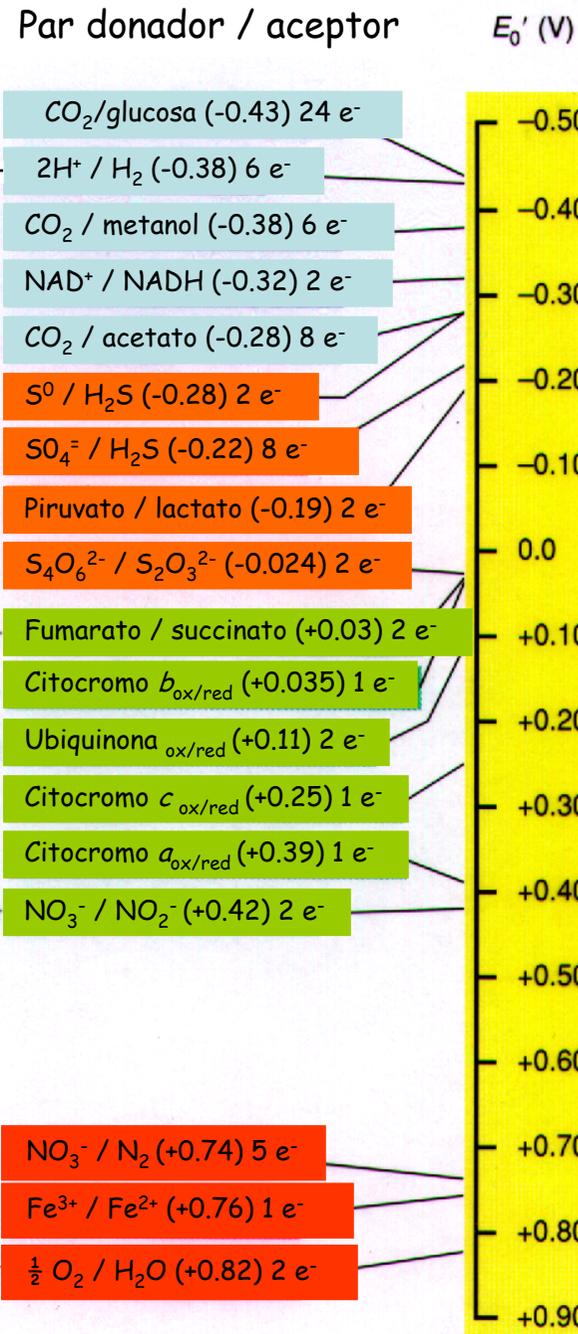
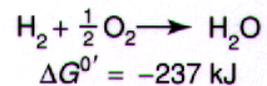
Respiración anaerobia



Torre de electrones

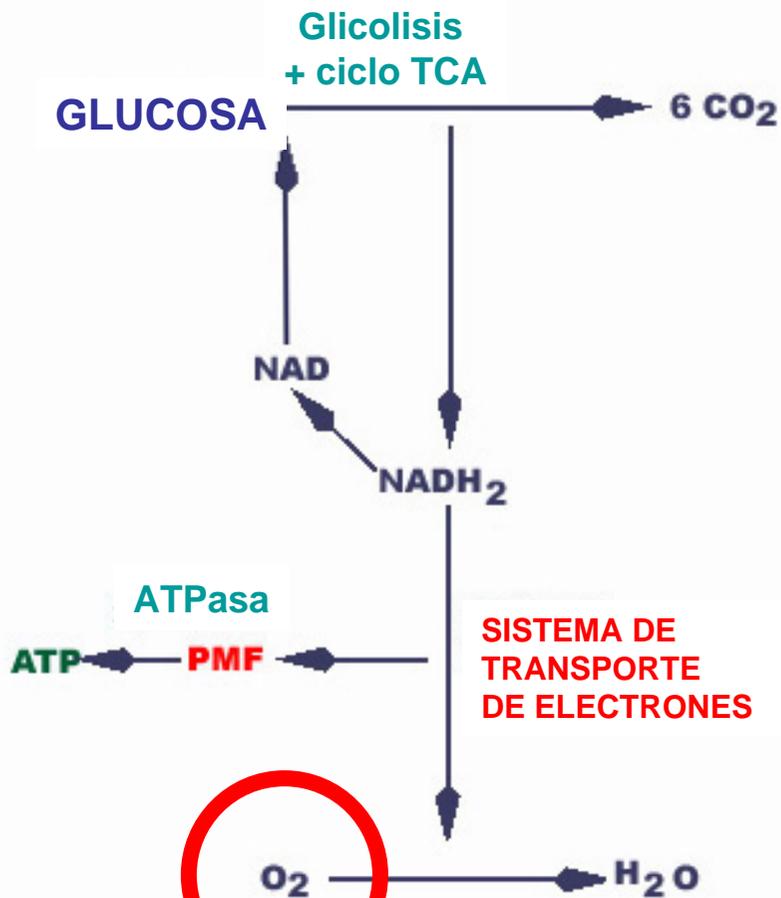


Cuanto más grande sea la caída de potencial, mayor será la energía liberada

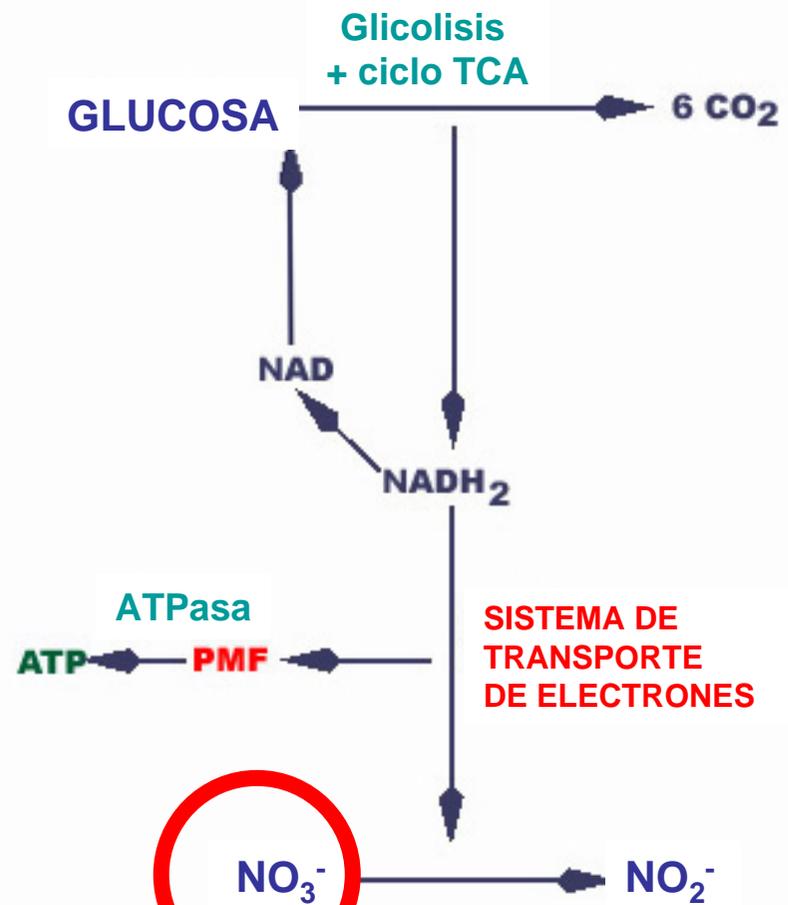


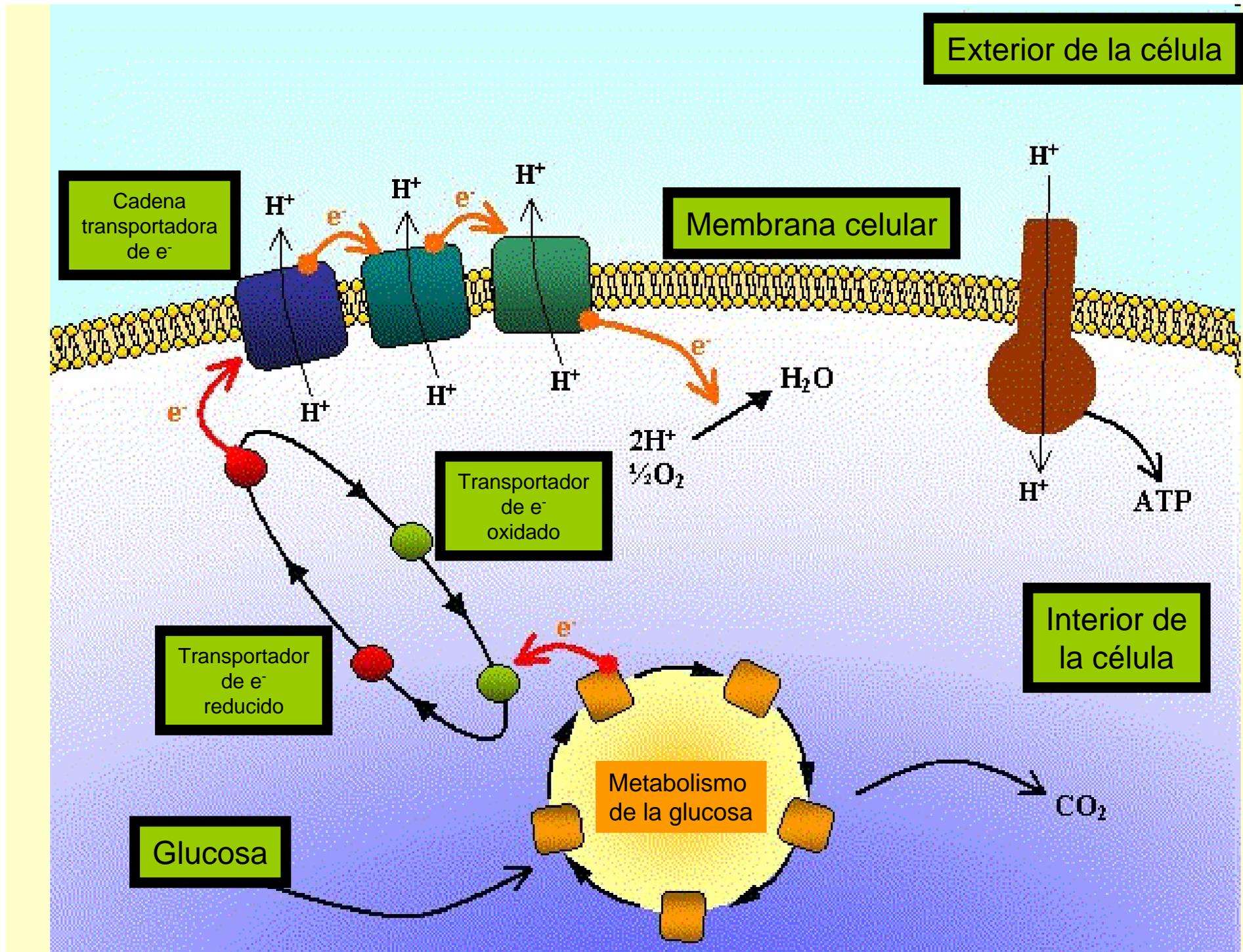
Respiración

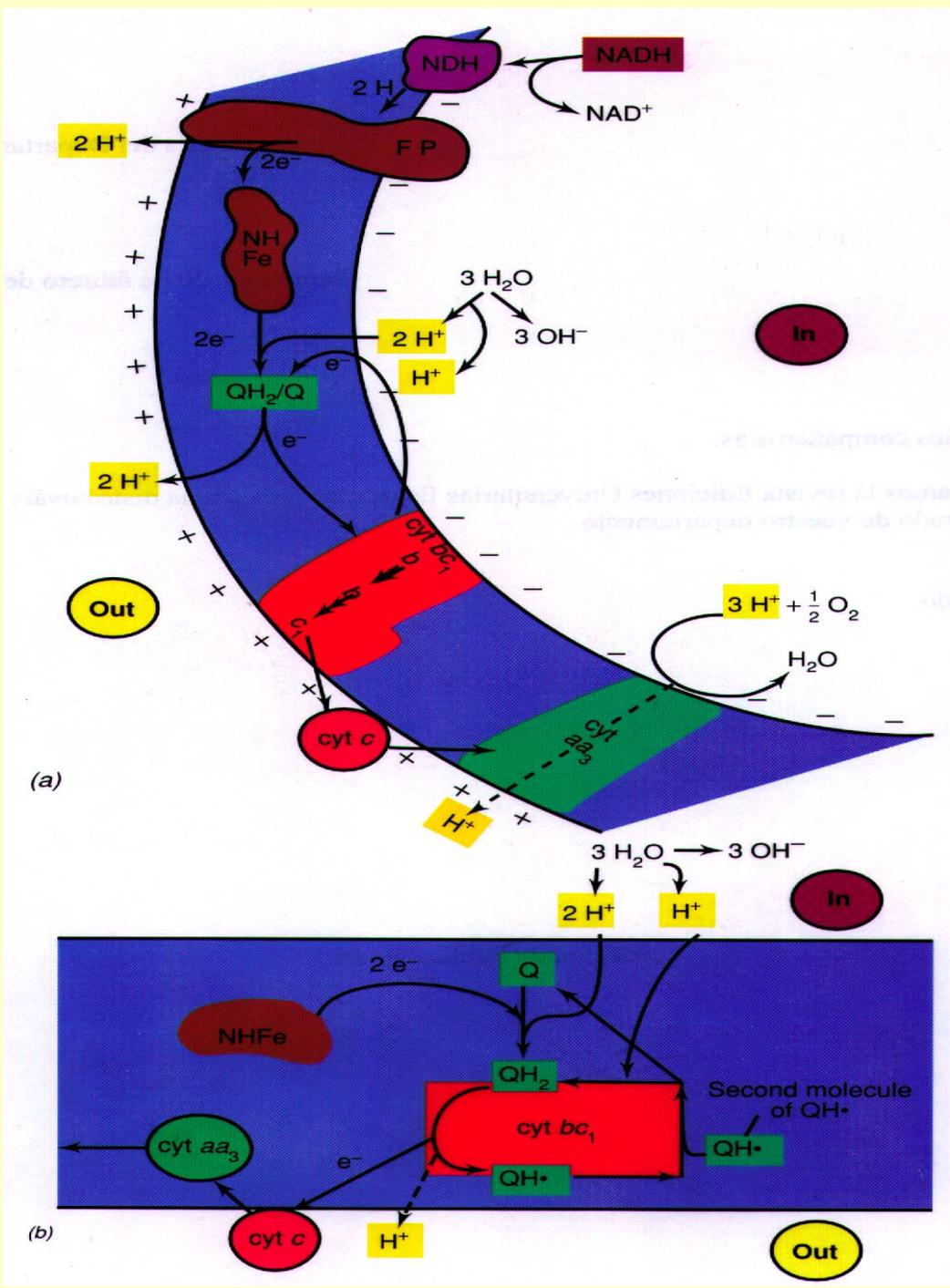
Respiración aerobia



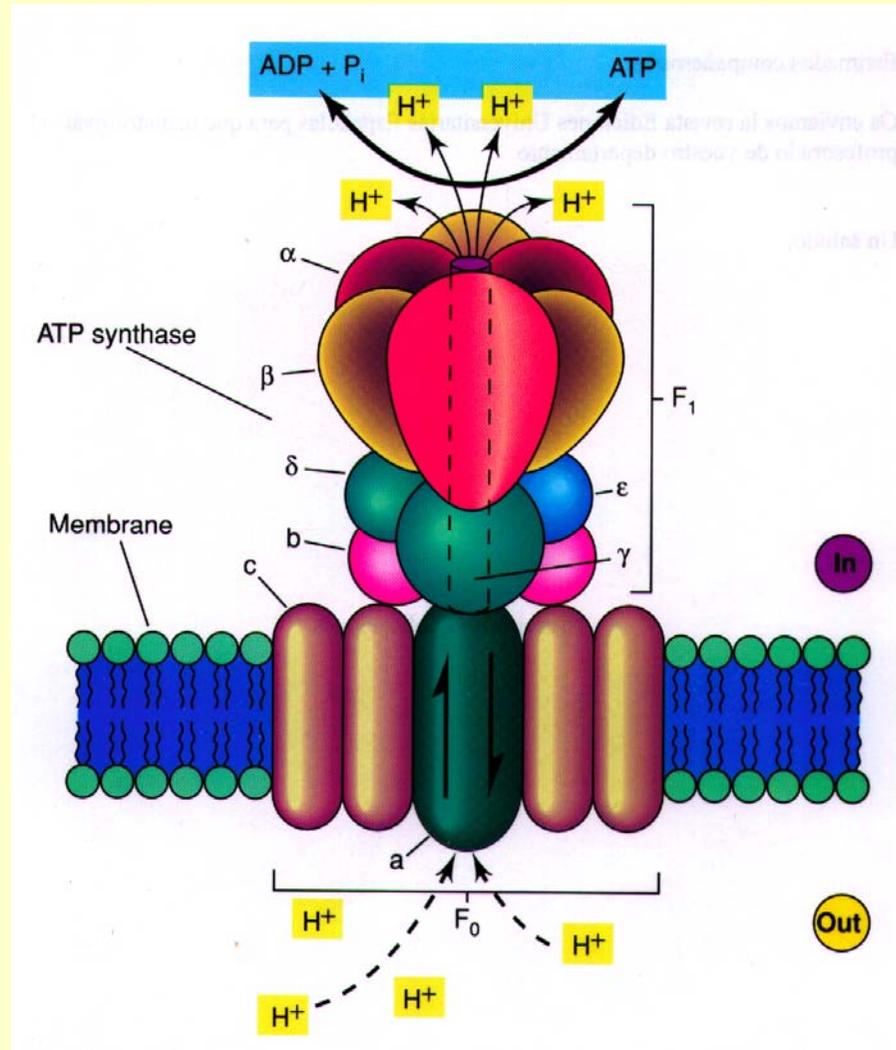
Respiración anaerobia





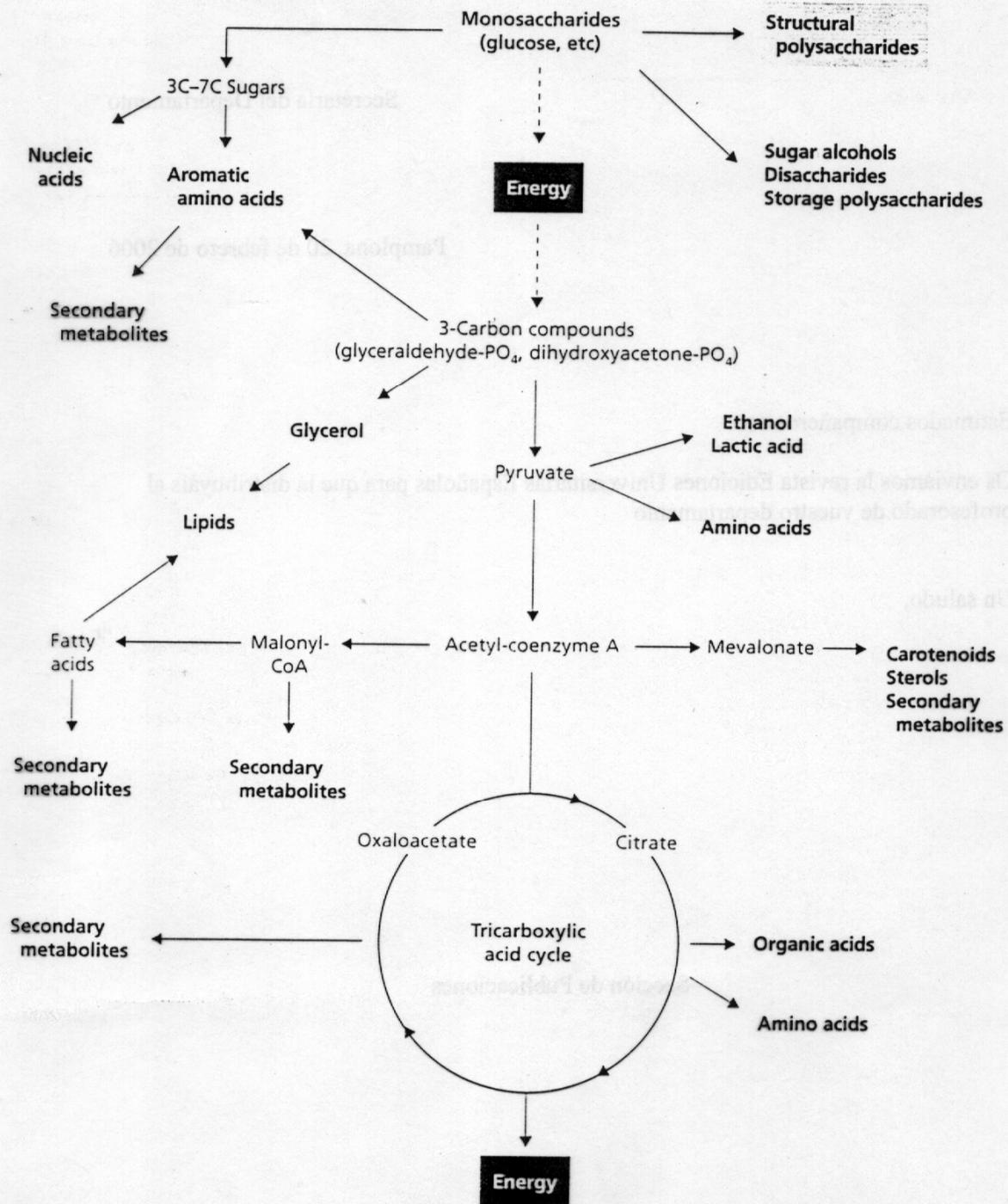


Conversión de la energía por la ATPasa



Principios generales de metabolismo, respiración y fermentación

- Esquema general de metabolismo.
- Catabolismo y anabolismo.
- Metabolismo primario y secundario.
- Categorías de microorganismos según su metabolismo.
- Mecanismos de generación de energía:
 - fotosíntesis
 - fosforilación oxidativa
 - fosforilación a nivel de substrato
- Conceptos de respiración y fermentación.
- Respiración aerobia y anaerobia.
- Metabolismo central: catabolismo y anabolismo
- Diversidad de fermentaciones:
 - alcohólica,
 - homoláctica,
 - heteroláctica,
 - ácido-mixta,
 - butanodiólica,
 - Propiónica
 - acetona-butanol.
- Otras fermentaciones.
- Metabolismo secundario.
- Fijación de nitrógeno.



Metabolitos primarios y secundarios

METABOLITOS PRIMARIOS:

- Se producen en el curso de las reacciones metabólicas anabólicas o catabólicas que tiene lugar durante las fases de crecimiento y que contribuyen a la producción de biomasa o energía por las células.
- Se producen principalmente en la trofofase o fase de crecimiento.

METABOLITOS SECUNDARIOS:

- Se producen por rutas anabólicas especializadas cuando no hay crecimiento.
- Significado evolutivo controvertido por ser imprescindibles. Pueden ser una estrategia para mantener en funcionamiento los sistemas metabólicos cuando no hay crecimiento.
- Son indicativos de diferenciación y se producen durante la idiofase de los cultivos.

Catabolismo de la Glucosa

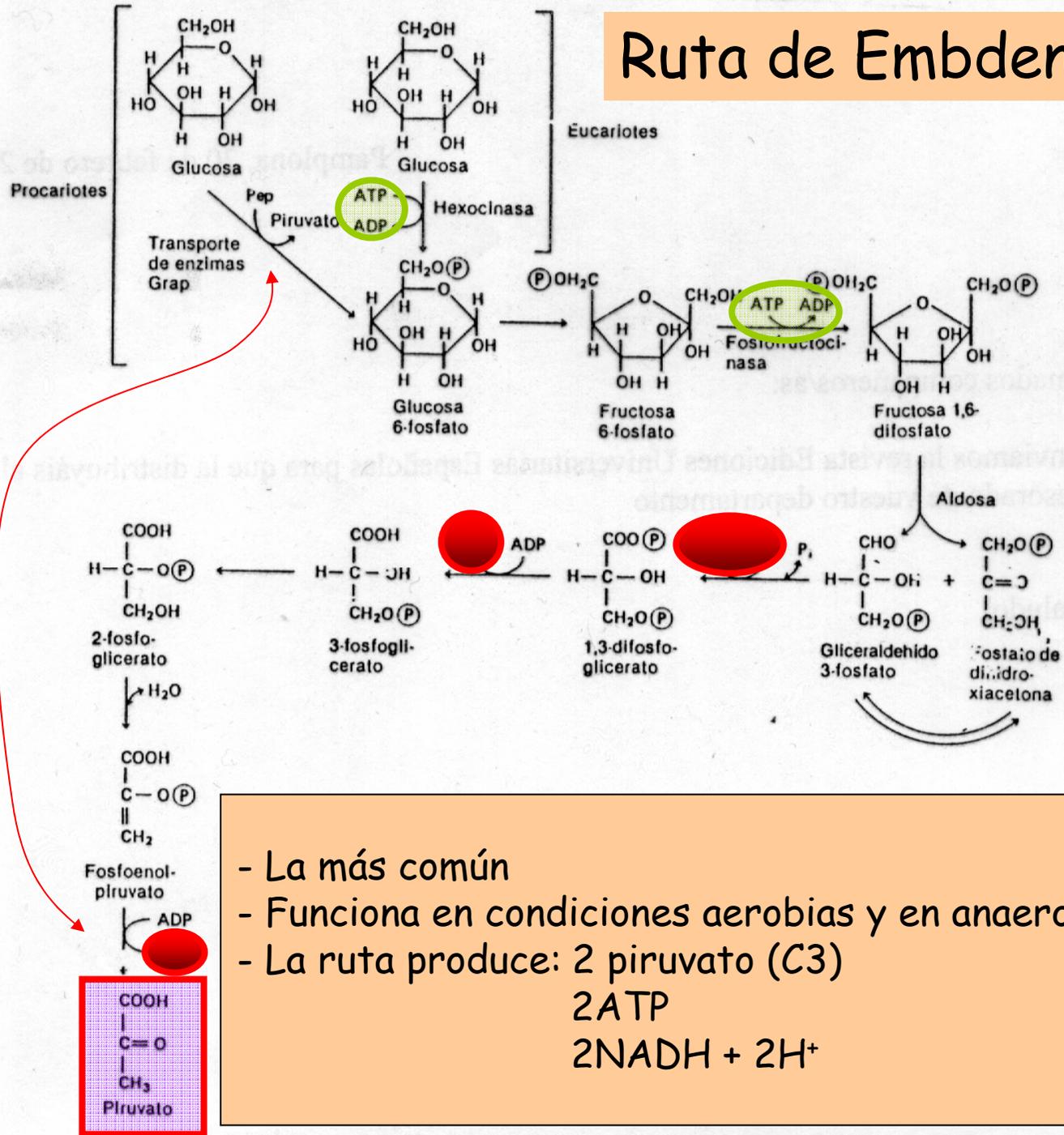
RUTA DE EMBDEN-MEYERHOF (EM)

RUTA ENTNER-DOUDOROFF

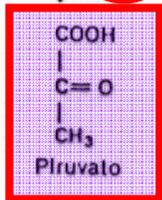
RUTA DE LAS PENTOSAS FOSFATO

RUTA DE LA FOSFOCETOLASA

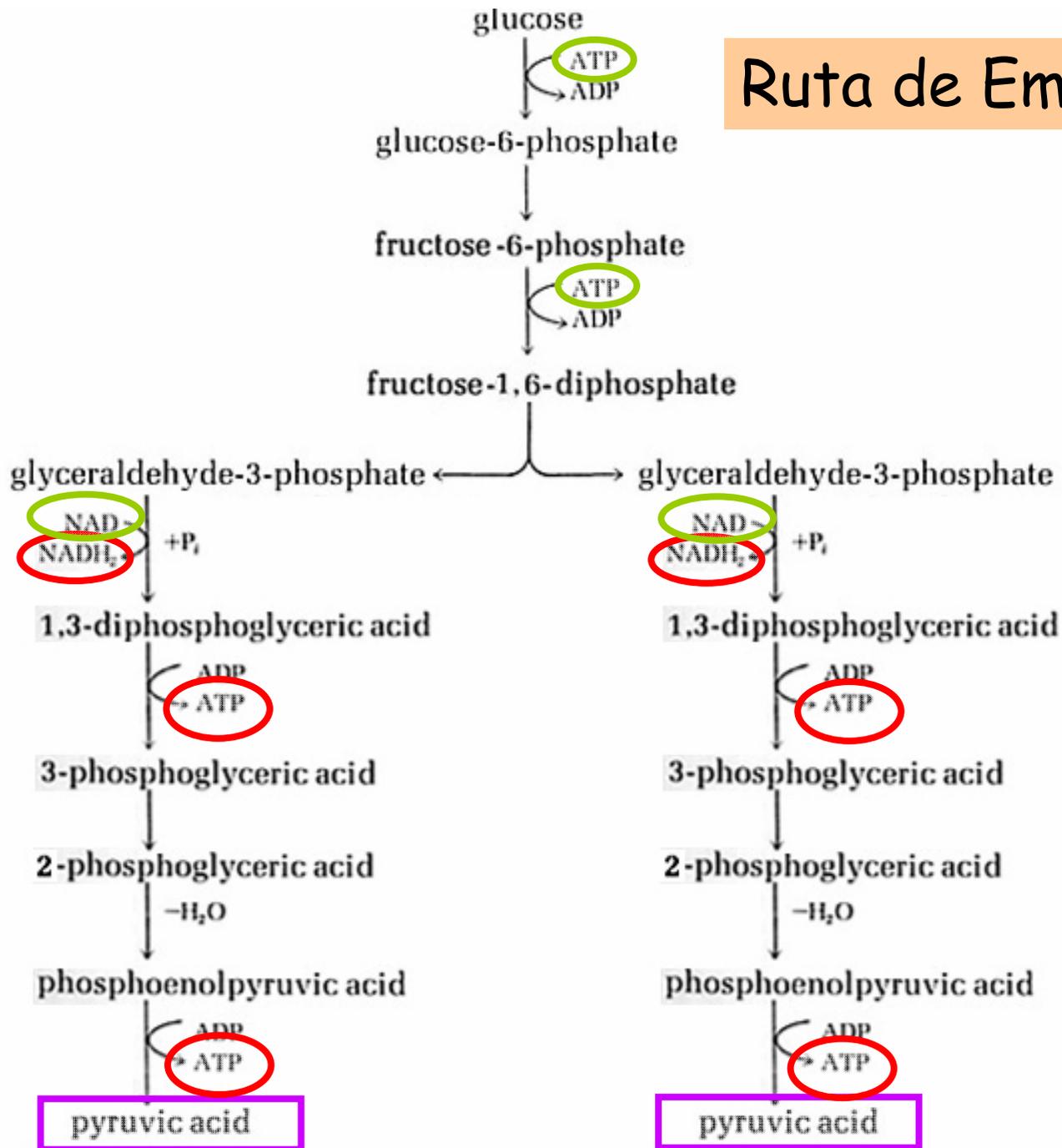
Ruta de Embden-Meyerhoff



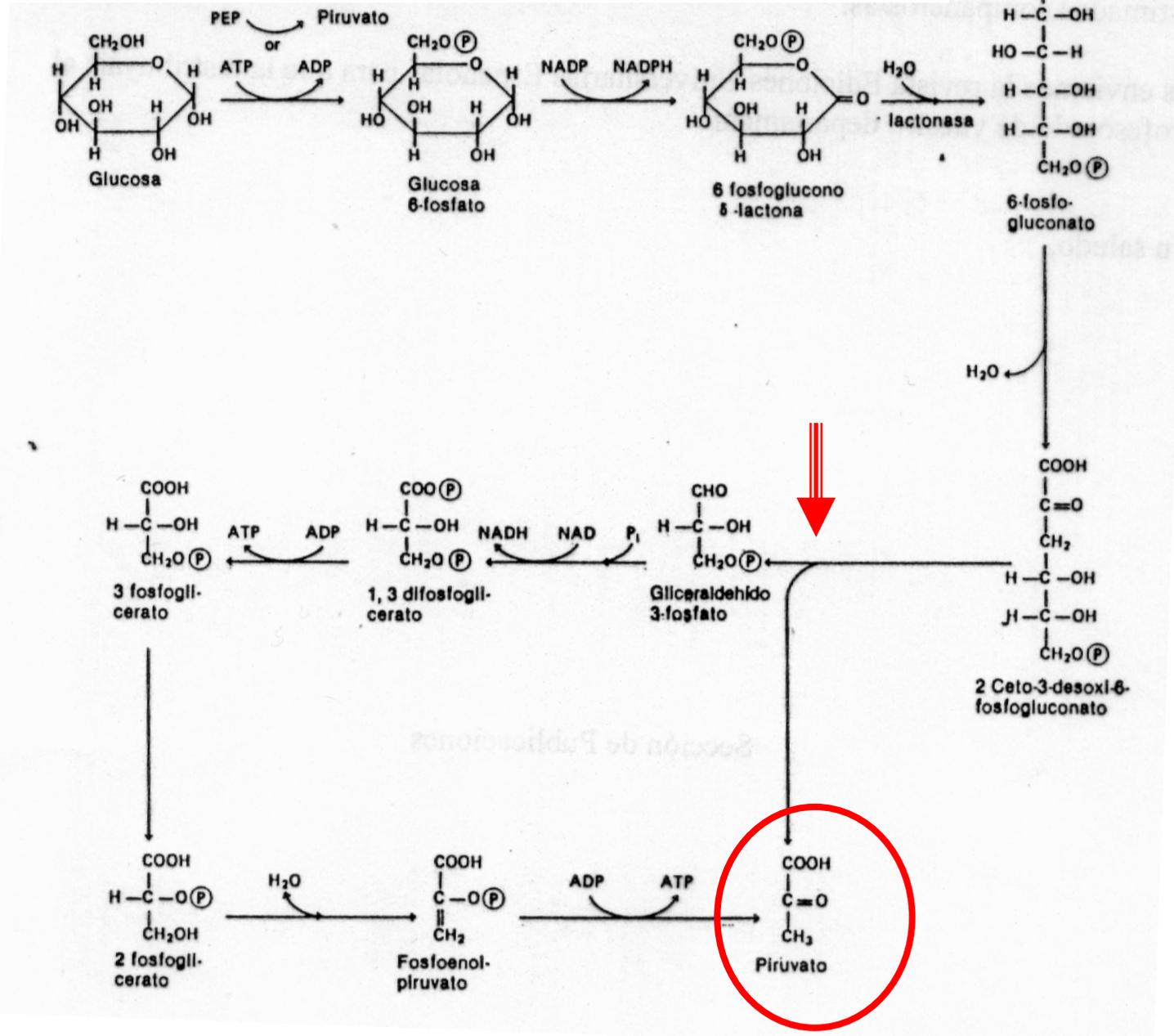
- La más común
- Funciona en condiciones aerobias y en anaerobias.
- La ruta produce: 2 piruvato (C3)
2ATP
2NADH + 2H⁺



Ruta de Embden-Meyerhoff

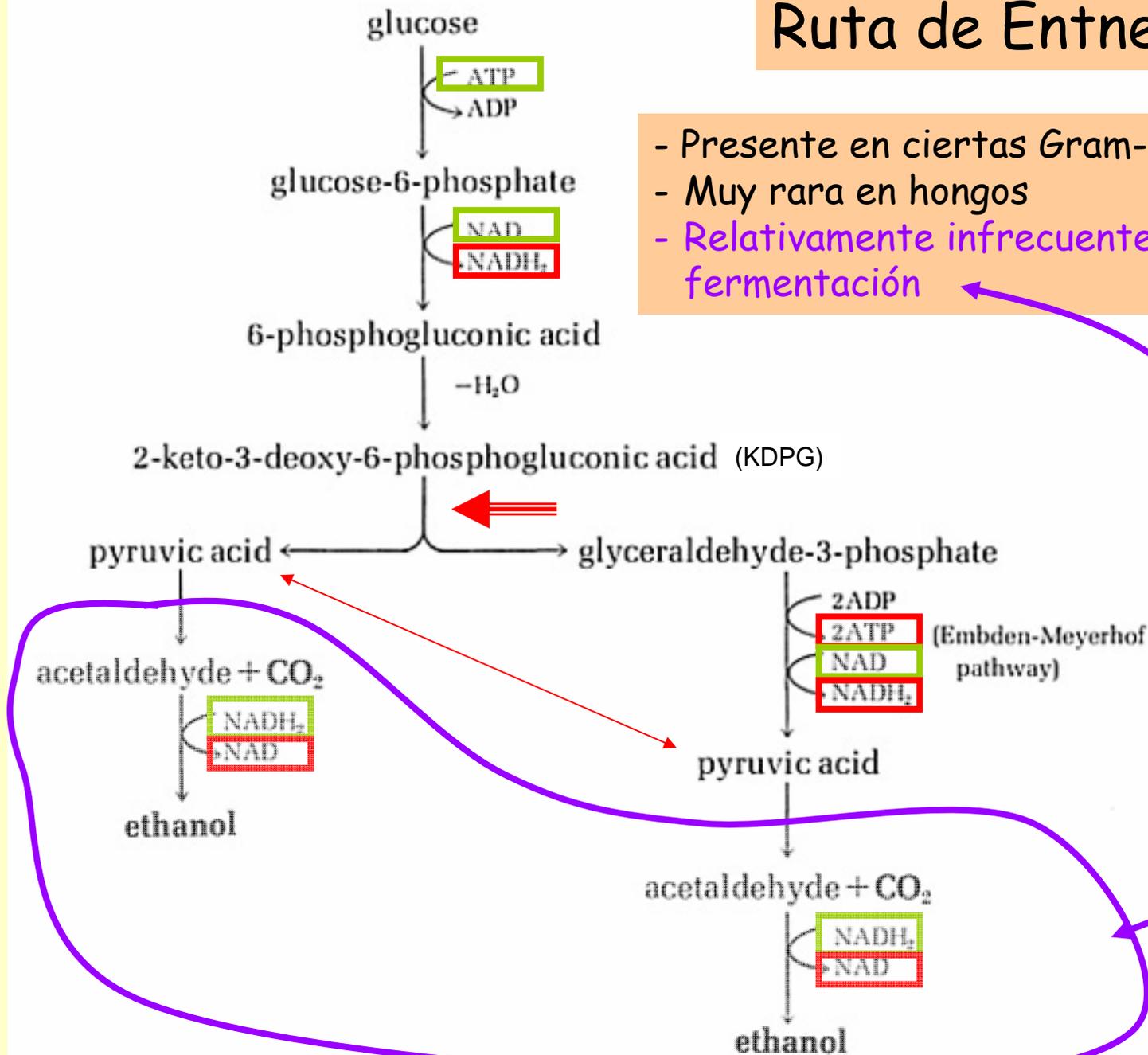


Ruta de Entner-Doudoroff



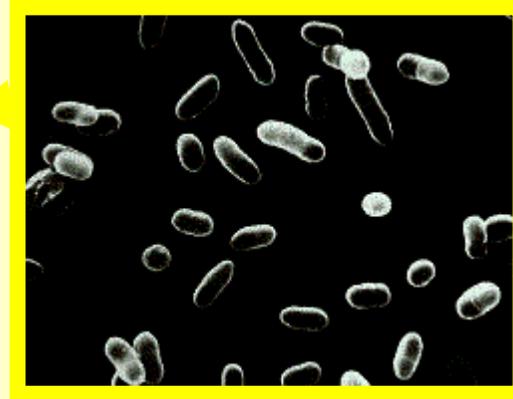
Ruta de Entner-Doudoroff

- Presente en ciertas Gram-negativas aerobias.
- Muy rara en hongos
- Relativamente infrecuente como vía de fermentación





Ágave azul



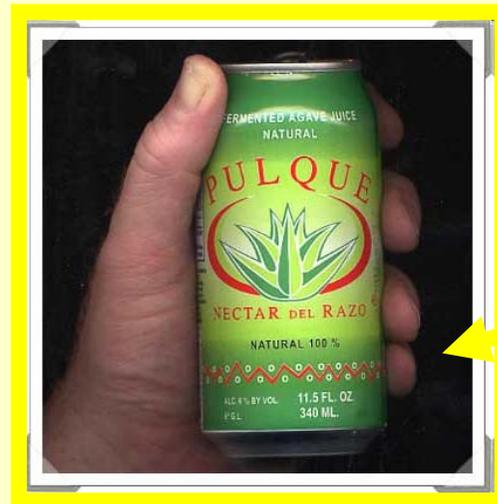
Zymomonas



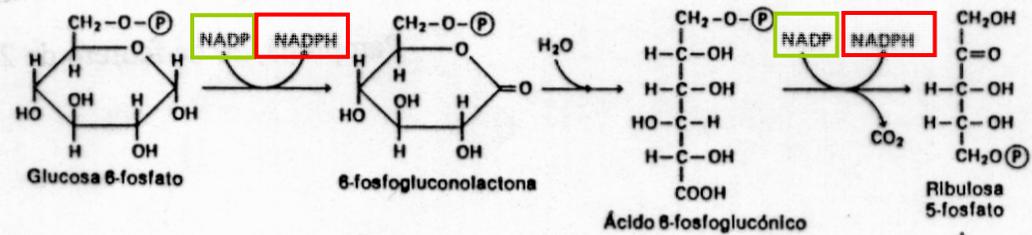
Aguamiel



Tequila



Pulque



Ruta de las Pentosas fosfato

- Presente en muchas bacterias y en la mayoría de los eucariontes.
- Puede ser simultánea a la ruta EM.
- Funciona en condiciones aerobias y anaerobias.
- Importancia en catabolismo y en anabolismo.



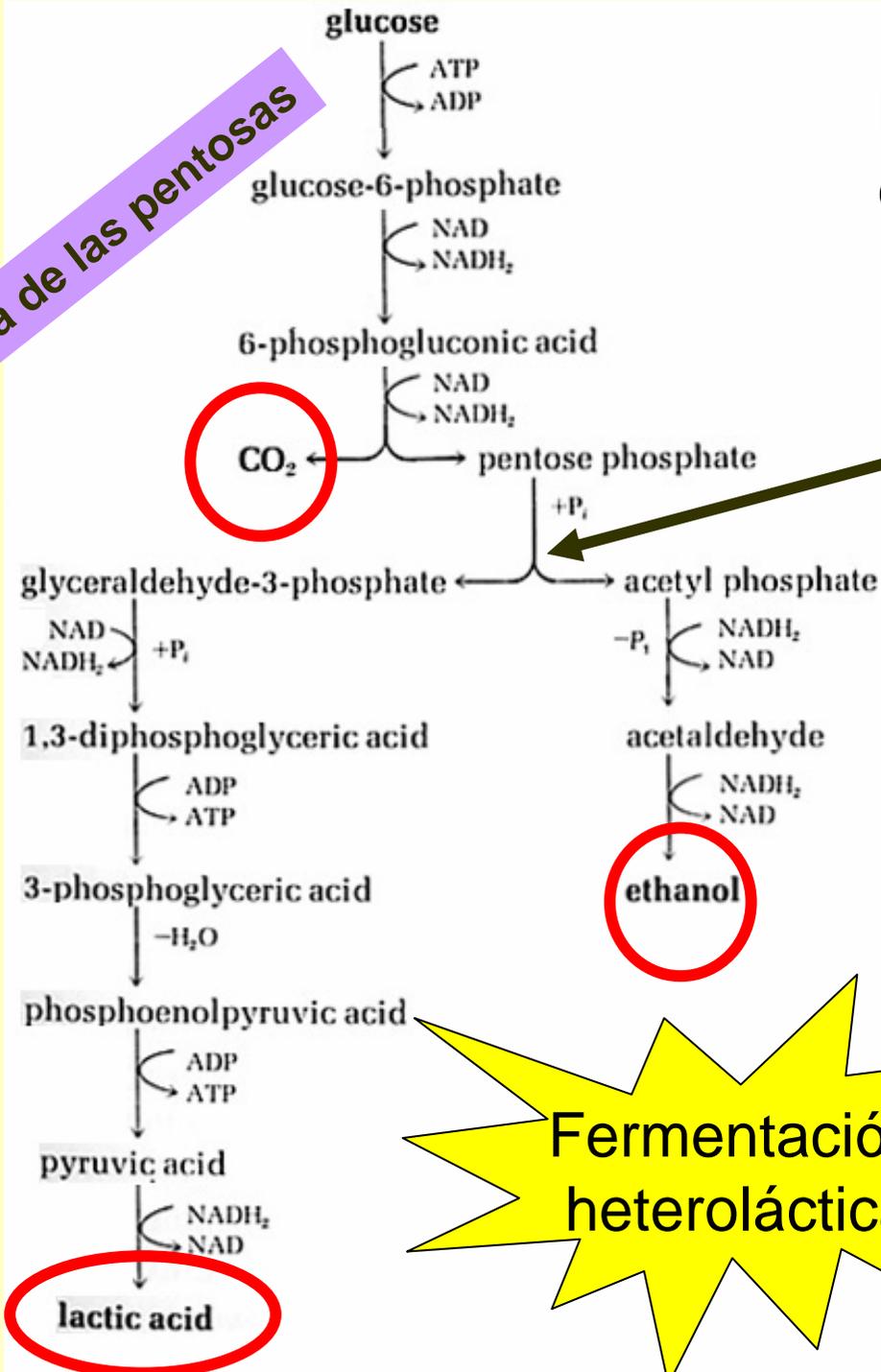
3 Glucosa-6-fosfato (C6)
 $6NADP^+ + 3 H_2O$



2 fructosa-6-fosfato (C6)
 gliceraldehído-3-fosfato (C3)
 $3CO_2 + 6NADPH + 6H^+$

Ruta de las pentosas

Ruta de la Fosfoacetolasa o de Warburg-Dickens (WD)

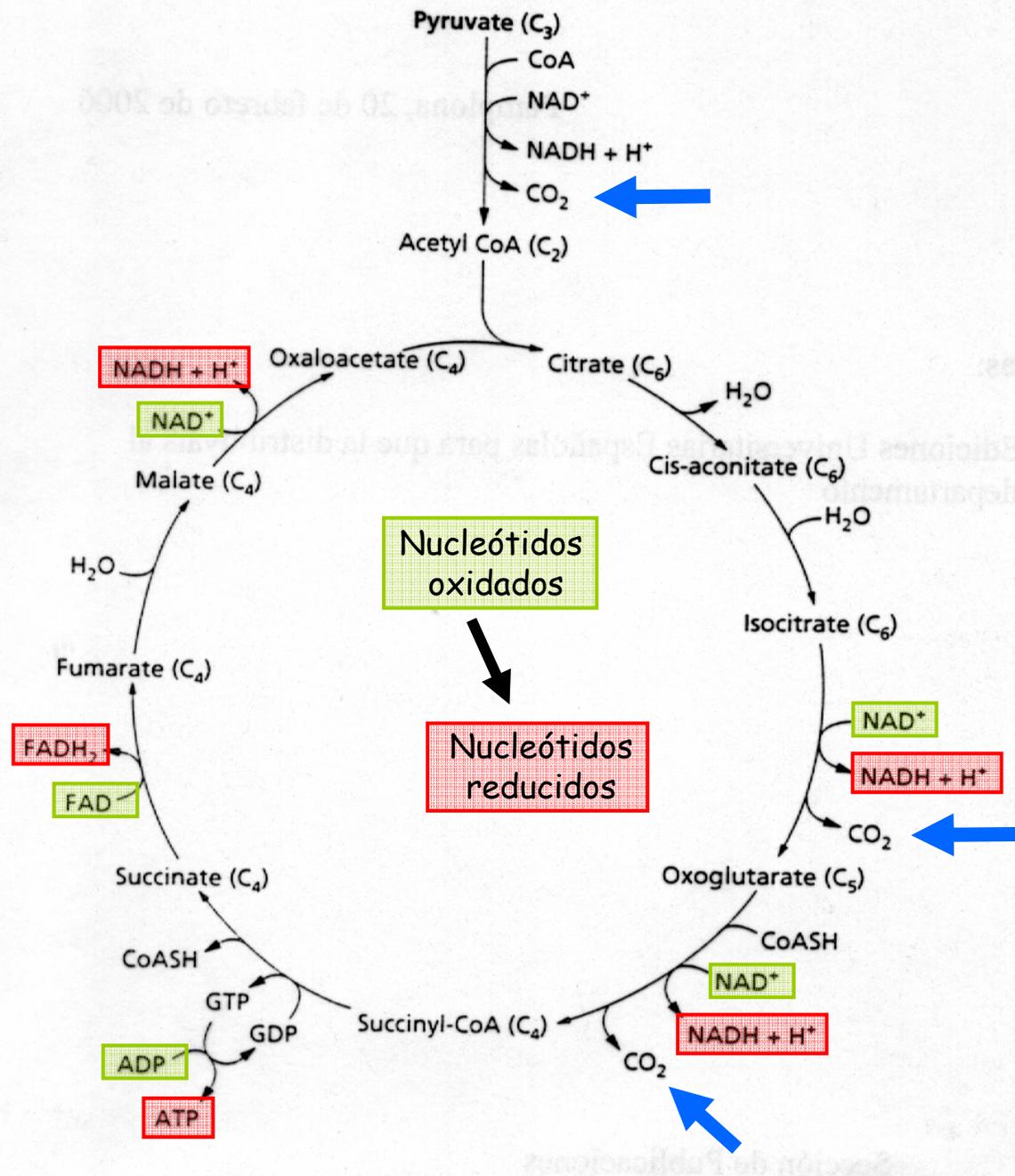


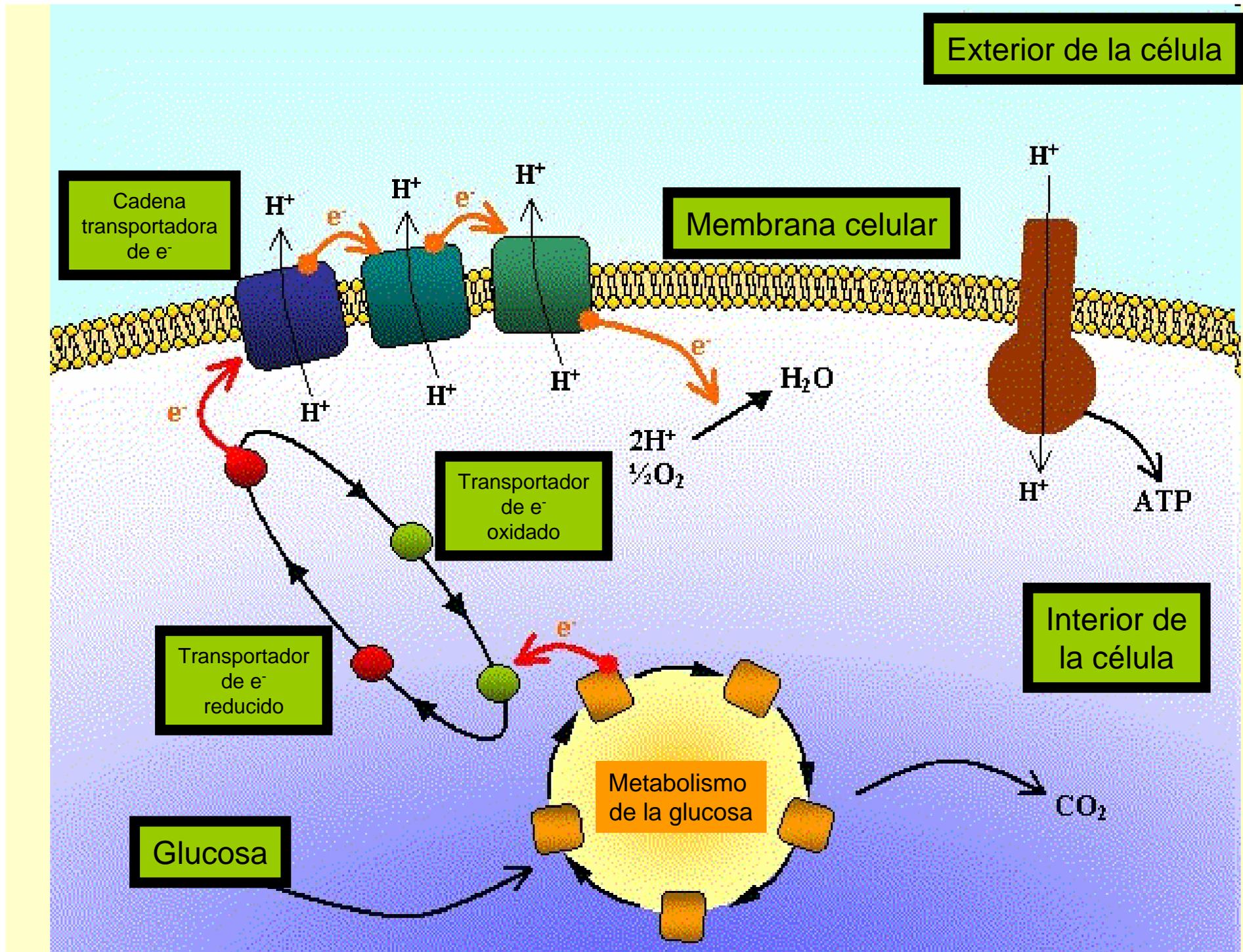
Fosfoacetolasa

- Es la ruta que siguen ciertas bacterias lácticas (especialmente *Lactobacillus* y *Leuconostoc*)
- Se puede considerar una variante de la ruta de la PF puesto que se forma un azúcar C5 y, por consiguiente, tiene lugar una descarboxilación.
- Sin embargo, en la ruta WD la enzima fosfoacetolasa rompe el azúcar C5 y da lugar a dos ramas que coinciden a la formación de lactato y etanol en un proceso de fermentación heteroláctica.

Fermentación heteroláctica

Ciclo de Krebs





Principios generales de metabolismo, respiración y fermentación

- Diversidad de fermentaciones:
 - alcohólica,
 - homoláctica,
 - heteroláctica,
 - ácido-mixta,
 - butanodiólica,
 - Propiónica
 - acetona-butanol.

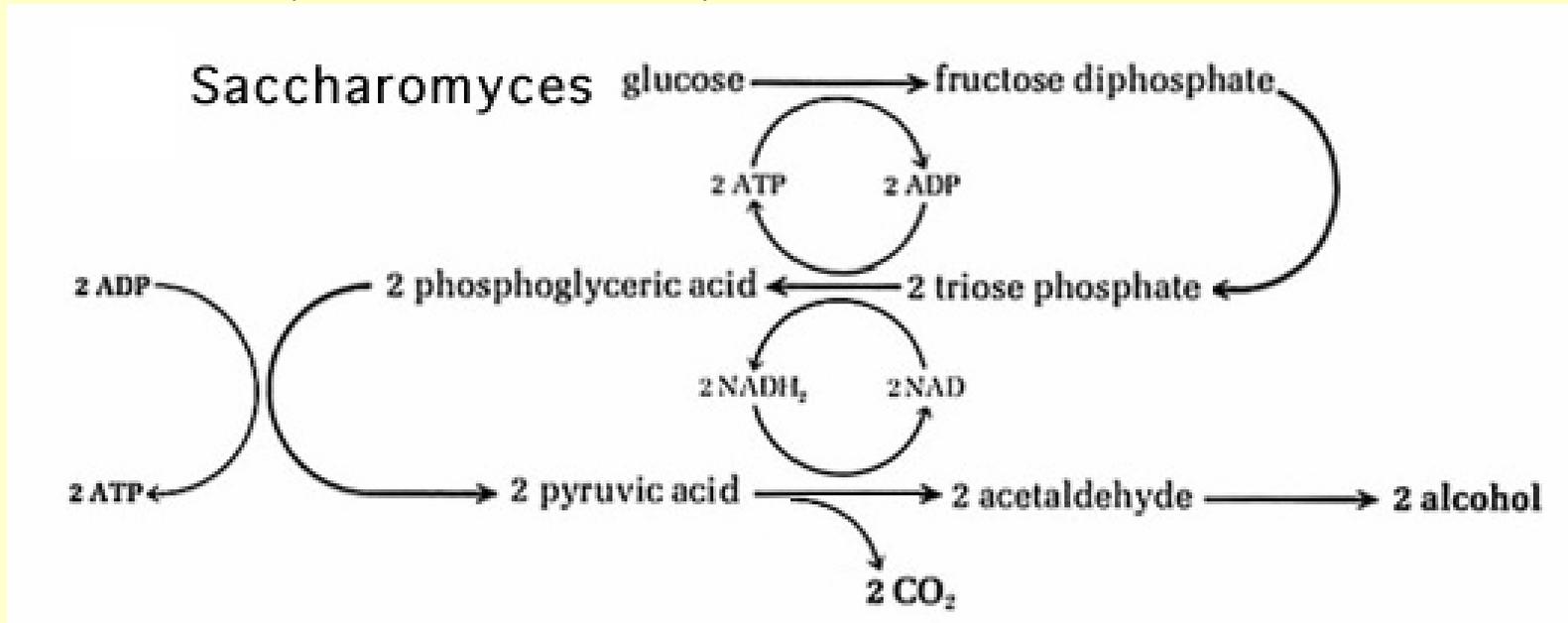
Fermentaciones

ALCOHÓLICA:

- En la fermentación etanólica o alcohólica: el piruvato se reduce para formar etanol y CO_2 :



- Es el proceso de fermentación que lleva a cabo *Saccharomyces cerevisiae* (pocas bacterias).



Fermentaciones

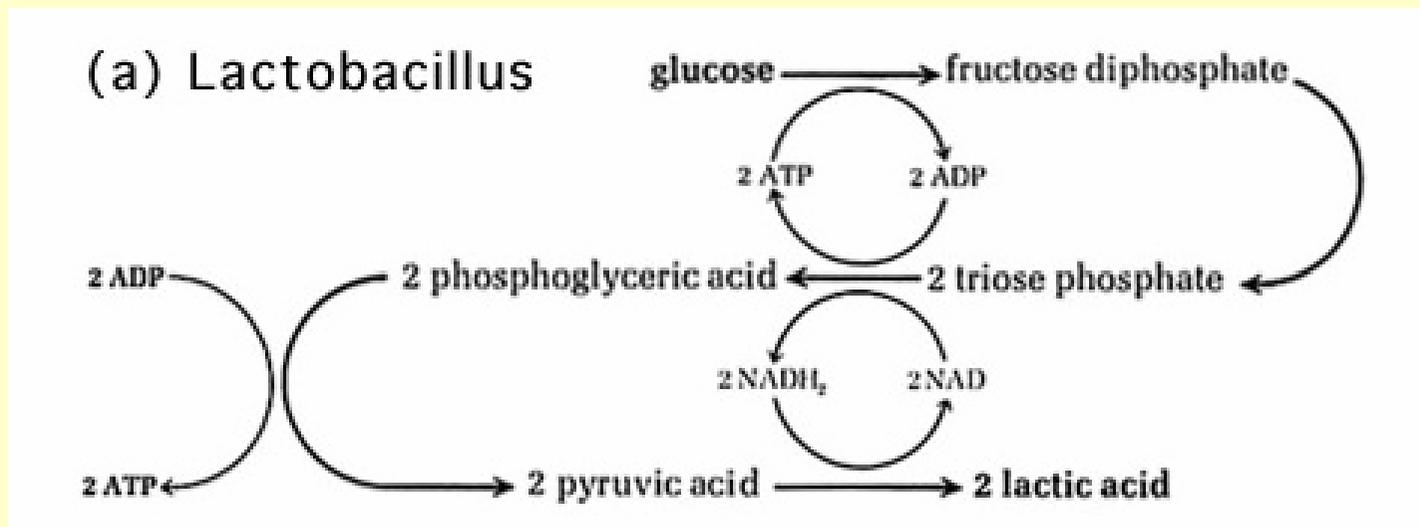
HOMOLÁCTICA:

-Su único producto final es el ácido láctico. Su ecuación global es:

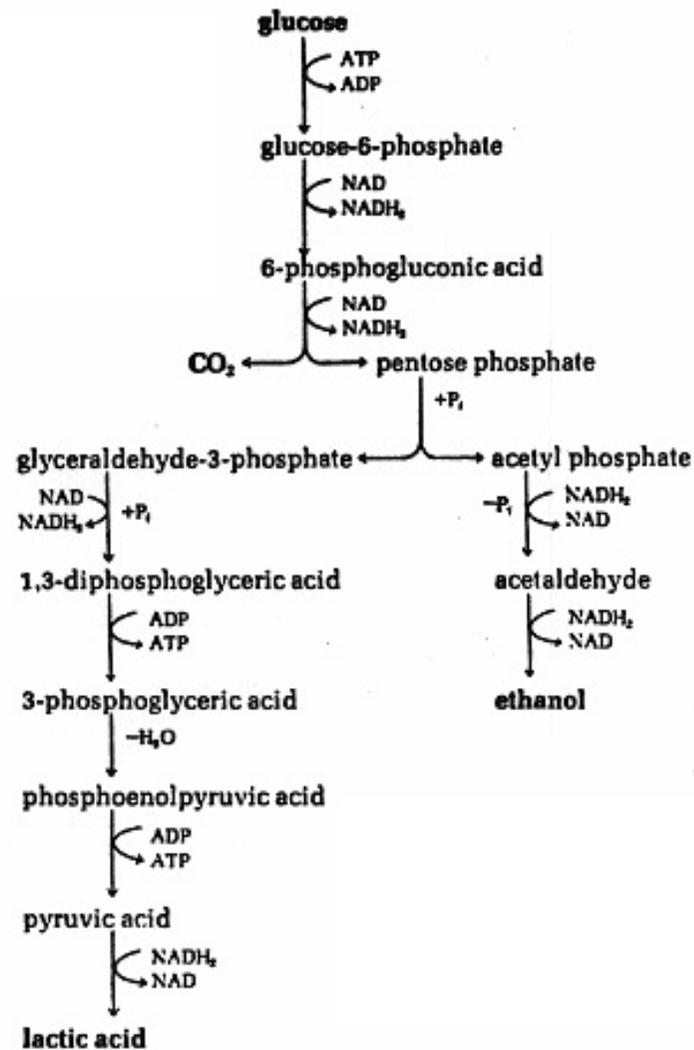


Estas bacterias producen el piruvato por catabolismo de la glucosa siguiendo la ruta de Embden-Meyerhof.

-Proceso presente en muchas bacterias lácticas: *Streptococcus* (grupo enterococos), *Pediococcus* y varios grupos de *Lactobacillus*.



Fermentación heteroláctica

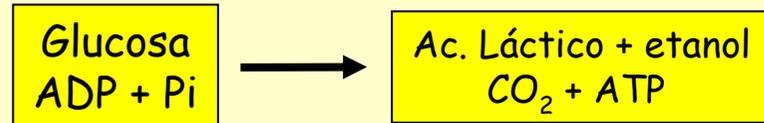


- Su producto final no es exclusivamente ácido láctico.

- El proceso tiene un rendimiento menor que la fermentación homoláctica.

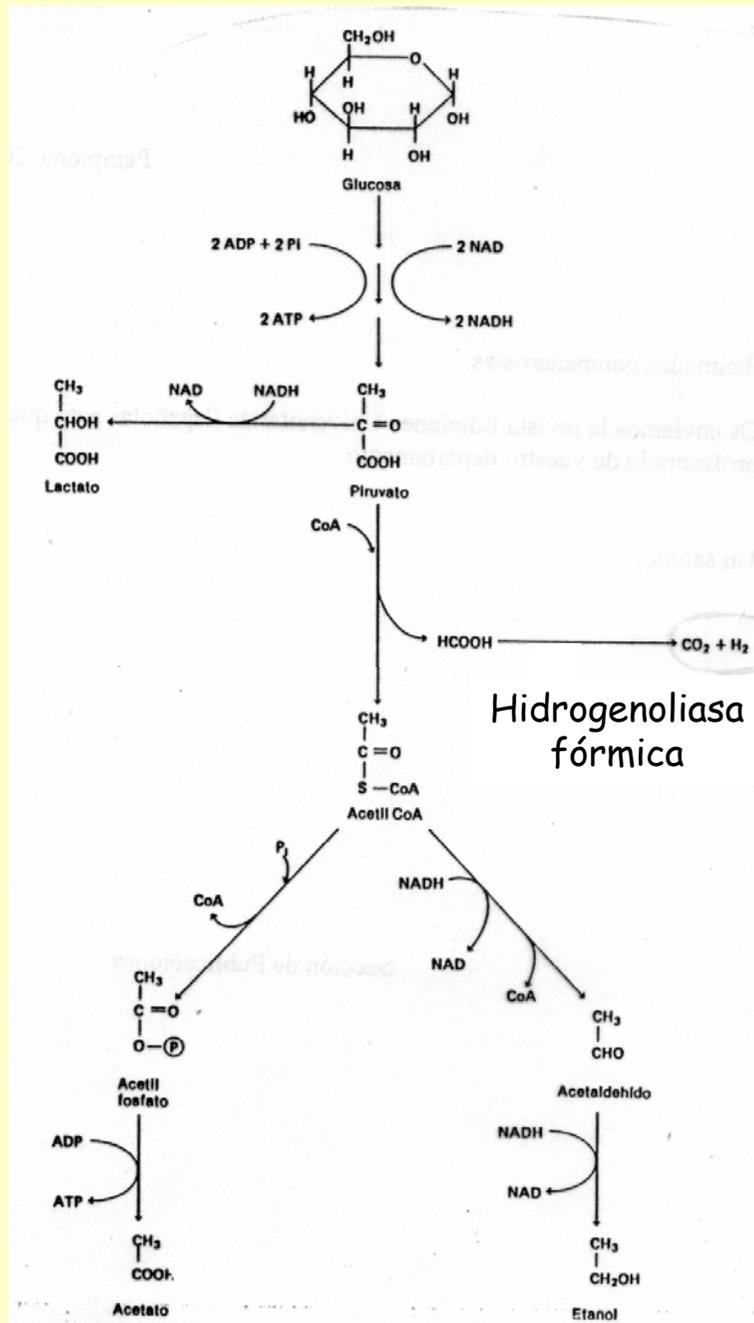
- El piruvato de esta ruta procede de la vía de las pentosas.

- La reacción global es:



- Este proceso lo llevan a cabo bacterias del grupo láctico pertenecientes a los géneros *Leuconostoc* y *Lactobacillus*.

Fermentación ácido mixta

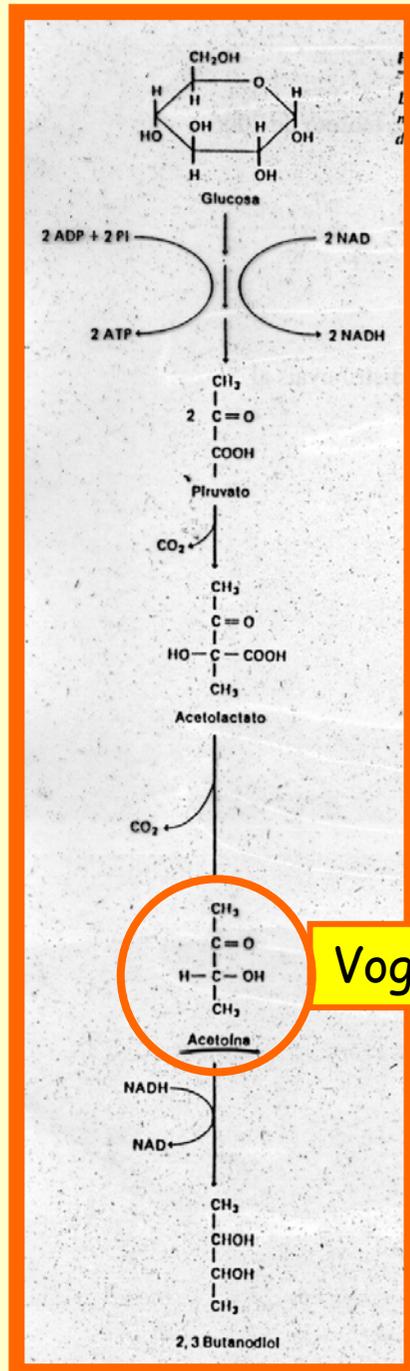


- Produce ácido acético, etanol, H₂, CO₂ y proporciones diferentes de ácido láctico o propiónico (fórmico) según las especies.

- La llevan a cabo las enterobacterias.

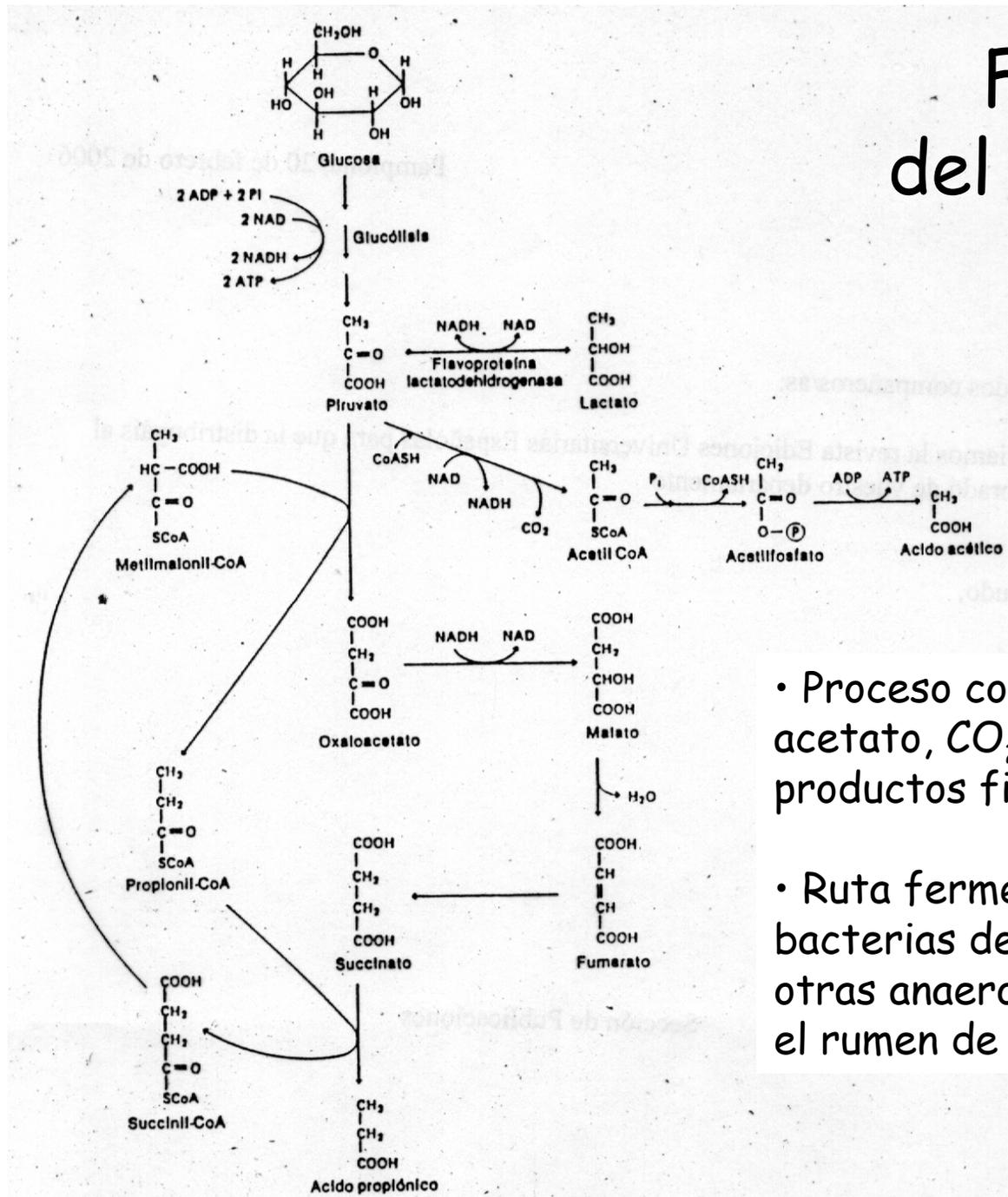
- En esta ruta de fermentación se produce ATP además de la reoxidación del NADH+H⁺.

Fermentación butanodiólica



- Variante de la fermentación ácido mixta.
- Presente en algunas enterobacterias como *Klebsiella*, *Serratia* y *Erwinia*.
- En esta ruta se produce acetoina que se detecta mediante la reacción de Voges-Proskauer

Fermentación del ácido propiónico



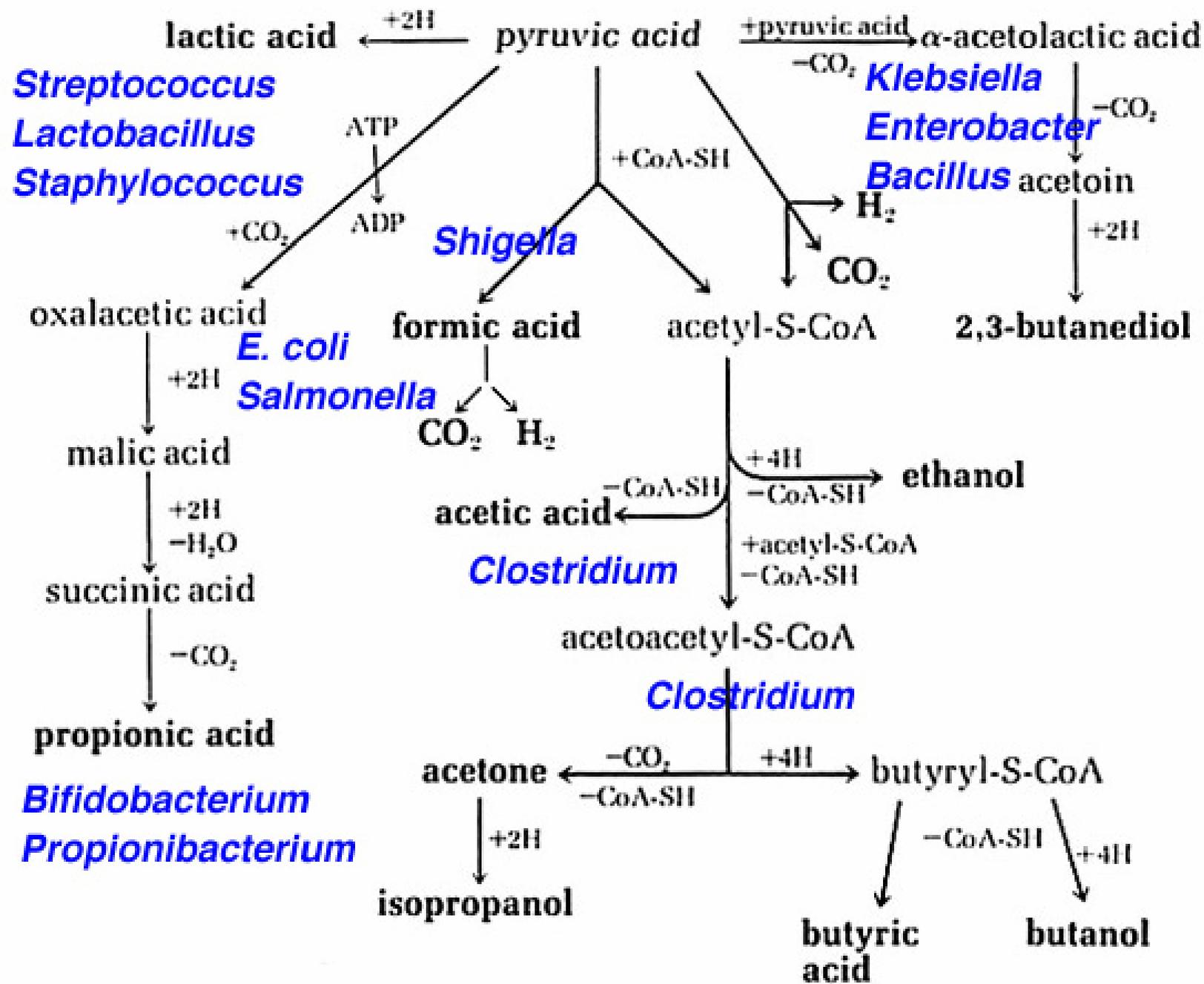
• Proceso complejo en el que se genera acetato, CO₂ y ácido propiónico como productos finales.

• Ruta fermentativa la presentan las bacterias del tipo *Propionobacterium* y otras anaerobias estrictas presentes en el rumen de herbívoros

Fermentación de acetona-butanol

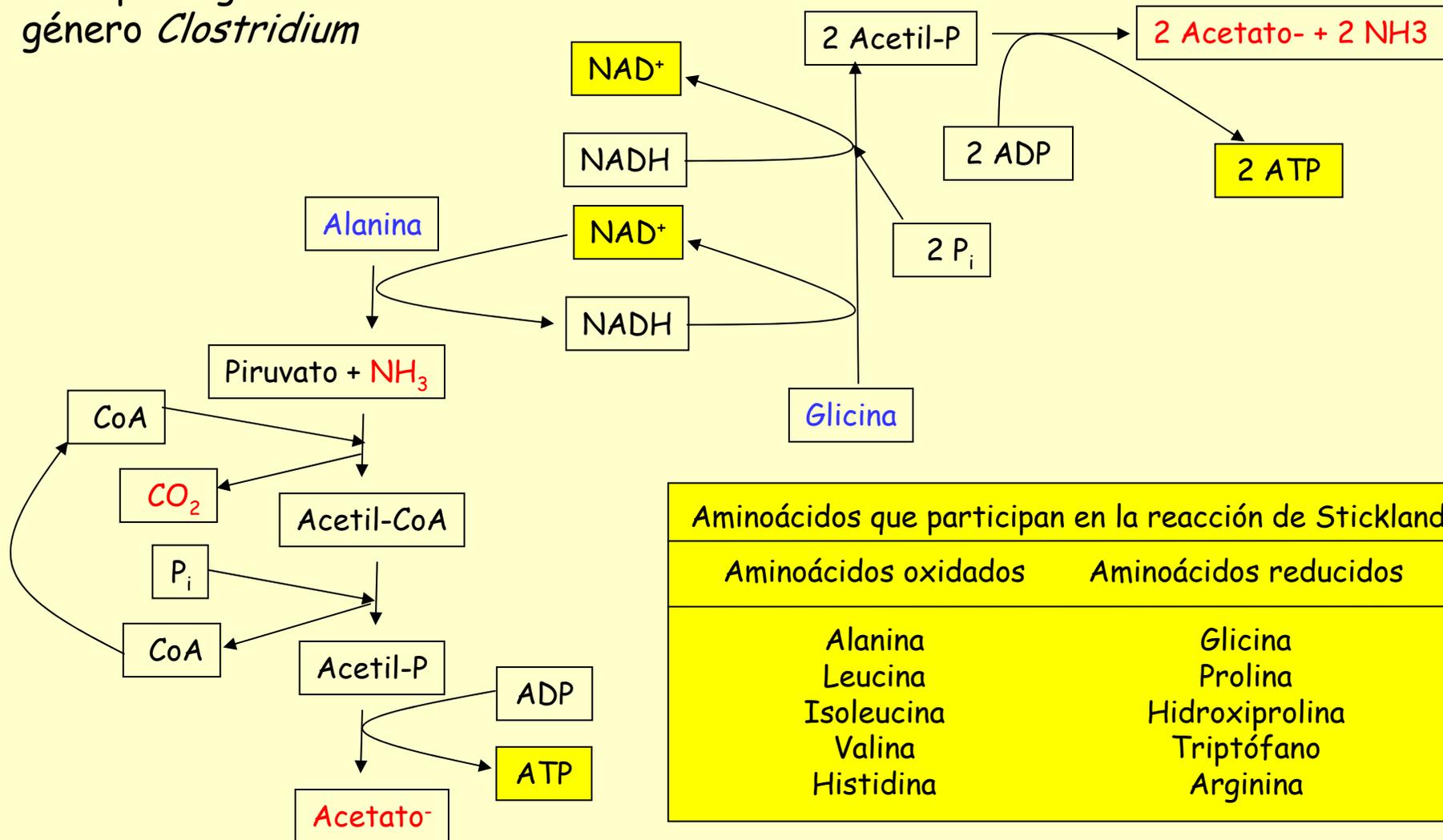
- Tipo de fermentación llevado a cabo por bacterias anaerobias estrictas del género *Clostridium*.
- Se producen compuestos orgánicos disolventes de gran importancia industrial



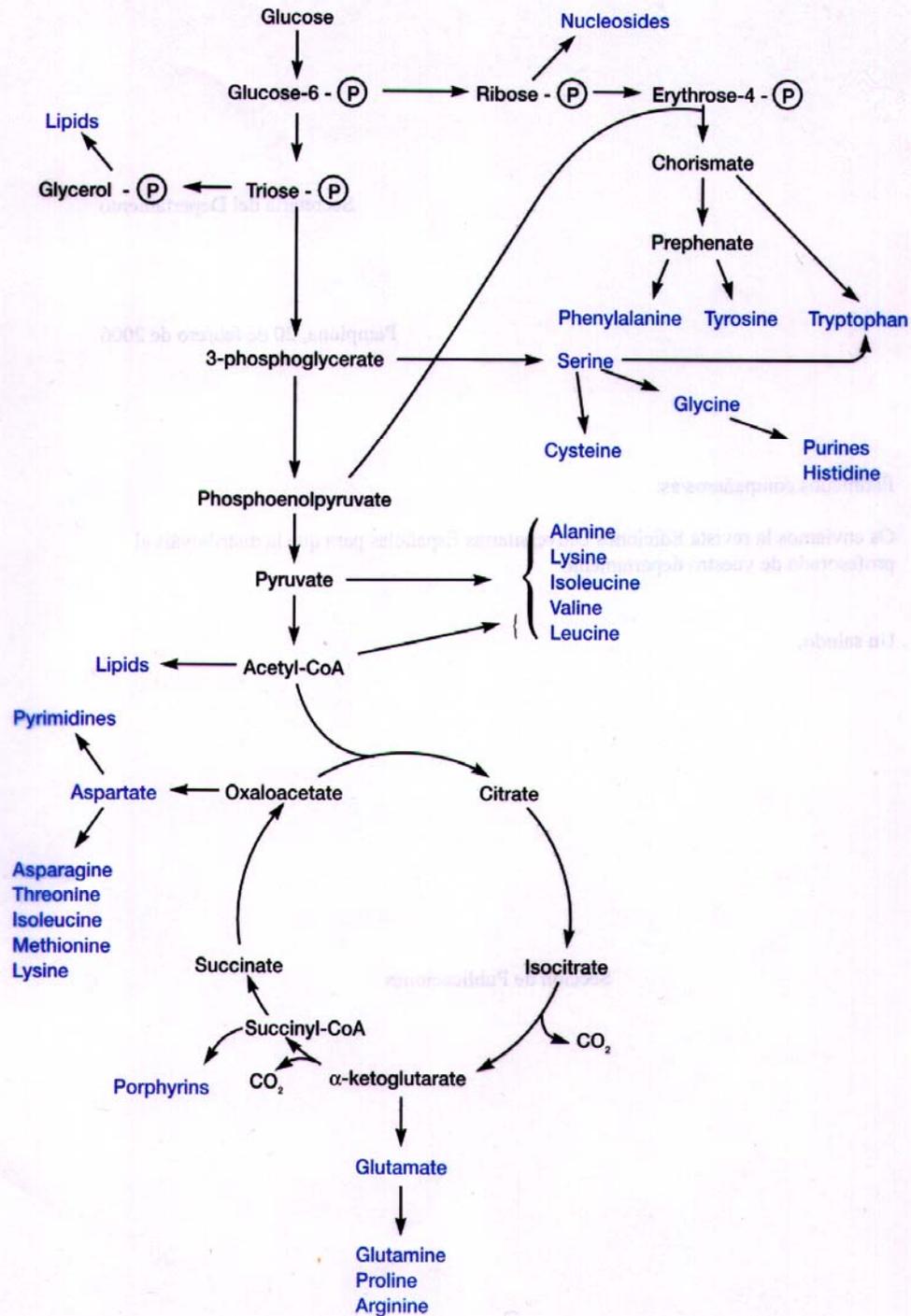


Fermentación de aminoácidos: reacción de Stickland

Reacción de Stickland llevada a cabo por algunas bacterias del género *Clostridium*



Aminoácidos que participan en la reacción de Stickland	
Aminoácidos oxidados	Aminoácidos reducidos
Alanina	Glicina
Leucina	Prolina
Isoleucina	Hidroxiprolina
Valina	Triptófano
Histidina	Arginina



Metabolismo central

Rutas anabólicas

Características comunes de los metabolitos secundarios

- Tienden a producirse cuando el crecimiento está limitado (cultivo continuo).
- Se forman por enzimas específicos a partir del metabolismo central.
- No son esenciales para el crecimiento o para el metabolismo central.
- Son específicos para cada especie, y a veces, de cada cepa.

Familias de metabolitos secundarios
POLIQUÉTIDOS
TERPENOS
AMINOÁCIDOS

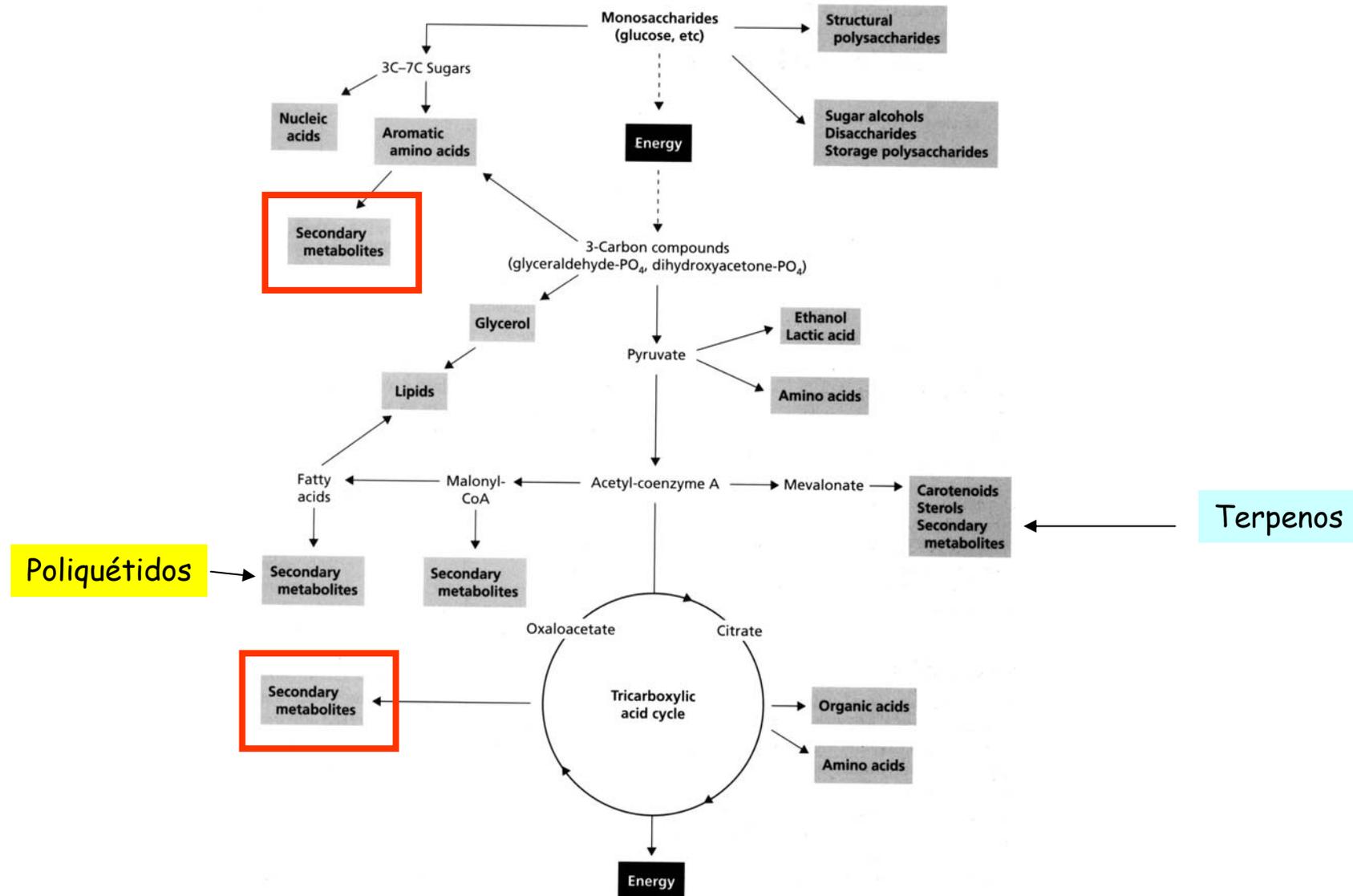
POLIQUÉTIDOS

- Está presente en bacterias, hongos y en plantas.
- Sirve únicamente para la producción de metabolitos secundarios.
- Parte del malonil-CoA que forma el primer paso en la síntesis de ácidos grasos.
- Ejemplos:
 - griseofulvina (antibiótico producido por *Penicillium griseofulvum*)
 - aflatoxinas (toxinas producidas por *Aspergillus flavus* y por *A. parasiticus*)
 - ocratoxinas (toxinas producidas por algunos tipos de *Aspergillus* y de *Penicillium*)
 - lovastatina (producida por *A. terreus*)

TERPENOS

- Se inician a partir del Acetil-CoA.
- Produce tanto metabolitos primarios (carotenos, esteroides) como secundarios.
- Ejemplos:
 - Ciertos carotenos.
 - Toxinas como la toxina T2 y los tricotecenos (producidos por alguna especie de *Fusarium*).

Rutas de síntesis de las familias de metabolitos secundarios



Rutas de aminoácidos

RUTAS QUE PARTEN DE AMINOÁCIDOS AROMÁTICOS

Compuestos alucinógenos tales como el ácido lisérgico, la psilocibina (*Psilocibe*) y la muscarina (*Amanita muscaria*).

RUTAS QUE PARTEN DE AMINOÁCIDOS ALIFÁTICOS

Penincilinas (*Penincillium chrysogenum*)

Toxinas como la falotoxina (*Amanita phalloides*)

