

Metabolismo Microbiano

El metabolismo se refiere a la suma de reacciones bioquímicas requeridas para la generación de energía y el uso de la energía para sintetizar material celular a partir de moléculas del medio ambiente. El metabolismo se divide en:

- Catabolismo. Reacciones de generación de energía.
- Anabolismo. Reacciones de síntesis que requieren de energía.

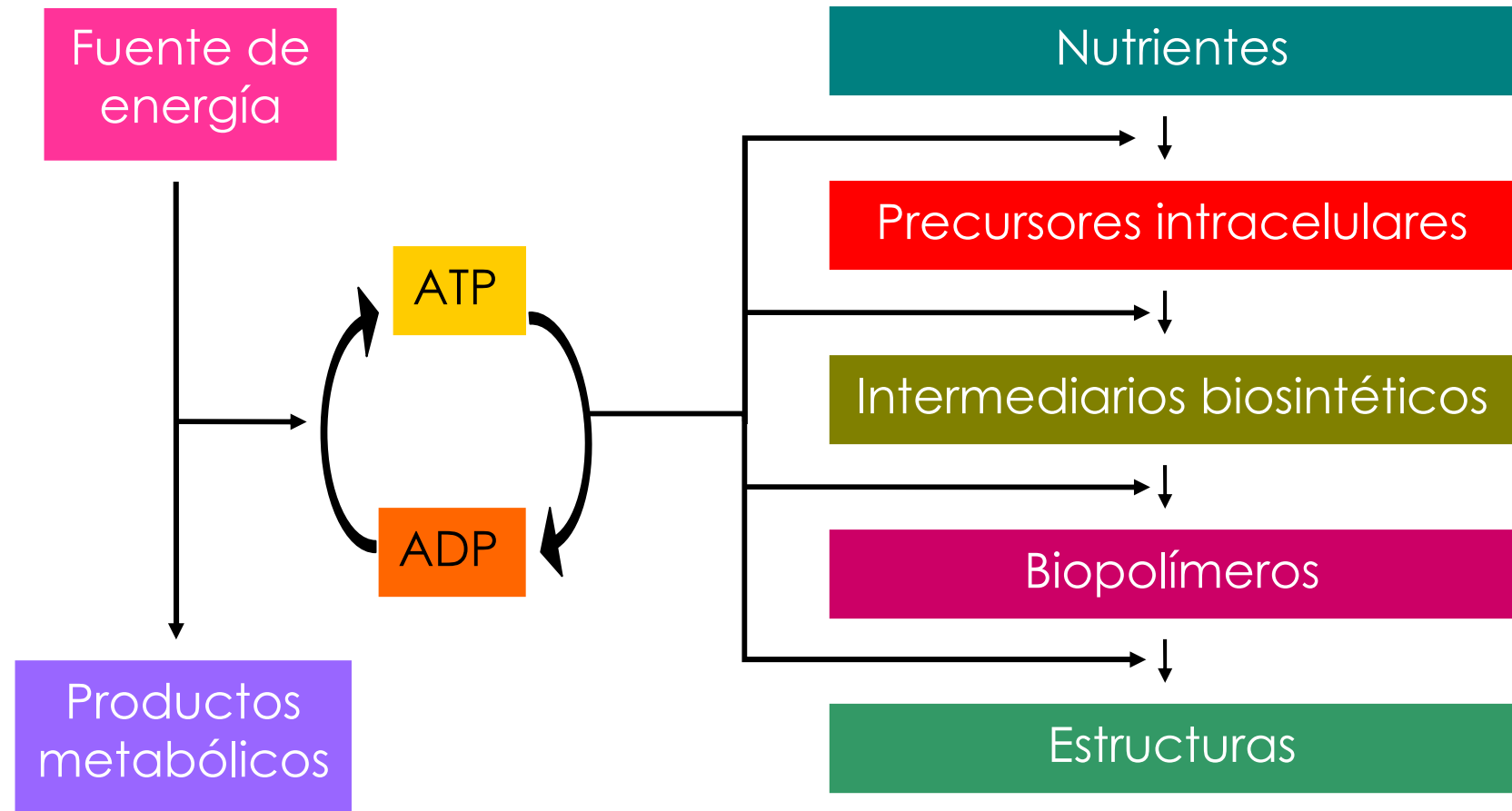
Las reacciones catabólicas producen energía como ATP, el cual es utilizado en las reacciones anabólicas para sintetizar el material celular a partir de nutrientes.



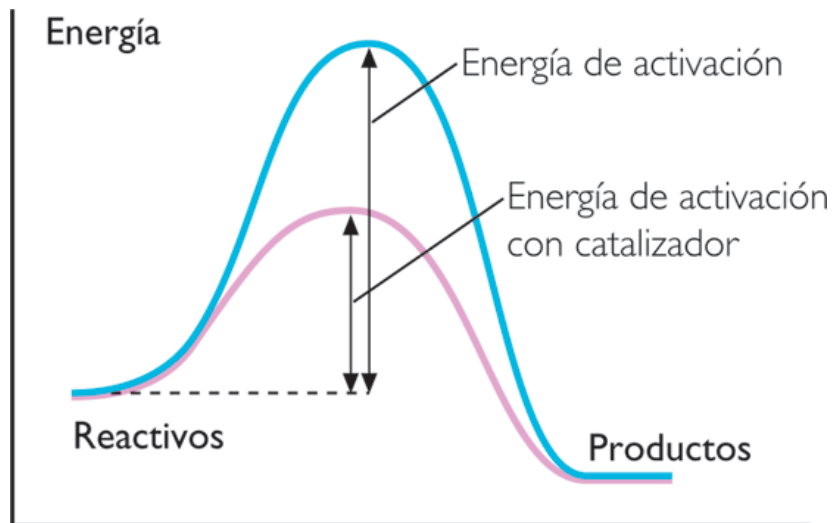
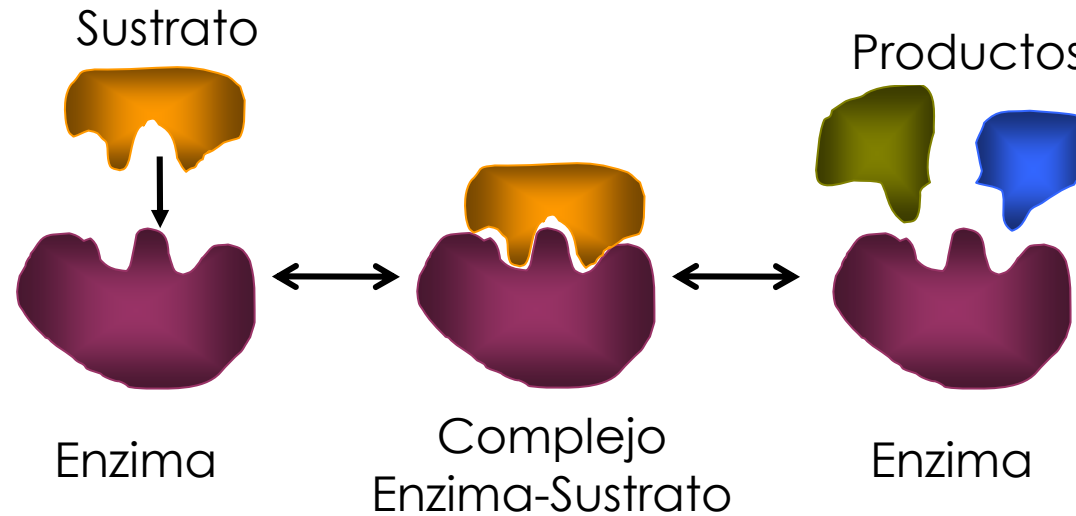
Metabolismo

Catabolismo
Generación de energía

Anabolismo
Reacciones biosintéticas

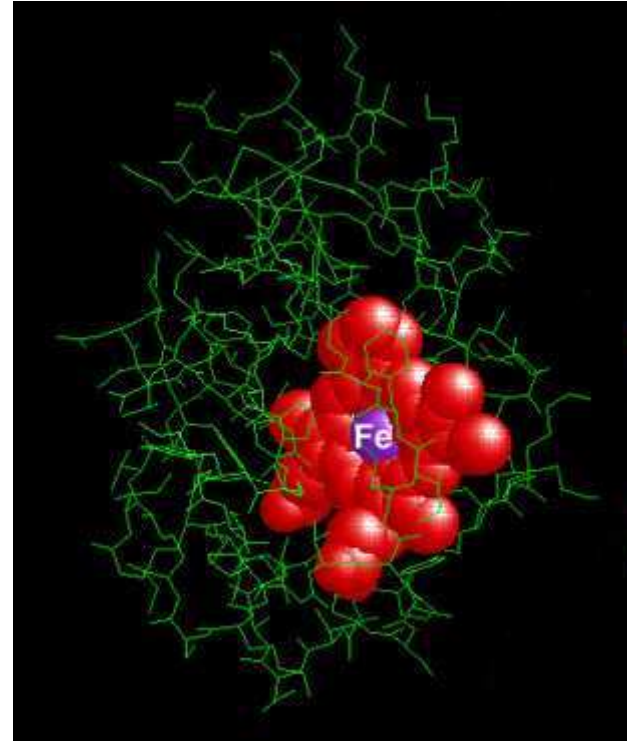
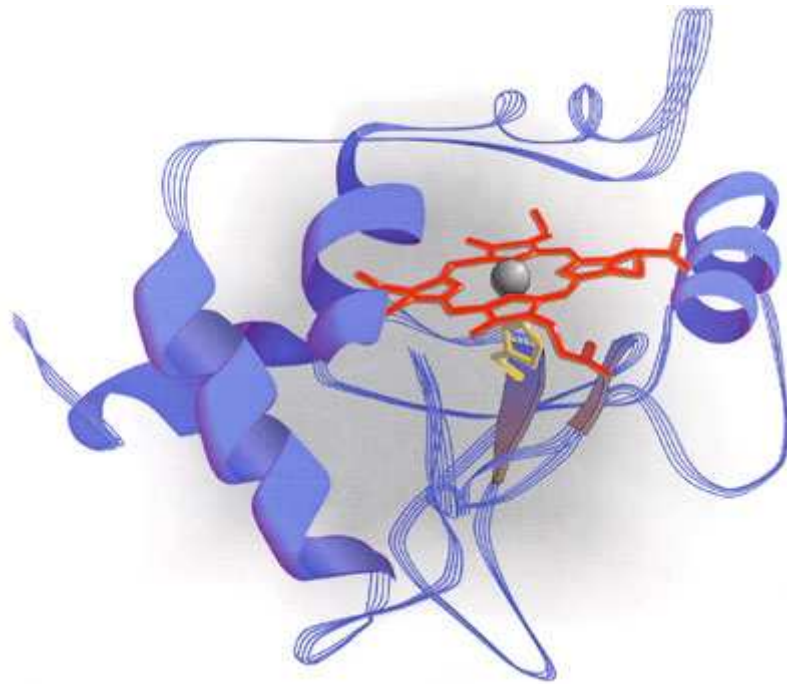


Enzimas



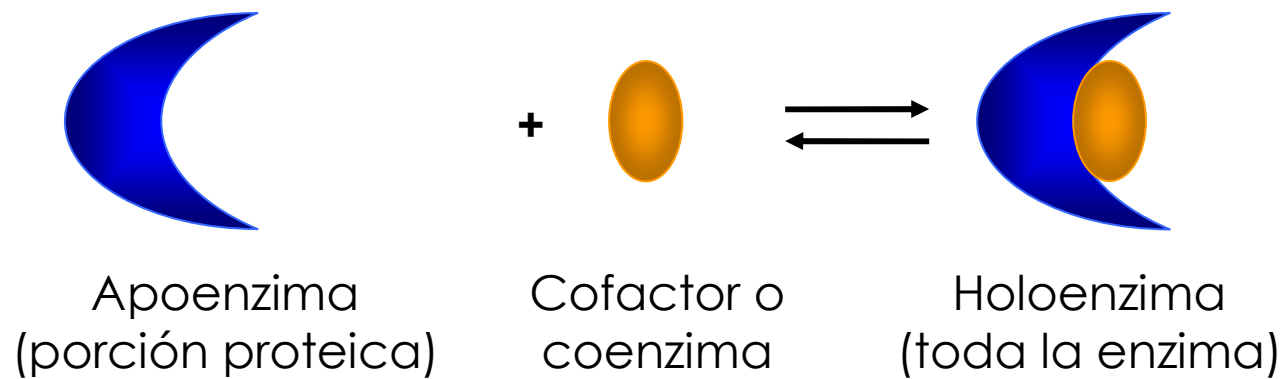
Catalizadores biológicos de naturaleza proteica. Reducen la energía de activación de una reacción química. Son específicos para un sustrato.

Grupo prostético



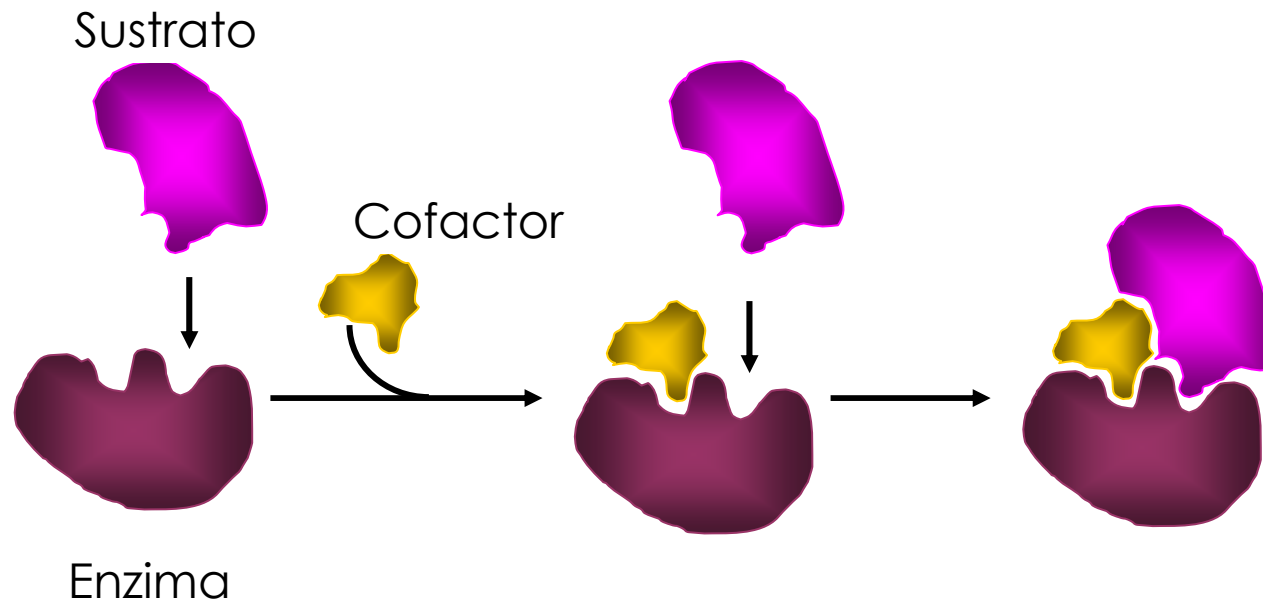
Son moléculas no proteicas (orgánicas o inorgánicas), que se encuentran unidos a la proteína y a diferencia de las coenzimas no se disocian después de que se cataliza la reacción. Ejemplo: el grupo prostético con núcleo de Fe de los citocromos.

Cofactores y coenzimas



Moléculas no proteicas que pueden ser orgánicas o inorgánicas, se unen a la enzima y dan afinidad al sustrato con la enzima para catalizar la reacción.

Cofactores



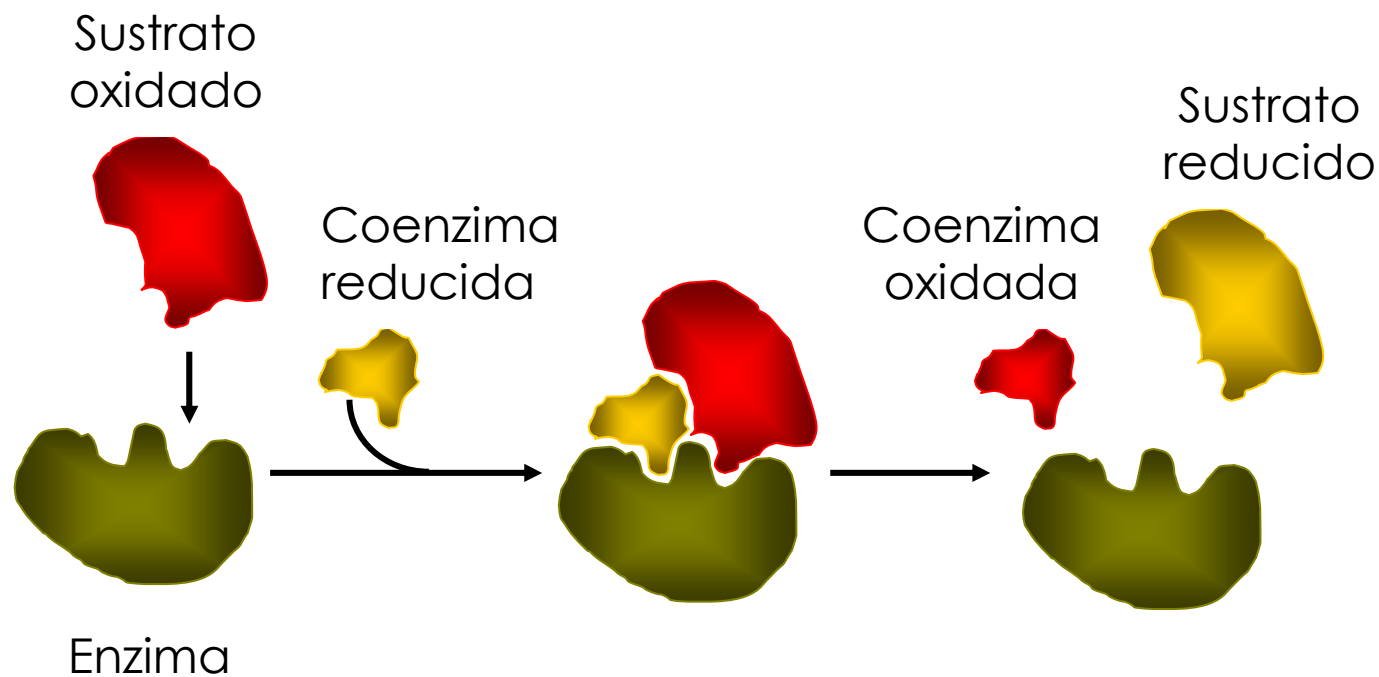
Algunas enzimas requieren cofactores:

- Alcohol deshidrogenasa - Zn^{2+}
- Ureasa - Ni^{2+}
- Nitrogenasa -Mo
- Purivato cinasa - K^+ y Mg^{2+}

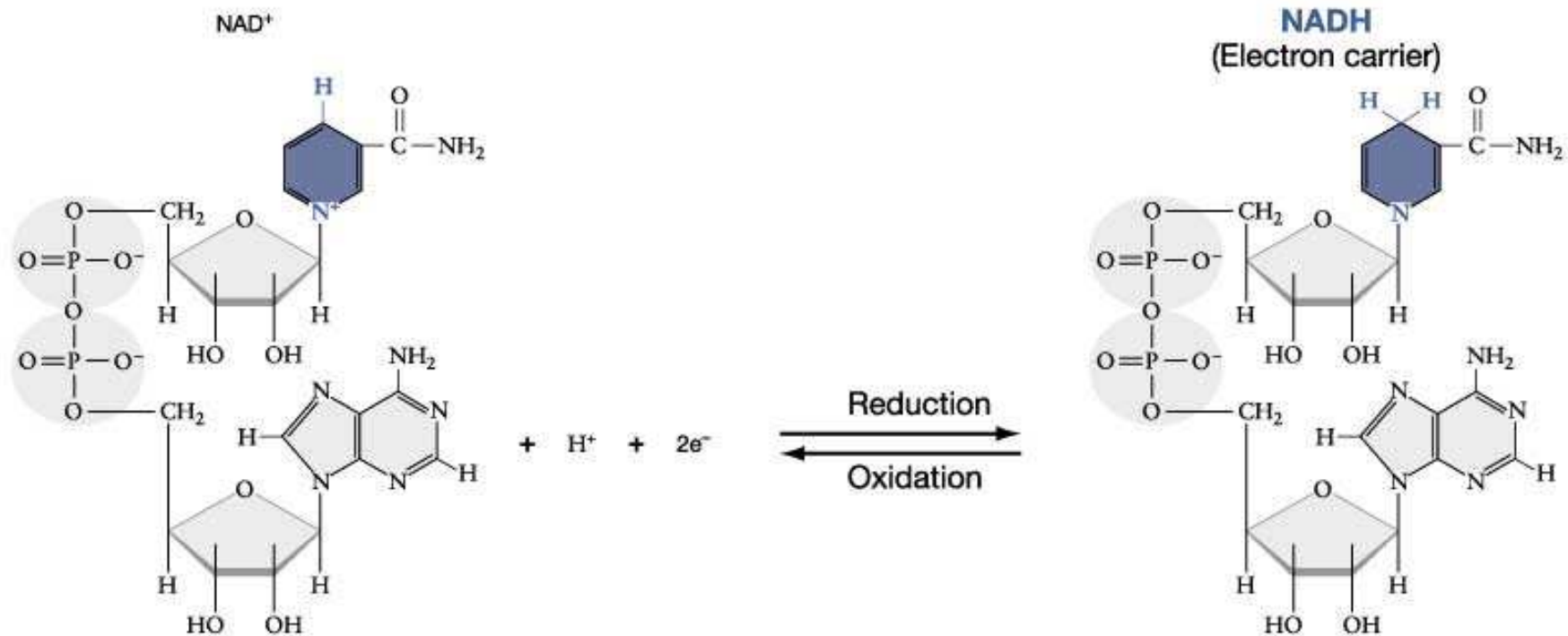
Coenzimas

Las coenzimas tienen una unión débil con la enzima.

- Coenzimas de oxido-reducción: NAD, NADP, FAD, FMN.
- Otras coenzimas: CoA, Vitaminas.



NAD ↔ NADH



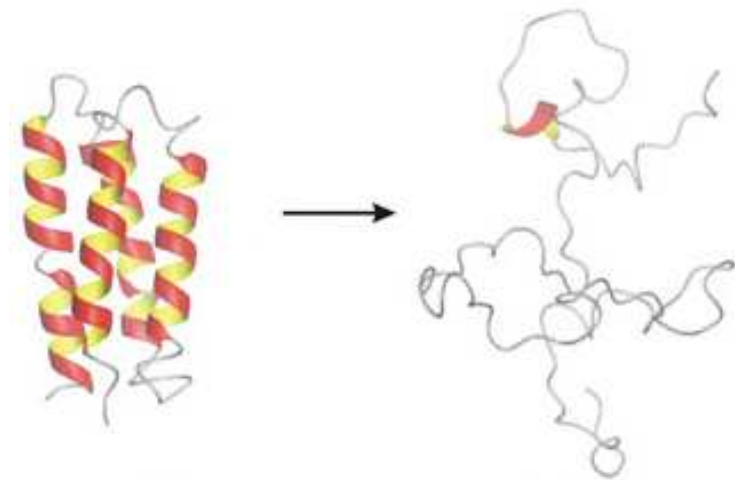
Nicotinamida Adenina Di-nucleótido (NAD), es la principal coenzima de óxido-reducción.



Enzimas

Clase	Tipo de reacción que cataliza	Ejemplos
Oxidoreductasa	Oxido-reducción, donde oxígeno e hidrógeno son ganados o perdidos.	Citocromo oxidasa. Lactato deshidrogenasa.
Transferasa	Transferencia de grupos funcionales (amino, acetilo, fosfato)	Acetato cinasa. Alanina desaminasa.
Hidrolasa	Hidrólisis (adición de agua)	Lipasa. Sucrasa.
Liasa	Remoción de grupos de átomos sin hidrólisis.	Oxalato descarboxilasa. Isocitrato liasa.
Isomerasa	Rearreglo de átomos dentro de una molécula.	Glucosa – fosfato isomerasa. Alanina racemasa.
Ligasa	Unión de dos moléculas (empleando energía usualmente derivada del rompimiento de ATP.	Acetil Co A sintetasa Ligasa.

Actividad enzimática

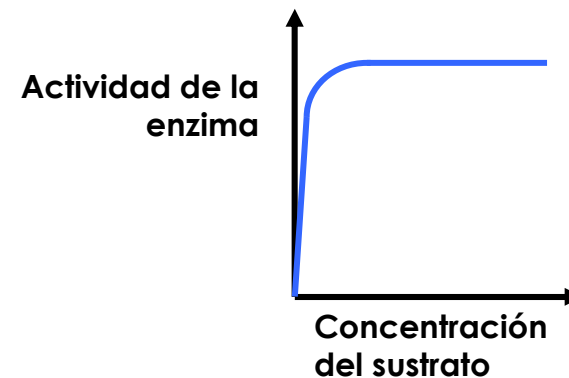
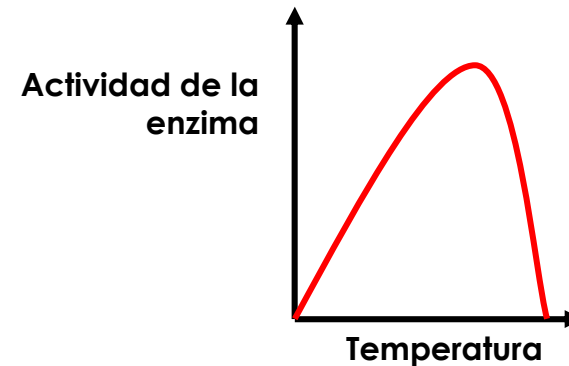
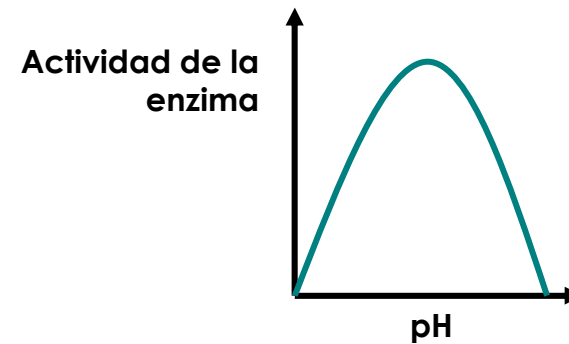


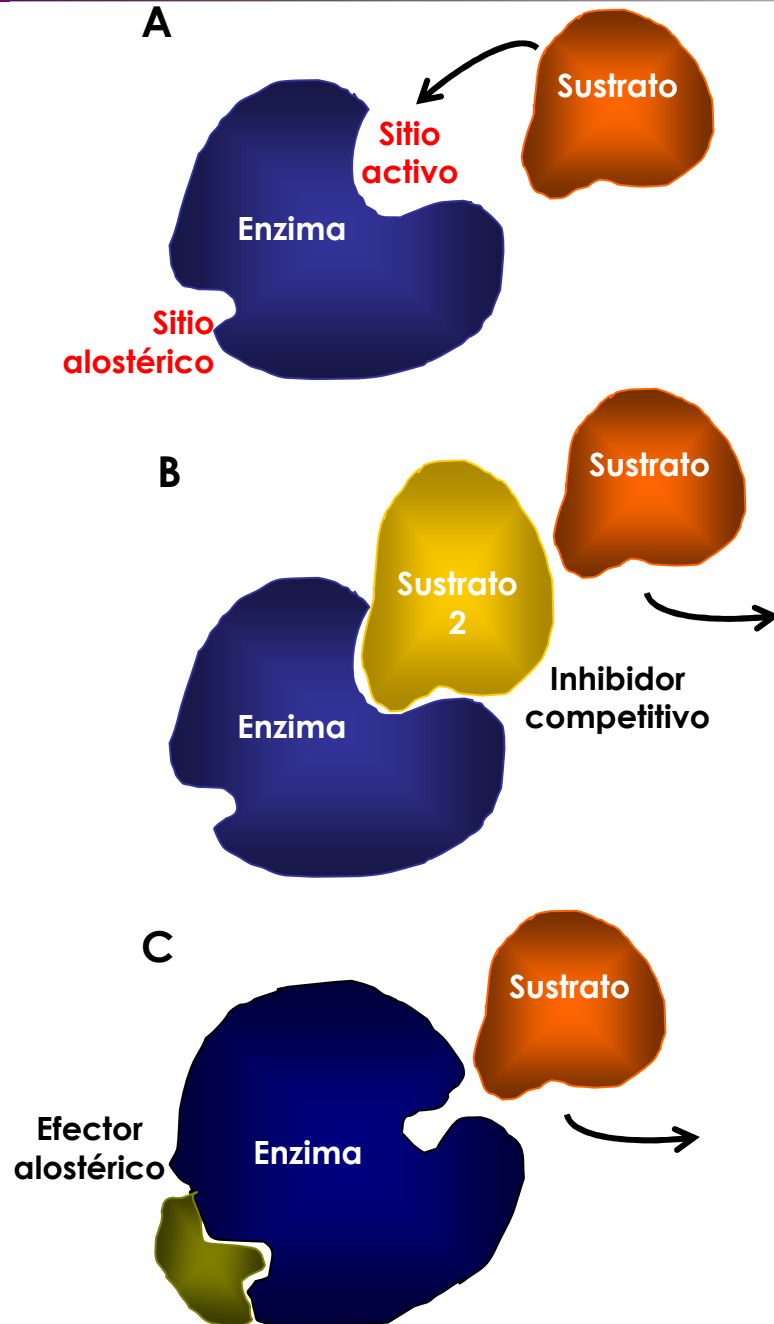
Una enzima, por sí misma, no puede llevar a cabo una reacción, su función es modificar la velocidad de la reacción. La actividad enzimática es *la cantidad de producto formado por unidad de tiempo*.

La actividad de una enzima es modificada por factores que afectan a las proteínas, por ejemplo: la temperatura.

Modificación de la actividad enzimática

- El pH que al influir sobre las cargas eléctricas, podrá alterar la estructura del centro activo y, por lo tanto, también influirá sobre la actividad enzimática.
- La temperatura elevada desnaturaliza las moléculas proteicas por lo que los sitios activos se ven modificados.
- La enzima se satura a cierta concentración del sustrato.



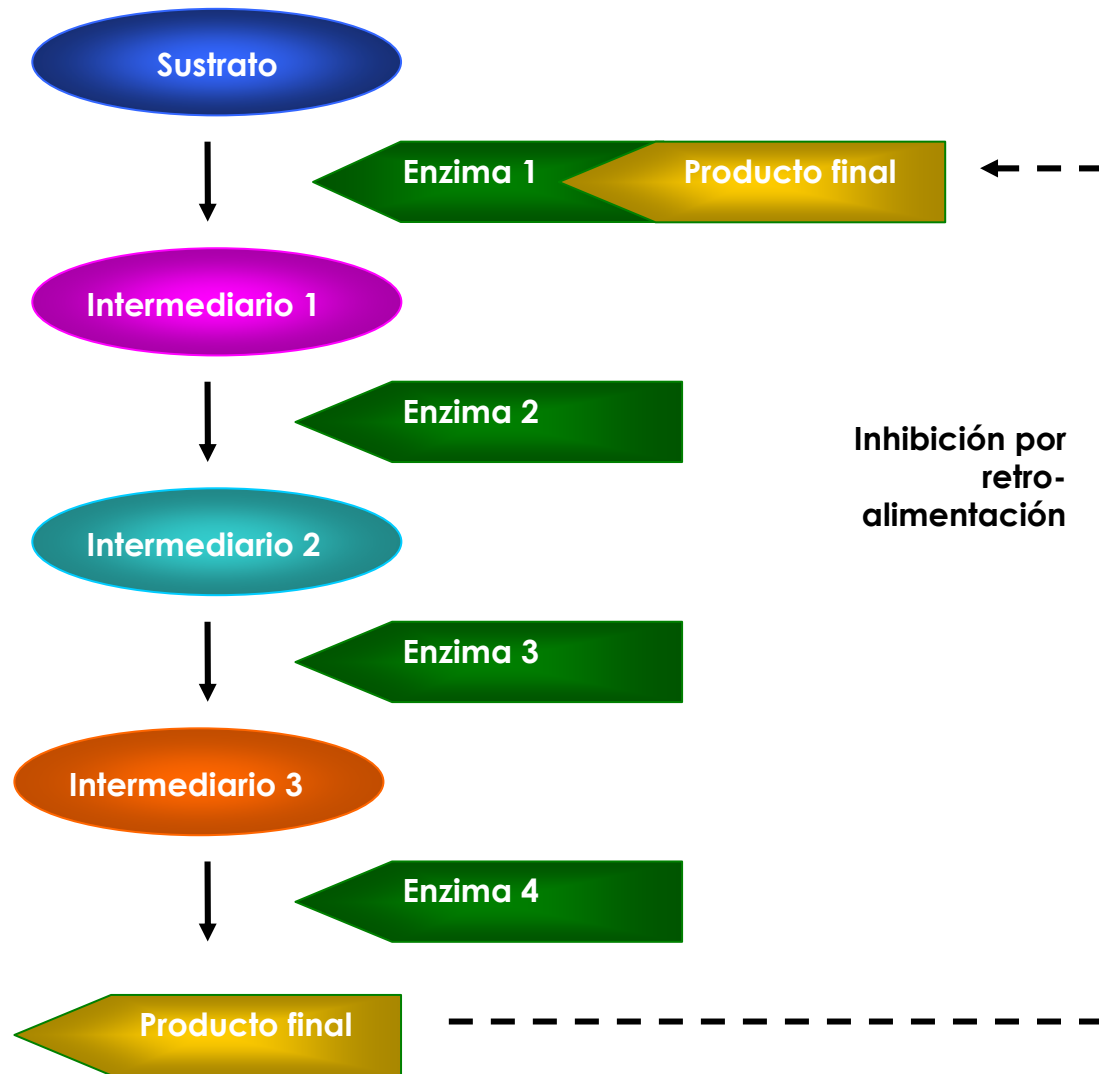


Inhibidores enzimáticos

- A) El sustrato se une a la enzima en el sitio activo.
- B) Un inhibidor competitivo se une a la enzima en el sitio activo, impidiendo la entrada y unión del sustrato.
- C) Un inhibidor alostérico modifica la afinidad de la enzima por el sustrato, al unirse en un sitio distinto (sitio alostérico) al sitio activo.

Regulación de vías metabólicas

Regulación de una vía metabólica mediante inhibición enzimática por producto final.



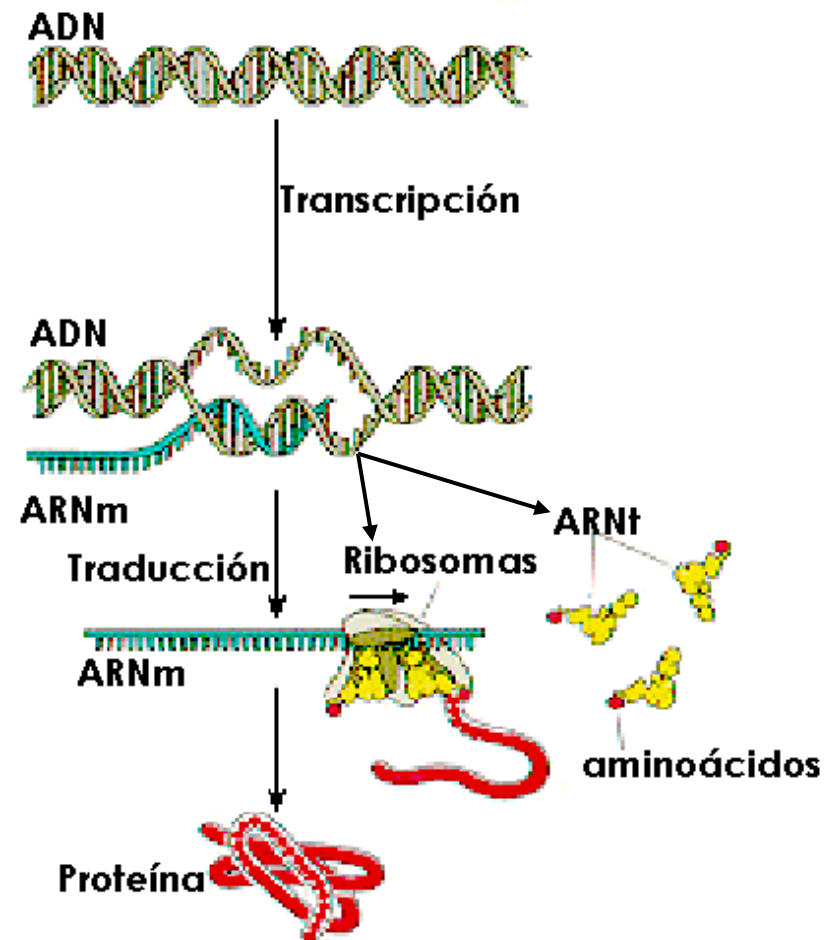
Regulación de la expresión y síntesis de las enzimas

Nivel transcripcional

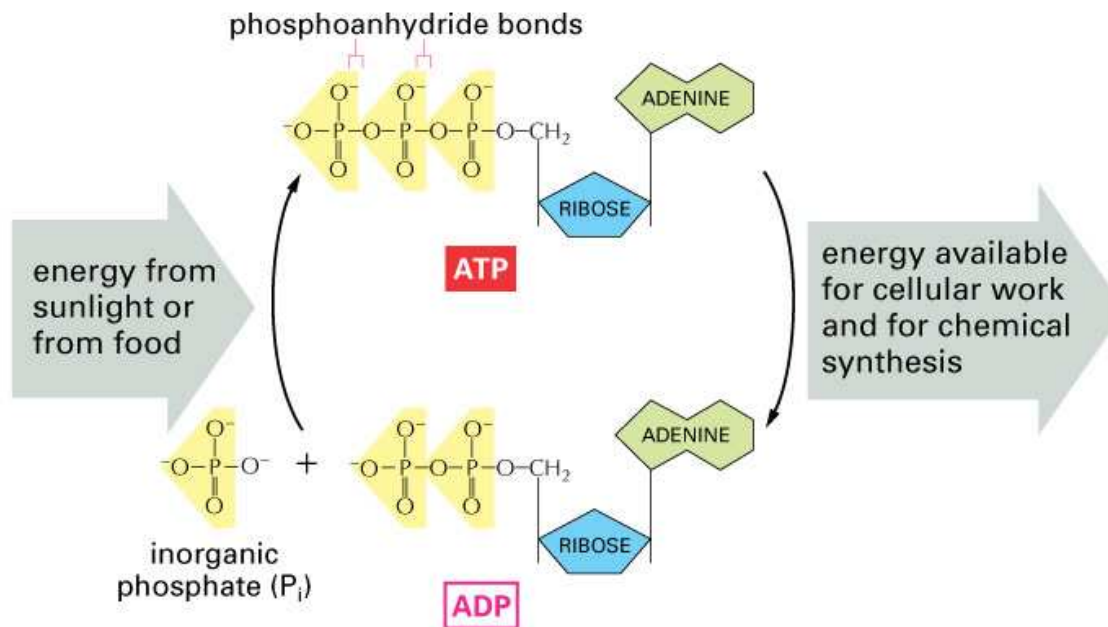
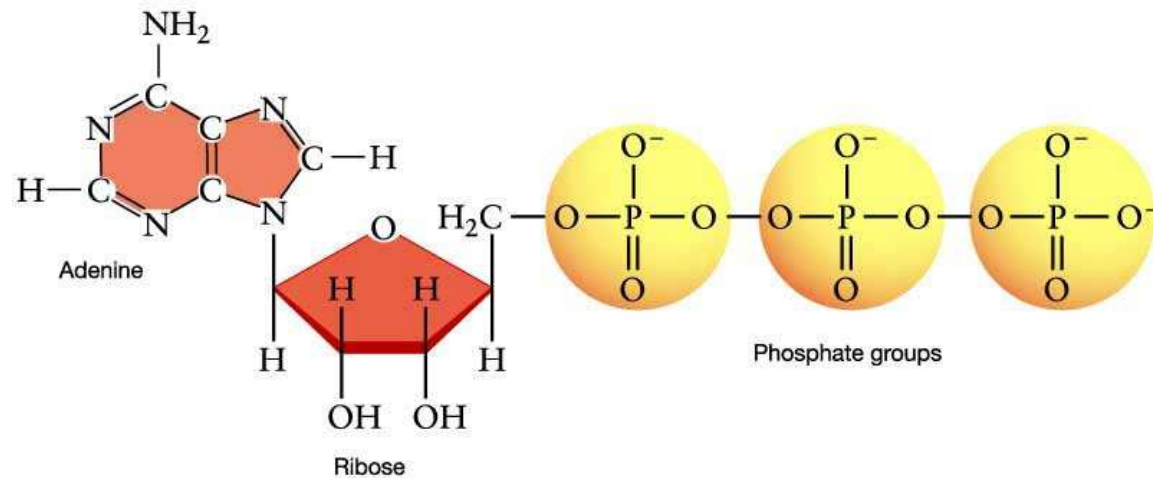
- Procesos de inducción y represión.
- Atenuación y procesamiento del ARNm.

Nivel traduccional

- Regulación de la síntesis de las proteínas ribosómicas.
- Inhibición de la síntesis de proteínas.



ATP



Compuesto de alta energía, se produce por fosforilación a nivel de sustrato, cadena respiratoria y fotofosforilación.

Oxidación-reducción

Par redox
oxidado/reducido

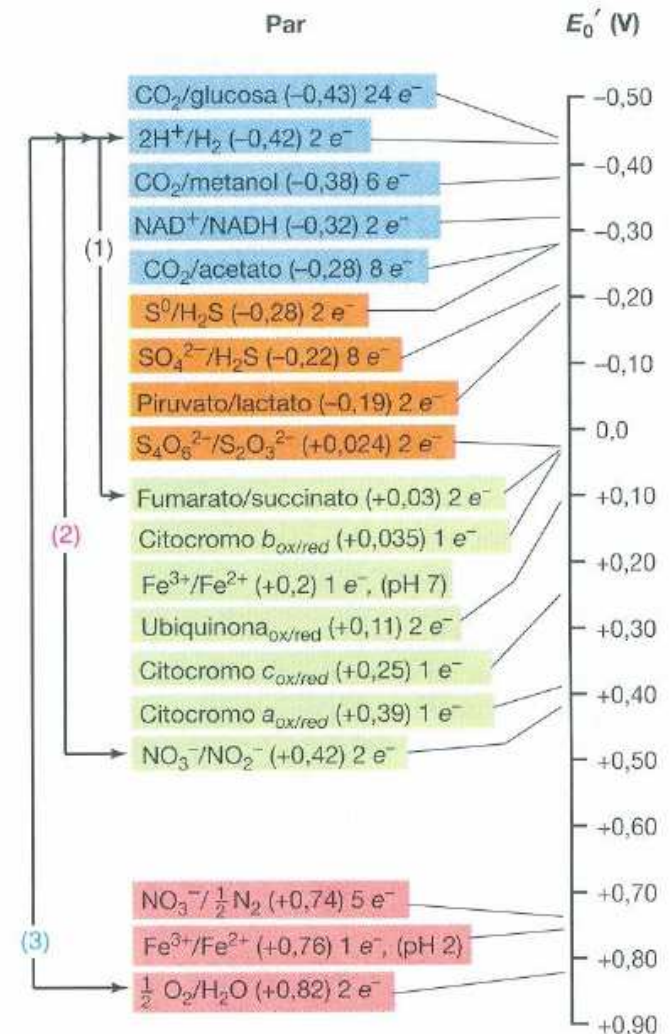
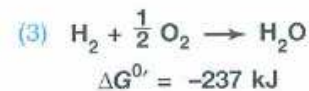
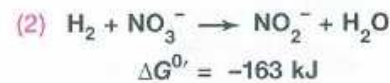
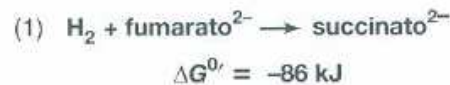
Donador de electrones
 $H_2 \rightarrow 2e^- + 2H^+$

Aceptor de electrones
 $\frac{1}{2}O_2 + 2e^- \rightarrow O^{2-}$

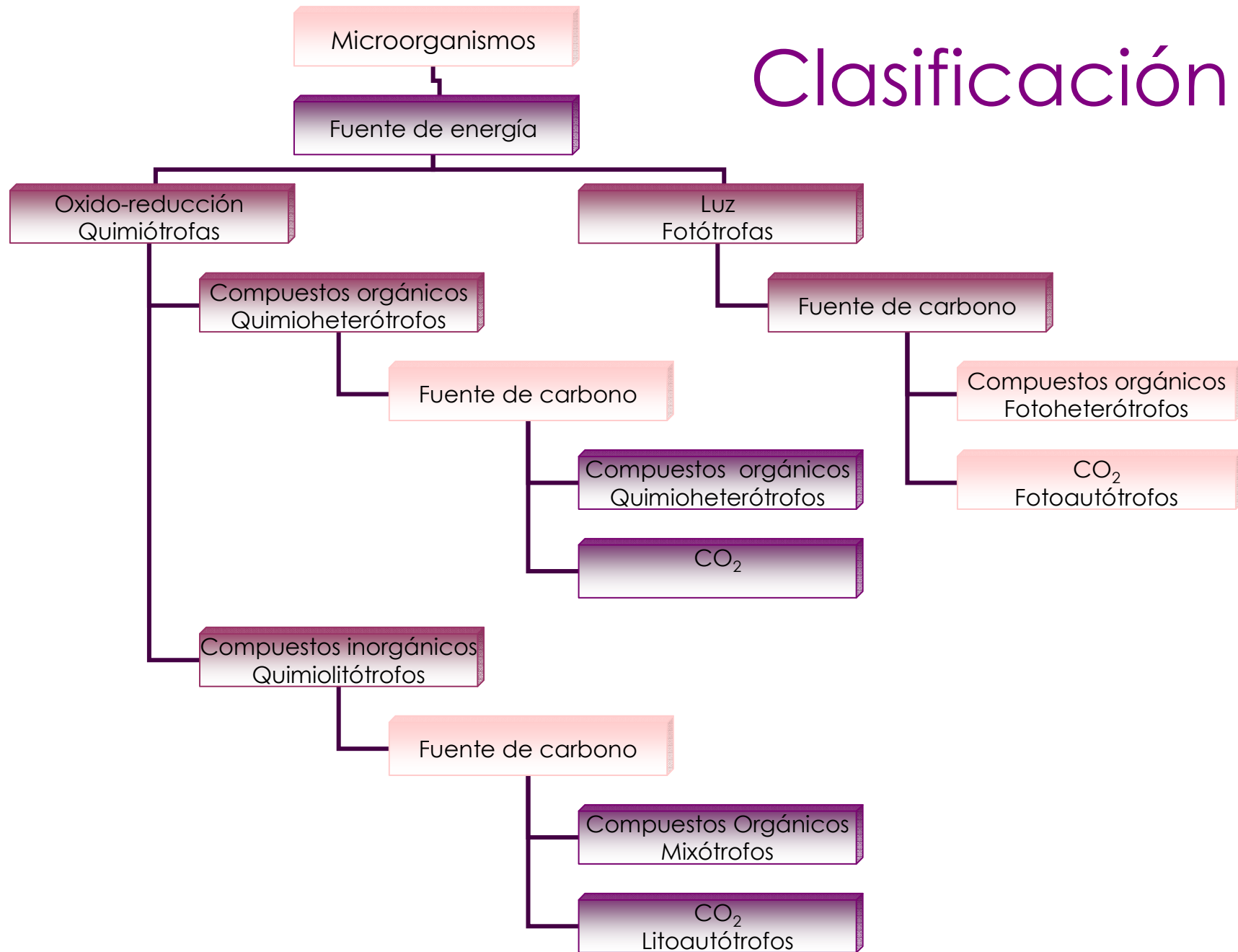
Formación de agua
 $2H^+ + O^{2-} \rightarrow H_2O$

Reacción total
 $H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$

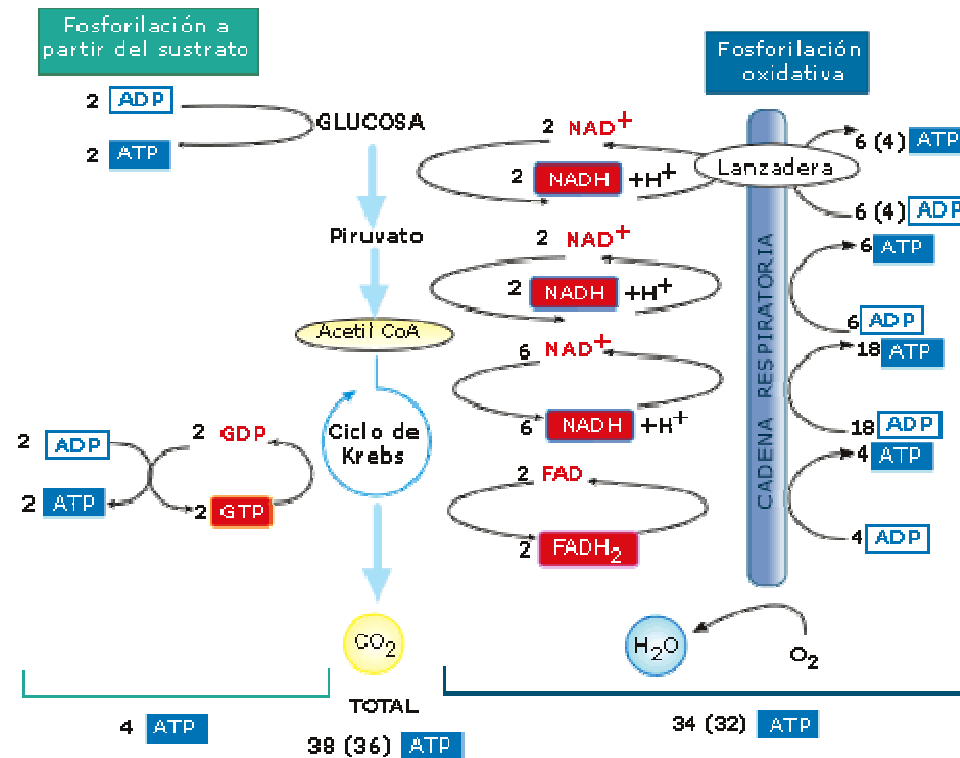
Ejemplos de reacciones
con H_2 como donador de e^-



Clasificación

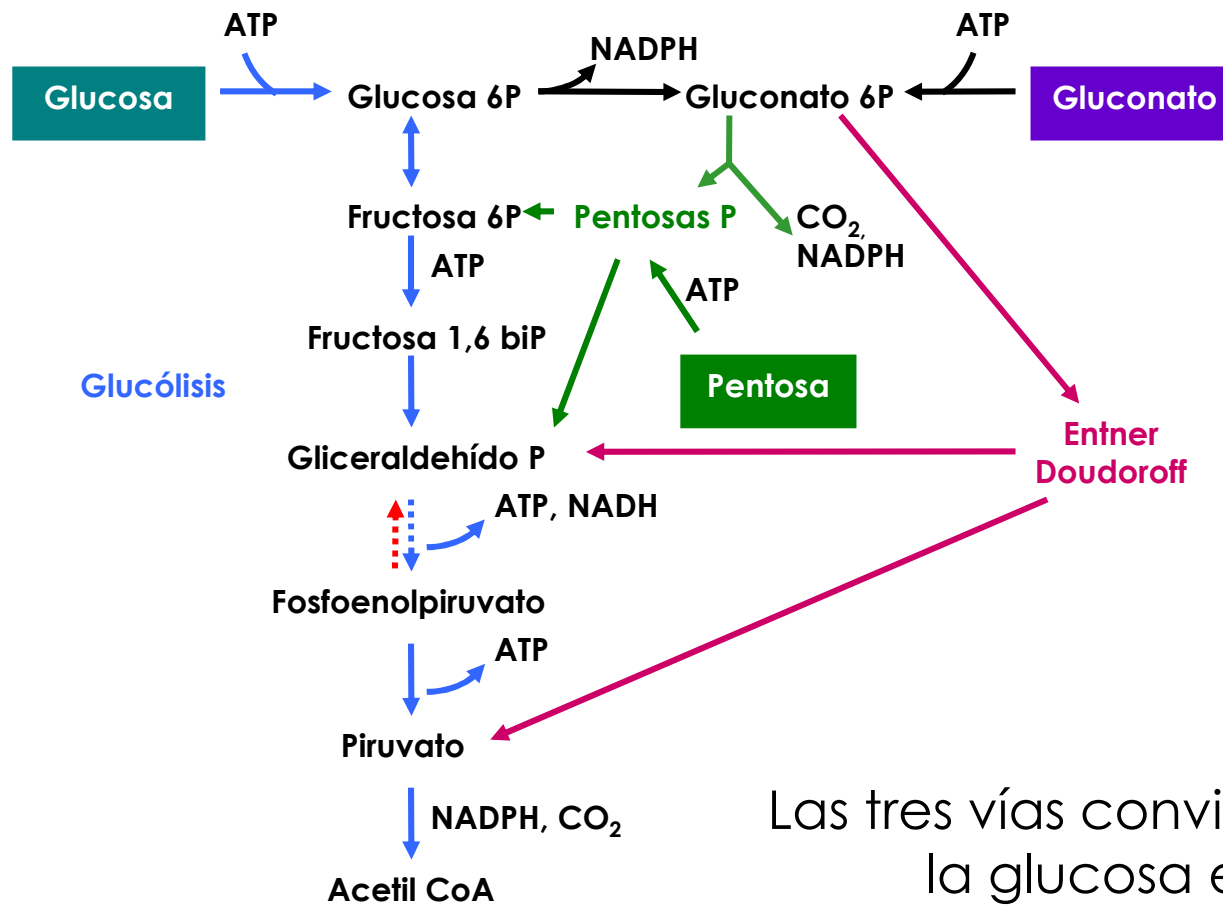


Quimioheterótrofos



La célula oxida moléculas orgánicas para producir la energía (catabolismo) y luego usa la energía de sintetizar el material celular de estas moléculas orgánicas (anabolismo). Todos los hongos y los protozoarios son heterótrofos, muchas bacterias, pero solo algunas arqueobacterias. El metabolismo heterotrófico conduce a dos procesos: fermentación y respiración.

Metabolismo central



Las vías del metabolismo central: Glucólisis (*Embden-Meyerhof-Parnas EMP*), de las Pentosas fosfato y Entner-Doudoroff proveen de precursores metabólicos para otras vías, son las vías para el metabolismo de carbohidratos y ácidos carboxílicos.

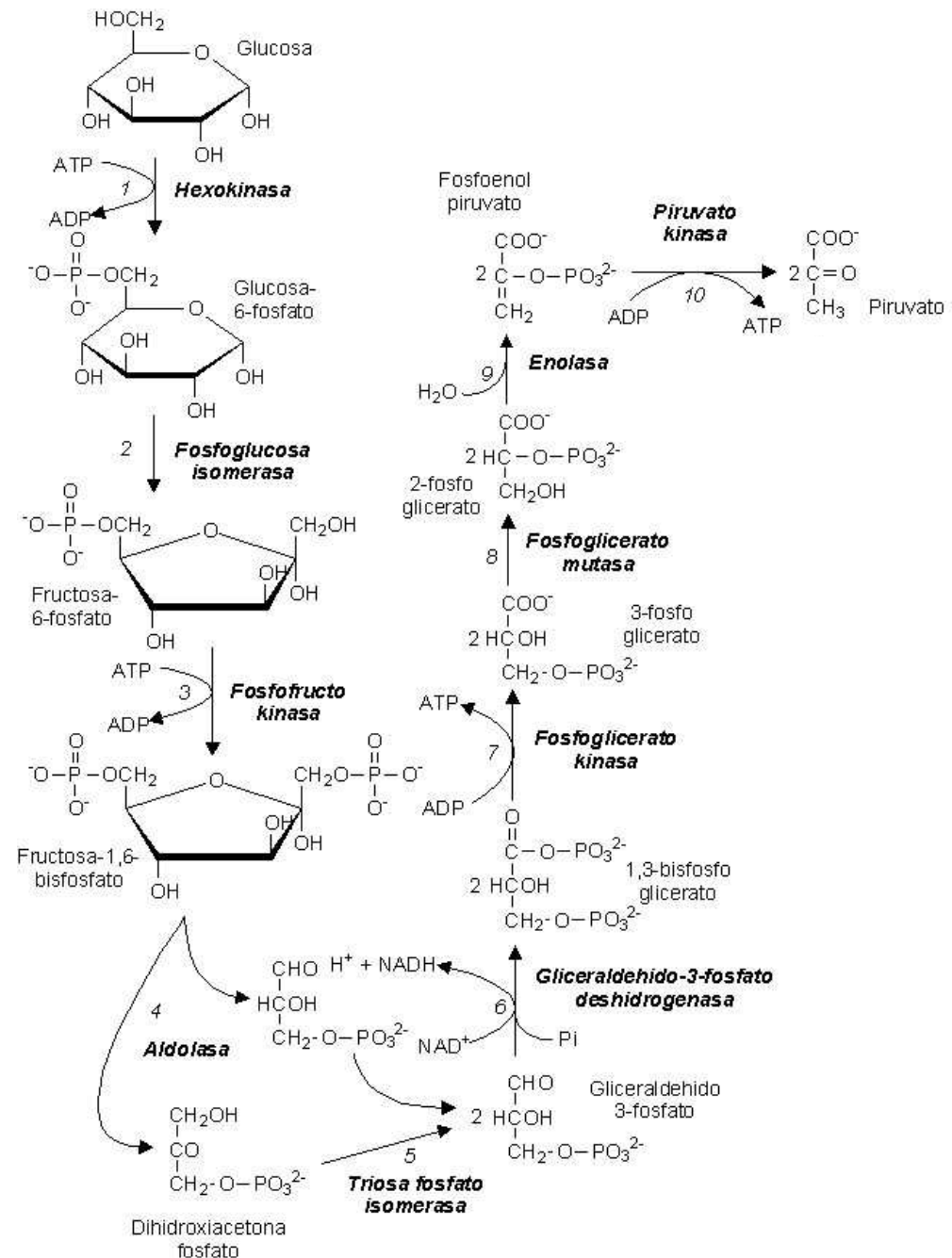
Las tres vías convierten por diferentes rutas la glucosa en gliceraldehído, que es oxidado por la misma reacción para formar piruvato.

Glucólisis

La vía de la glucólisis (*Embden-Meyerhof-Parnas EMP*), se encuentra en todos los eucariotes y en muchas especies de bacterias.

En la primera etapa hay gasto de 2 moléculas de ATP por molécula de glucosa.

En la segunda parte se forman 4 moléculas de ATP por fosforilación a nivel de sustrato y 2 de NADH.

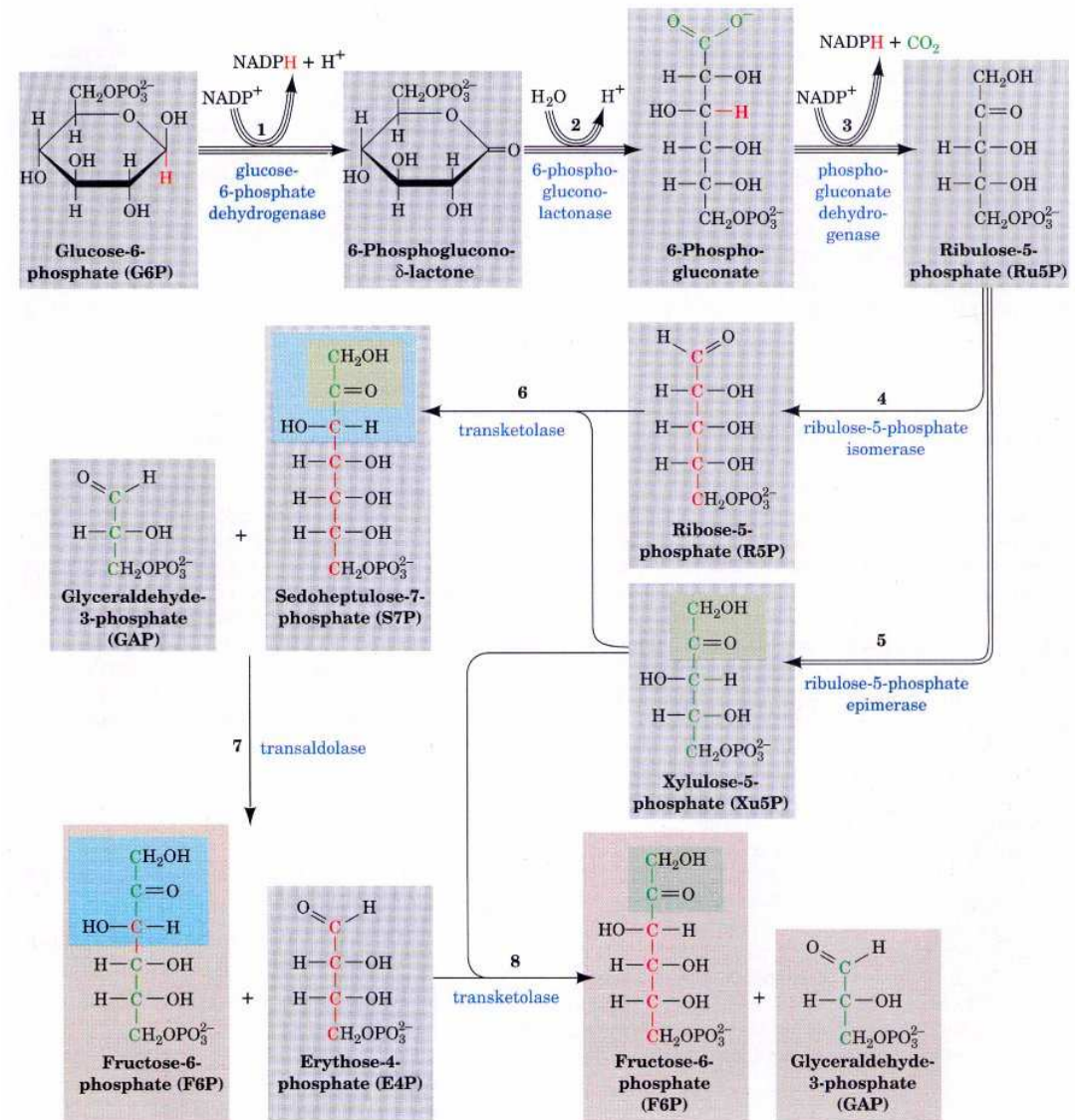


Ciclo de las pentosas fosfato

Importancia:

Produce los precursores de la ribosa, desoxirribosa en los ácidos nucleicos y provee de eritrosa fosfato como precursor de aminoácidos aromáticos.

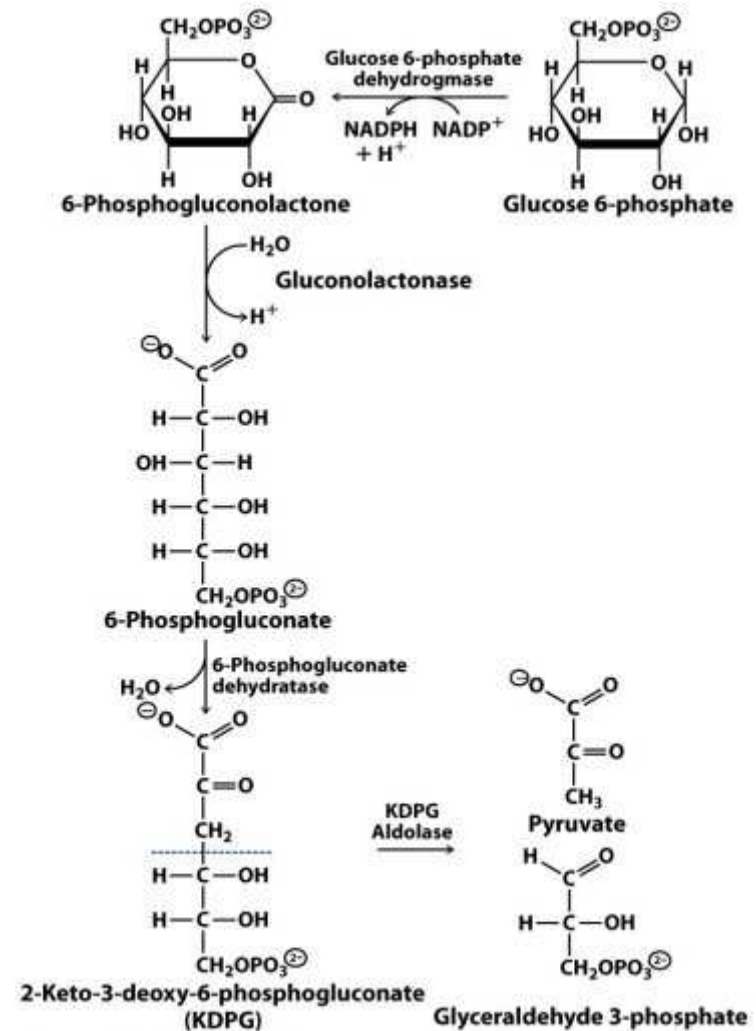
Se produce en esta vía, NADPH, la mayor fuente de electrones de la biosíntesis y varias de sus reacciones las comparte con el ciclo de Calvin.



Vía Entner-Doudoroff

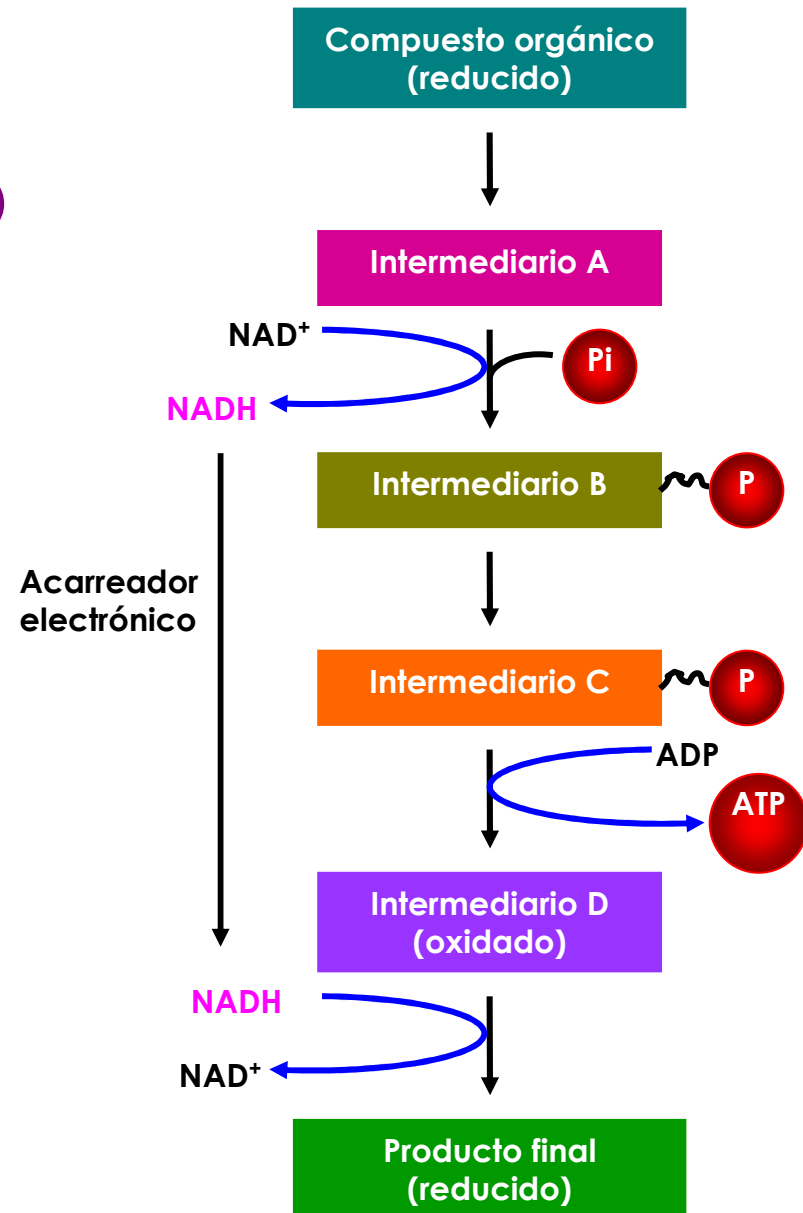
Muchos tipos de bacterias no poseen la enzima fosfofructocinasa-1 y no pueden convertir la glucosa-6P a Fructosa 1,6-bifosfato.

Una vía alterna es *Entner-Duodoroff*, en la cual la glucosa 6P es convertida a piruvato y Gliceraldehído-3-fosfato por la desidratación poco usual del 6-fosfogluconato para formar 2-ceto-3-desoxi-6-fosfogluconato (KDPG).



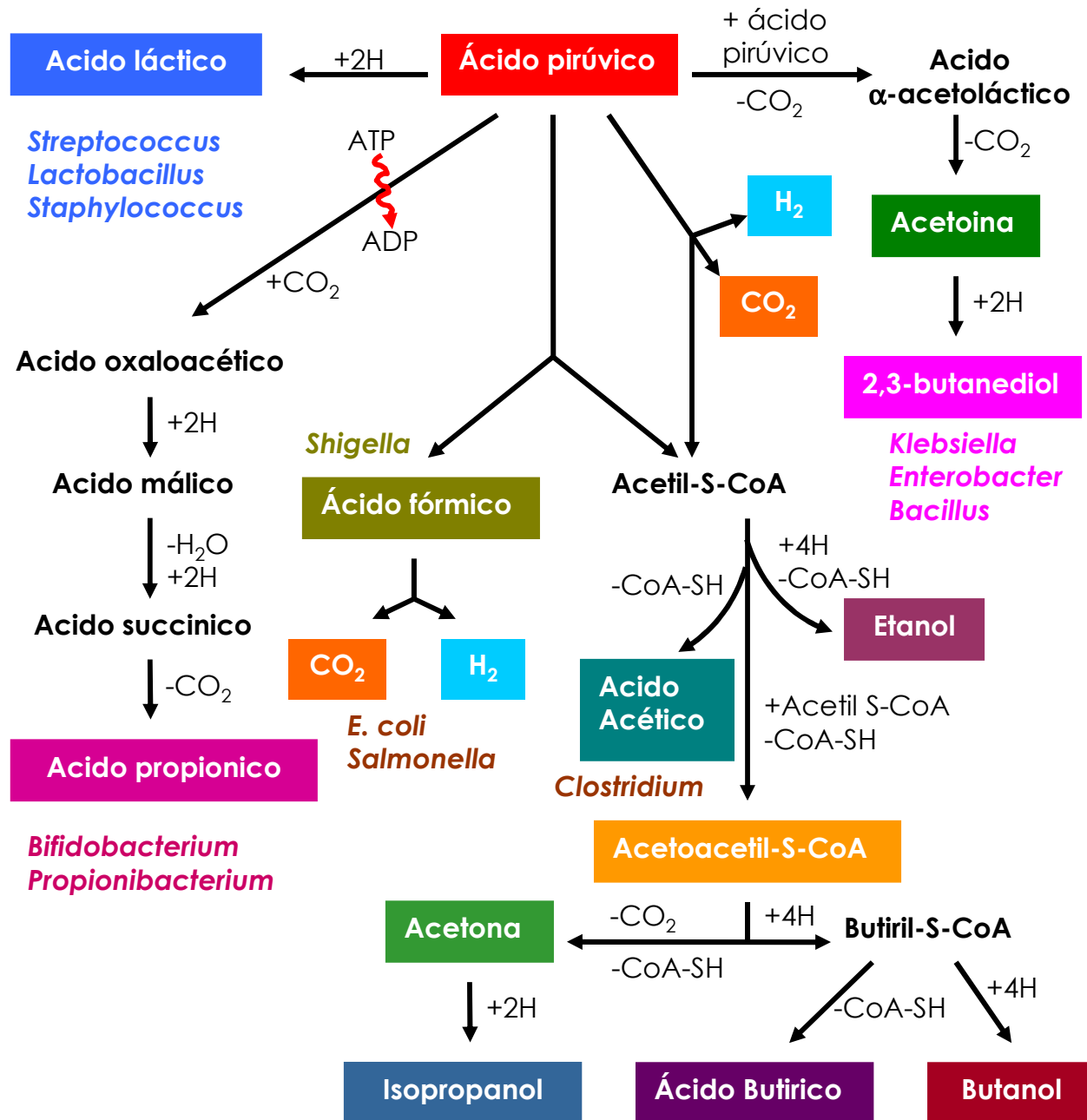
Fosforilación a nivel de sustrato

El sustrato orgánico (donador de e^-) pasa por una ruta catabólica (ej., la glucólisis), y uno de los intermediarios de esa ruta es oxidado por un coenzima, se origina un intermediario no fosforilado con una gran energía de hidrólisis. El intermediario experimenta enseguida una sustitución con un fosfato, para dar la correspondiente forma acil-fosfato (enlace de alta energía). Este acil-fosfato dona su fosfato de alta energía al ADP, que pasa a ATP.



Fermentación

- Se realiza en condiciones anaeróbicas.
- Emplea como aceptor de electrones a una molécula orgánica.
- Utiliza el NADH producido en la glucólisis.
- Se conserva la energía de la fosforilación a nivel de sustrato (FNS).

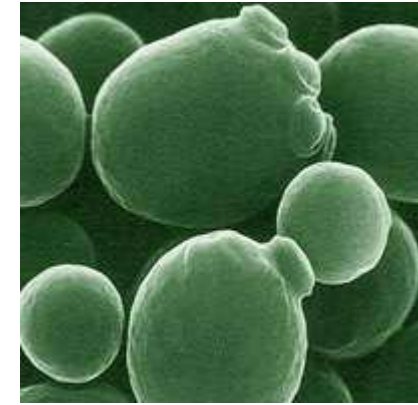


Etanol

Malta → Cerveza (*Saccharomyces cerevisiae*)

Frutas → Vino (*Saccharomyces ellipsoideus*)

Desechos de la agricultura → combustible (*S. cerevisiae*)



Fermentaciones tradicionales indígenas de México

Las fermentaciones tradicionales indígenas de México más conocidas son: pozol, tesgüino, tejuino, tepache, tibicos, pulque, tuba, colonche, entre otras.



Tepache



Pulque



Pozol



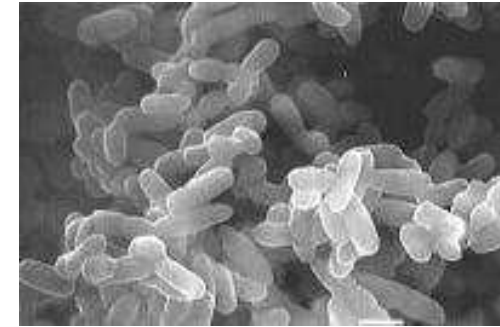
Tejuino



Colonche

Acido acético

Etanol \rightarrow Acido acético (*Acetobacter aceti*)



Madre de vinagre: consorcio formado por una levadura y una bacteria.



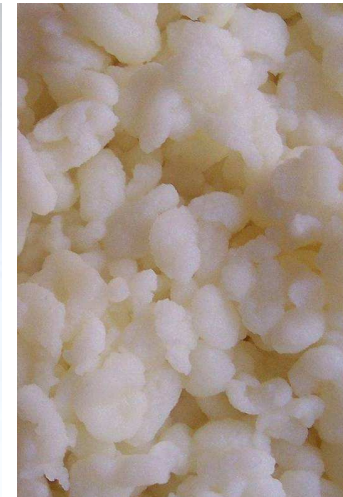
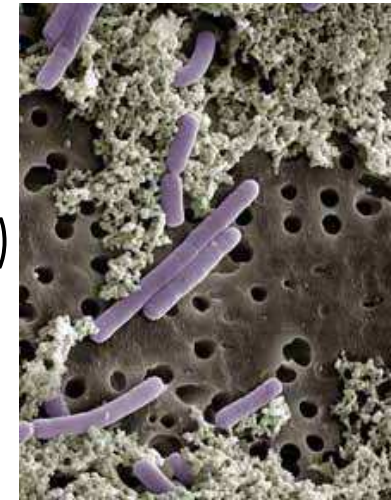
Acido láctico

Leche → Yogurt y queso (*Lactobacillus*, *Streptococcus*)

Granos → Pan de centeno (*Lactobacillus bulgaricus*)

Col → Chucrut o Sauerkraut (*Lactobacillus plantarum*)

Carne → Salchichas (*Pediococcus*)



Otras fermentaciones

- Ácido propiónico y CO_2 .

Leche → Queso suizo (*Propionibacterium freudenreichii*)

- Acetona y butanol (*Clostridium acetobutylicum*)

- Glicerol (*Saccharomyces cerevisiae*)

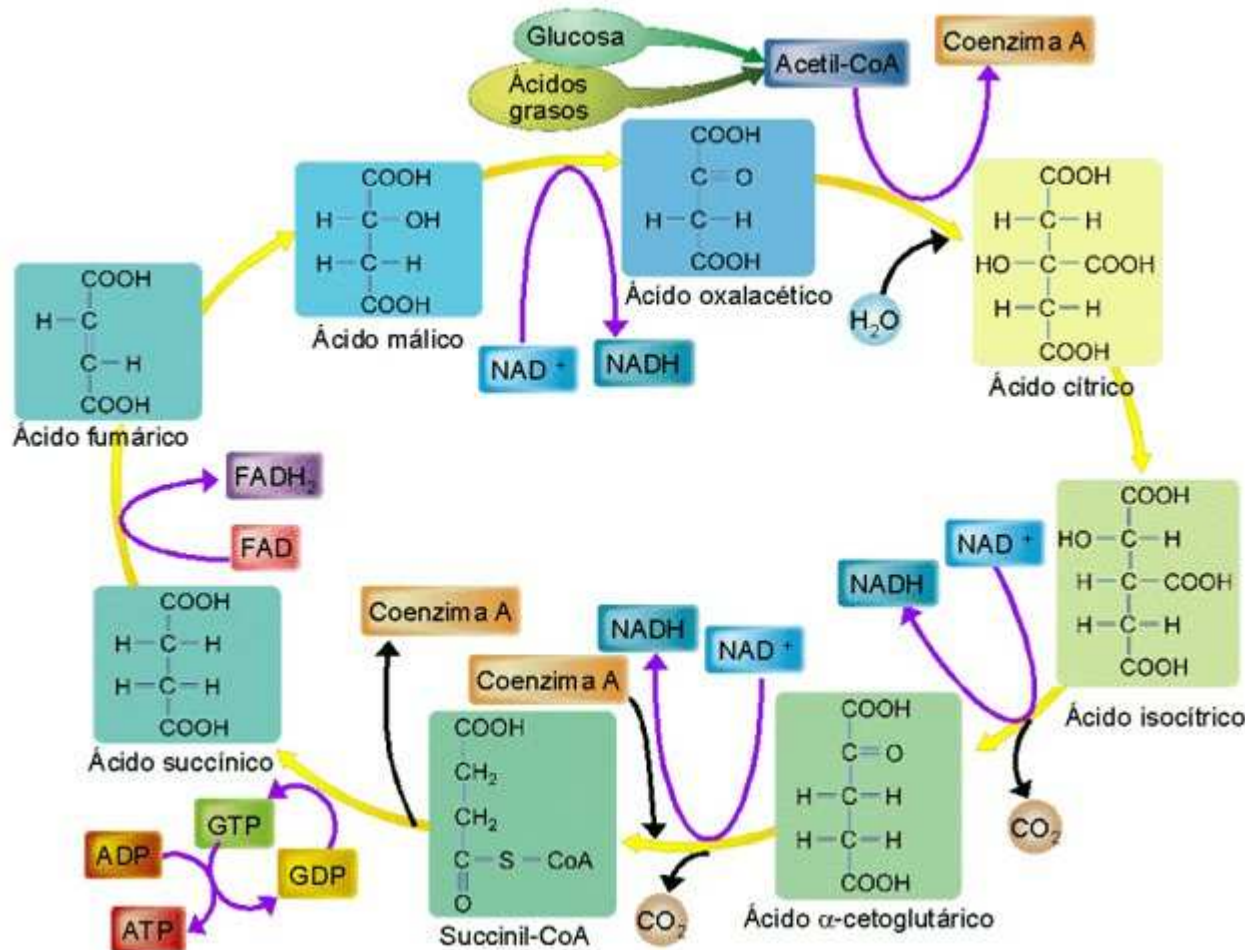
- Ácido cítrico → melazas (*Aspergillus niger*)

- Metano → Ácido acético (*Methanosarcina*)

- Ácido ascórbico → Sorbitol (*Acetobacter*)



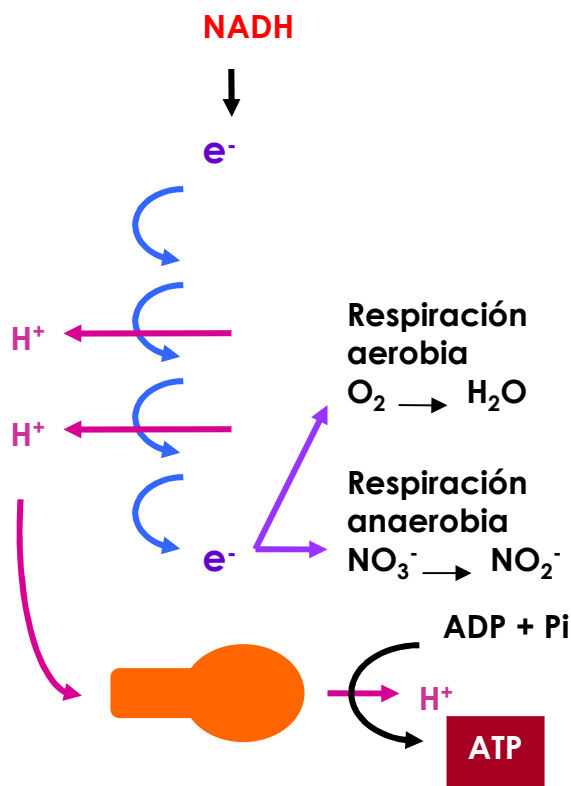
Ciclo del ácido cítrico



Ciclo de los ácidos tricarboxílicos (TCA) ó Ciclo de Krebs (CK). El acetil-CoA se forma a partir del piruvato por la piruvato deshidrogenasa y es oxidado a CO₂ en el CK.

Por Acetil-CoA se forman 2 moléculas de NADH, una de NADPH y una de FADH₂, además de un ATP por FNS.

Fosforilación oxidativa. Respiraciones.

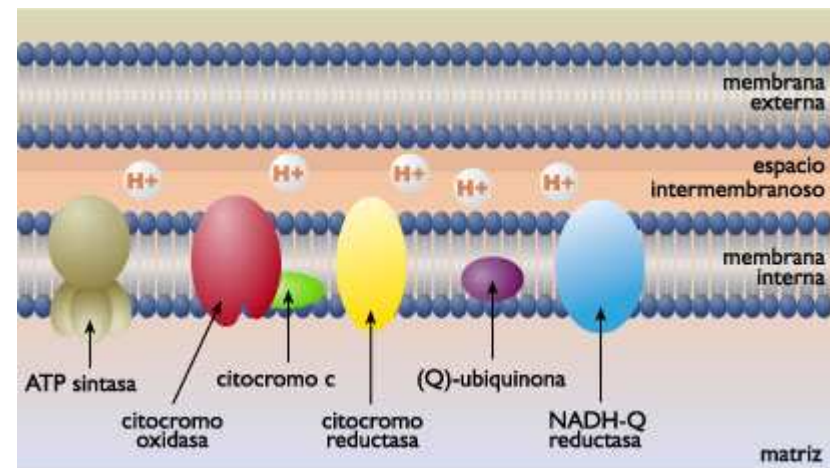
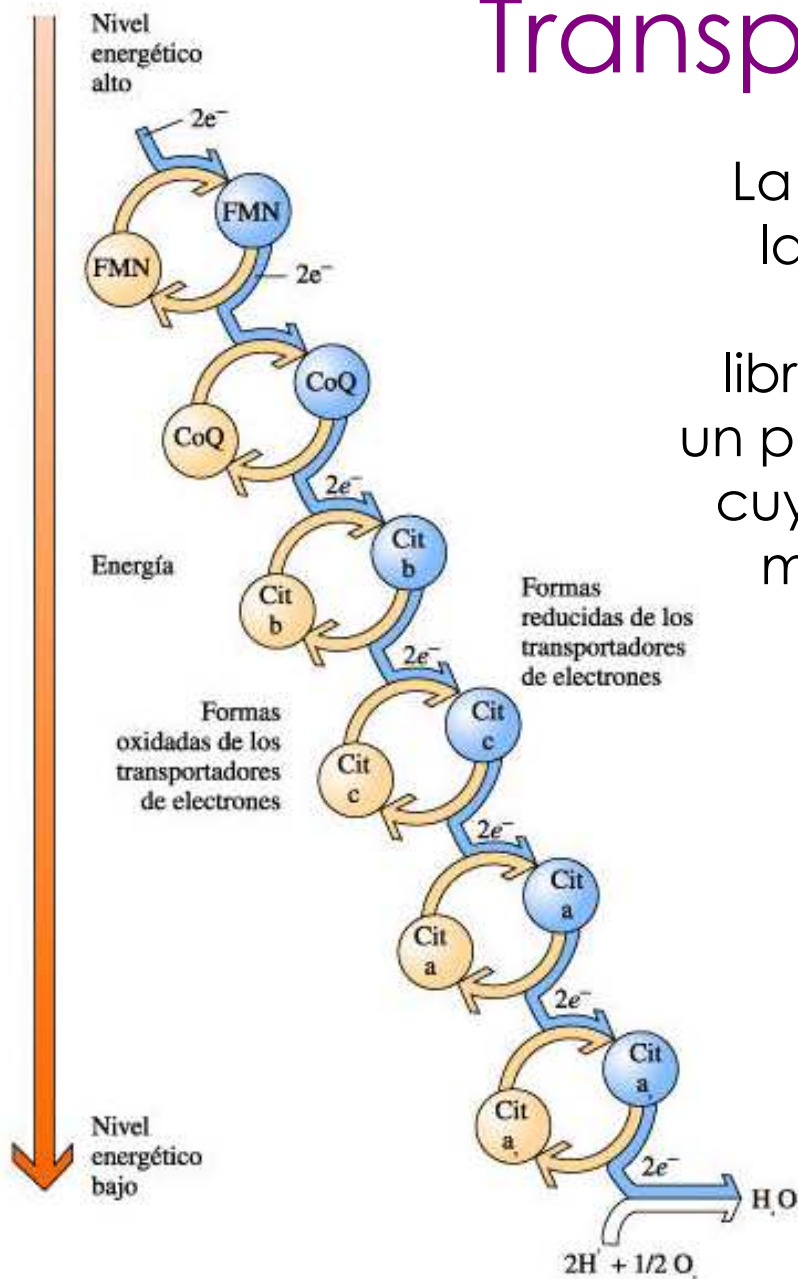


Respiración es la obtención de energía por oxidación de sustratos reducidos DH_2 (orgánicos en quimiorganótrofas, e inorgánicos en quimiolitótrofas), pero las coenzimas reducidas (como el NADH) transfieren los electrones a unceptor final oxidado, no directamente (como en la fermentación), sino a través de una cadena transportadora de electrones al final de la cual existe unceptor exógeno oxidado, que se reduce.

- Respiración aerobia: elceptor final es el O_2 .
- Respiración anaerobia: elceptor final es distinto del O_2 (nitrato, sulfato, etc.).

Transporte de electrones

La transferencia de electrones se da en la dirección de mayor potencial redox positivo, con la liberación de energía libre. La energía libre se va a traducir en un potencial electroquímico de protones, cuya disipación a través de ATP-etas de membrana origina ATP, conociéndose este proceso como fosforilación oxidativa.



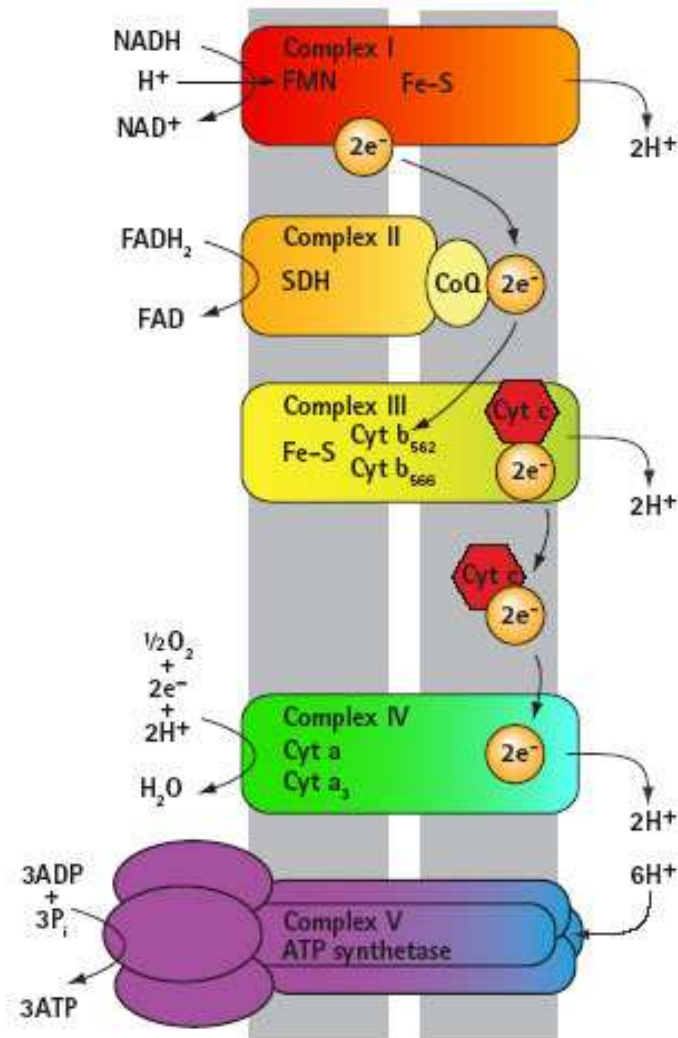
Transportadores de electrones

Proteínas

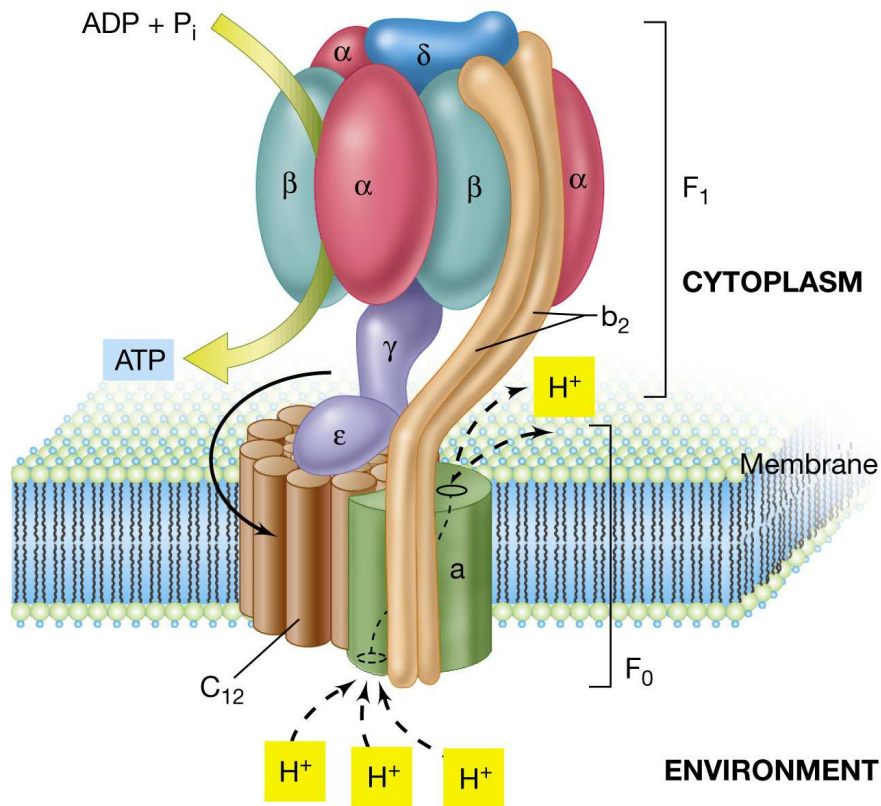
- NADH deshidrogenasas. Transfieren los e^- y los H^+ .
- Flavoproteínas. Transfieren los e^- y los H^+ .
- Proteínas de hierro y azufre. Acarreador de electrones.
- Citocromos. Acarreador de electrones.

No proteínas

- Quinonas. Transfieren los e^- y los H^+ .



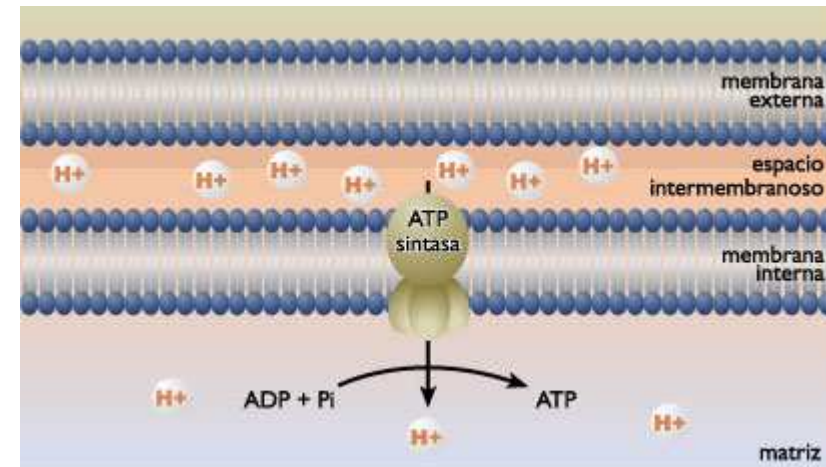
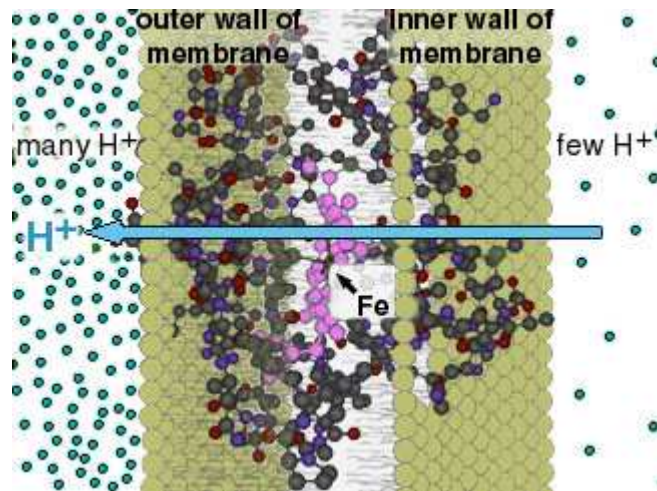
ATPasa



La ATP sintasa es una proteína con una de sus fracciones embebida en la membrana y la otra en la cara citoplasmática:

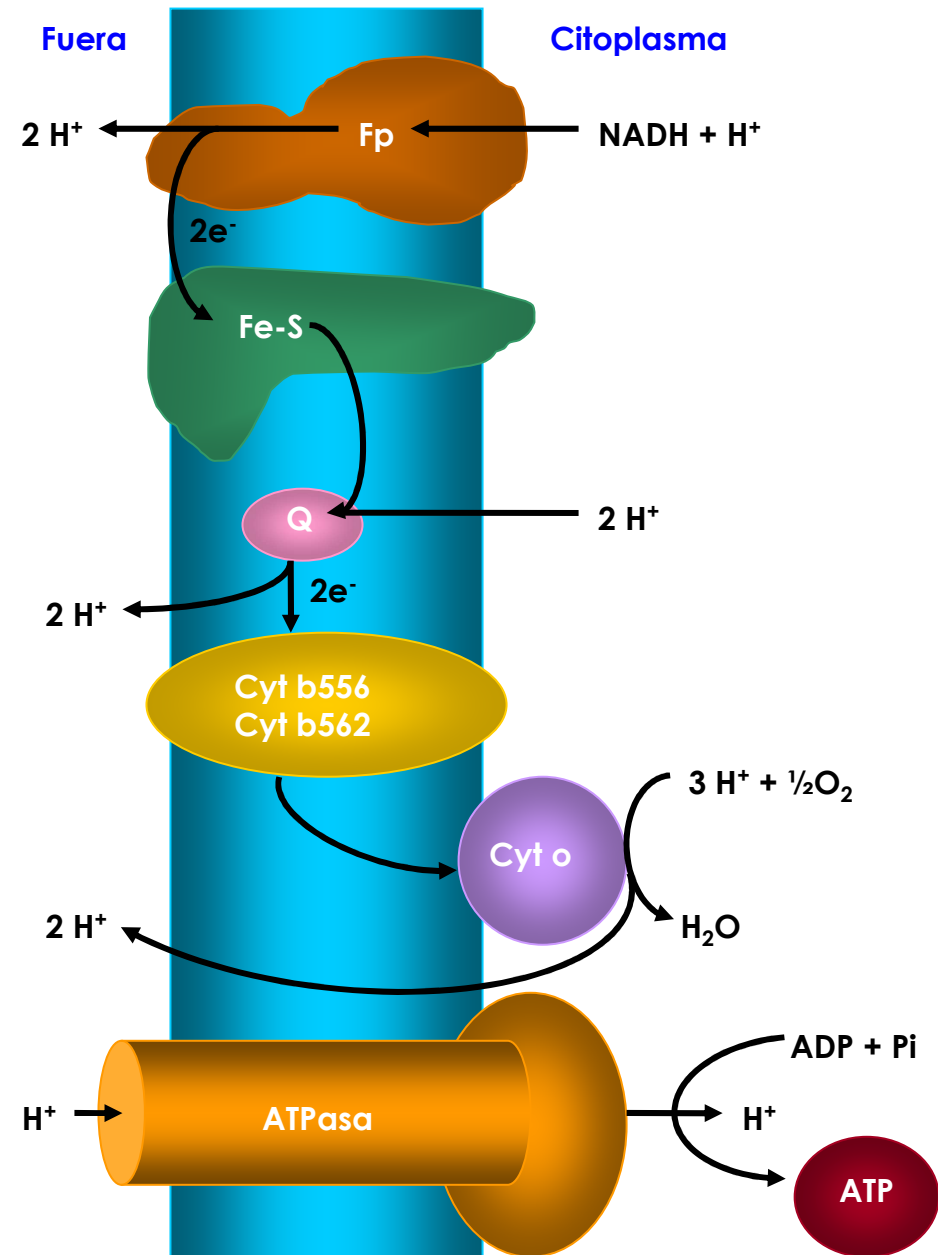
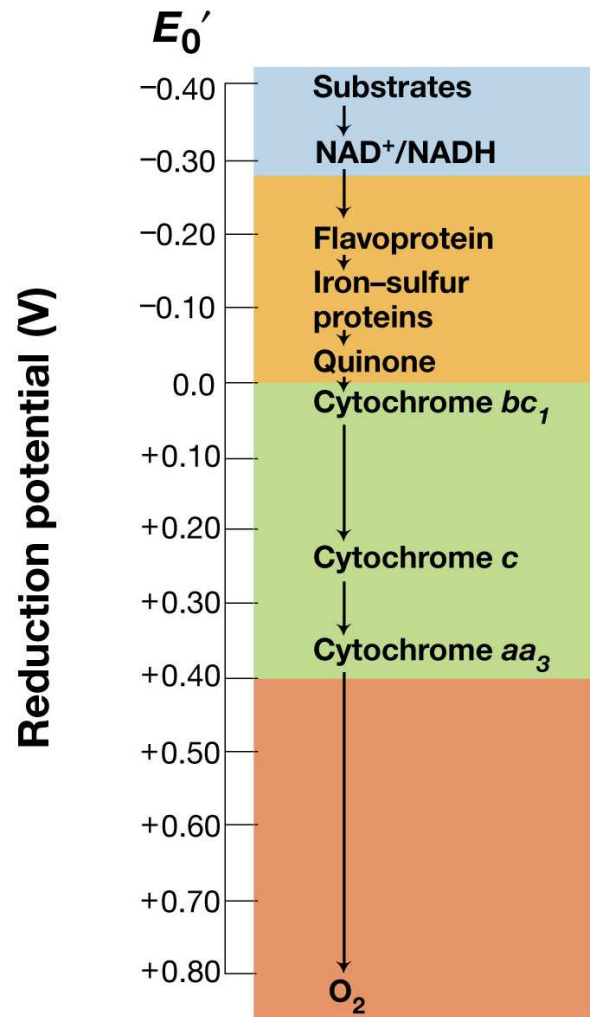
- Complejo catalítico F₁ (subunidades $\alpha_3\beta_3\gamma\epsilon\delta$), responsable de la interconversión de ADP+ P_i y ATP.
- Complejo F₀ (subunidades ab_2c_{12}), responsable de la transferencia de protones a través de la membrana.

Formación de ATP

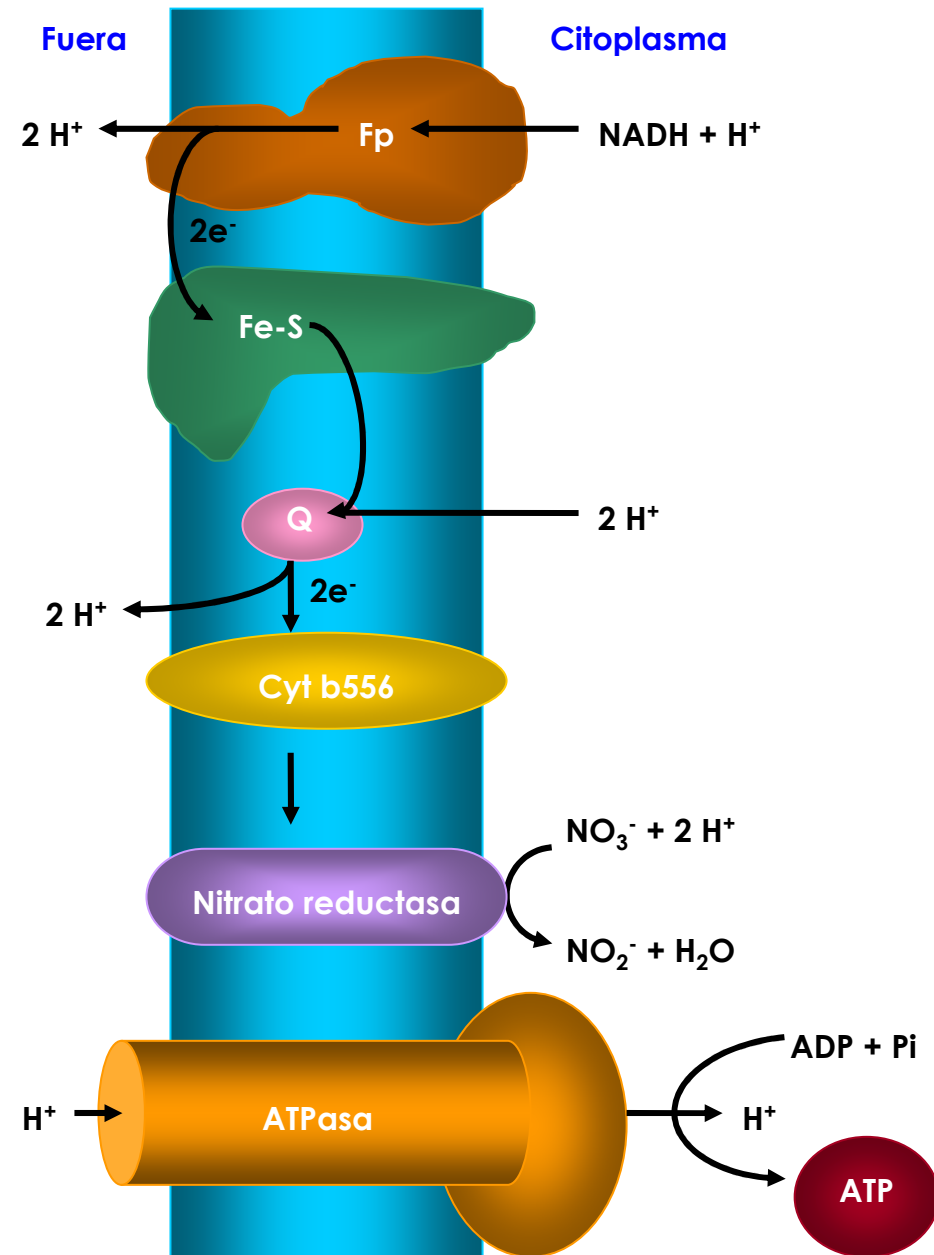
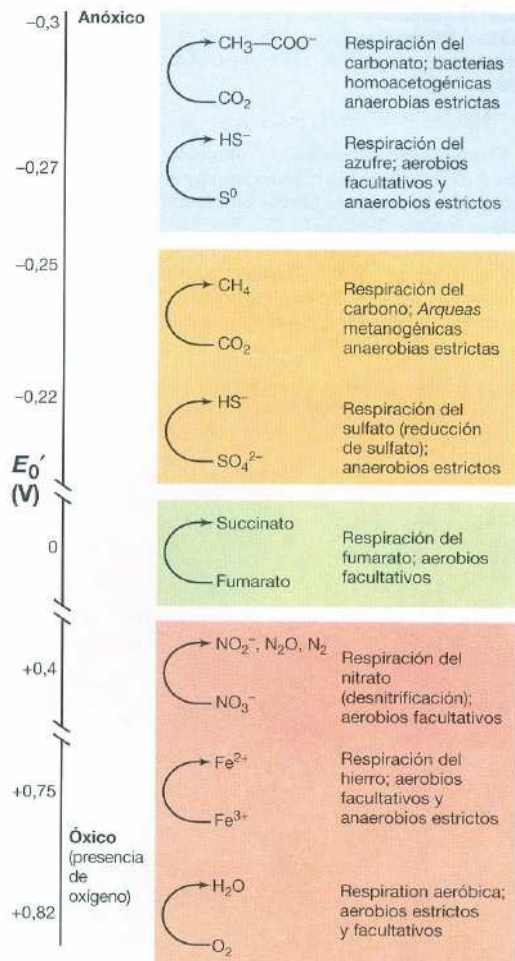


El movimiento de protones a través de F_0 dirige la rotación de las proteínas c generando la rotación, la energía es transmitido a F_1 por la rotación de las subunidades $\gamma\epsilon$, esto causa una cambio conformacional en β que permite la formación de ATP en cada subunidad. De igual modo la ATPasa es reversible generando fuerza protón motriz.

Respiración aerobia



Respiración anaerobia



Quimiolitótrofos



Microorganismos que usan compuestos inorgánicos como fuente de energía, la mayoría son aerobios y producen la energía removiendo los electrones de un sustrato y produciendo ATP por fosforilación oxidativa, algunos son litótrofos facultativos y pueden emplear los compuestos orgánicos como fuente de energía.

Muchos de los litótrofos son autotrofos (litoautótrofos), algunos utilizan el CO_2 como única fuente de carbono, como las bacterias metanogénicas, las nitrificantes y algunas otras.

Quimiolitótrofos

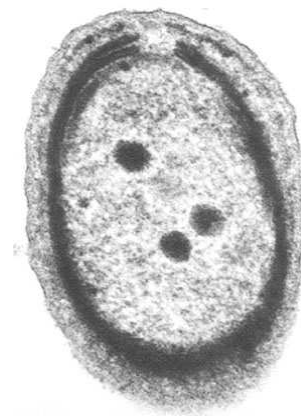
Grupo	Fuente de energía (reducido)	Producto final (oxidado)	Organismo
Bacterias del hidrógeno	H ₂	H ₂ O	<i>Alcaligenes,</i> <i>Pseudomonas</i>
Bacterias del nitrógeno*	NH ₃	NO ₂ ⁻	<i>Nitrosomonas</i>
Bacterias del nitrógeno*	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	<i>Nitrobacter</i>
Bacterias del azufre	H ₂ S o S ⁰	SO ₄ ⁼	<i>Thiobacillus,</i> <i>Sulfolobus</i>
Bacterias del hierro	Fe ²⁺	Fe ³⁺	<i>Gallionella,</i> <i>Thiobacillus</i>

*El proceso de nitrificación requiere de un consorcio de bacterias para convertir el NH₃ a NO₃.

Autótrofos

Organismos que utilizan el CO_2 como fuente de carbono. El CO_2 puede ser incorporado por diversas vías:

- Ciclo de Krebs reverso. Bacterias verdes del azufre (*Chlorobium*)
- Vía del Hidroxipropionato. Bacterias verdes (*Chloroflexus*)
- Vía Acetil CoA reductiva. Bacterias acetogénicas (*Clostridium thermoaceticum*, *Acetobacterium woodii*), metanogénicas (*Methanobacterium thermoautotrophicum*) y autótrofas sulfato reductoras (*Deulfobacterium autotrophicum*)
- Ciclo de Calvin. Bacterias púrpura, cianobacterias, algas, plantas verdes, muchas bacterias quimiolitótrofas y algunas arqueobacterias halófilas e hipertermófilas. La fijación es realizada por la enzima Ribulosa bifosfato carboxilasa (RubisCO) que forma acúmulos llamado carboxisomas.

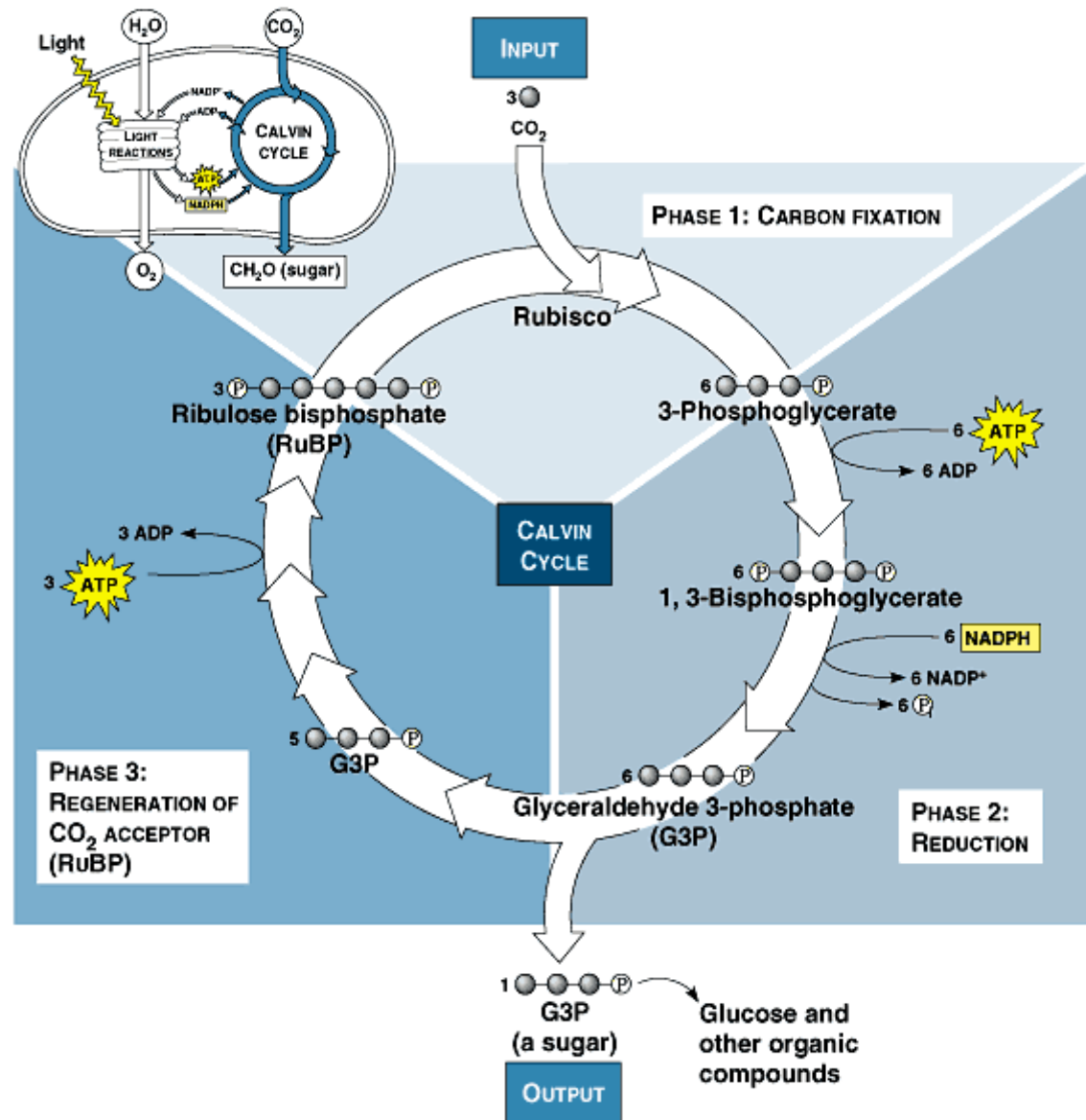


Carboxisomas en
Prochlorococcus marinus

Ciclo de Calvin-Benson

Consta de tres fases:

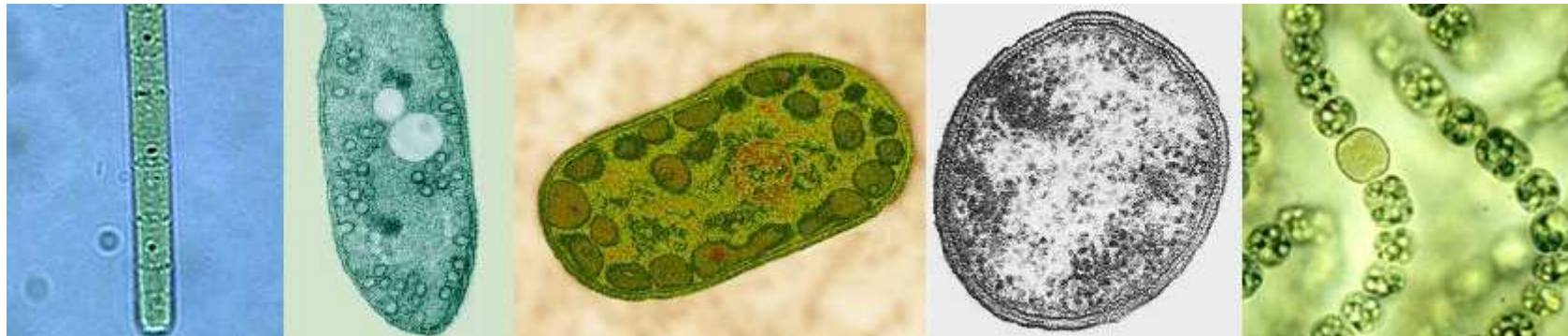
- Fijación por la enzima Rubisco.
- Reducción a Gliceraldehído 3-fosfato (formación de compuestos orgánicos).
- Regeneración de Ribulosa bifosfato, sustrato para la fijación.



Fotótrofos

Los organismos fotótrofos convierten la energía luminosa en energía química para formar ATP.

- Fotosíntesis oxigénica. Cianobacterias, algas y plantas
- Fotosíntesis anoxygenic. Bacterias púrpura, verdes y heliobacterias.
- Fotofosforilación no fotosintética (mediada por el pigmento bacteriorodopsina). Halobacterias (arquea halofílica)



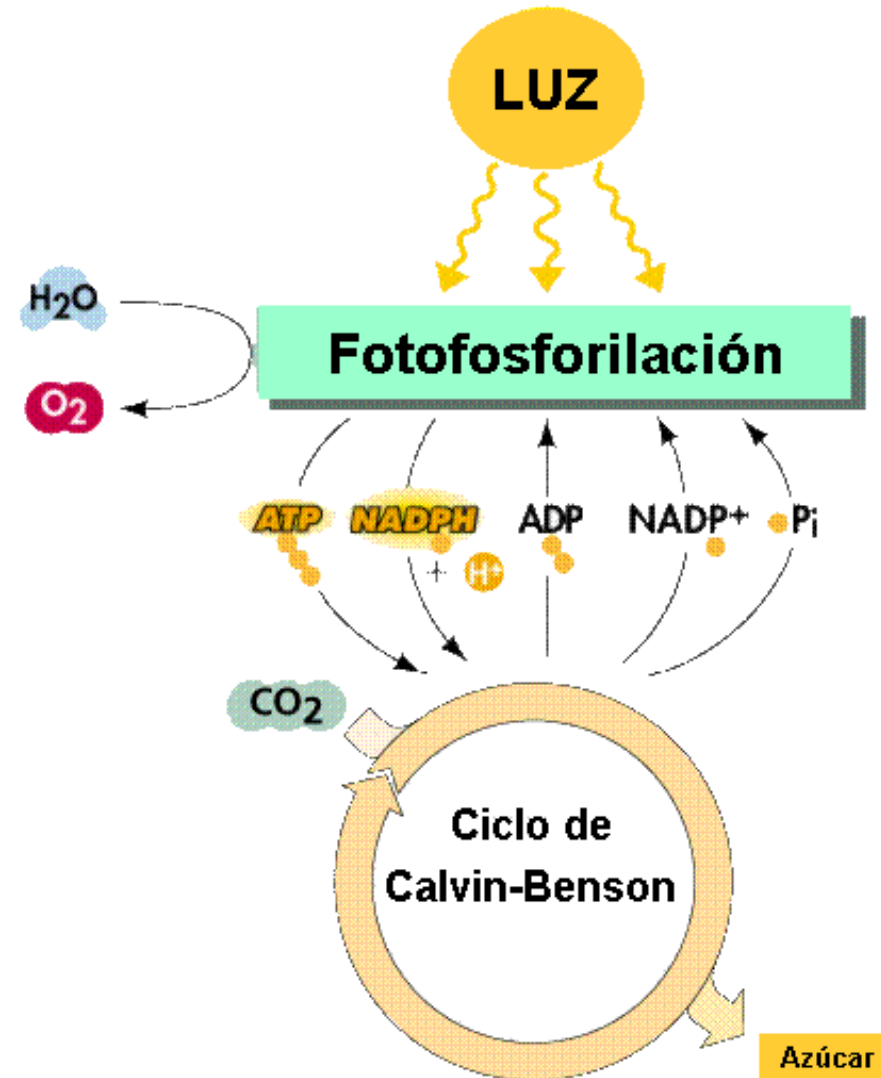
Chloroflexus (bacteria verde no del azufre, *Chloroflexaceae*), *Rhodospirillum* (bacteria púrpura, *Rhodospirillaceae*), *Chlorobium* (bacteria verde del azufre, *Chlorobiaceae*), *Heliobacterium* (Gram-positiva, *Heliobacteriaceae*), y *Nostoc* (cianobacteria, *Nostocaceae*).

Fotosíntesis

Es la conversión de energía luminosa en energía química que puede ser usada para la formación de material celular a partir de CO_2 .

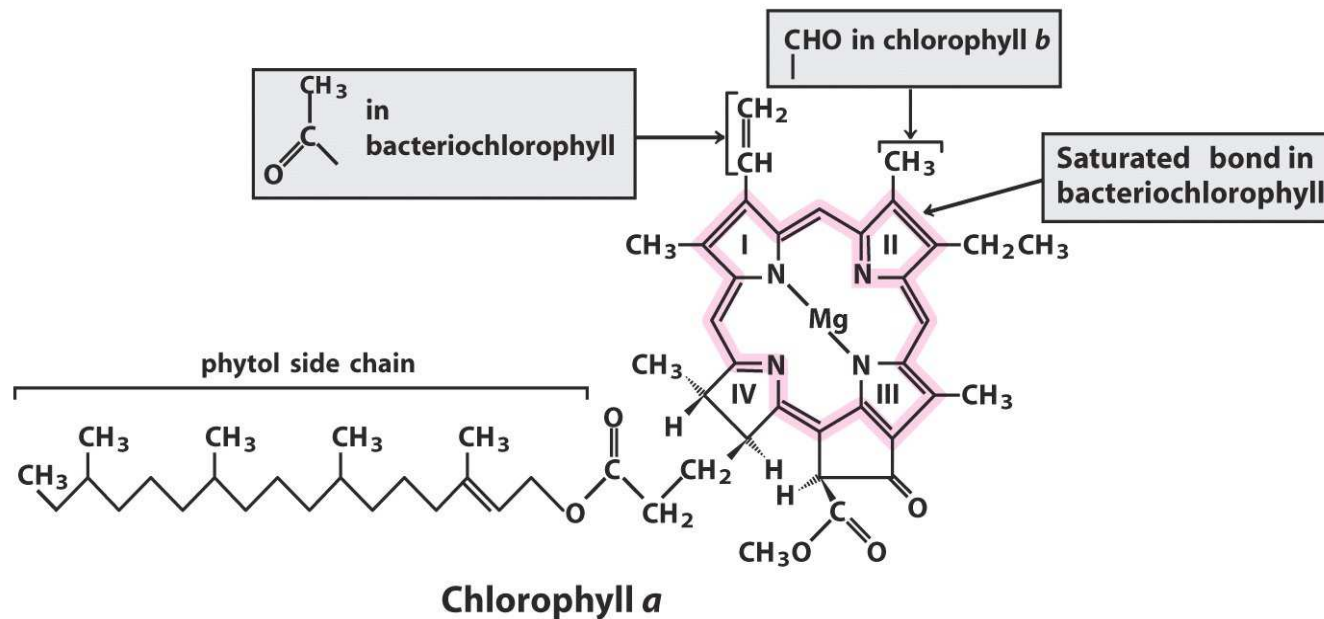
Es un metabolismo separado en dos componentes metabólicos:

- Catabólico (fase luminosa), la energía solar es transformada en energía química.
- Anabólico (fase oscura), involucra la fijación de CO_2 como fuente de carbono para el crecimiento celular.



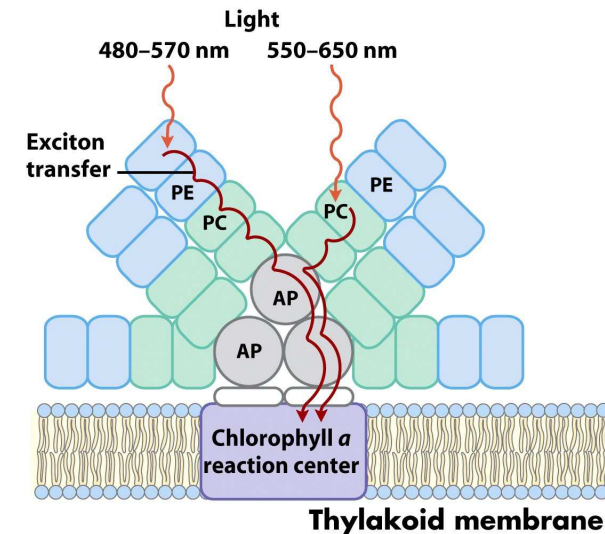
Pigmentos de la fotosíntesis

- Clorofila (fotosíntesis oxigénica)
- Bacterioclorofila (fotosíntesis anoxigénica)



Pigmentos de la fotosíntesis

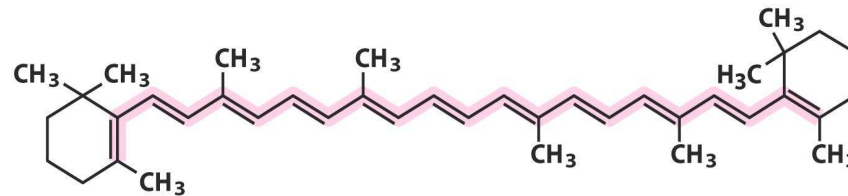
Ficoeritrobilina y la ficocianobilina como pigmentos capturadores de la luz. Las ficobilinas están unidas covalentemente a proteínas de unión específicas, formando las ficobiliproteínas, que se asocian en complejos ordenados llamados ficobilisomas. Estas son las principales estructuras de captación de luz en los microorganismos.



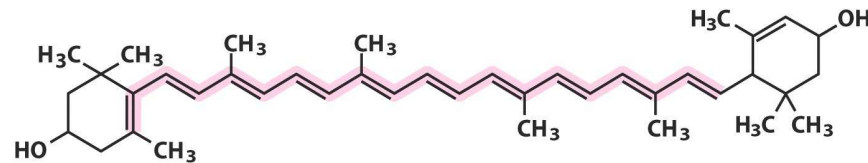
En estos ensamblajes los pigmentos de ficobilina se unen a proteínas específicas que forman pigmentos llamados ficoeritrina (PE), ficocianina (PC) y aloficocianina (AP). La energía de los fotones absorbidos por PE o PC es transmitida por AP a la clorofila *a* del centro de reacción mediante un proceso conocido como transferencia de excitones.

Pigmentos de la fotosíntesis

Pigmentos accesorios. Carotenoides: carotenos y xantofilas.

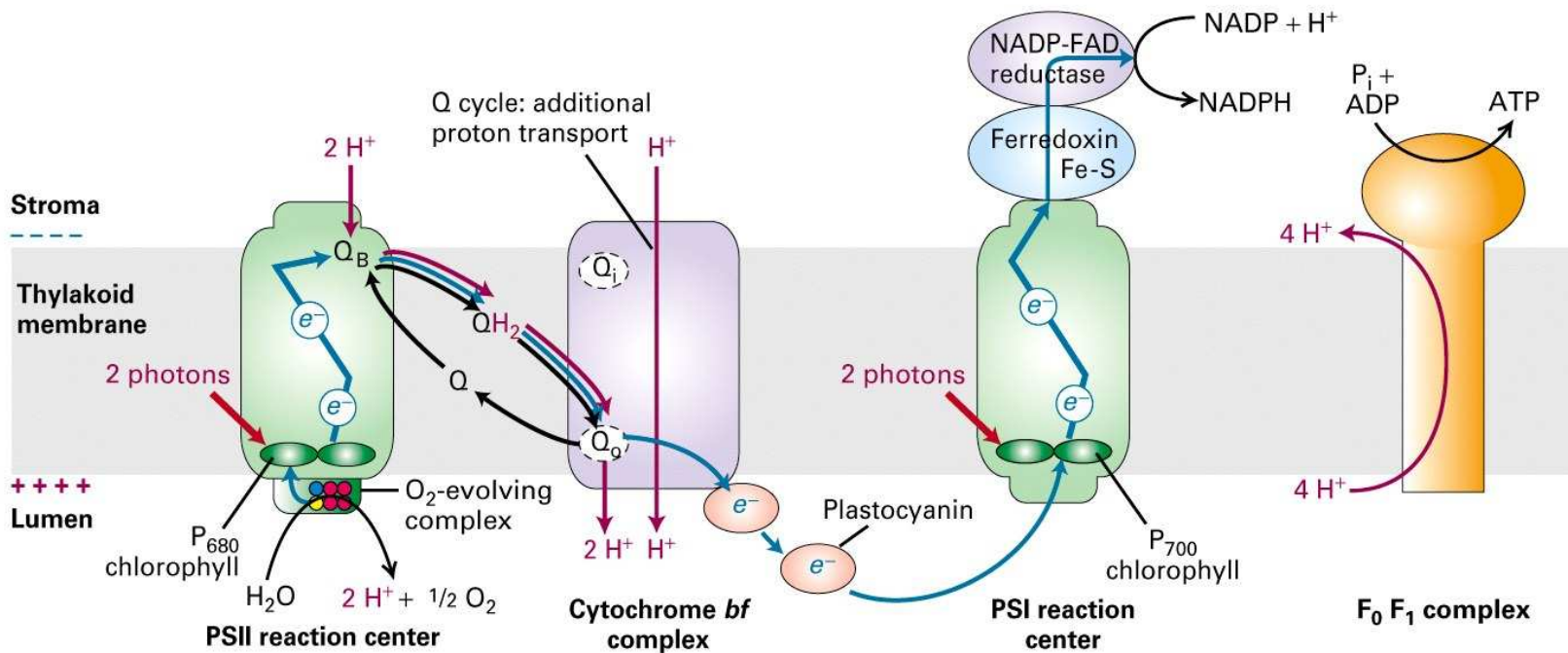


***β*-Carotene**



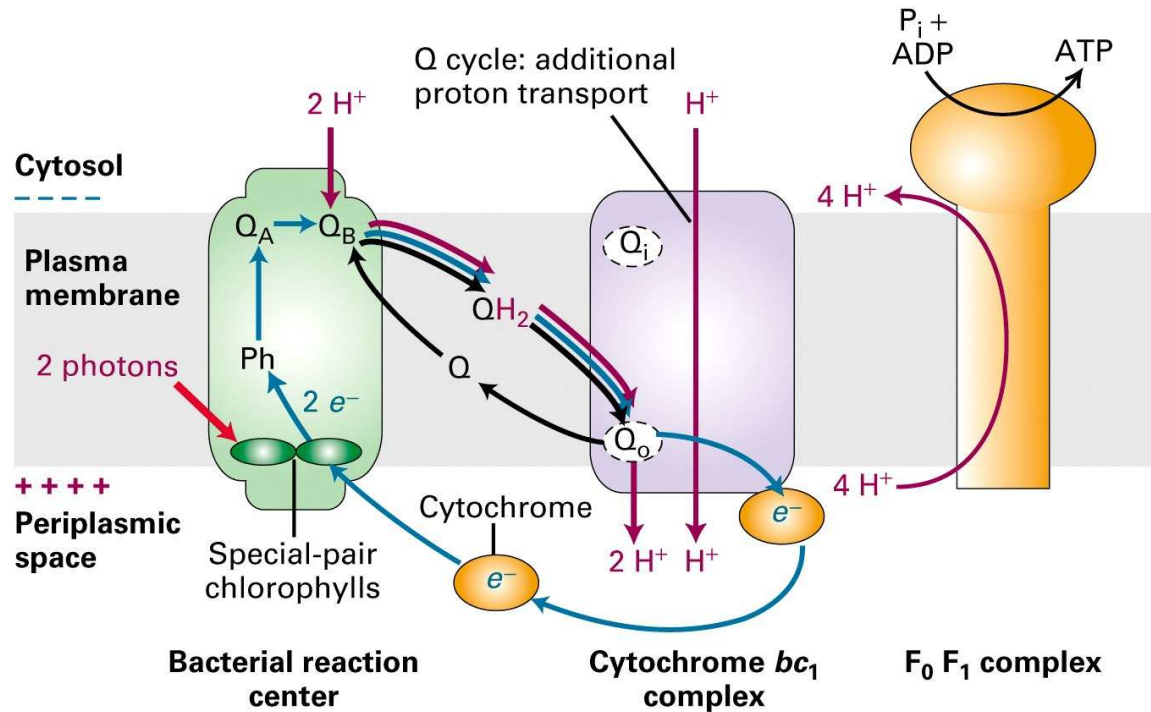
Lutein (xanthophyll)

Fotofosforilación acíclica



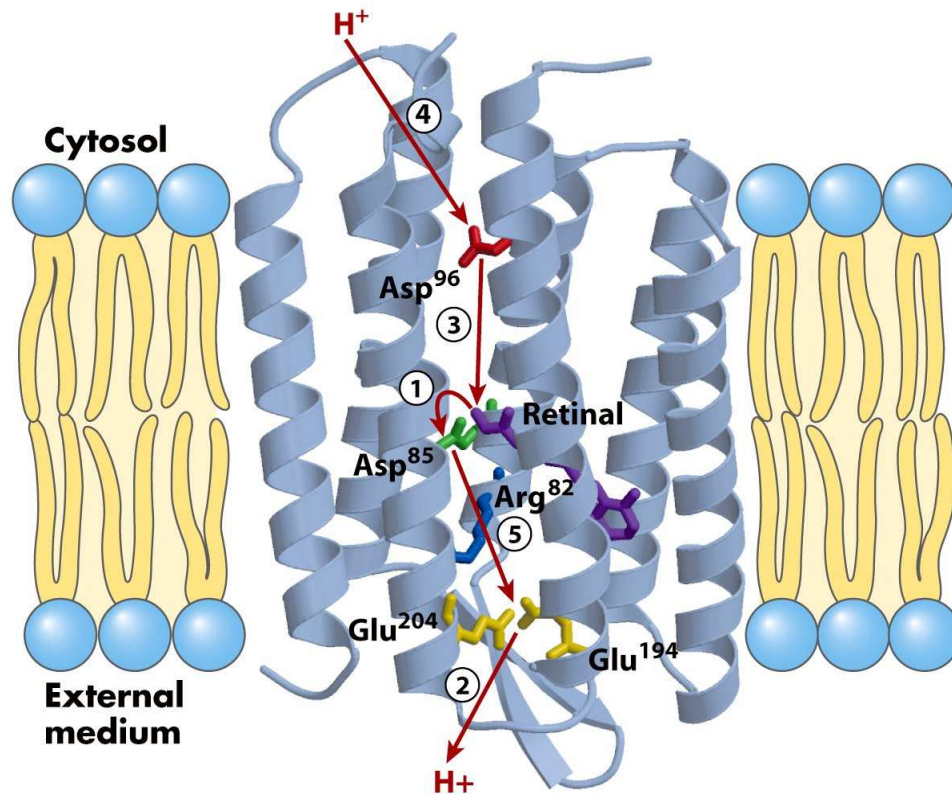
Ocurre en la fotosíntesis oxigénica. El donador de electrones es el agua y el aceptor final es una coenzima oxidada. Hay producción de oxígeno.

Fotofosforilación cíclica



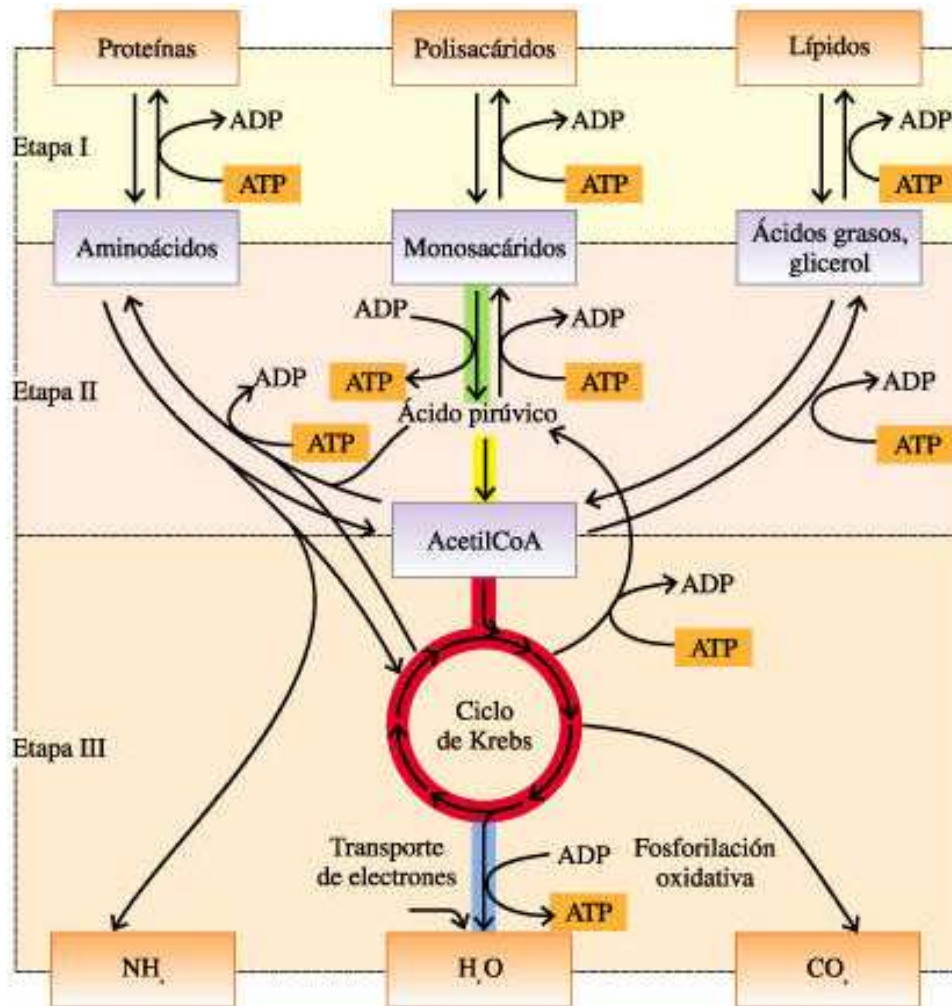
Ocurre en la fotosíntesis anoxigénica. Los donadores de electrones son principalmente: H_2S , S^0 , $\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$. Los electrones son devueltos a la clorofila por medio de transportadores (cadena reversa).

Fotofosforilación no fotosintética



La bacteriorrodopsina tiene siete hélices a que comprenden toda la sección de la membrana. El cromóforo retinal todo-trans (púrpura) esta unido covalentemente mediante una base de Schiff al grupo ϵ -amino de una Lys. Una serie de residuos Asp y Glu, y moléculas de agua asociadas aportan la vía transmembranal para los protones (flechas rojas).

Reacciones biosintéticas



Los intermediarios de las vías del metabolismo central son también intermediarios de las vías de degradación y biosíntesis de proteínas y lípidos.