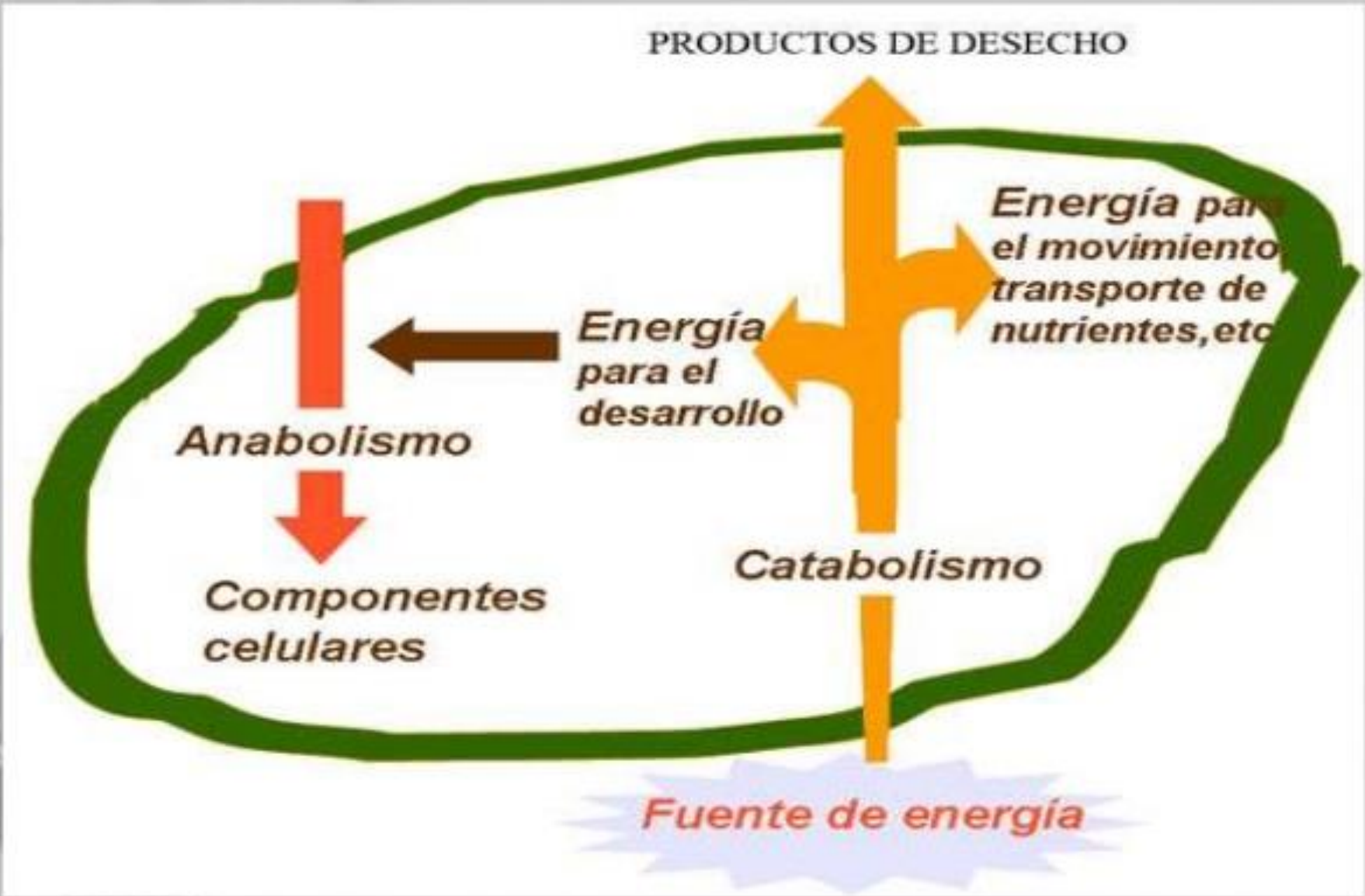


METABOLISMO BACTERIANO



METABOLISMO

*Actividad celular muy coordinada en la que muchos sistemas multienzimáticos (**rutas metabólicas**) cooperan para:*

- 1. Obtener energía química a partir de energía solar o degradando nutrientes ricos en energía obtenidos del ambiente.*
- 2. Convertir moléculas nutrientes en las moléculas características de la propia célula, incluidos los **precursores de macromoléculas**.*
- 3. Polimerizar los precursores monoméricos en macromoléculas: **proteínas, ácidos nucleicos y polisacáridos**.*
- 4. Sintetizar y degradar biomoléculas para funciones celulares especializadas: **lípidos de membrana, mensajeros intracelulares y pigmentos**.*

El **catabolismo** libera energía mediante la oxidación de moléculas

Glucosa



$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

Energía

La energía se libera por hidrólisis del ATP

ADP + P_i

La energía se almacena en moléculas de ATP

ATP

Energía

Proteínas



Aminoácidos

El **anabolismo** utiliza energía para sintetizar las macromoléculas que forman las células

METABOLISMO

Enzimas (E): son el grupo más variado y especializado de las proteínas, su función es actuar como catalizadores, permitiendo que las reacciones que transcurren en los seres vivos puedan desarrollarse a un ritmo adecuado.

Cofactores: requerimientos necesario para algunas E para desarrollar su actividad:

- ión inorgánico, Fe^{2+} , Mg^{2+} , Mn^{2+} o Zn^{2+}
- una molécula orgánica: si se encuentra unida covalentemente se denomina **grupo prostético** y si establece uniones de naturaleza débil y reversible se denomina **coenzima**. Muchas vitaminas, o derivados de las mismas, funcionan como coenzimas.

Holoenzimas: La enzima completa junto a su cofactor.

Apoenzima: es la parte exclusivamente proteica apoenzima

Clasificación de las enzimas sobre la base del tipo de reacción química catalizada

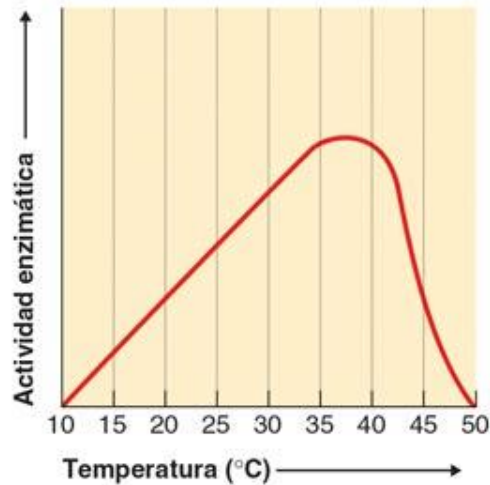
Clase	Tipo de reacción química catalizada	Ejemplos
Oxidoreductasas	Oxidación-reducción en la que se gana o se pierde oxígeno e hidrógeno	Citocromo oxidasa, lactato deshidrogenasa
Transferasa	Transferencia de grupos funcionales, como grupos amino, acetilo o fosfato	Acetato cinasa, alanina desaminasa
Hidrolasa	Hidrólisis (agregado de agua)	Lipasa, sacarasa
Liasa	Eliminación de grupos de átomos sin hidrólisis	Oxalato descarboxilasa, isocitrato liasa
Isomerasa	Reordenamiento de átomos dentro de una molécula	Glucosa fosfato isomerasa, alanina racemasa
Ligasa	Unión de dos moléculas (con el uso de energía generalmente proveniente de la degradación de ATP)	Acetil-CoA sintetasa, DNA ligasa

ALGUNAS VITAMINAS Y SUS FUNCIONES COMO COENZIMAS

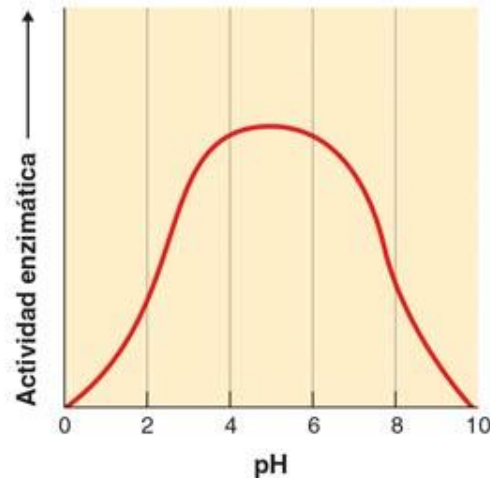
Vitamina	Función
Vitamina B₁ (tiamina)	Parte integral de la coenzima carboxilasa; tiene muchas funciones, incluso el metabolismo del ácido pirúvico
Vitamina B₂ (riboflavina)	Coenzima en flavoproteínas; activa en la transferencia de electrones
Niacina (ácido nicotínico)	Parte de la molécula de NAD*; activa en la transferencia de electrones
Vitamina B₆ (piridoxina)	Coenzima en el metabolismo de aminoácidos
Vitamina B₁₂ (cianocobalamina)	Coenzima (metil cianocobalamina) que participa en la transferencia de grupos metilo; activa en el metabolismo de aminoácidos
Ácido pantoténico	Parte de la molécula de coenzima A; implicada en el metabolismo de ácido pirúvico y lípidos
Biotina	Implicada en las reacciones de fijación de dióxido de carbono y síntesis de ácidos grasos
Ácido fólico	Coenzima usada en la síntesis de purinas y pirimidinas
Vitamina E	Necesaria para la síntesis celular y macromolecular
Vitamina K	Coenzima usada en el transporte de electrones

*NAD = nicotinamida adenina dinucleótido

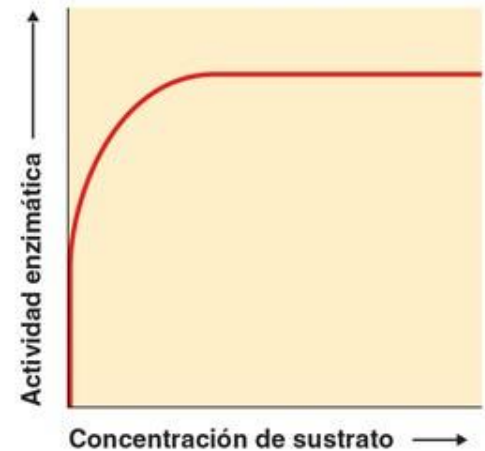
Factores que inciden en la actividad enzimática, graficados para una enzima hipotética.



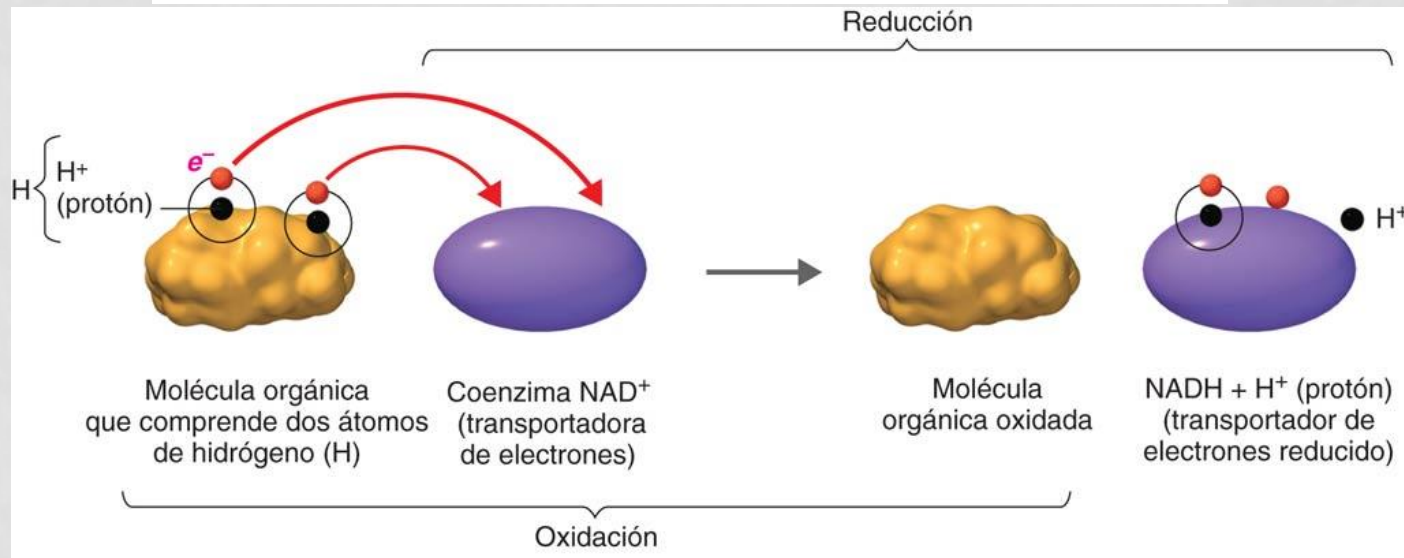
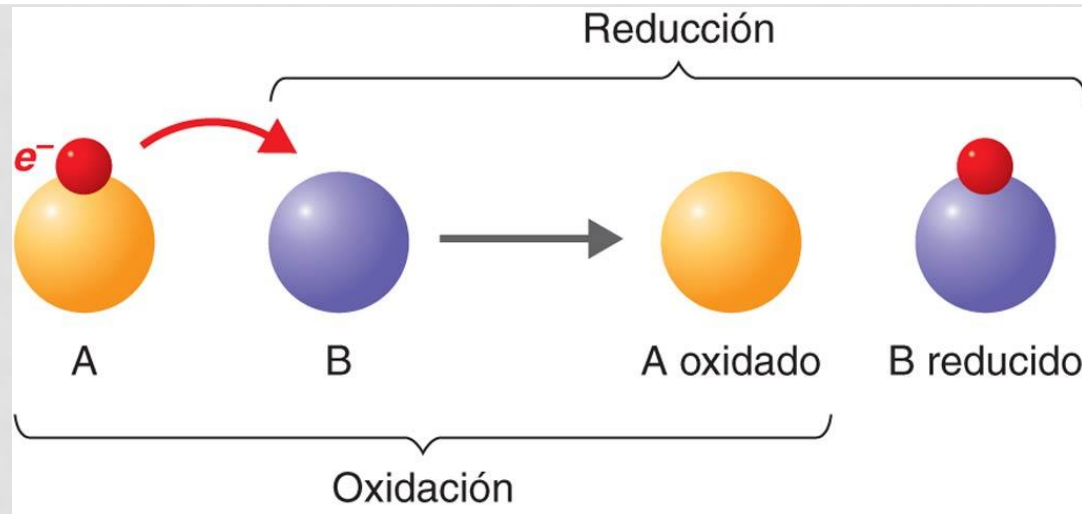
(a) Temperatura. La actividad enzimática (velocidad de la reacción catalizada por la enzima) aumenta a medida que lo hace la temperatura hasta que la enzima, una proteína, se desnaturaliza por el calor y se inactiva. En este momento, la velocidad de la reacción disminuye en forma abrupta.



(b) pH. La enzima ilustrada es más activa en pH cercano a 5.0.



(c) Concentración de sustrato. A medida que aumenta la concentración de moléculas de sustrato se incrementa la velocidad de la reacción hasta que se ocupen todos los sitios activos de las enzimas; en ese momento, se considera que la reacción alcanzó su velocidad máxima.

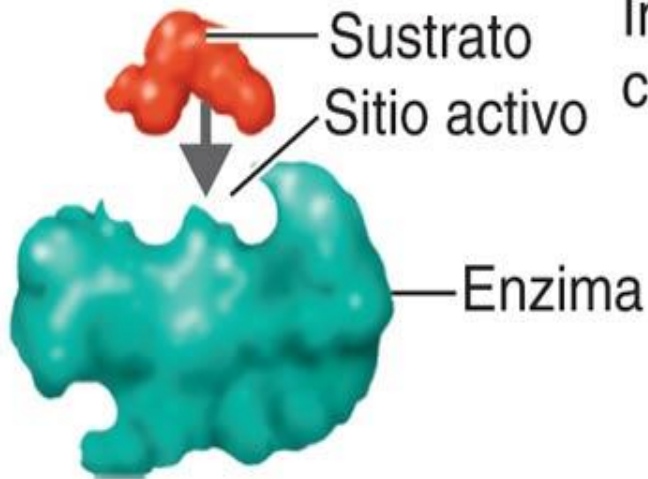


Oxidación biológica representativa. Se transfieren dos electrones y dos protones (equivalentes a dos átomos de hidrógeno) desde una molécula de sustrato hacia una coenzima, NAD^+ .

NAD^+ recibe un **átomo de hidrógeno y dos electrones**, y se libera un **protón en el medio**. NAD^+ se reduce a $NADH$, que es una molécula con mayor contenido de energía.

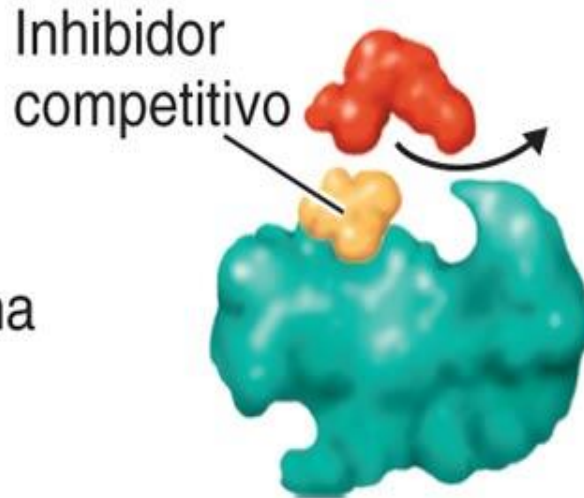
Inhibidores enzimáticos.

Unión normal
del sustrato



(a) Un inhibidor enzimático y su sustrato normal

Acción de los
inhibidores enzimáticos



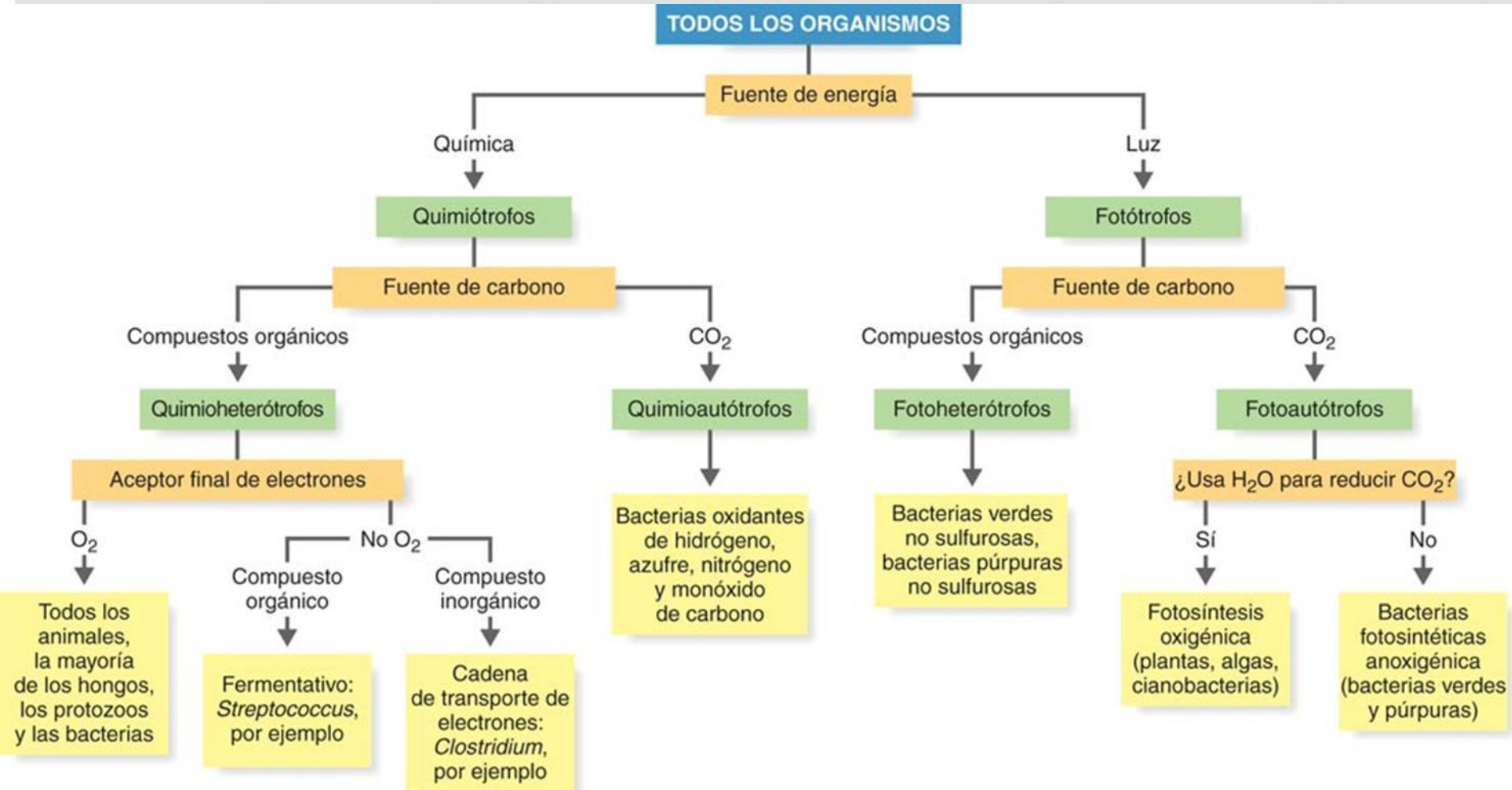
(b) Un inhibidor competitivo

Sitio activo
alterado



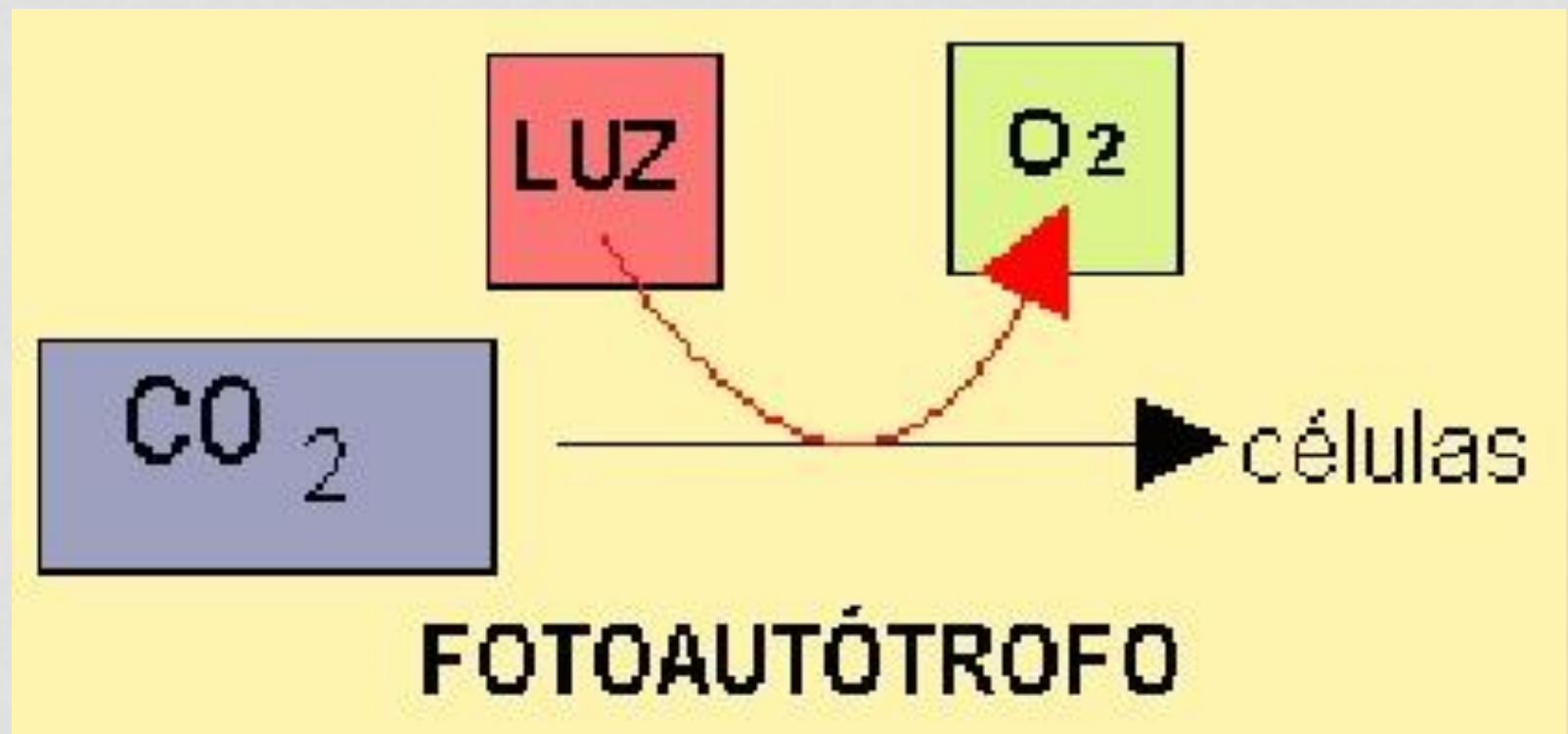
(c) Un tipo de inhibidor no competitivo, que causa inhibición alostérica.

METABOLISMO



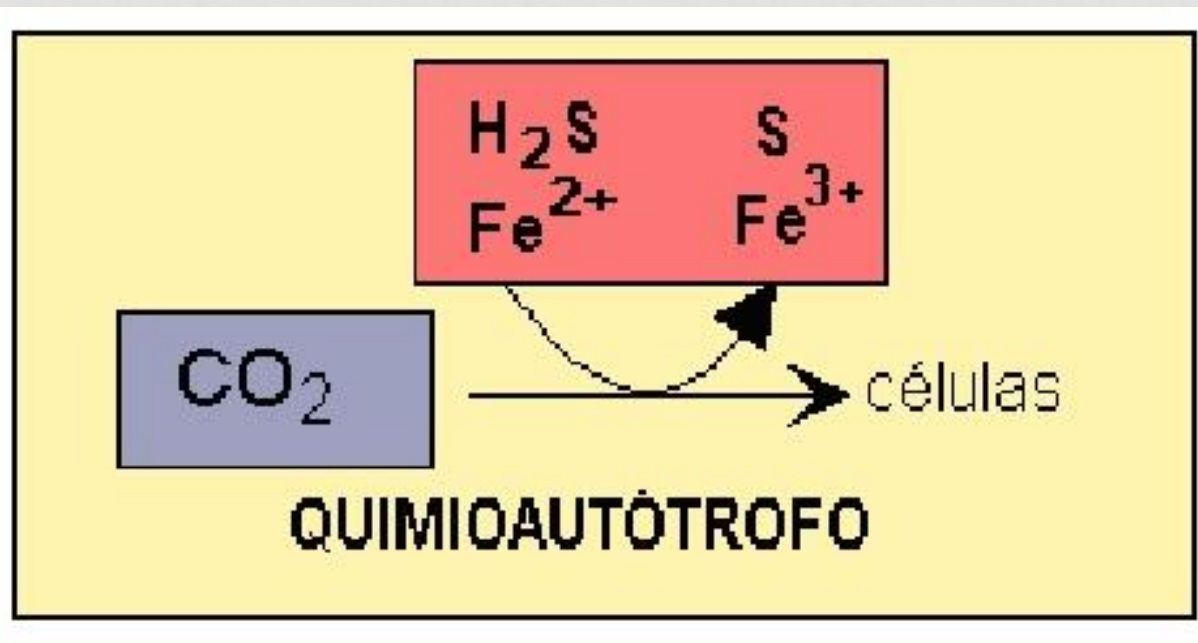
METABOLISMO

- Fotoautótrofos: Sintetizan compuestos orgánicos a través de la luz. Ejemplo:



METABOLISMO

Quimioautótrofos: Son organismos que se alimentan así mismos y utilizan el CO_2 como fuente de carbono. Ejemplo: *Nitrobacter* y *Thiobacillus ferrooxidans*.



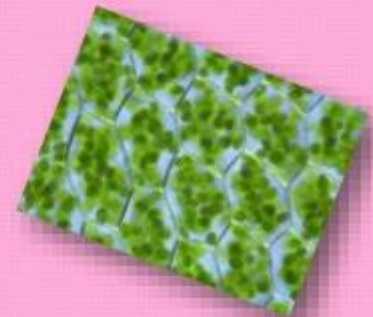
cianobacterias

También denominadas algas verde-azuladas, son organismos unicelulares procariotas más relacionados con las bacterias que con las algas eucariotas. Poseen clorofila y biliproteínas...

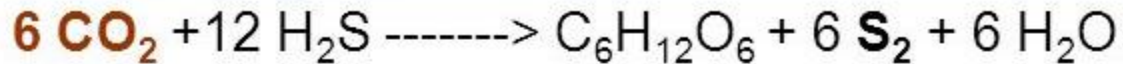


BACTERIAS FOTOTRÓFICAS ANOXIGÉNICAS

- Grupo bacteriano que se divide en 7 subgrupos.
- 1. Bacterias púrpura del azufre; glóbulos del azufre internos.
- 2. Bacterias púrpura del azufre; glóbulos del azufre externos.
- 3. Bacterias púrpura no azufradas.
- 4. Bacterias con Bchl_g

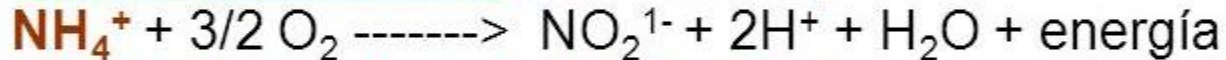


BACTERIAS FOTOAUTÓTROFAS (fotosíntesis anoxigénica)

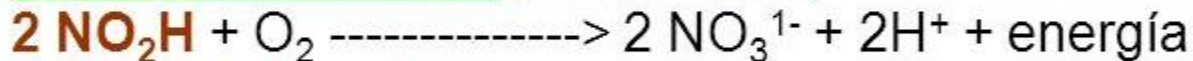


BACTERIAS QUIMIOAUTÓTROFAS

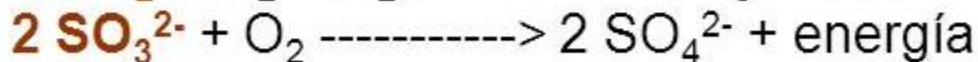
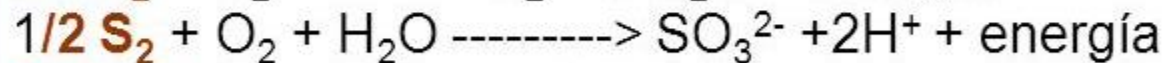
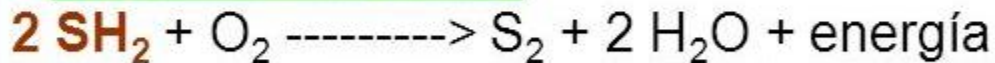
Nitrito formadoras (nitrosomas)



Nitrato formadoras (nitrobacter)



Del azufre incoloras



Del hierro



METABOLISMO

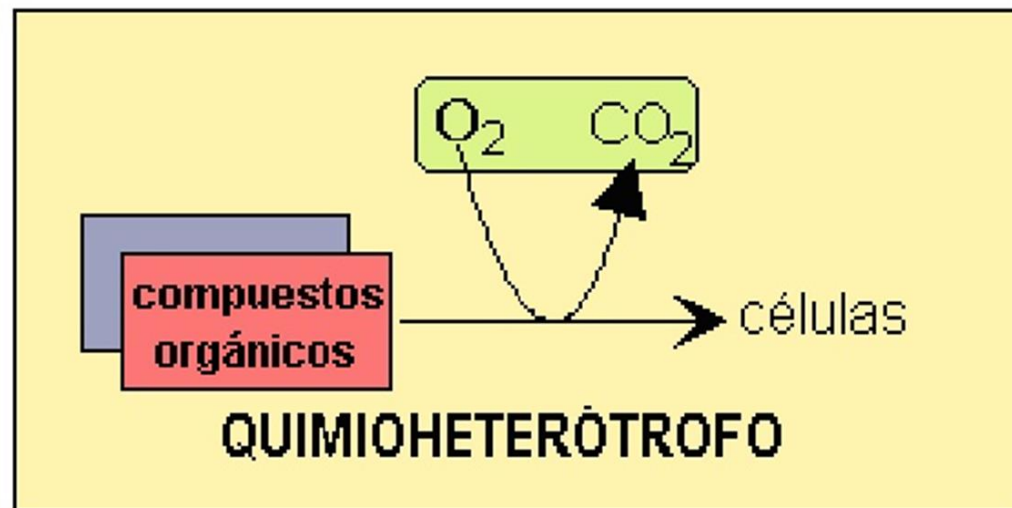
Fotoheterótrofos: Captan energía solar para la fotosíntesis y obtienen carbono de biomoléculas.



METABOLISMO

Quimioheterótrofos: Son parásitos o saprófitos. Los de tipo parásito obtienen glucosa y otros nutrientes del huésped. Los de tipo saprófito obtienen sus nutrientes de desechos o restos de organismos.

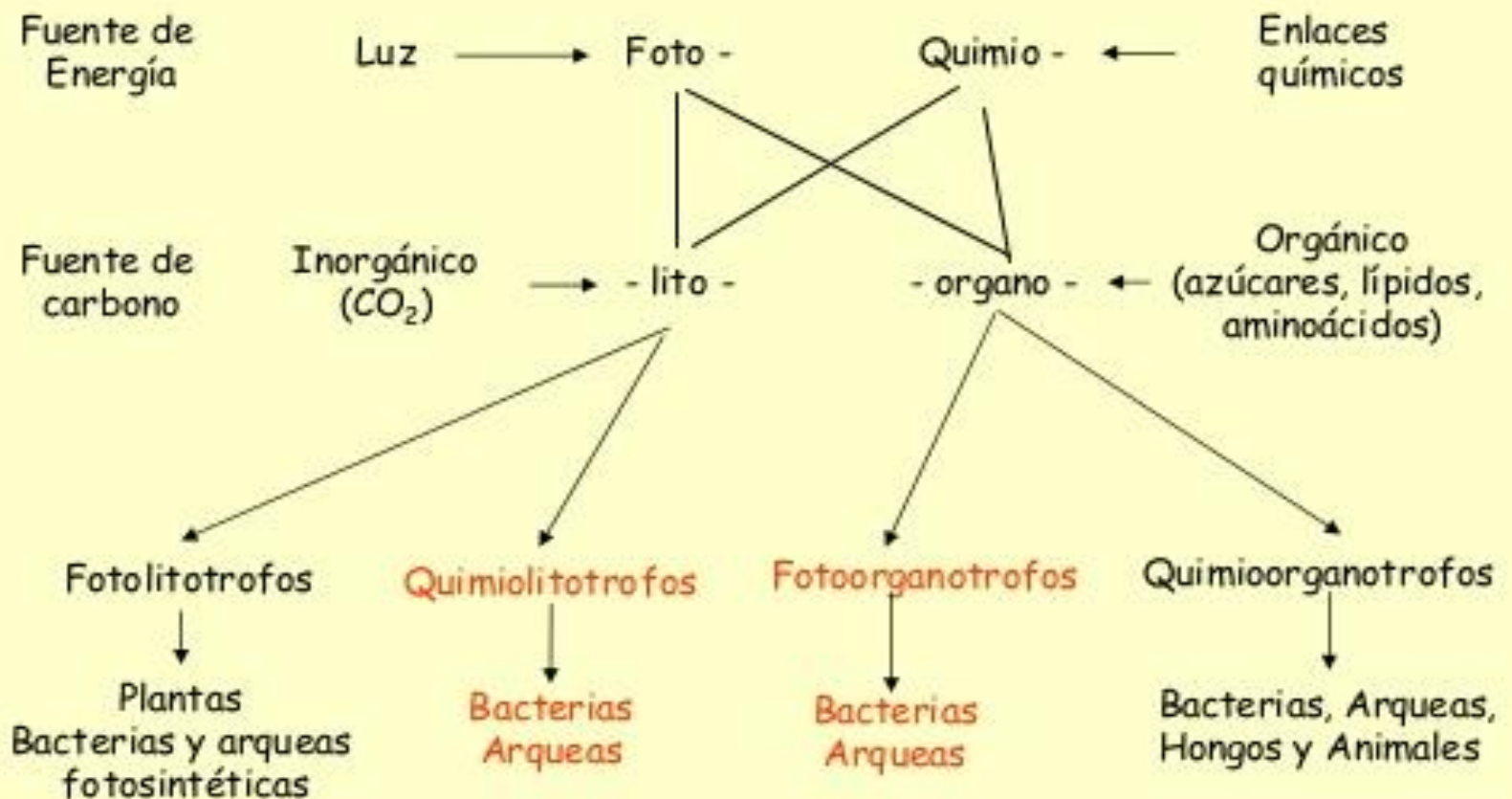
La mayoría de las bacterias patógenas están en este grupo



METABOLISMO

CLASIFICACIÓN	FUENTE DE ENERGÍA	Luz	FOTÓTROFOS
		Compuestos químicos	QUIMIÓTROFOS
	FUENTE DE CARBONO	CO ₂	AUTÓTROFOS
		Compuestos orgánicos	HETERÓTROFOS
	NECESIDA DE OXÍGENO	AEROBIOS ESTRICTOS	
		ANAEROBIOS ESTRICTOS	
ANAEROBIOS FACULTATIVOS			

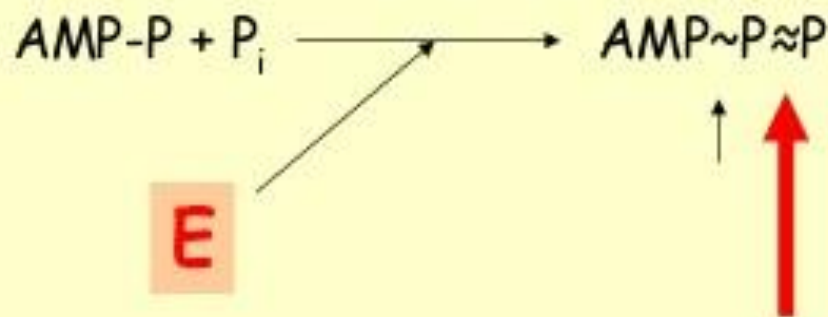
Categorías de los organismos según su metabolismo



Mecanismos de generación de energía

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

Fosforilación



PRODUCCIÓN Y USO DEL ATP

FOSFORILACIÓN OXIDATIVA

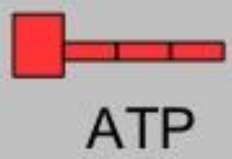
FOSFORILACIÓN A NIVEL DE SUSTRATO

Energía Química de reacciones exergónicas



Energía Solar

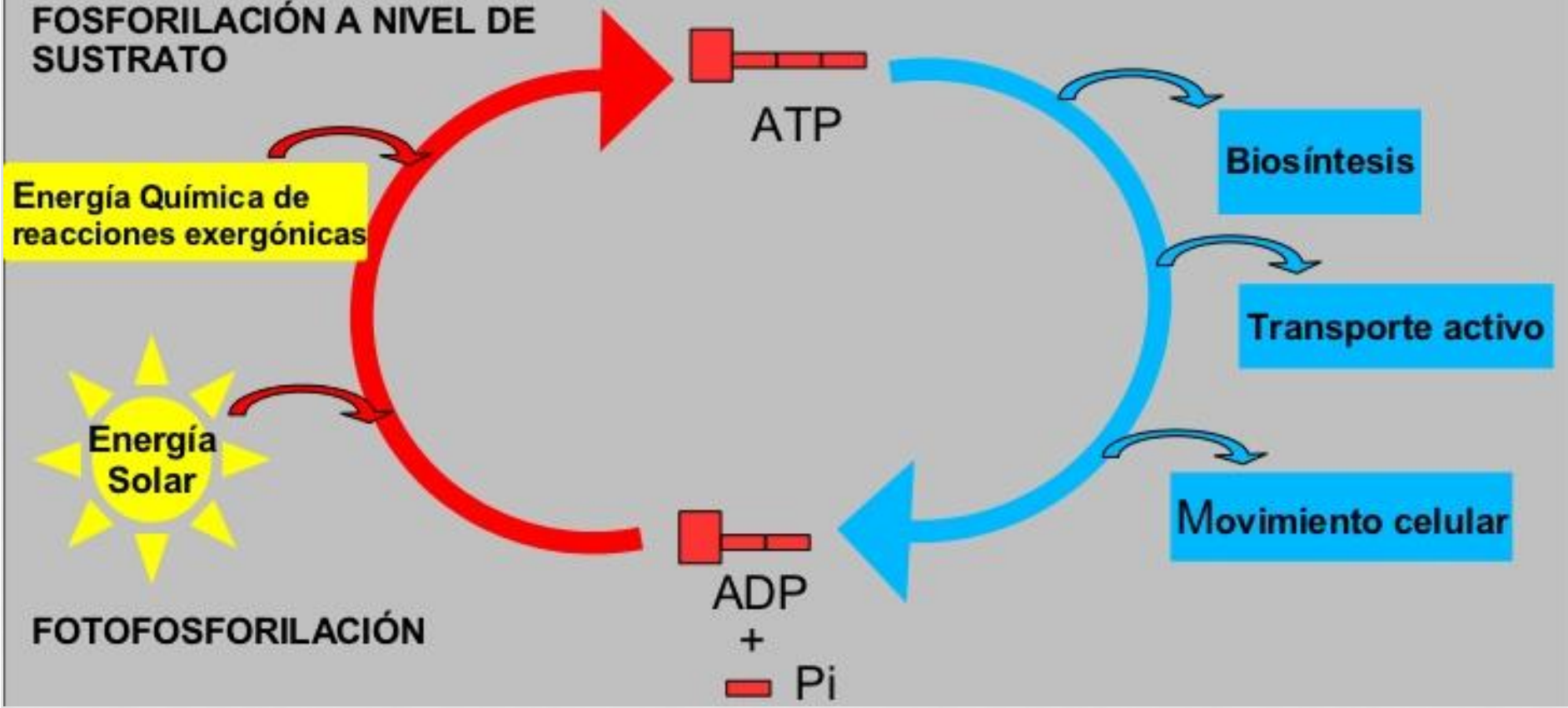
FOTOFOSFORILACIÓN



Biosíntesis

Transporte activo

Movimiento celular



¿Hay diferentes tipos de fotosíntesis?

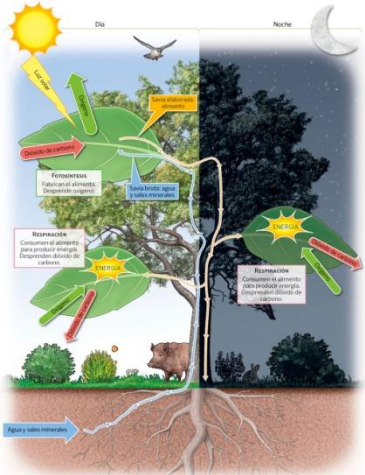
Existen dos tipos de fotosíntesis. La fotosíntesis anoxigénica o bacteriana en la que no se produce oxígeno y la fotosíntesis oxigénica o vegetal, en la que se desprende oxígeno y que es la más habitual. Los seres que realizan la fotosíntesis se denominan autótrofos o, más exactamente, fotoautótrofos.

- Fotosíntesis vegetal

Las plantas toman dióxido de carbono del aire y agua del suelo y, con la energía del sol, sintetizan glucosa, un hidrato de carbono rico en energía (E), y liberan oxígeno. Este proceso tiene lugar en las hojas gracias a la clorofila, un pigmento contenido en los cloroplastos, unos orgánulos propios de las células vegetales.

- Fotosíntesis bacteriana

En la fotosíntesis anoxigénica o bacteriana los organismos que la realizan no utilizan el agua como elemento dador de electrones, por lo que no existe producción de oxígeno. Existen tres tipos de organismos que realizan esta fotosíntesis: las sulfobacterias purpúreas y las sulfobacterias verdes, las cuales emplean sulfuro de hidrógeno, y las bacterias verdes que utilizan materia orgánica como sustancia donadora de electrones (por ejemplo, el ácido láctico).





La Fotosíntesis

Es el proceso por el cual las plantas con clorofila, producen oxígeno y glucosa; a partir del agua, sales minerales y dióxido de carbono; mediante la acción de la energía solar



CARACTERÍSTICAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE MICROORGANISMOS FOTOSINTETIZADORES

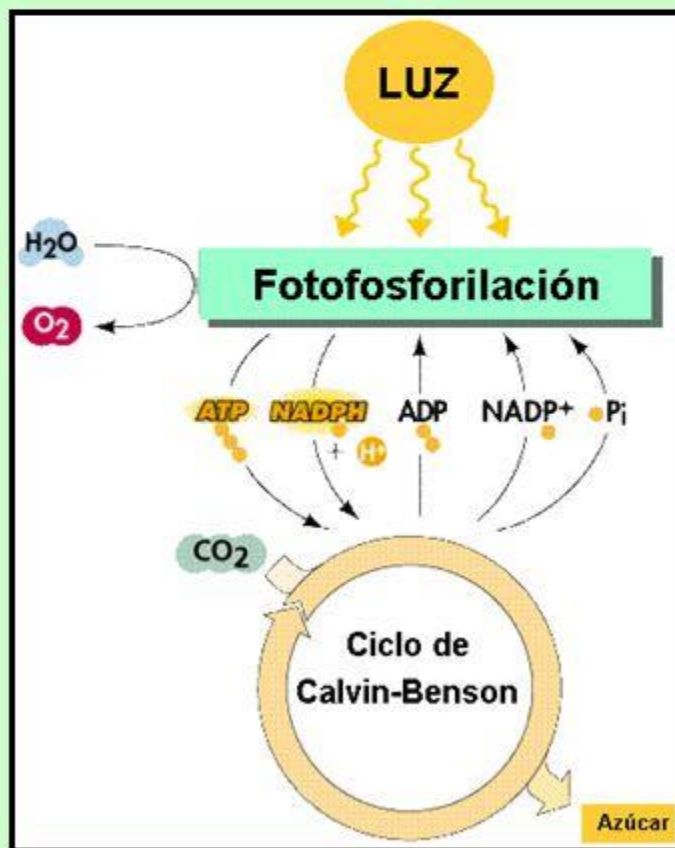
TIPOS DE FOTOSINTESIS	OXIGENICA	ANOXIGENICA	
Reacción producida	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  $\text{O}_2 + \text{carbohidratos}$	$\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S}$  $\text{S}_2 + \text{carbohidratos}$	
Gas generado	O_2	S_2	
Fuente de Hidrogeno	H_2O	H_2S	
Producto energético	ATP, NADH	ATP	
Pigmentos fotosintetizadores	Clorofila a ficofiloproteína	Bacterio clorofila a/b	Bacterioclorofila a/b
Microorganismos	Cianobacterias	Bacterias púrpuras	Bacterias verdes

La fotosíntesis se divide en dos fases:

1. **Fase luminosa:** Utilizando luz visible como fuente de energía produce PODER REDUCTOR (NADPH), O_2 y ATP.
2. **Fase oscura:** Tanto en presencia como en ausencia de luz visible. Se utilizan el poder reductor y la energía química producidas en la fase luminosa para la fijación de carbono.

Fase luminosa

Fase oscura



Ciclo de Calvin

El ciclo de Calvin se resume en cuatro pasos

Paso 1 : En la fijación del CO₂ , cada molécula de CO₂, se agrega a un compuesto de 5 carbonos a través de una enzima.

Paso 2: El compuesto de 6 carbonos resultante se divide en dos compuestos de tres carbonos. A estos compuestos se unen grupos fosfatos de ATP y electrones del NADPH, formando azúcares de tres carbonos.

CIANOBACTERIAS

Bacterias Gram negativas-Morfología variada: unicelulares y filamentosas móviles por deslizamiento

Realizan Fotosíntesis Oxigénica. Presentan Ficobilisomas

Fotoautótrofos: asimilan el CO₂ mediante el Ciclo de Calvin Benson

Acumulan glucógeno

Ciclo de Krebs incompleto

Fijan Nitrógeno, producen Geosmina y Toxinas

hábitats : Superficie e interior de rocas, suelos desérticos, estanques y lagos, en simbiosis con Hongos, Protozoos y plantas.

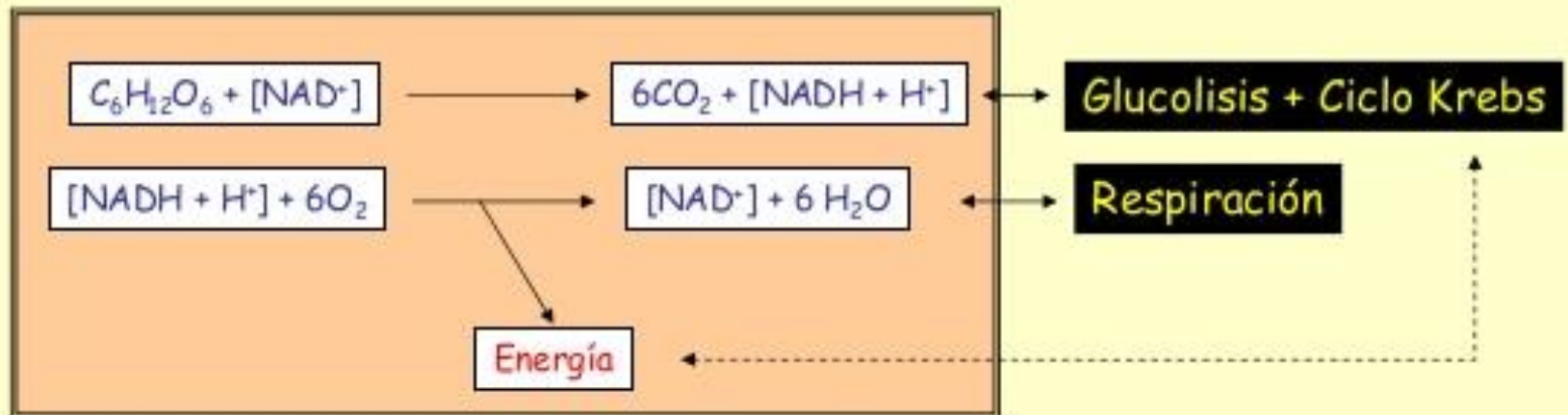
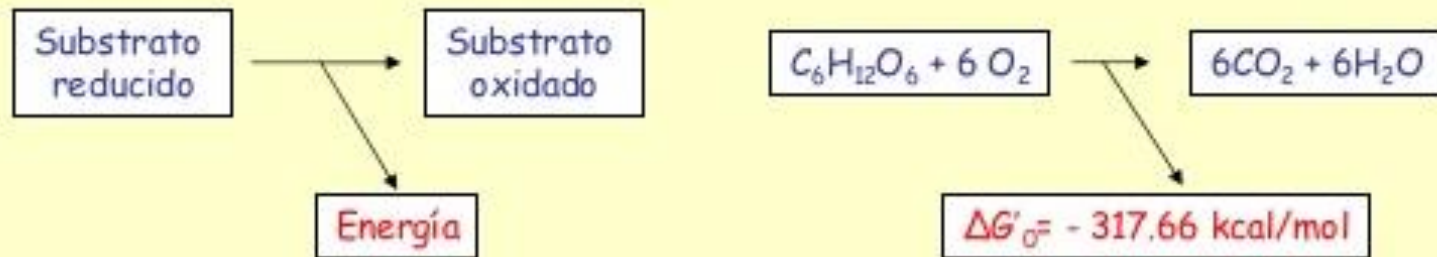
Tamaño entre 1 µm hasta varios micrómetros

Son componentes básicos de los Estromatolitos. Hay restos fósiles de más de 3000 millones de años de antigüedad. Probablemente fueron los primeros organismos productores de Oxígeno

Actualmente son 24 géneros: ***Chroococcus*, *Synechococcus*, *Anabaena*, *Spirulin*, *Nostoc*, *Oscillatoria*** y otros.

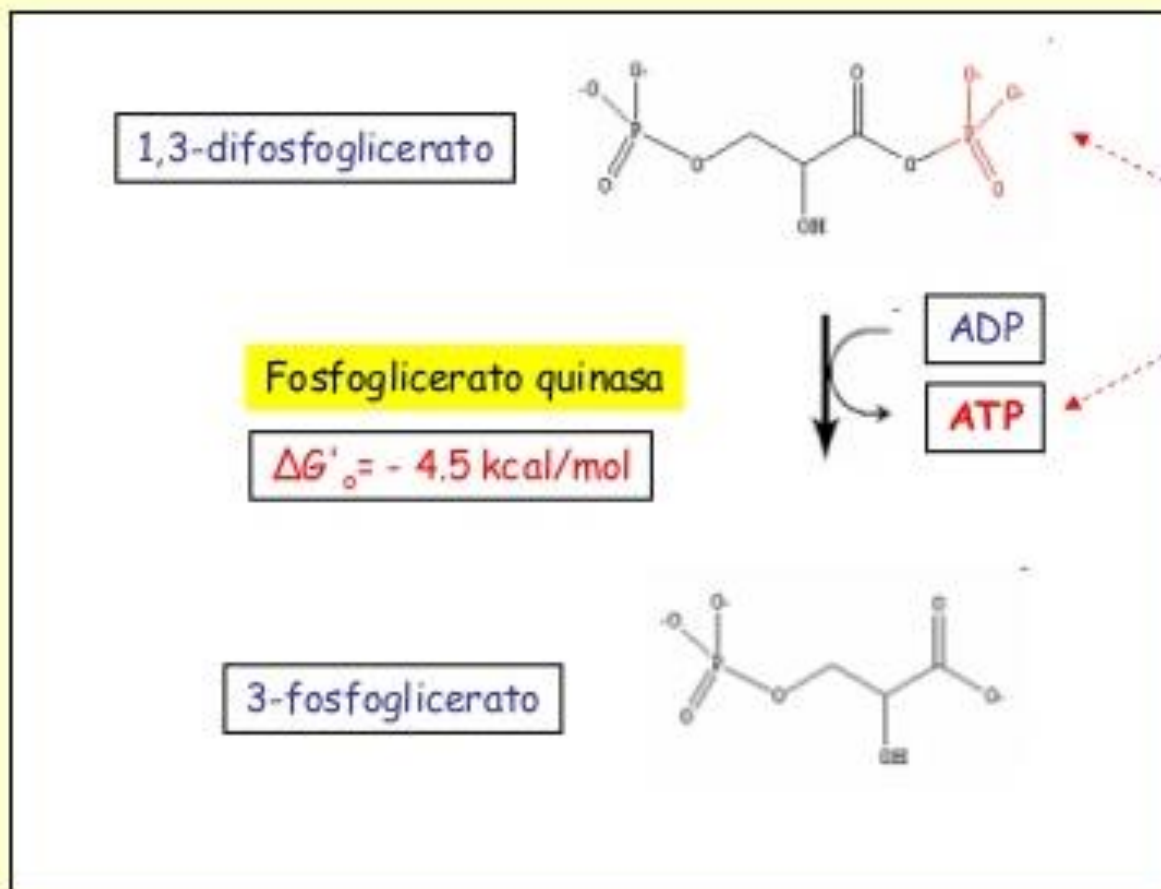
Mecanismos de generación de energía

- fosforilación oxidativa



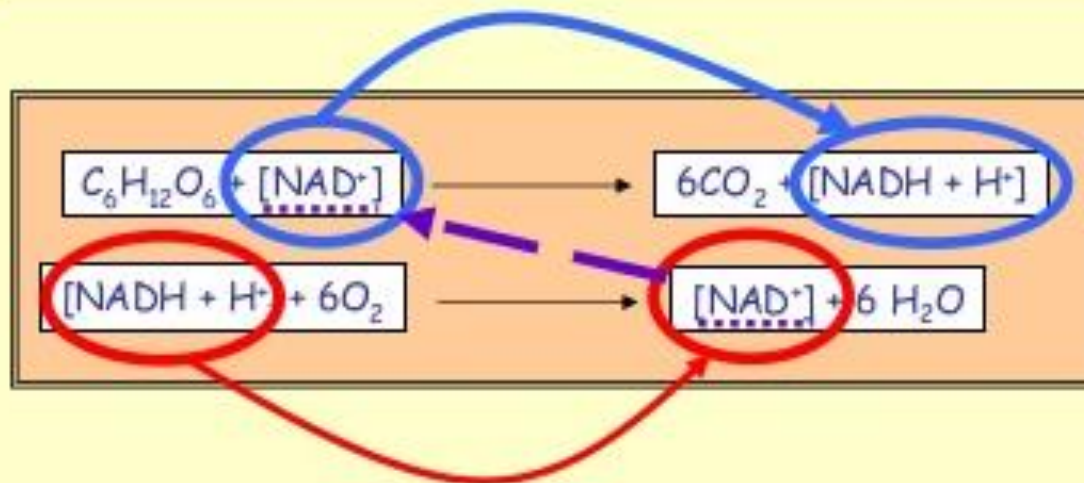
Mecanismos de generación de energía

- fosforilación a nivel de sustrato



Conceptos de respiración y fermentación

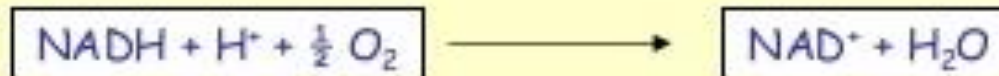
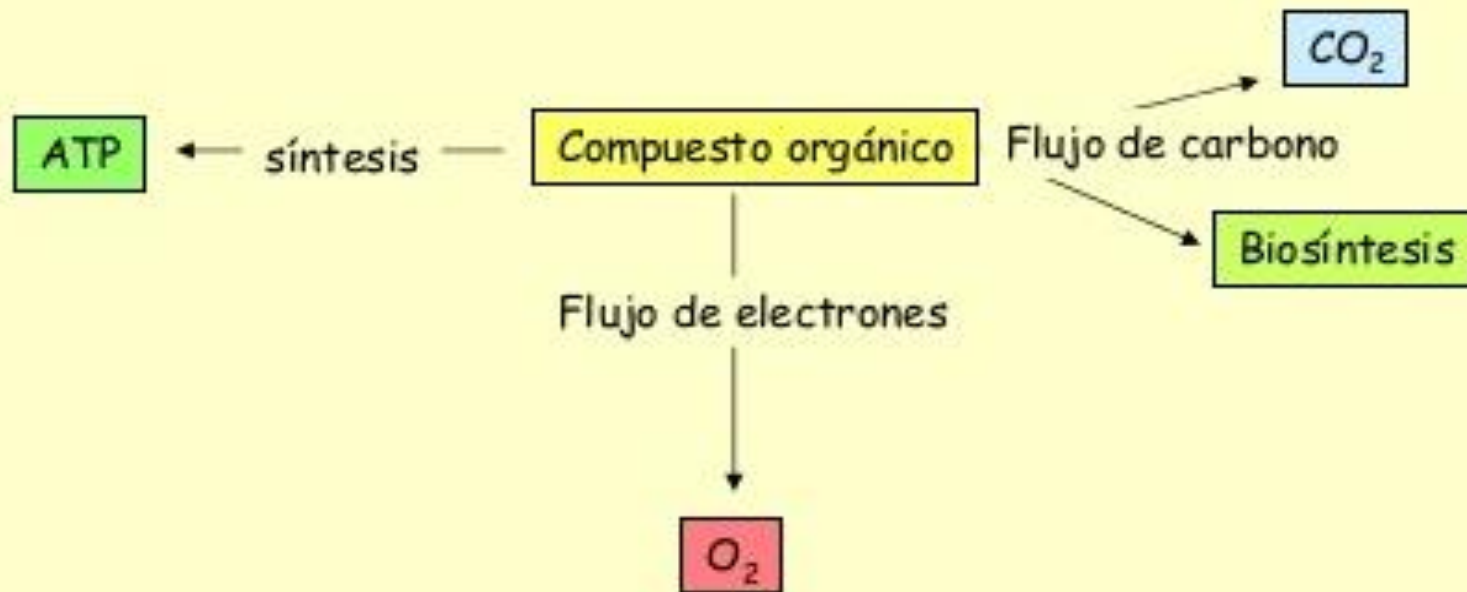
El contenido de NAD^+ de la célula es limitado y puede agotarse



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**

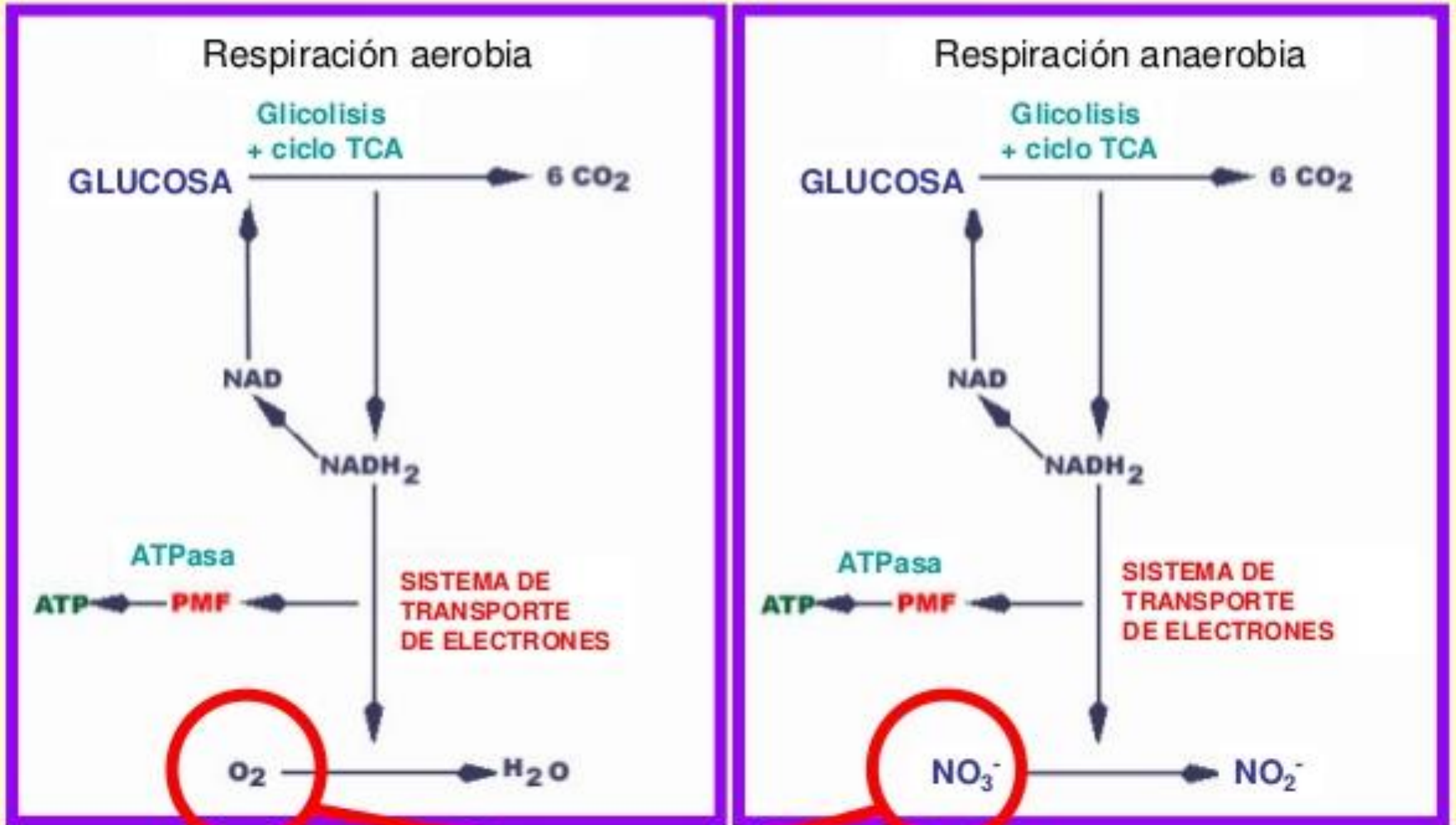
Respiración aerobia

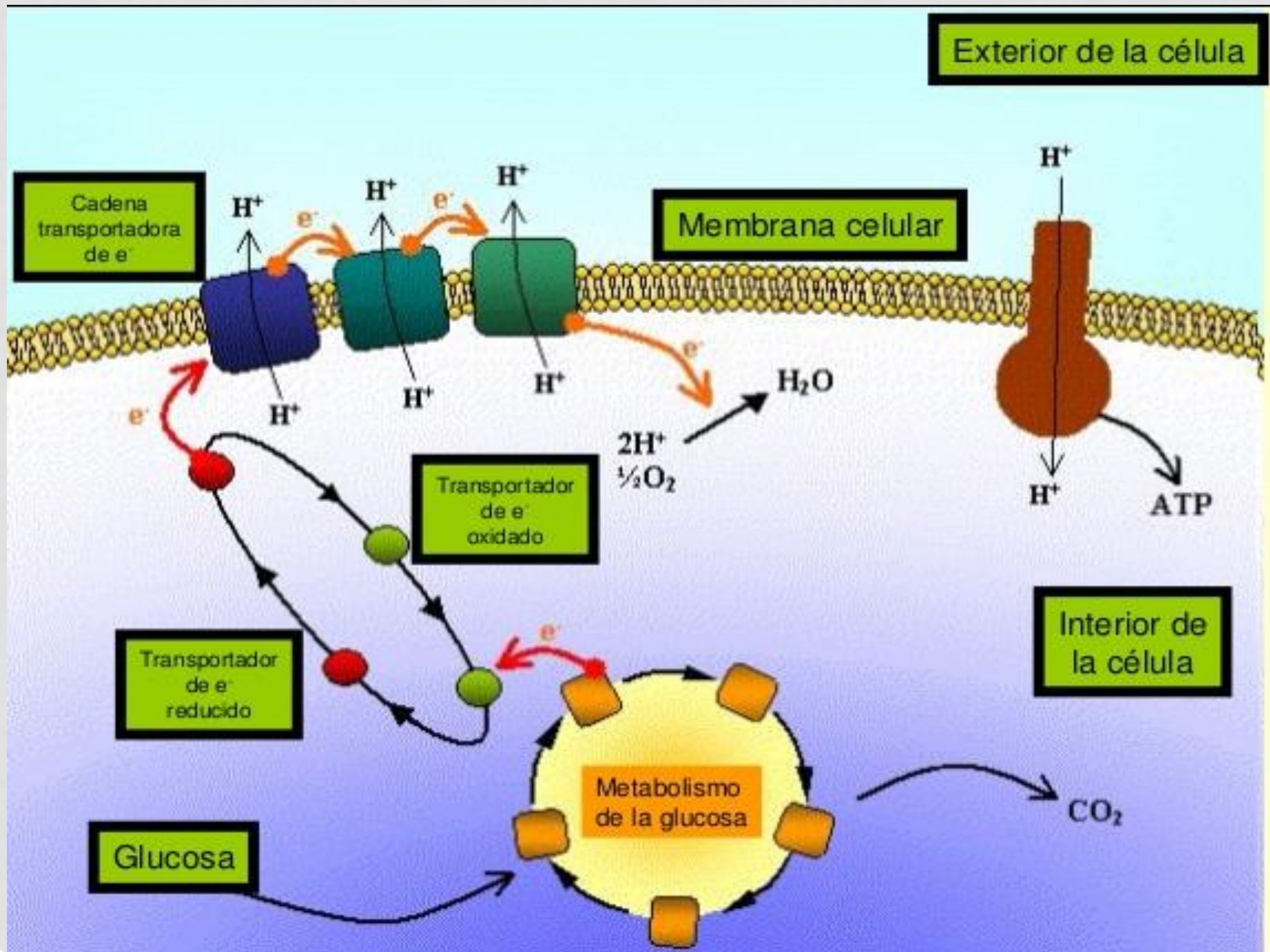


Respiración anaerobia



Respiración





1

Fuentes de energía (donantes de electrones)

Pigmentos fotosintéticos
junto con la
luz

Glucosa, azufre elemental,
amoníaco o hidrógeno
gaseoso

e^-

ATP

2

Transportadores de electrones

NADP⁺

NAD⁺
FAD

e^-

ATP

3

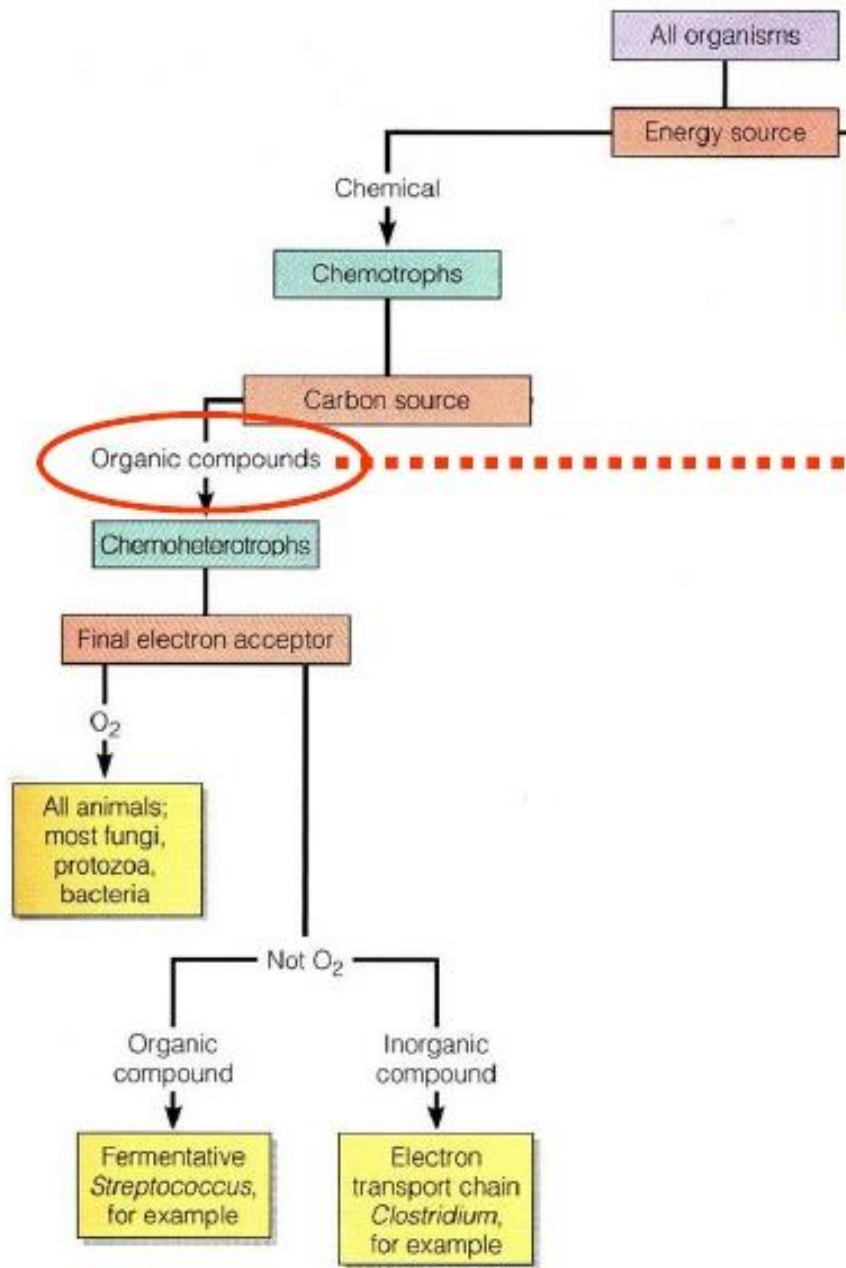
Aceptores finales de electrones

O₂
(respiración
aeróbica)

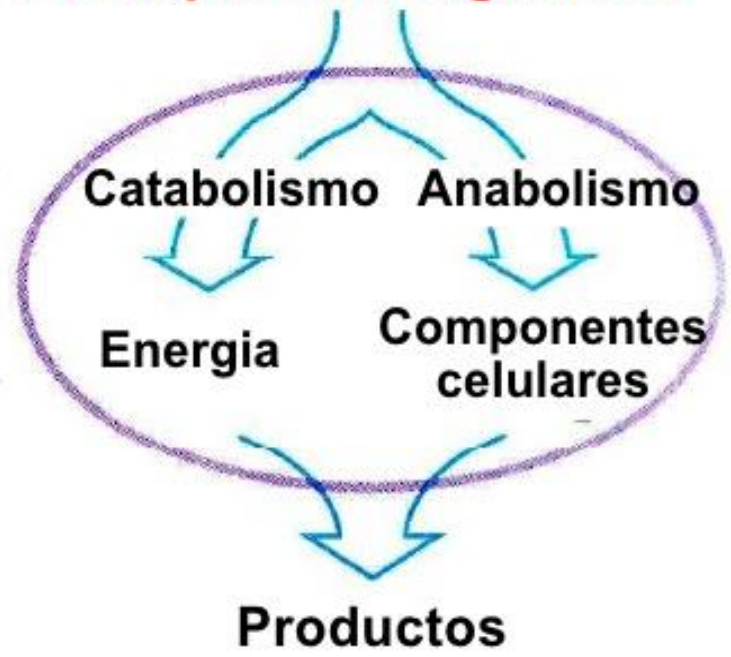
NO₃⁻, SO₄²⁻
(respiración
anaeróbica)

Compuesto
orgánico
(fermentación)

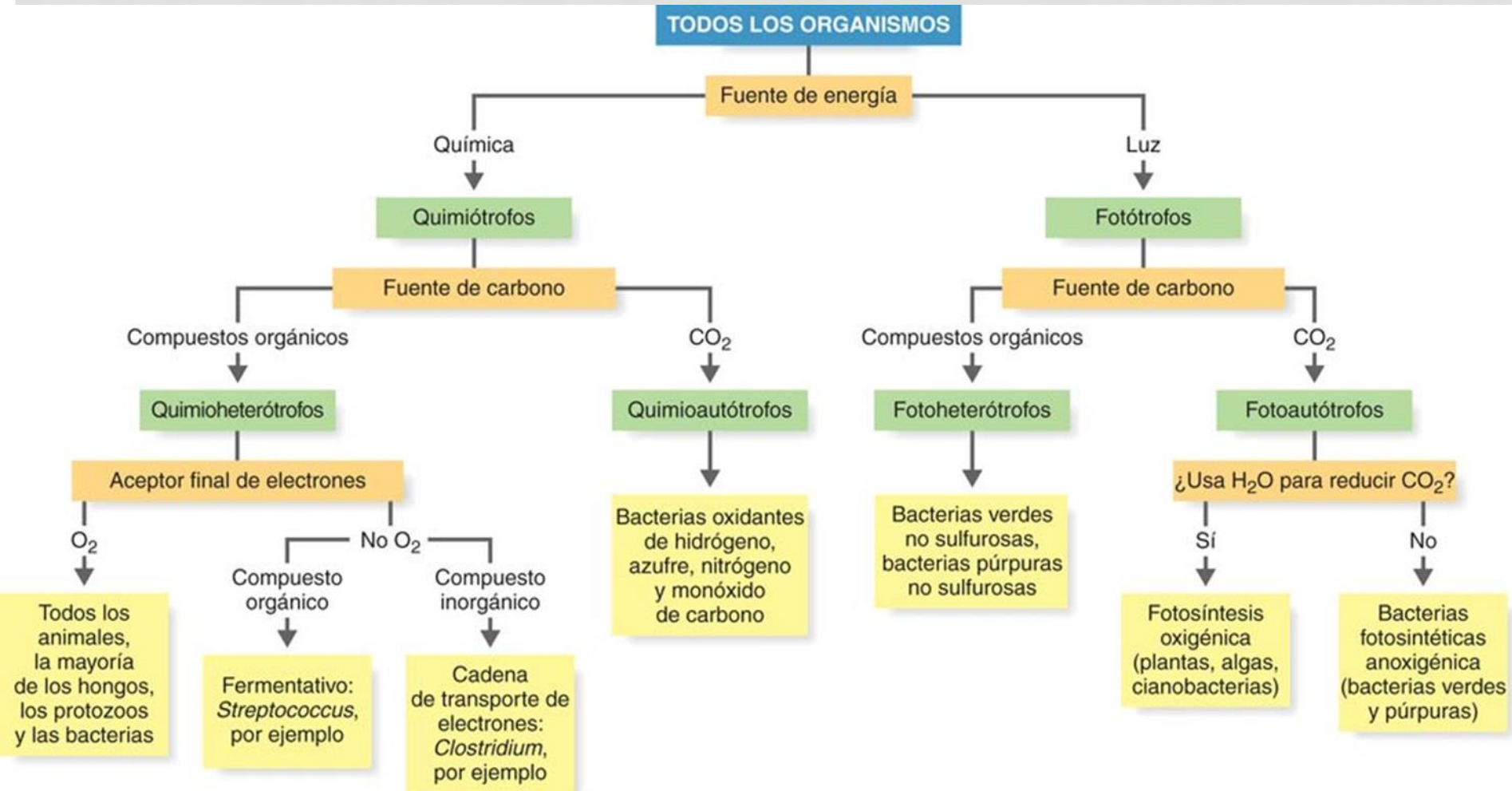
Metabolismo en Quimioheterotrofos



Compuestos orgánicos

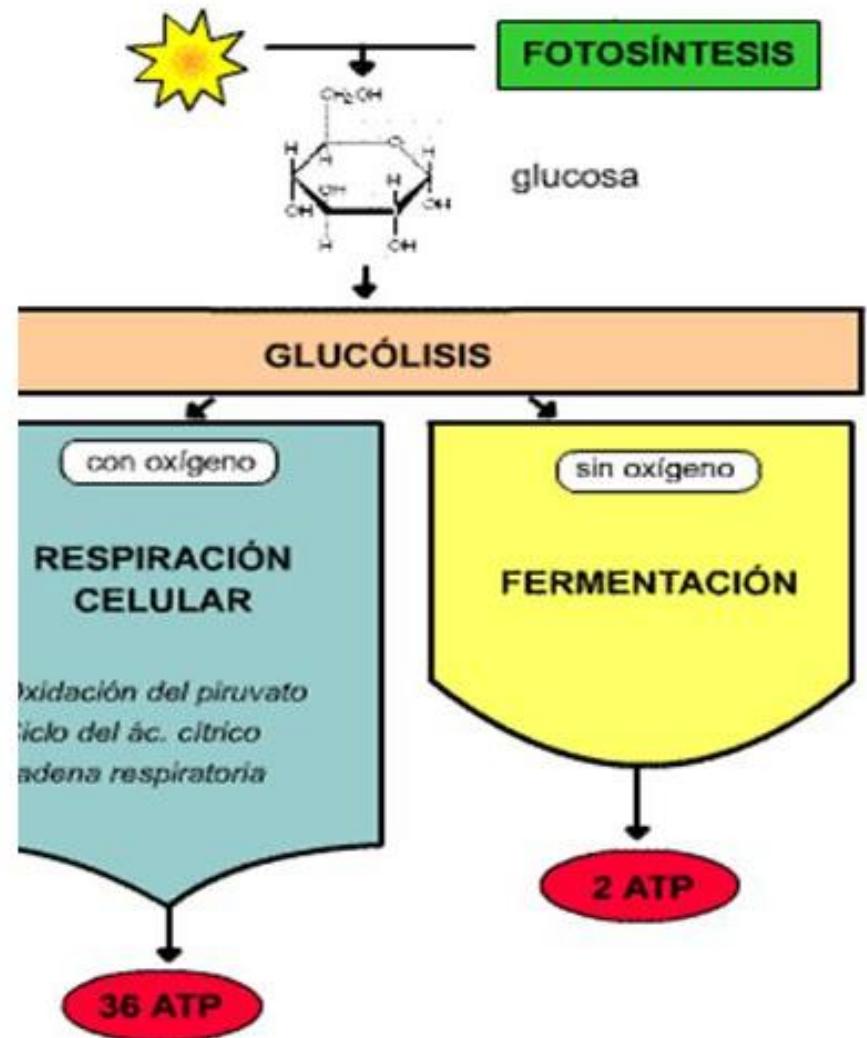


METABOLISMO



Producción de ATP

En la respiración celular aeróbica se producen 36 moléculas de ATP a partir de una molécula de glucosa, mientras que en la ruta anaeróbica sólo se extraen 2 moléculas de ATP a partir de una molécula de glucosa.



REACCIONES ENERGÉTICAS:

- ✓ Vía glucolítica de Embder Meyerhof
- ✓ Vía pentosa fosfato
- ✓ Ciclo de Krebs

✓ Vía de Entner Doudoroff

Catabolismo de la Glucosa

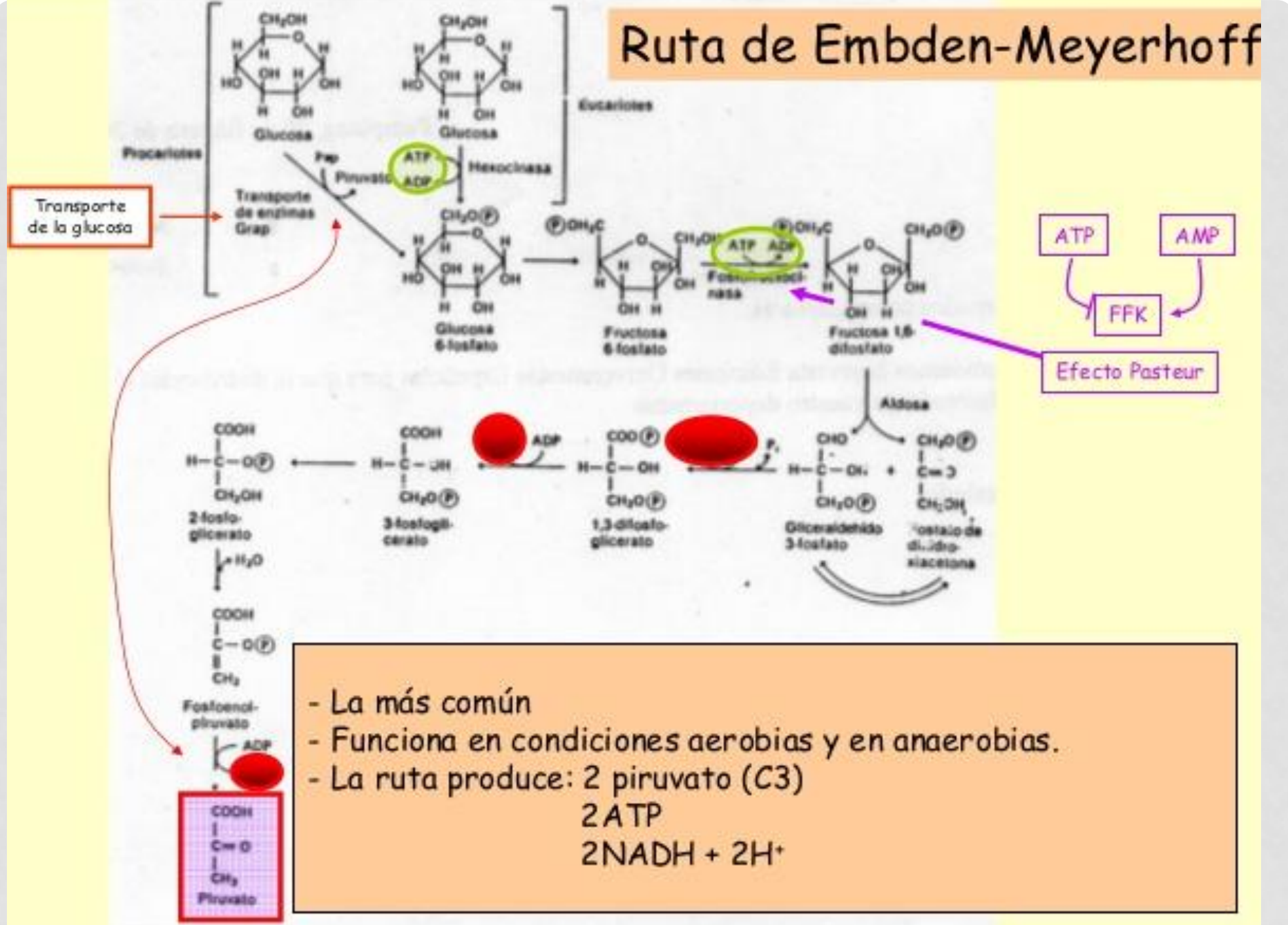
RUTA DE EMBDEN-MEYERHOF (EM)

RUTA ENTNER-DOUDOROFF

RUTA DE LAS PENTOSAS FOSFATO

RUTA DE LA FOSFOCETOLASA

Ruta de Embden-Meyerhoff



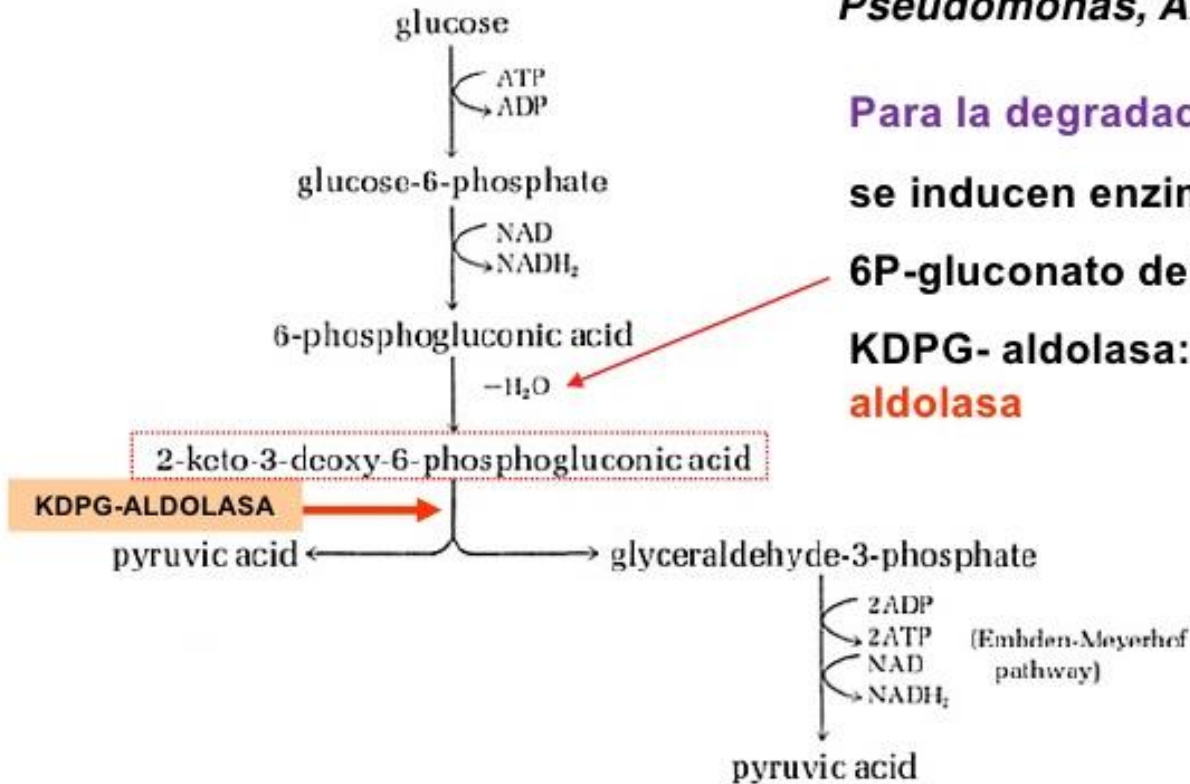
Ruta de Entner Doudoroff

Pseudomonas, Azotobacter, Xanthomonas

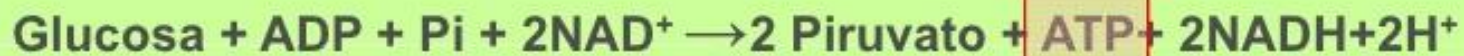
Para la degradación de ácidos aldónicos se inducen enzimas claves:

6P-gluconato deshidratasa

KDPG- aldolasa: **ketodesoxifosfogluconato aldolasa**

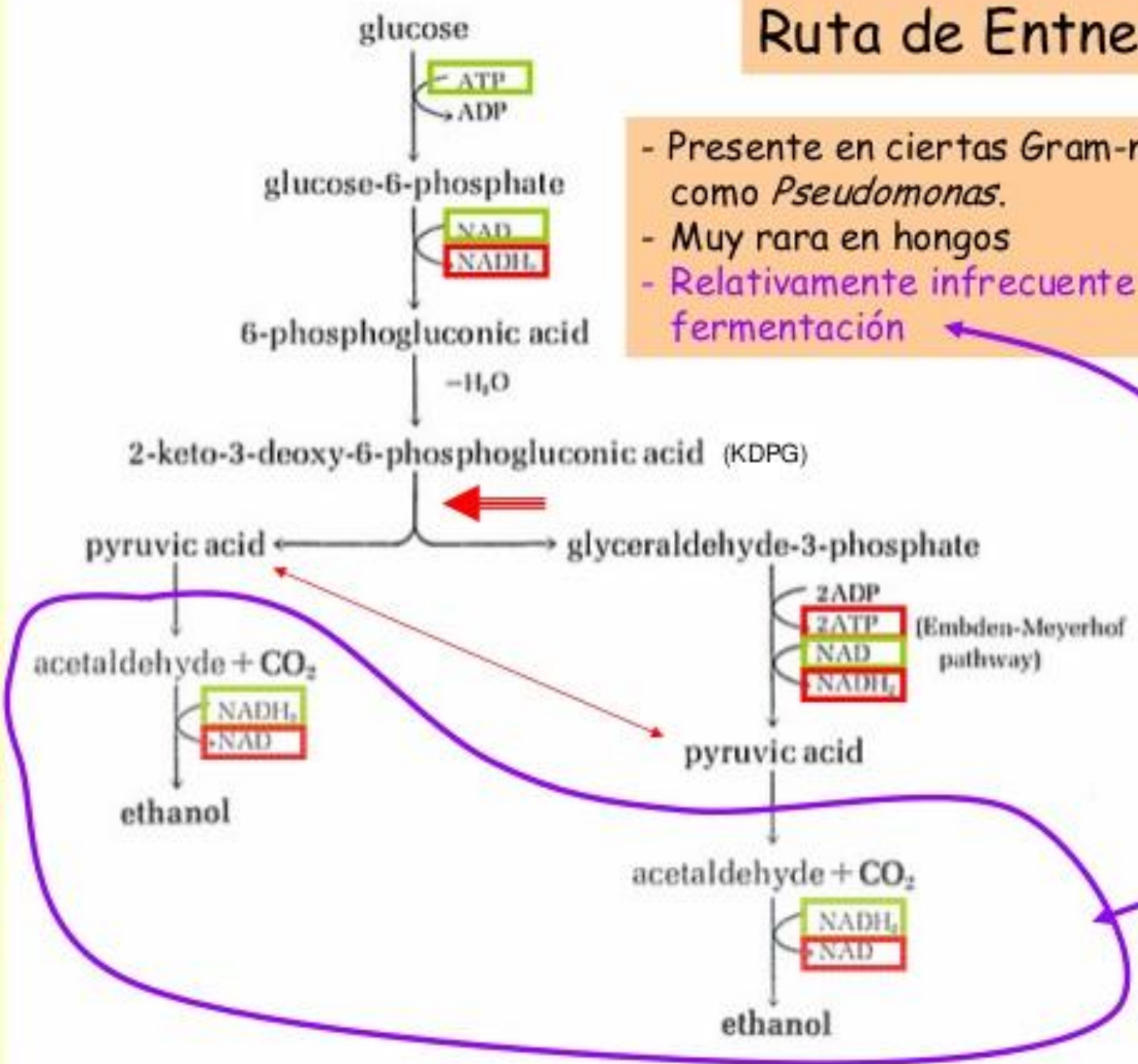


Reacción completa:



Ruta de Entner-Doudoroff

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





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.

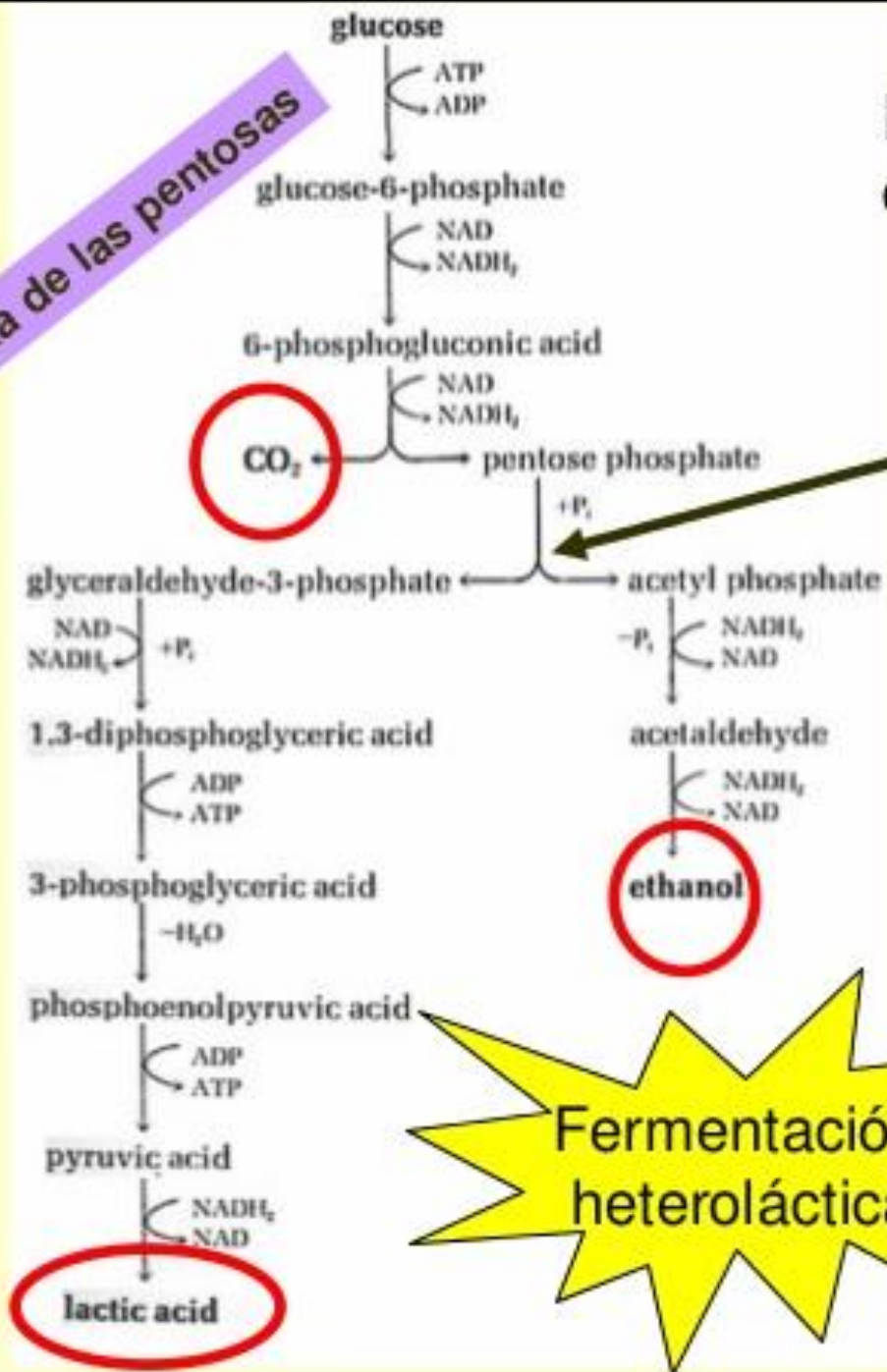
3 Glucosa-6-fosfato (C6)
 6NADP⁺ + 3 H₂O



2 fructosa-6-fosfato (C6)
 gliceraldehído-3-fosfato (C3)
 3CO₂ + 6NADPH + 6H⁺

Ruta de las pentosas

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

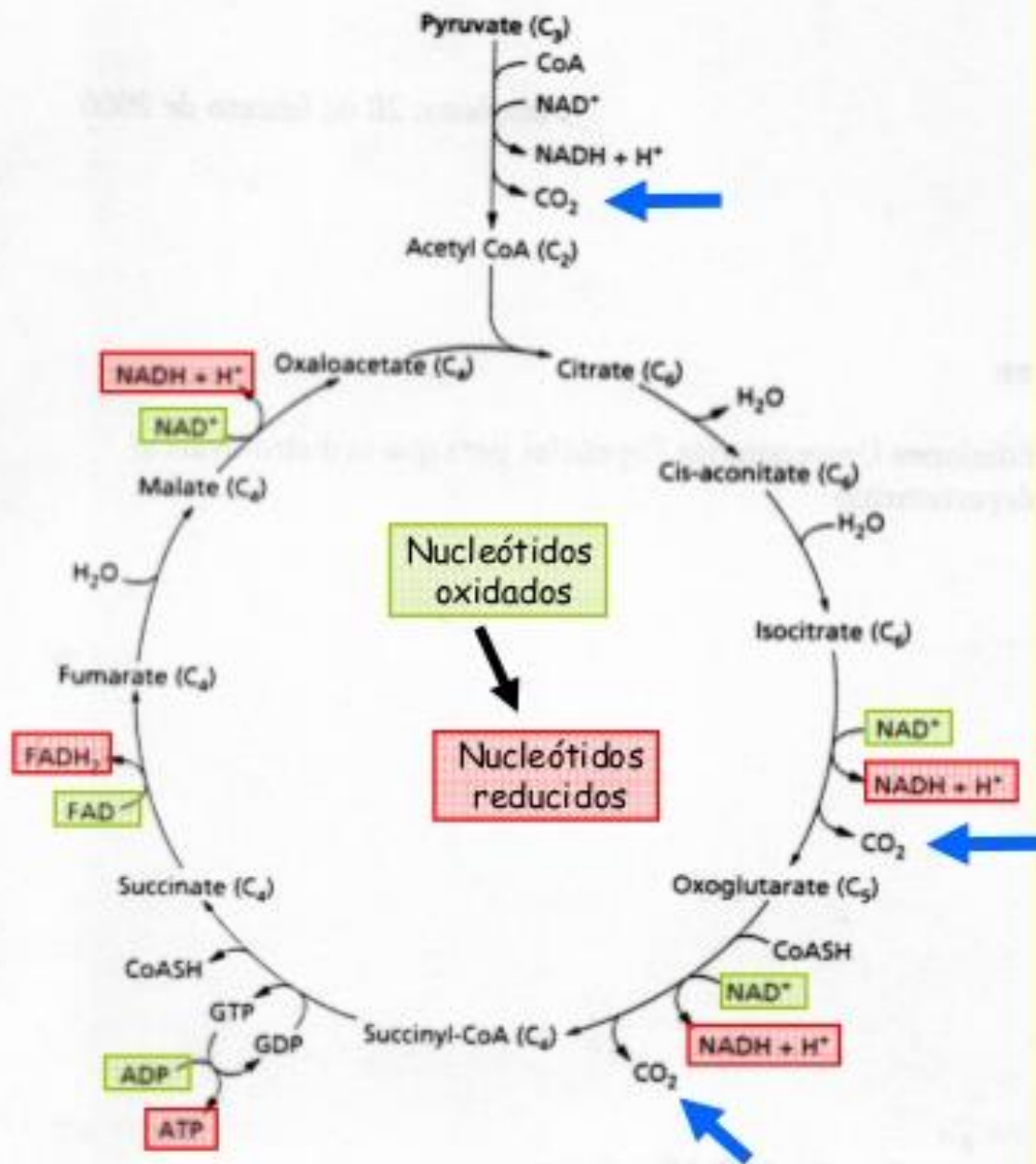


Fosfocetolasa

- 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 fosfocetolasa 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

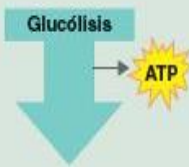


Rendimiento de ATP a partir de una molécula de glucosa durante la respiración aeróbica en procariontes

Fuente	Rendimiento de ATP (método)
--------	-----------------------------

Glucólisis

1. Oxidación de glucosa a ácido pirúvico
2. Producción de 2 NADH

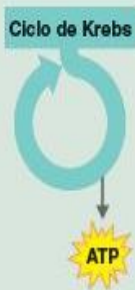


- 2 ATP (fosforilación a nivel de sustrato)
- 6 ATP (fosforilación oxidativa en la cadena transportadora de electrones)



Paso preparatorio

1. La formación de acetil CoA produce 2 NADH



- 6 ATP (fosforilación oxidativa en la cadena transportadora de electrones)

Ciclo de Krebs

1. Oxidación de succinil CoA a ácido succínico
2. Producción de 6 NADH
3. Producción de 2 FADH

- 2 GTP (equivalente de ATP; fosforilación a nivel de sustrato)
- 18 ATP (fosforilación oxidativa en la cadena transportadora de electrones)
- 4 ATP (fosforilación oxidativa en la cadena transportadora de electrones)

Total 38 ATP

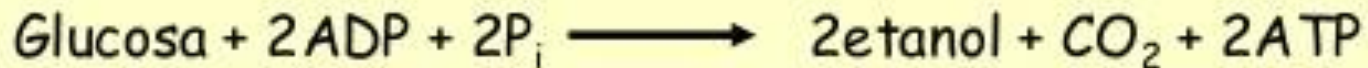
Principios generales de metabolismo, respiración y fermentación

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

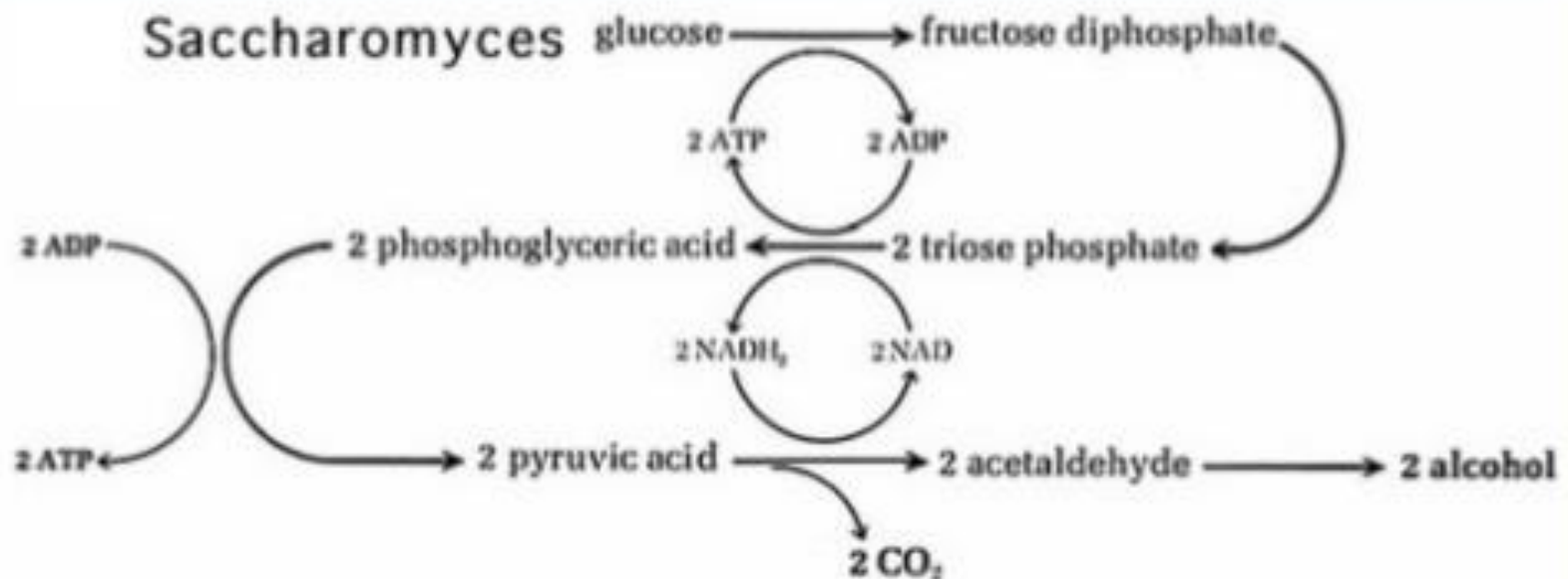
Fermentaciones

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

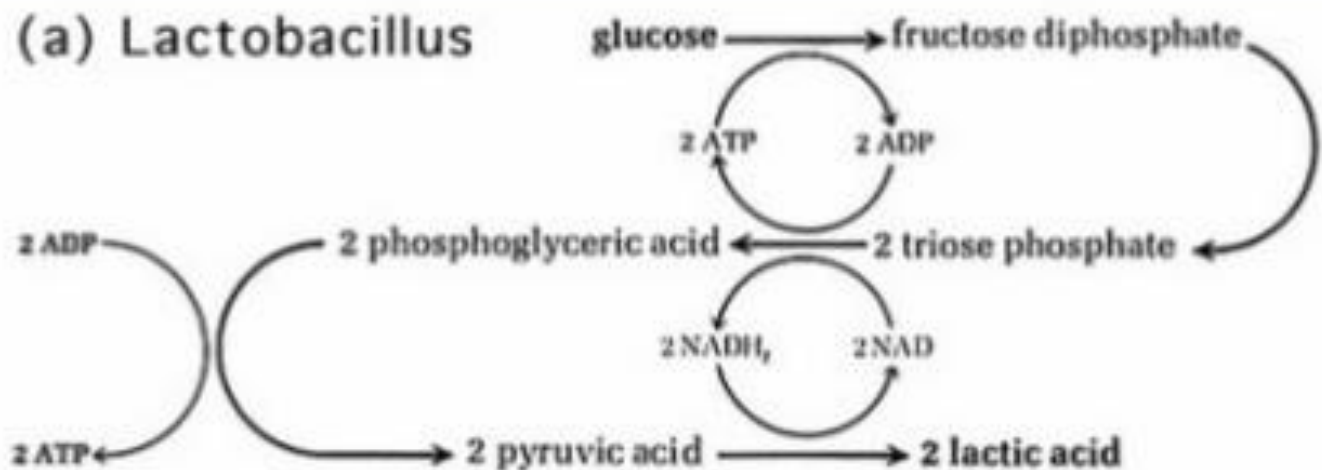
HOMOLÁCTICA:

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

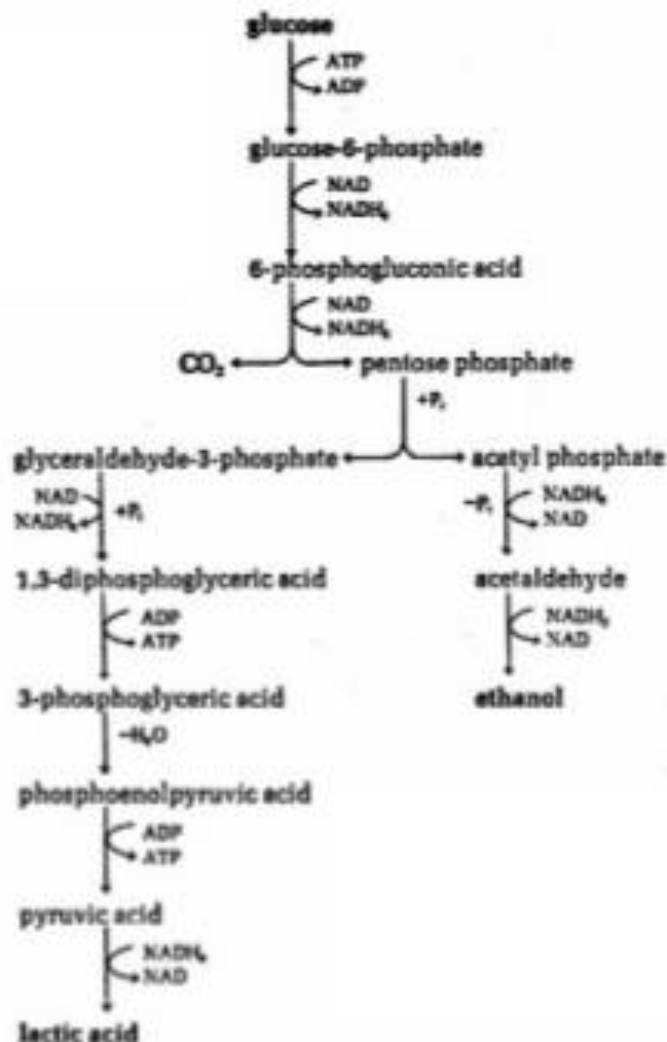


Estas bacterias producen el piruvato por catabolismo de la glucosa siguiendo la ruta de Embden-Meyerhof.

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



Fermentación heteroláctica

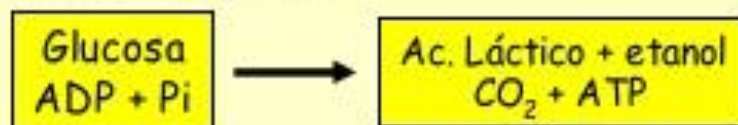


- Su producto final no es exclusivamente ácido láctico.

- 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, H_2 , CO_2 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 $\text{NADH} + \text{H}^+$.

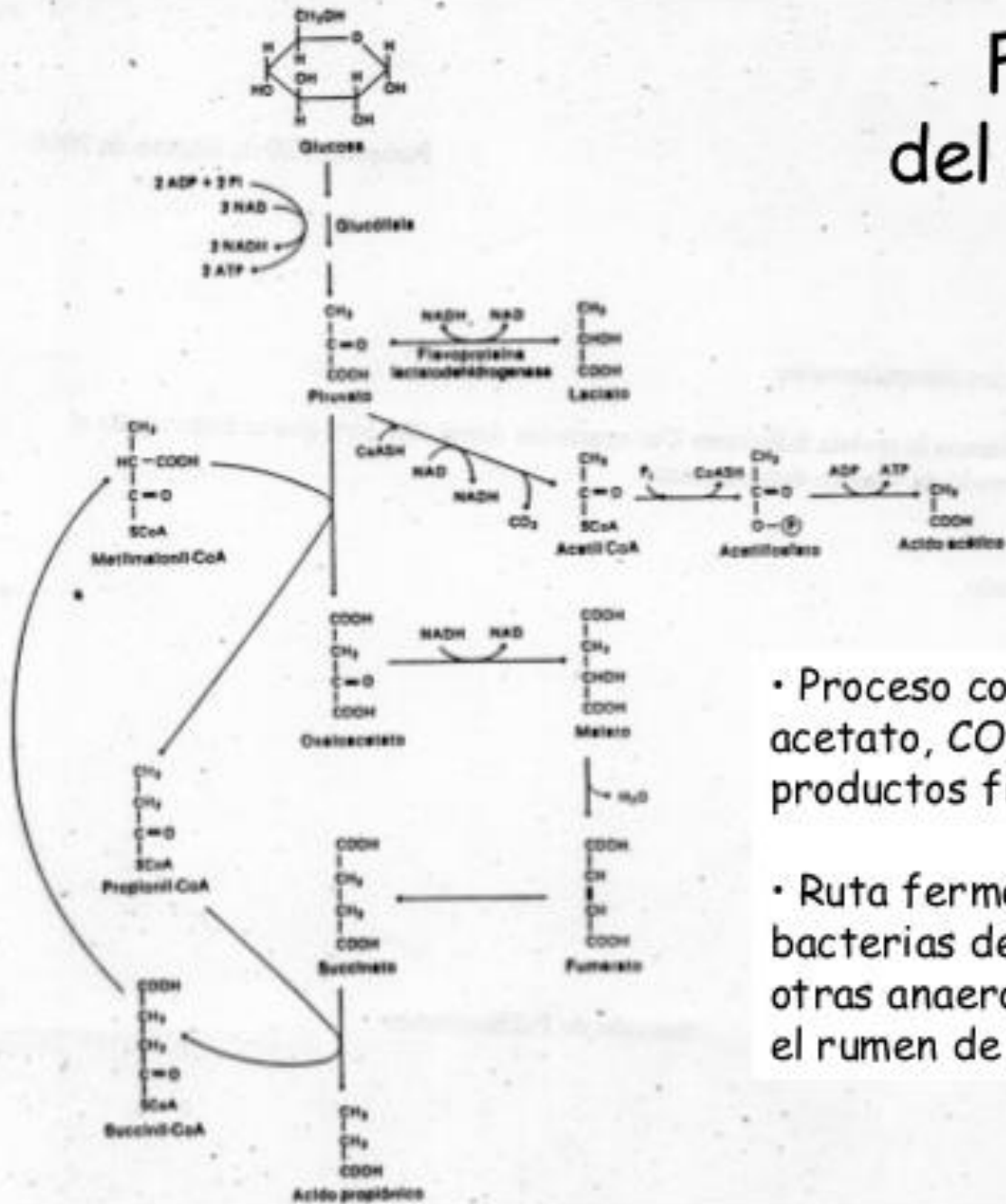
Fermentación butanodiólica

- 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



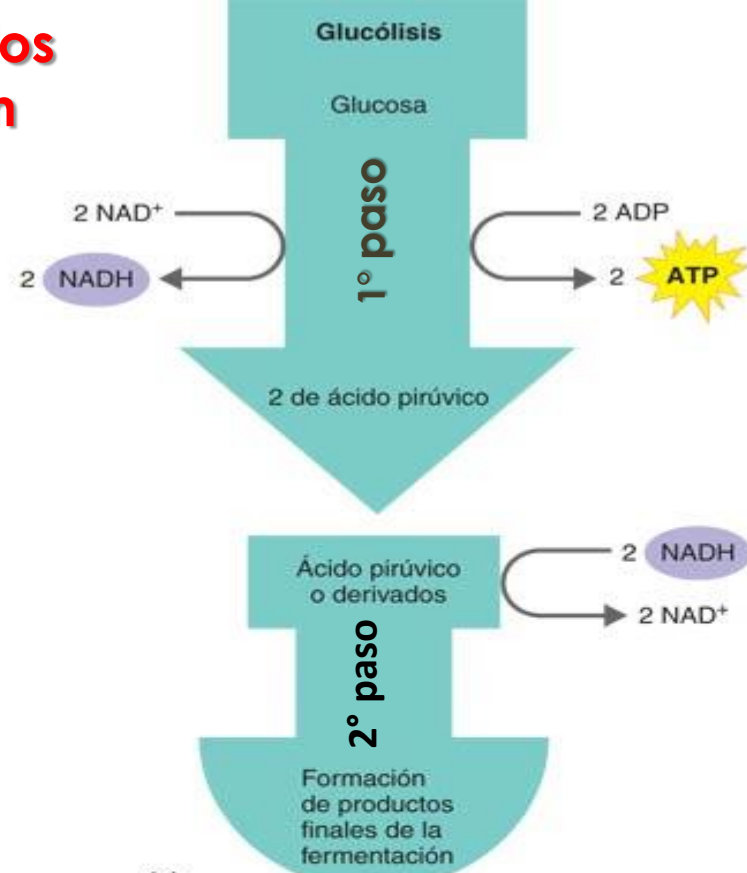
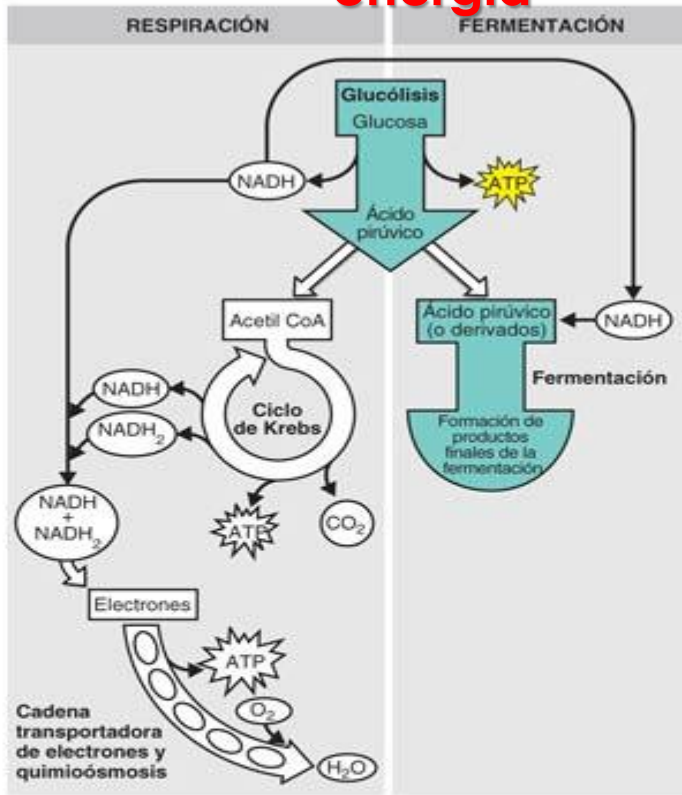
Voges-Proskauer

Fermentación del ácido propiónico

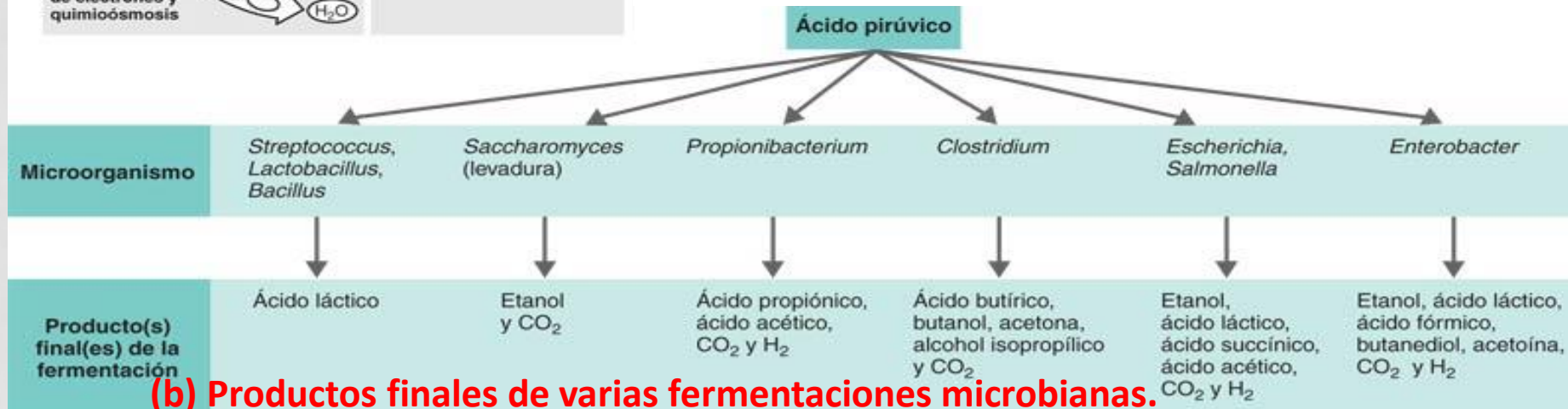


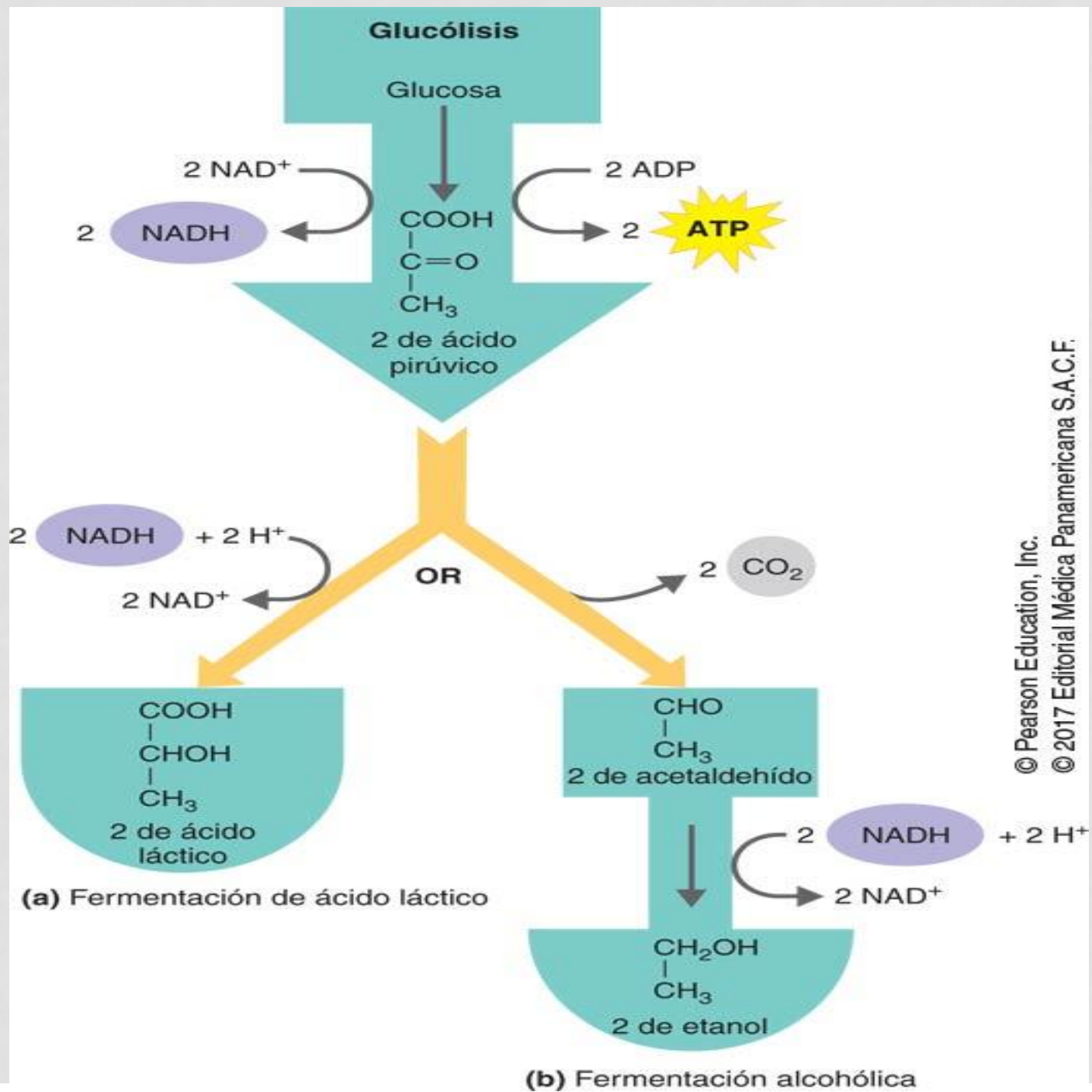
- Proceso complejo en el que se genera acetato, CO_2 y ácido propiónico como productos finales.
- Ruta fermentativa la presentan las bacterias del tipo *Propionobacterium* y otras anaerobias estrictas presentes en el rumen de herbívoros

Relación de la fermentación con los procesos globales que producen energía



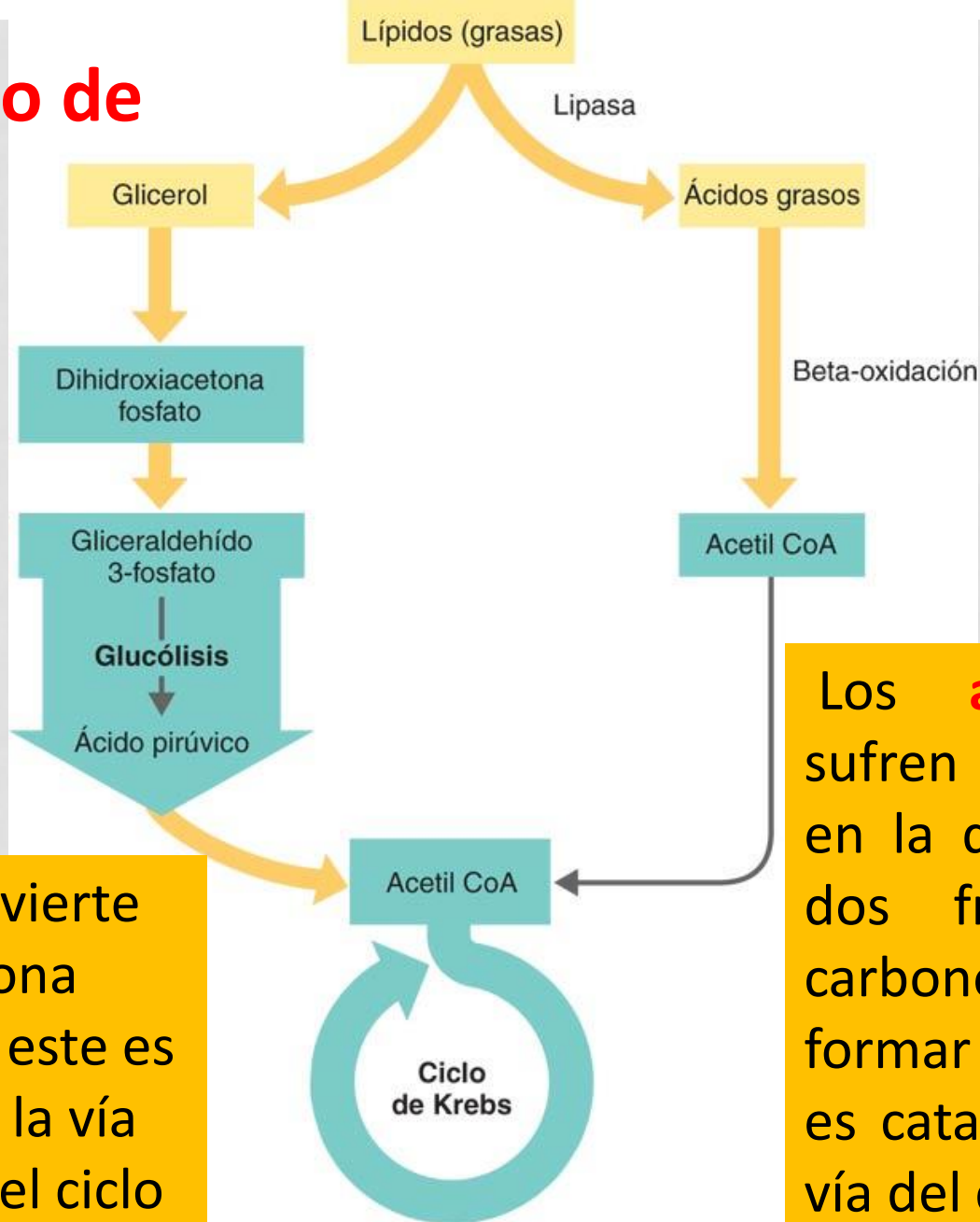
(a) Esquema general de la fermentación.





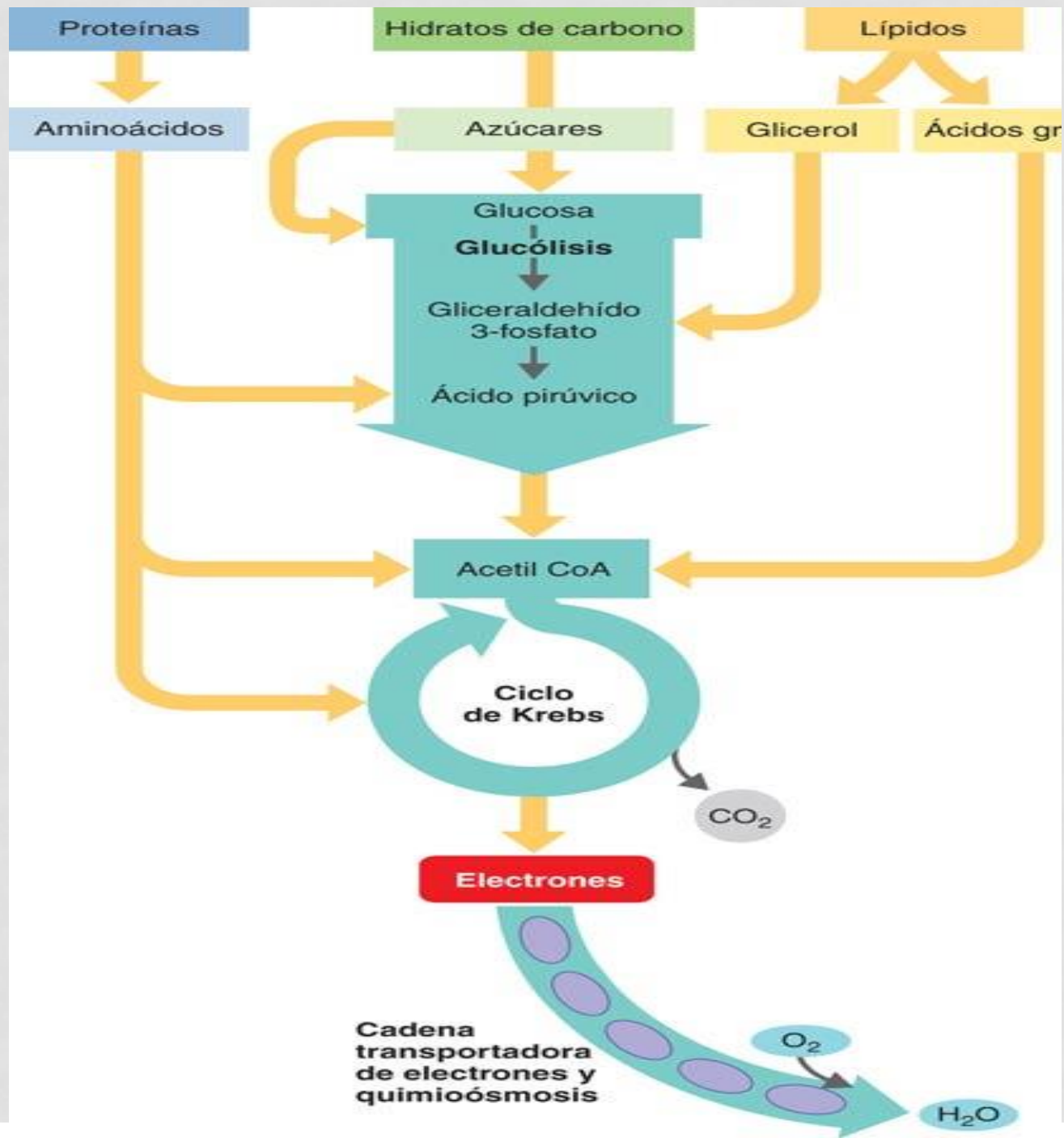
© Pearson Education, Inc.
 © 2017 Editorial Médica Panamericana S.A.C.F.

Catabolismo de los lípidos.

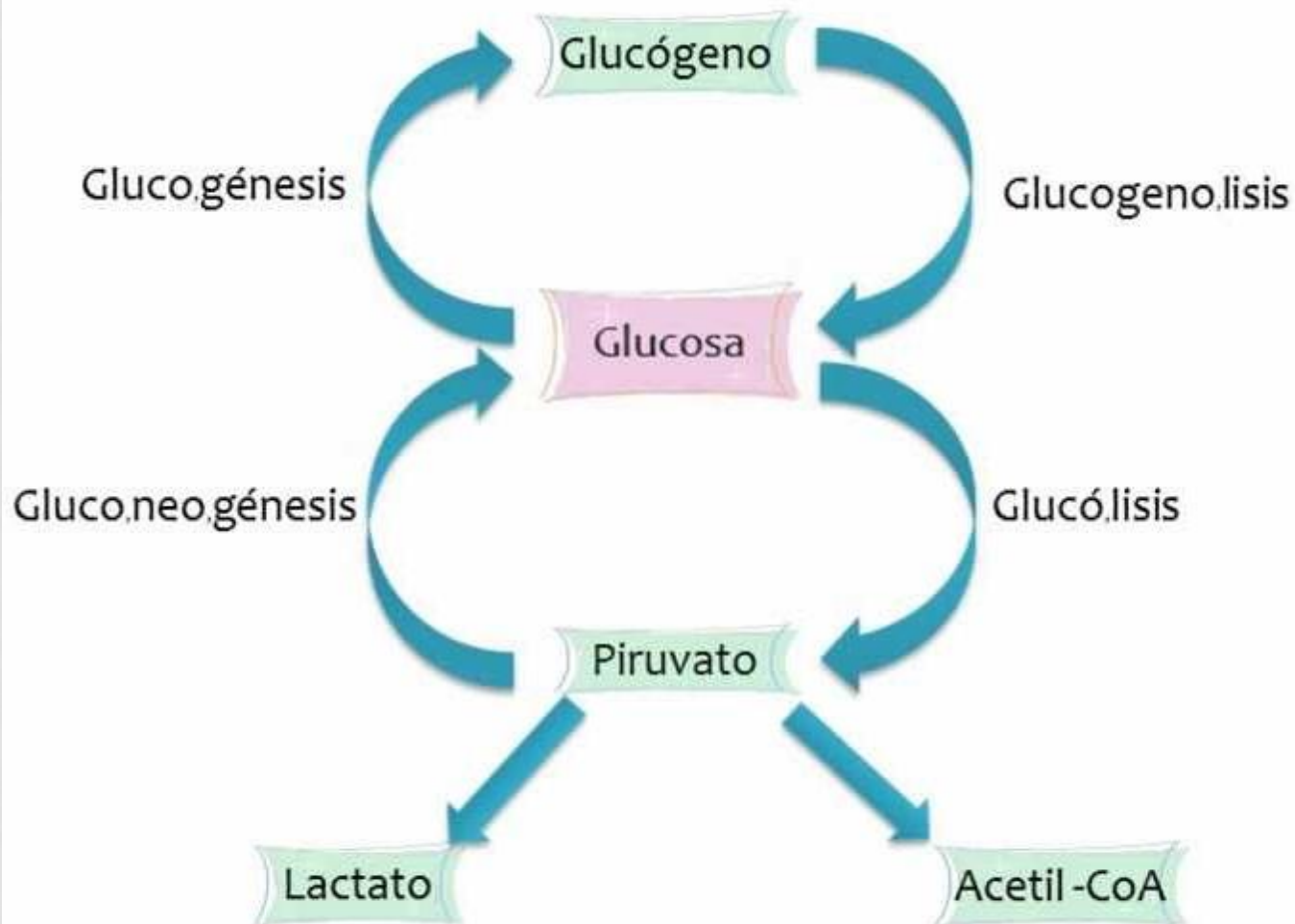


El **glicerol** se convierte en dihidroxiacetona fosfato (DHAP) y este es catabolizado por la vía de la glucólisis y el ciclo de Krebs.

Los **ácidos grasos** sufren beta-oxidación, en la que se separan dos fragmentos de carbono por vez para formar acetil CoA, que es catabolizada por la vía del ciclo de Krebs.



Metabolismo de Carbohidratos



DESTINO DE LA GLUCOSA

Producción de ATP

Síntesis de triglicéridos

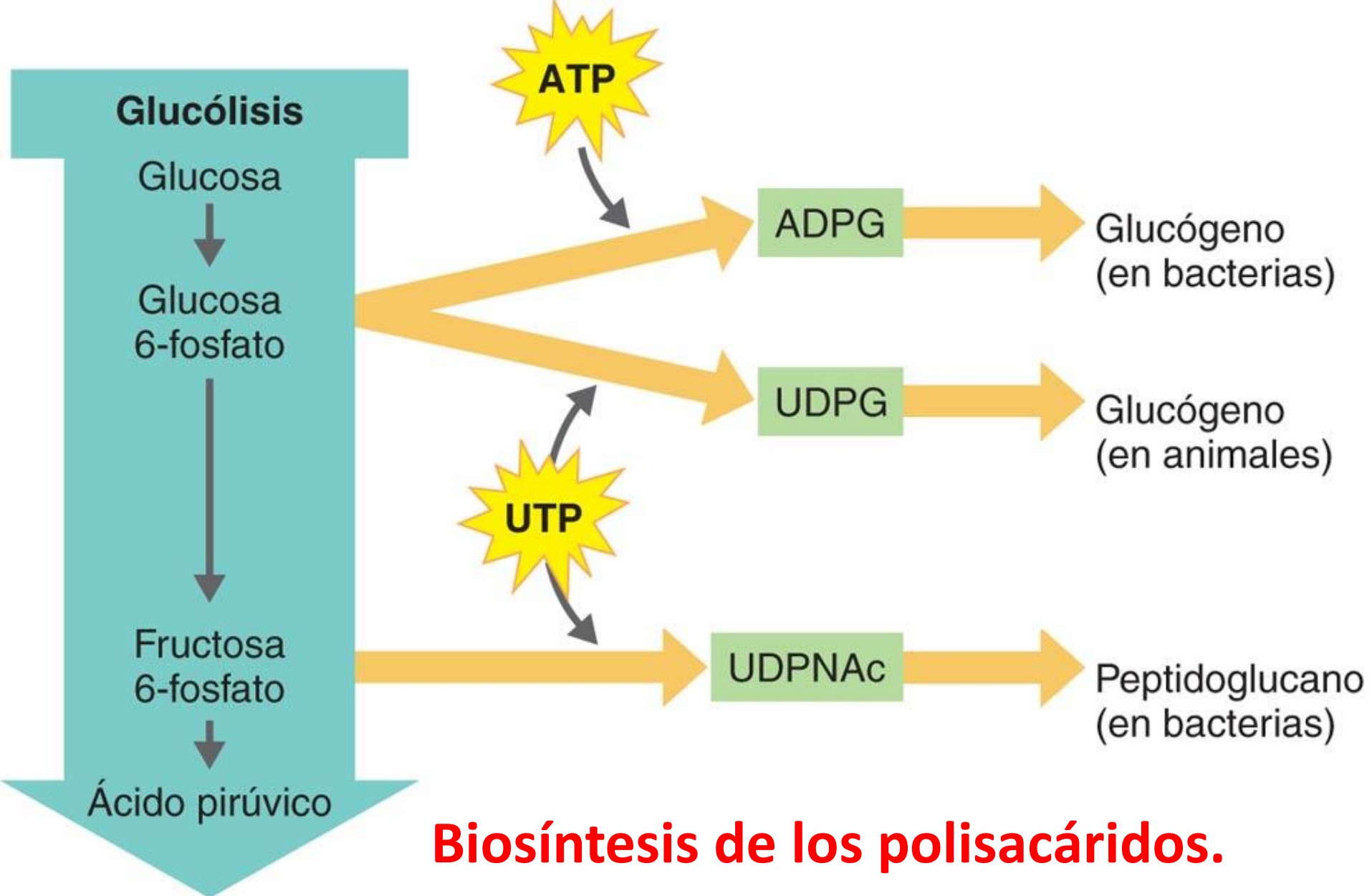
Por la oxidación de la glucosa

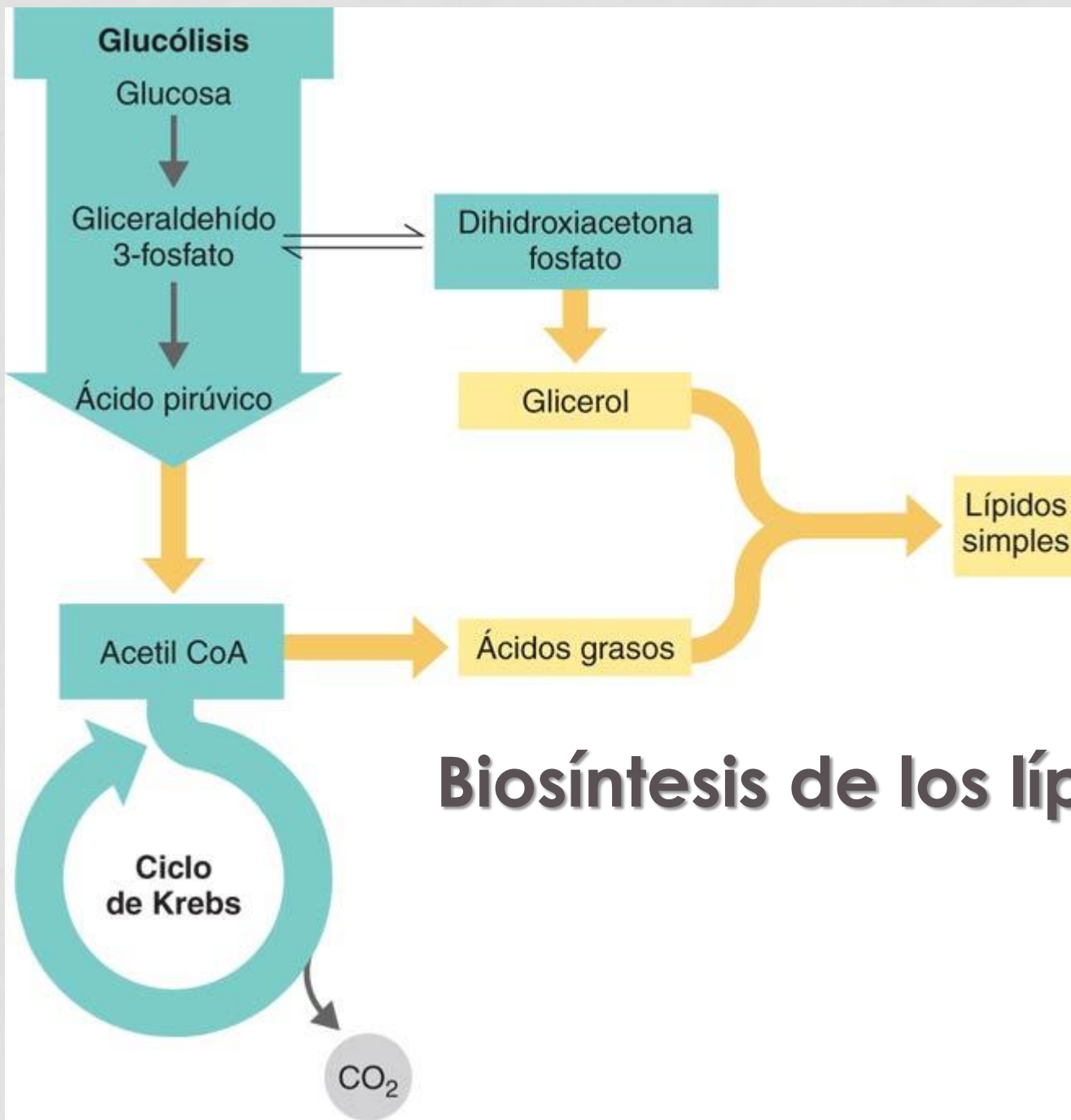
Síntesis de aminoácidos

Síntesis de glucógeno

Uso de glucosa para la formación de aminoácidos

Monómeros de glucosa forman un polisacárido de glucógeno

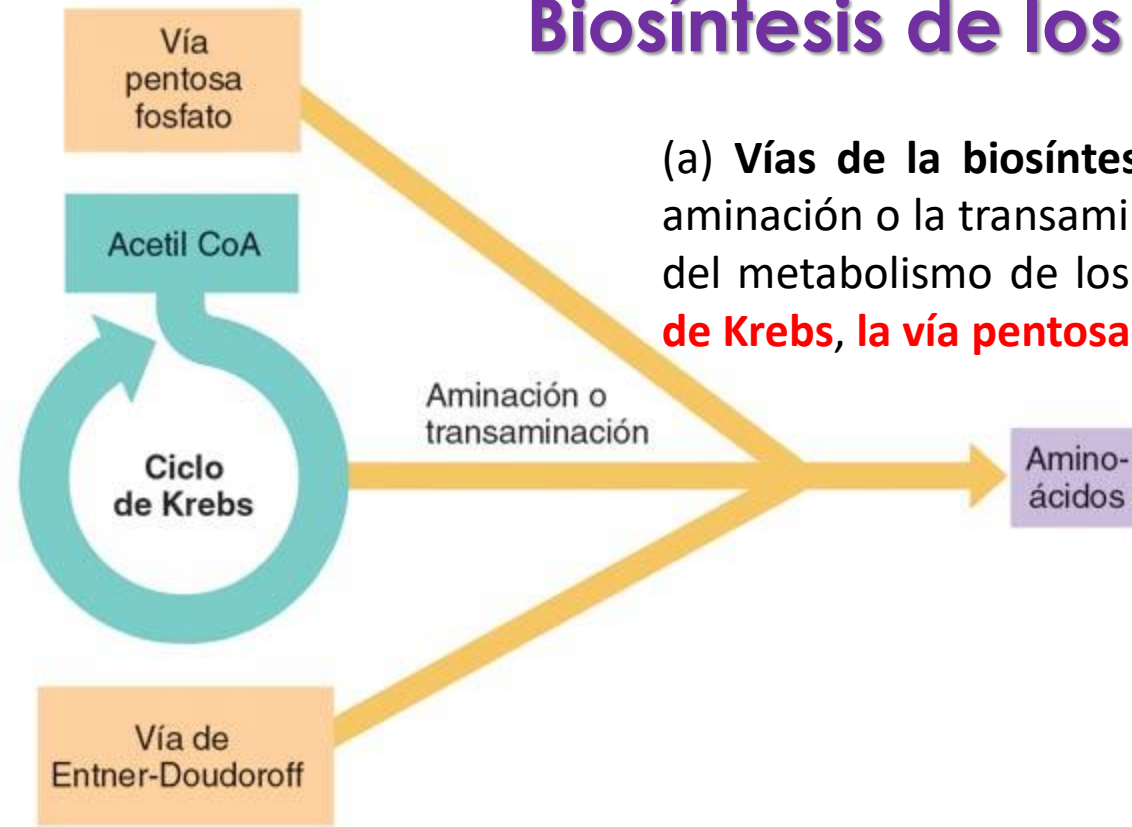




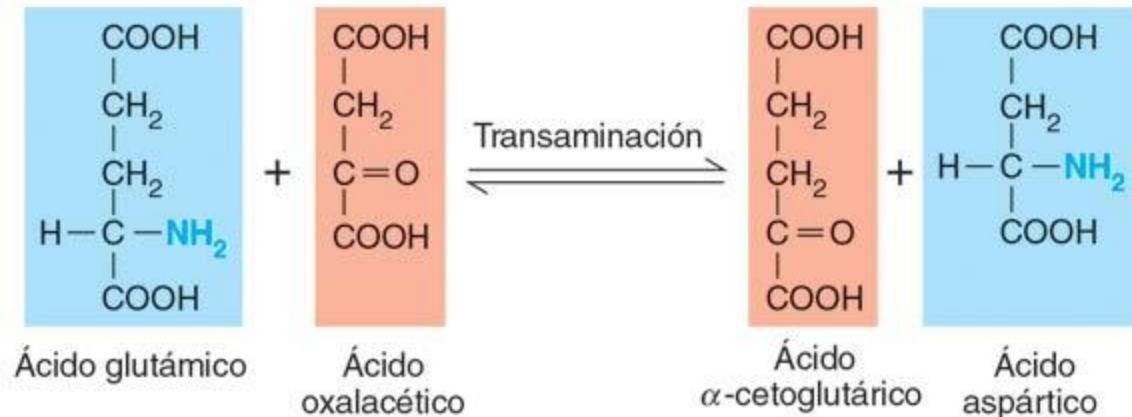
Biosíntesis de los lípidos Simples

Biosíntesis de los aminoácidos

(a) **Vías de la biosíntesis de los aminoácidos** a través de la aminación o la transaminación de los productos intermedios del metabolismo de los hidratos de carbono a partir del **ciclo de Krebs**, la **vía pentosa-fosfato** y la **vía de Entner-Doudoroff**.



(a) Biosíntesis de aminoácidos

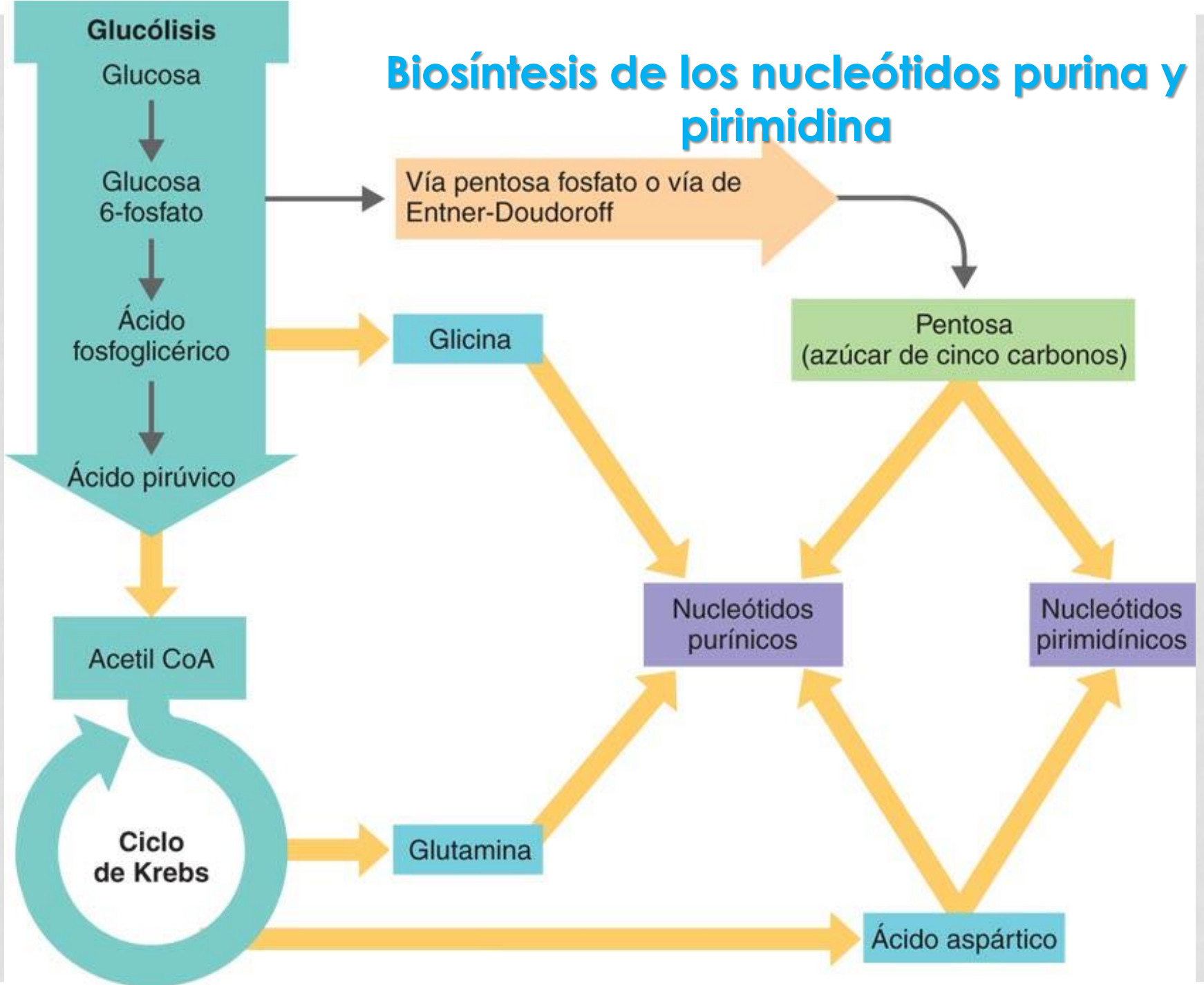


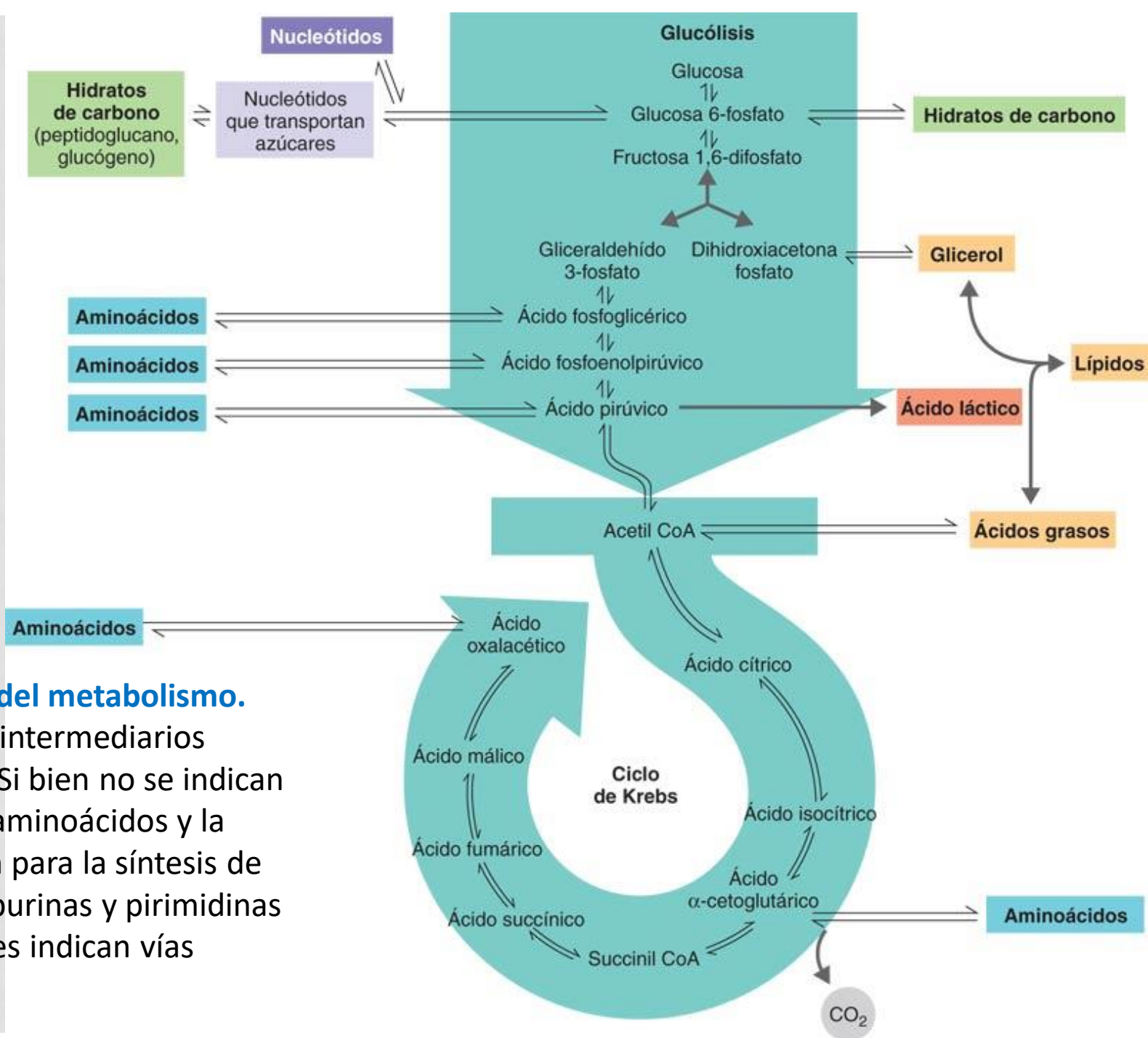
(b) Proceso de transaminación

(b) **La transaminación**, un proceso por el que se forman nuevos aminoácidos con grupos amino provenientes de los aminoácidos preexistentes.

El ácido glutámico y el ácido aspártico son aminoácidos; los otros dos compuestos son intermedios en el ciclo de Krebs.

Biosíntesis de los nucleótidos purina y pirimidina





Integración del metabolismo.

Se muestran los intermediarios fundamentales. Si bien no se indican en la figura, los aminoácidos y la ribosa se utilizan para la síntesis de los nucleótidos purinas y pirimidinas. Las flechas dobles indican vías anfibólicas.

TRABAJO PRACTICO

1. Indique que tipo de fermentación realizan y cual es su uso en la industria:
 - a) *Lactobacillus plantarum*
 - b) *Pediococcus*
 - c) *Propionibacterium freudenreichi*
 - d) *Mathanosarcina*
 - e) *Acetobacter*
2. Indique que tipo de fermentación realizan y cual es su importancia en salud publica
 - a) *Streptococcus pyogenes*
 - b) *Clostridium tetani*
 - c) *Bacillus anthracis*
 - d) *Staphylococcus aureus*
 - e) *Salmonella spp*
3. Indique características de la fotosíntesis en las siguientes procariotas :
 - a) Cianobacterias
 - b) Bacterias verdes
 - c) Bacterias púrpuras

En todos los casos : ubique taxonomicamente el microorganismo estudiado, su fuente de energía, fuente de carbono y reacción frente al oxígeno.

GRACIAS POR SU ATENCION!