

Fisiología y metabolismo bacteriano

Procariotas son mas diversos metabólicamente que los eucariotas

Poseen genes, rutas metabólicas y procesos únicos

Presentan mayor capacidad para vivir en ambientes extremos

Cumplen un rol clave en el reciclado de elementos en la biosfera

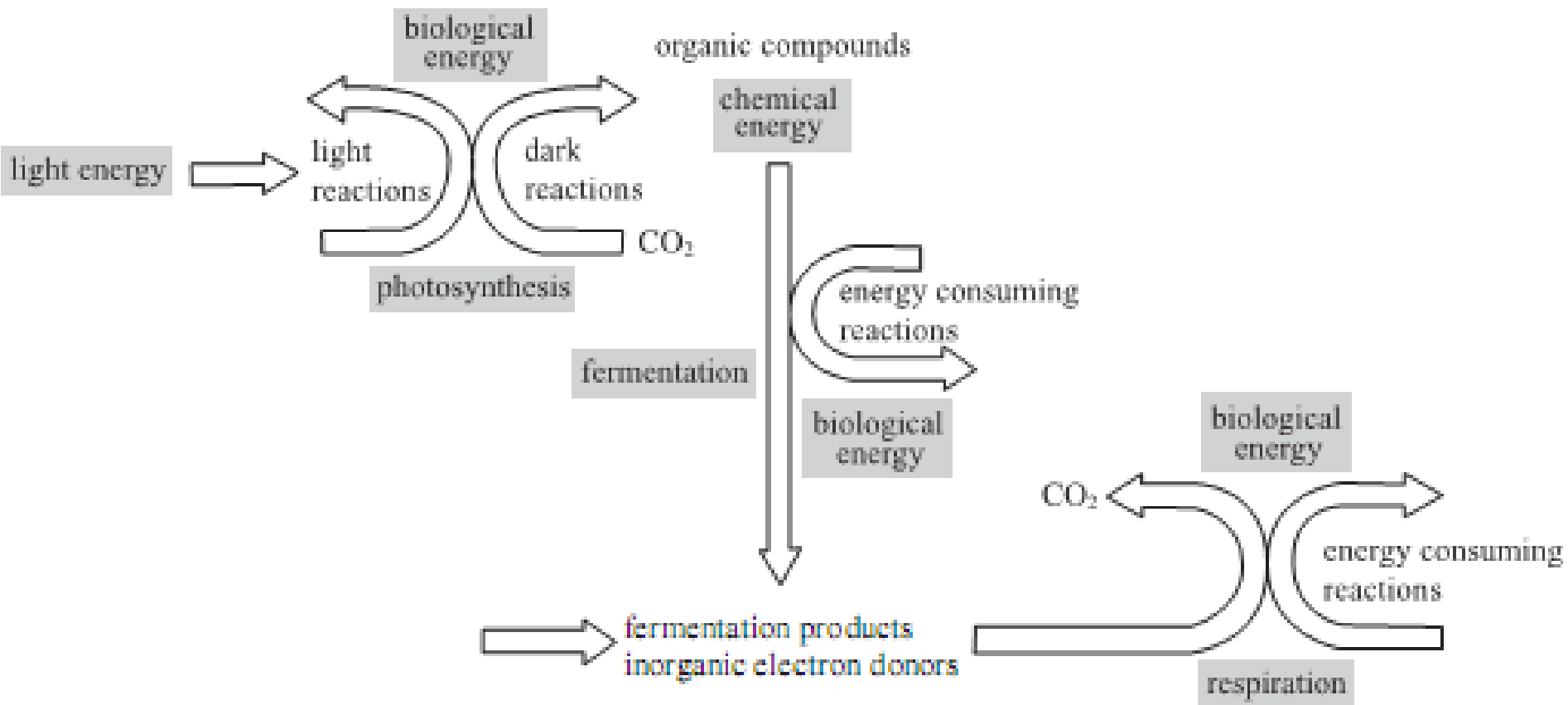
Poseen sistemas de transporte de solutos que permiten la toma de nutrientes del medioambiente

Poseen sistemas de secreción de proteínas generales y especializados (enzimas extracelulares/estructuras celulares)

Regulación de la expresión génica. Control metabólico a nivel génico y de actividad enzimática.

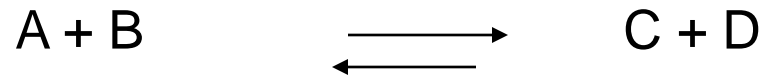
Estrategias de supervivencia en condiciones adversas.

Transducción de la energía en los procariotas



Metabolismo: conceptos básicos

Las reacciones químicas están asociadas con cambios de energía (requerida para o liberada durante la reacción).



Energía libre (G): Energía liberada disponible para hacer un “trabajo”.

ΔG° : Cambio de energía libre durante una reacción (medido en condiciones de pH 7, 25 C, 1 at, 1M de reactivos y productos).

Cálculo de $\Delta G^{0'}$

- A partir de energía de formación (ΔG_f^0) de los reactivos y productos (tablas).

G_f^0 : energía liberada o requerida durante la formación de una molécula a partir de sus elementos.

$$\Delta G^{0'} = G_f^0 (C + D) - G_f^0 (A + B)$$

- A partir de K_{eq} de la reacción.

$$K_{eq} = (CD)/(AB)$$

R, cte

T, temperatura (k)

$$\Delta G^{0'} = - 2.3 RT \log K_{eq}$$

$\Delta G^{0'}$ (-) : **Reacción exergónica**. Ocurre espontáneamente. La reacción procede de izquierda a derecha liberando energía libre que la célula conserva como ATP.

$\Delta G^{0'}$ (+) : **Reacción endergónica**. La reacción requiere energía libre para proceder.

$\Delta G^{0'}$ vs ΔG

Las concentraciones reales de reactivos y productos en la naturaleza (raramente 1 M), pueden alterar la bioenergética de las reacciones.

ΔG : cambio de energía libre que ocurre en las condiciones reales en que un microorganismo crece.

Para las estimaciones bioenergéticas lo más relevante es usar **ΔG** .

$$\Delta G = \Delta G^{0'} + 2.3 RT \log K_{eq}$$

Reacciones de óxido-reducción

Las células conservan energía a partir de reacciones de óxido-reducción.

Oxidación: pérdida de electrones

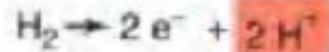
Reducción: ganancia de electrones

Pueden involucrar electrones o átomos de H.

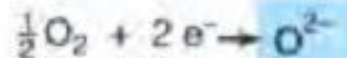
Las reacciones redox ocurren en pares (una sustancia se oxida y otra se reduce)

Dador de electrones: sustancia oxidada

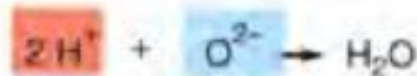
Aceptor de electrones: sustancia reducida



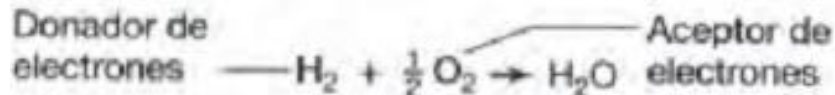
Mitad de la reacción donadora de electrones



Mitad de la reacción aceptores de e⁻.



Formación de agua



Reacción neta

Potencial de reducción (E)

Mide afinidad de un compuesto químico por los electrones

Facilidad con la cual un átomo o molécula gana un electrón

E^0 (V): Medido en condiciones std (25 C, 1 at, reactivos 1 M) con respecto a la reacción de referencia:



E^0 (+): mayor afinidad por electrones que H^+

E^0 (-): menor afinidad por electrones H^+

Los electrones se mueven espontáneamente hacia at/mol. con E^0 más +

Relación entre $\Delta G^{0'}$ y $\Delta E^{0'}$

$$\Delta E^{0'} = E^{0'}_{\text{aceptor}} - E^{0'}_{\text{dador}}$$

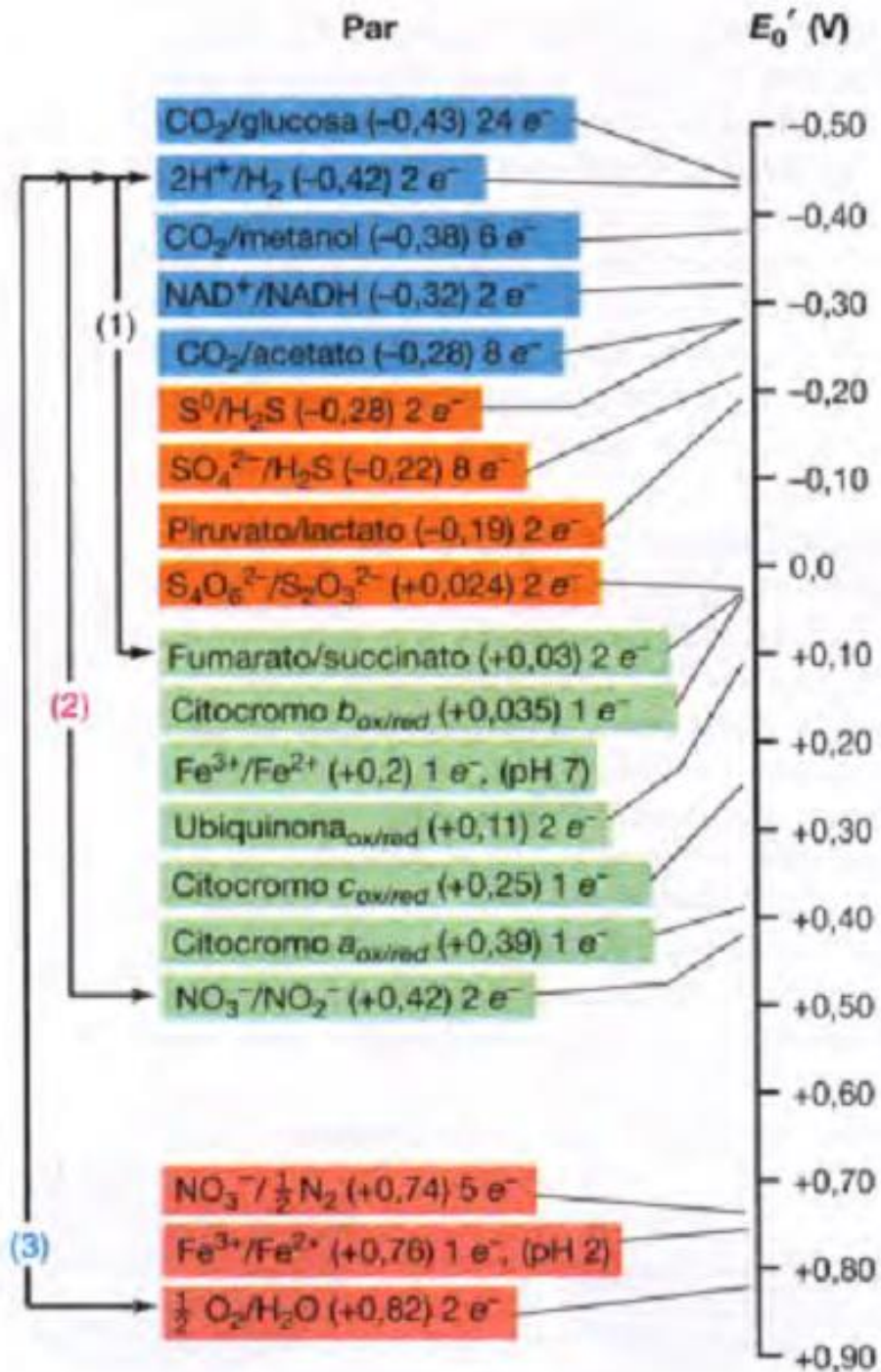
n= número de electrones transferidos en la reacción

$$\Delta G^{0'} = - n \times F \times \Delta E^{0'}$$

F = cte Faraday

En metabolismo, **dador de electrones** se llama la **fuentes de energía** (la energía se libera cuando éste se oxida).

La liberación de energía no puede proceder si no hay un **aceptor adecuado**.



Cuanto mayor es la diferencia entre los E_0' de aceptor y dador, mayor es la energía liberada.

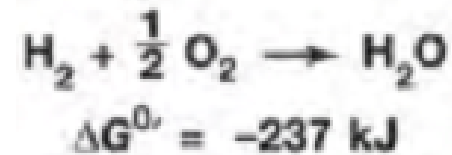
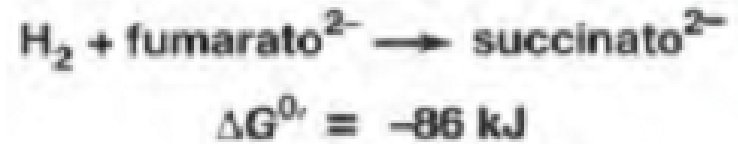


TABLE 13-7 Standard Reduction Potentials of Some Biologically Important Half-Reactions, at pH 7.0 and 25 °C (298 K)

<i>Half-reaction</i>	<i>E'° (V)</i>
$\frac{1}{2}\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}$	0.816
$\text{Fe}^{3+} + e^- \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$	0.771
$\text{NO}_3^- + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{NO}_2^- + \text{H}_2\text{O}$	0.421
Cytochrome <i>f</i> (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome <i>f</i> (Fe^{2+})	0.365
$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-}$ (ferricyanide) + $e^- \longrightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$	0.36
Cytochrome <i>a</i> ₃ (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome <i>a</i> ₃ (Fe^{2+})	0.35
$\text{O}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{O}_2$	0.295
Cytochrome <i>a</i> (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome <i>a</i> (Fe^{2+})	0.29
Cytochrome <i>c</i> (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome <i>c</i> (Fe^{2+})	0.254
Cytochrome <i>c</i> ₁ (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome <i>c</i> ₁ (Fe^{2+})	0.22
Cytochrome <i>b</i> (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ cytochrome <i>b</i> (Fe^{2+})	0.077
Ubiquinone + $2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow$ ubiquinol + H_2	0.045
$\text{Fumarate}^{2-} + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{succinate}^{2-}$	0.031
$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2$ (at standard conditions, pH 0)	0.000
Crotonyl-CoA + $2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow$ butyryl-CoA	-0.015
Oxaloacetate ²⁻ + $2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow$ malate ²⁻	-0.166
Pyruvate ⁻ + $2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow$ lactate ⁻	-0.185
Acetaldehyde + $2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow$ ethanol	-0.197
$\text{FAD} + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{FADH}_2$	-0.219*
Glutathione + $2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow$ 2 reduced glutathione	-0.23
$\text{S} + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2\text{S}$	-0.243
Lipoic acid + $2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow$ dihydrolipoic acid	-0.29
$\text{NAD}^+ + \text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{NADH}$	-0.320
$\text{NADP}^+ + \text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{NADPH}$	-0.324
Acetoacetate + $2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \beta$ -hydroxybutyrate	-0.346
α -Ketoglutarate + $\text{CO}_2 + 2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow$ isocitrate	-0.38
$2\text{H}^+ + 2e^- \longrightarrow \text{H}_2$ (at pH 7)	-0.414
Ferredoxin (Fe^{3+}) + $e^- \longrightarrow$ ferredoxin (Fe^{2+})	-0.432

Transportadores de electrones

Transportadores de electrones:

Compuestos intermediarios entre el dador primario de electrones (ej. Glu) y el aceptor final (ej. O₂).

Hay dos tipos:

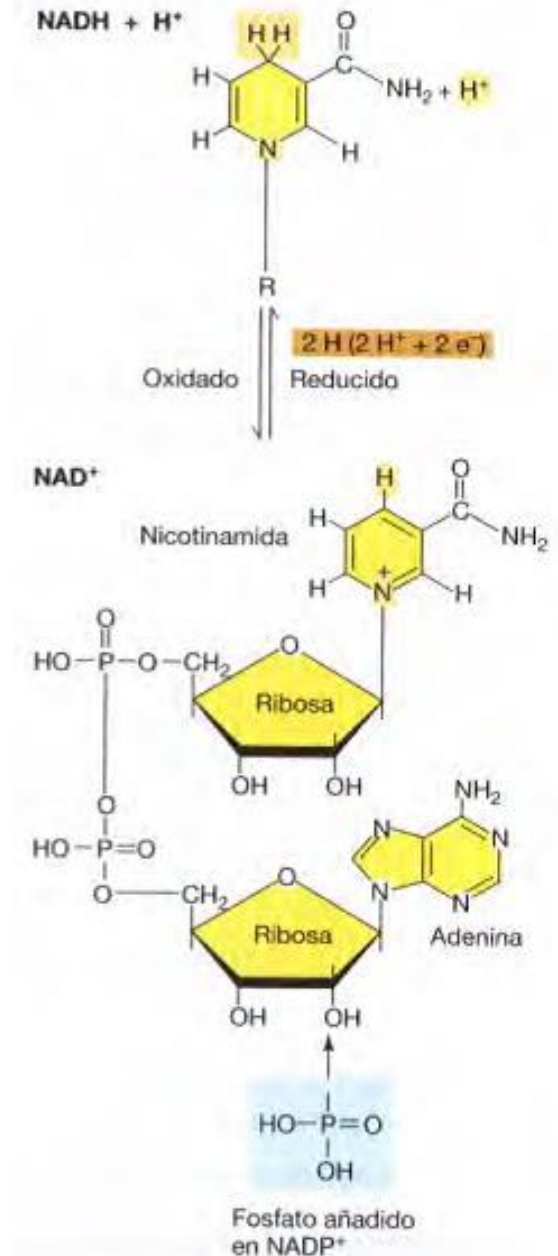
- **Difusibles** (coenzimas): NAD⁺, NADP⁺

- **Asociados a la membrana:**

Quinonas, citocromos, flavoproteínas, Fe-S proteínas.

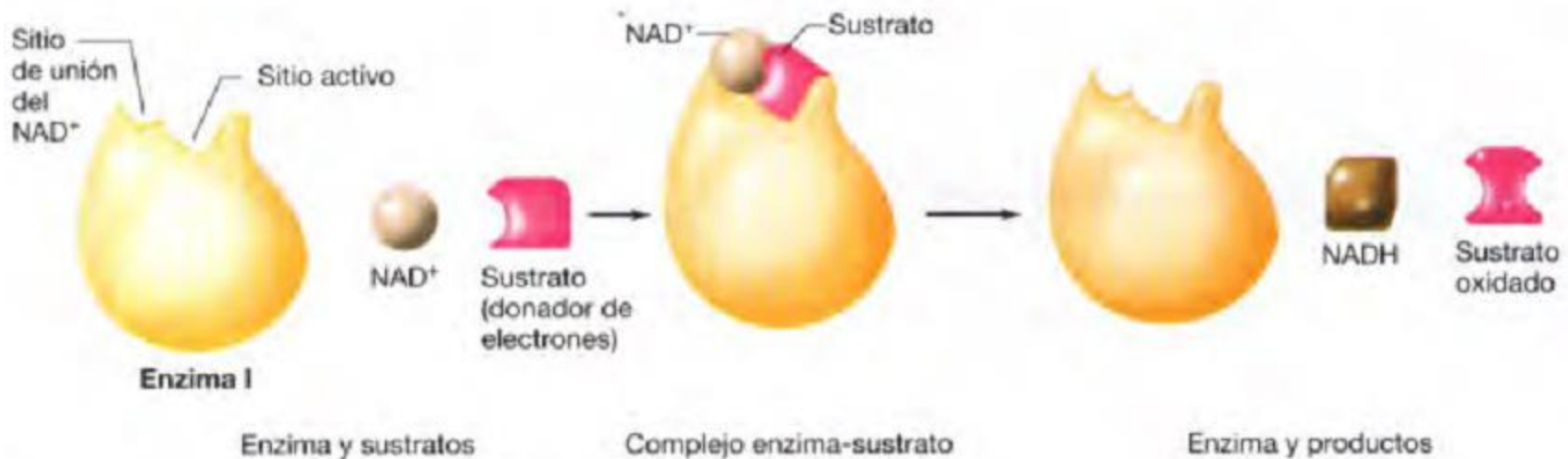
NAD⁺ / NADH se usan en reacciones catabólicas

NADP⁺ / NADPH se usan en reacciones anabólicas

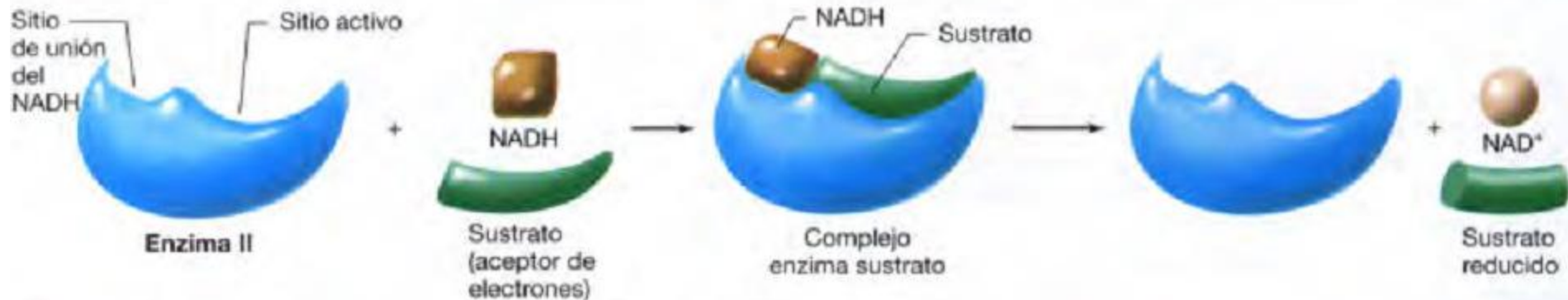


NAD⁺ y NADH se reciclan, por lo tanto, se necesitan en pequeñas cantidades

Dos reacciones redox conectadas por la misma coenzima



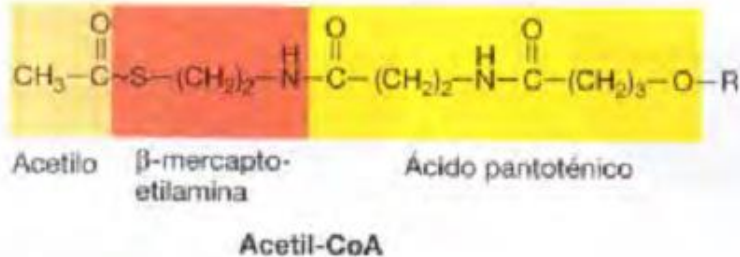
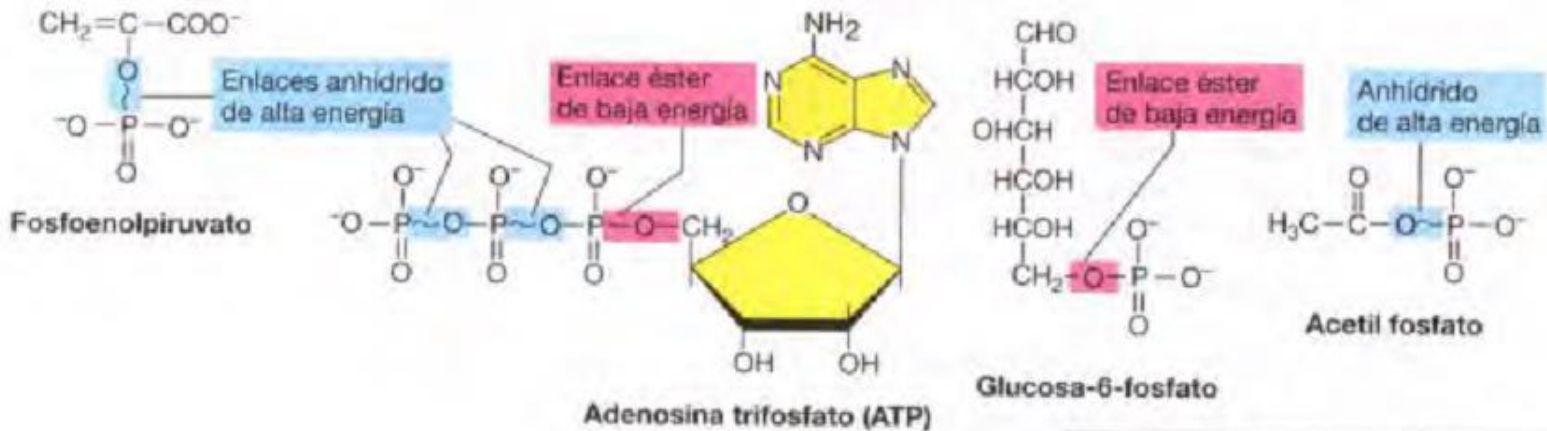
Reacción 1. La enzima I reacciona con el sustrato (donador de electrones) y con la forma oxidada de la coenzima NAD⁺.



Reacción 2. La enzima II reacciona con el sustrato (aceptor de electrones) y la forma reducida de la coenzima NADH.

Almacenamiento de la energía

La energía liberada en las reacciones redox se debe conservar en las células para conducir las funciones celulares que requieren energía (**acoplamiento de reacciones exergónicas y endergónicas**).



Compuesto	G ⁰ kJ/mol
Alta energía	
Fosfoenolpiruvato	-51,6
1,3-Difosfoglicerato	-52,0
Acetil fosfato	-44,8
ATP	-31,8
ADP	-31,8
Baja energía	
AMP	-14,2
Glucosa-6-fosfato	-13,8

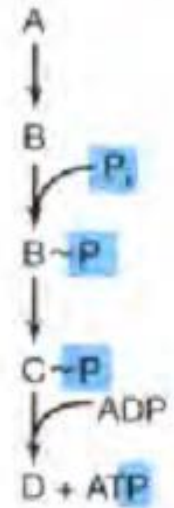
ATP es el compuesto de reserva de energía más importante de la célula. Es una mol. dinámica.

A largo plazo, los microorganismos utilizan polímeros insolubles como reserva de energía (polifosfatos, Polihidroxi alcanosatos -PHA- y glucógeno).

Visión general del catabolismo

Conservación de la energía mediante dos procesos :

- **Fermentación:** reacciones redox en ausencia de aceptor exógeno
- **Respiración:** reacciones redox en presencia de aceptor exógeno de electrones (O_2 u otro)



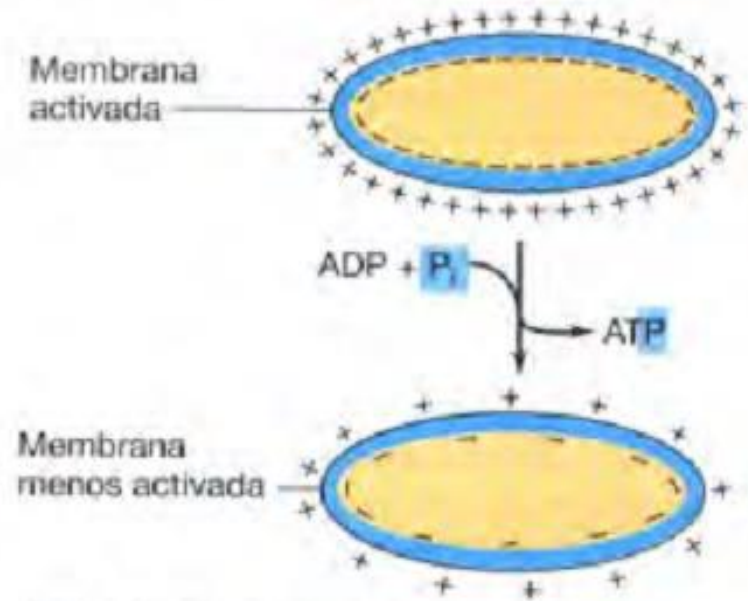
Mecanismos de síntesis de ATP:

- **Fosforilación a nivel de sustrato :**

ATP sintetizado directamente a partir de un compuesto intermediario rico en energía durante el catabolismo. **Fermentación.**

- **Fosforilación oxidativa y fotofosforilación:** ATP se produce a expensas de FPM (fuerza protón motiva). **Respiración.**

(a) Fosforilación a nivel del sustrato



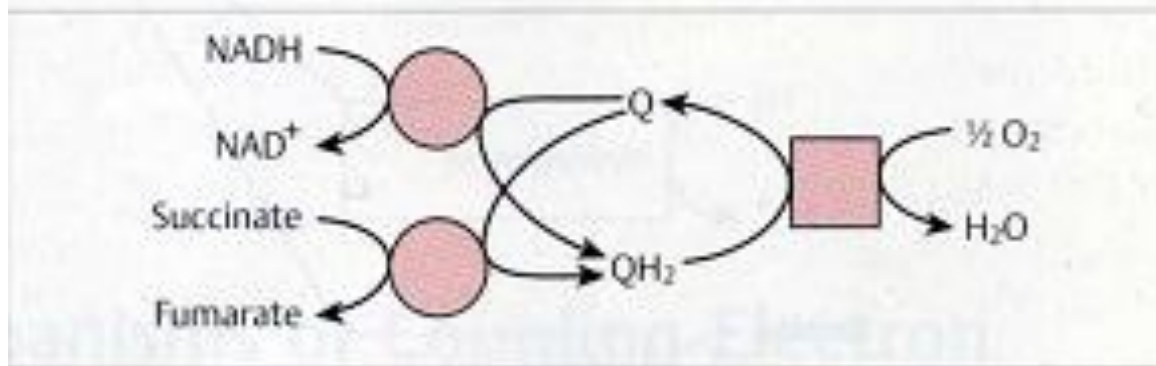
(b) Fosforilación oxidativa

Transporte de electrones y FPM

Las cadenas de transporte de electrones están compuestas por dos tipos de enzimas asociadas a la membrana:

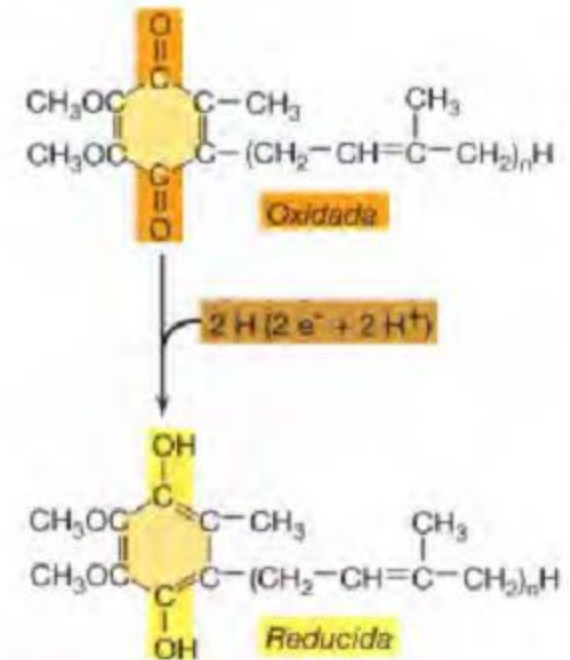
- **Deshidrogenasas**
- **Reductasas** (óxido-reductasas)

Están topológicamente separadas, conectadas por quinonas (Q) liposolubles



Composición de la cadena de transporte de electrones de *E. coli* creciendo aeróbicamente

Formas oxidada y reducida de la coenzima Q (quinona)



Existen diferentes tipos de cadenas de transporte de electrones de diferente composición dependiendo de las condiciones de crecimiento y microorganismo

Rol del ATP y PMF en procesos de transducción de energía

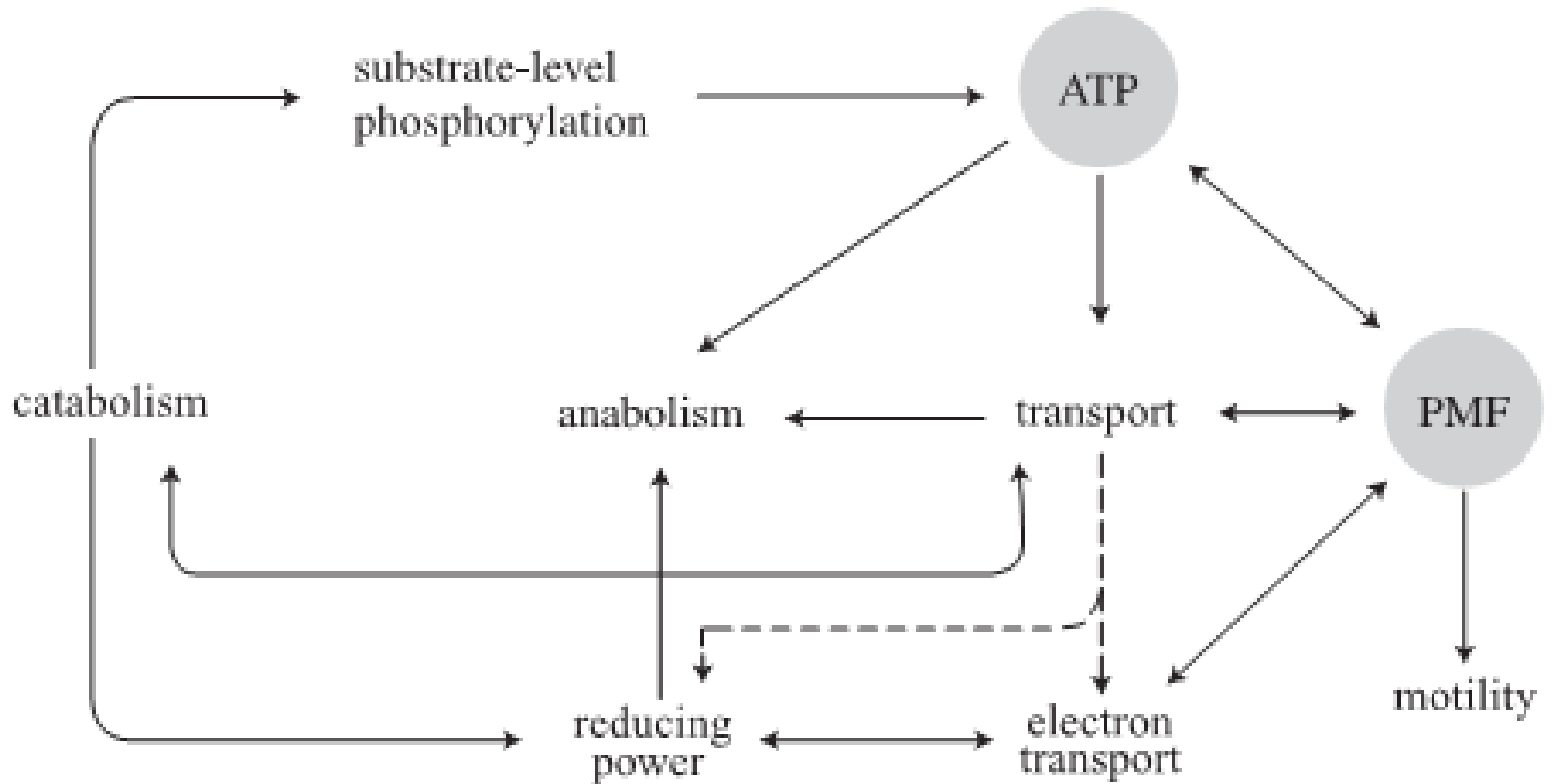
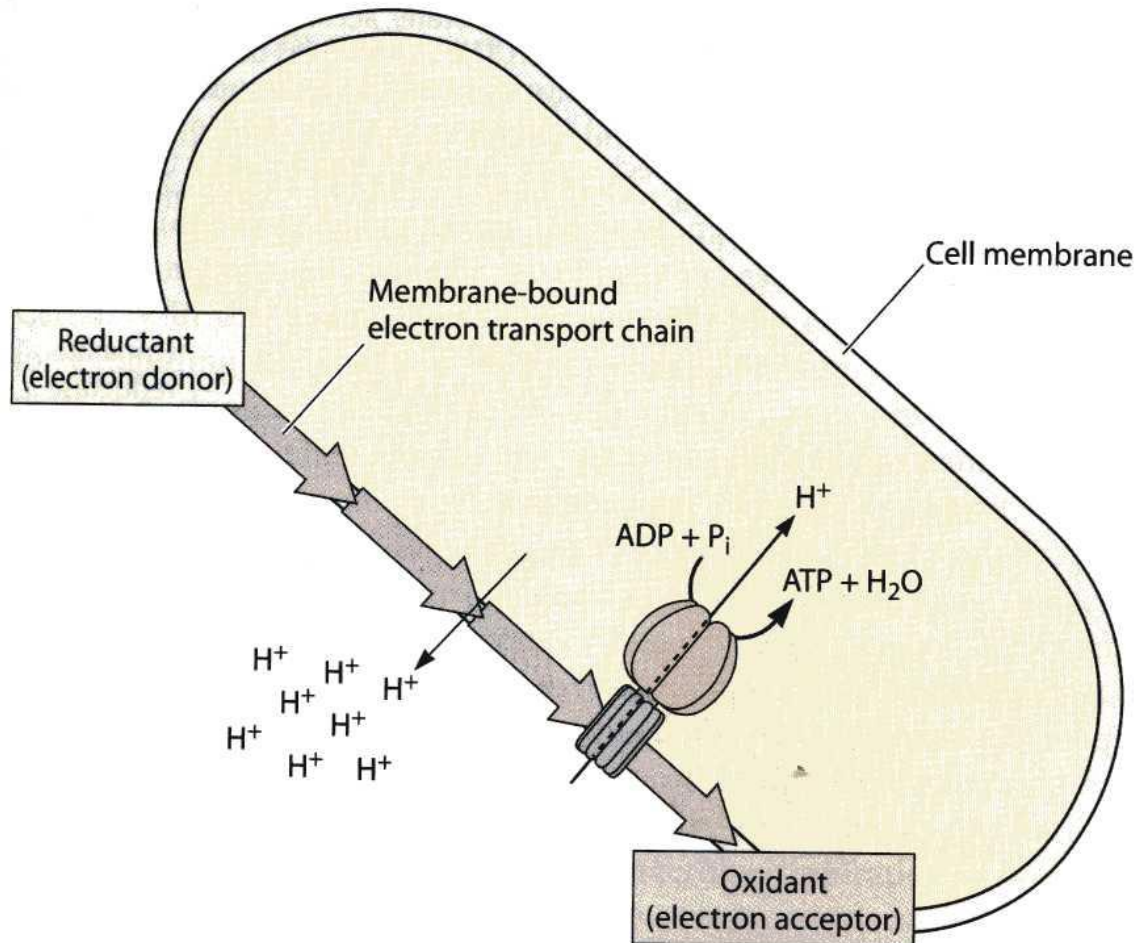
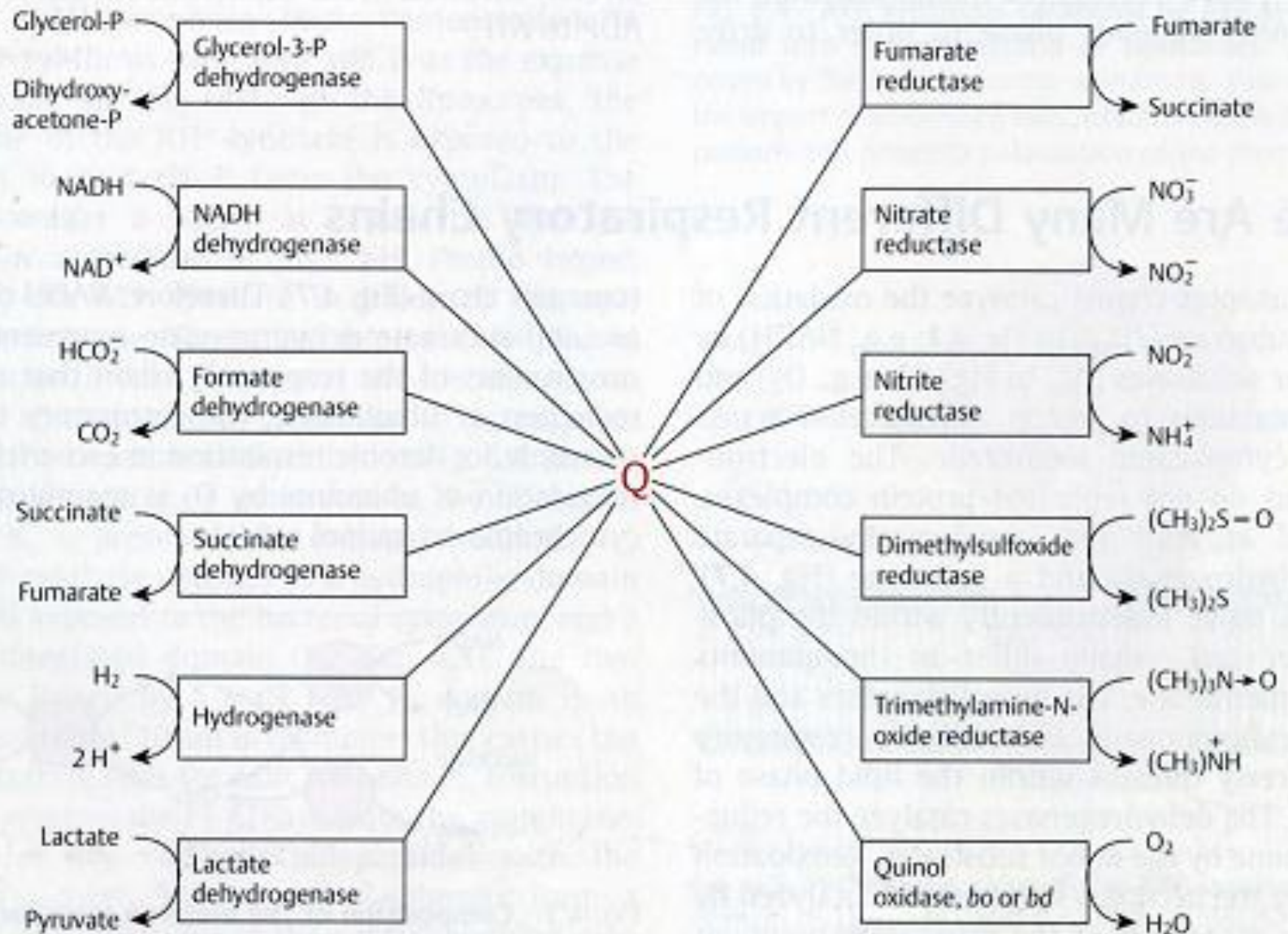


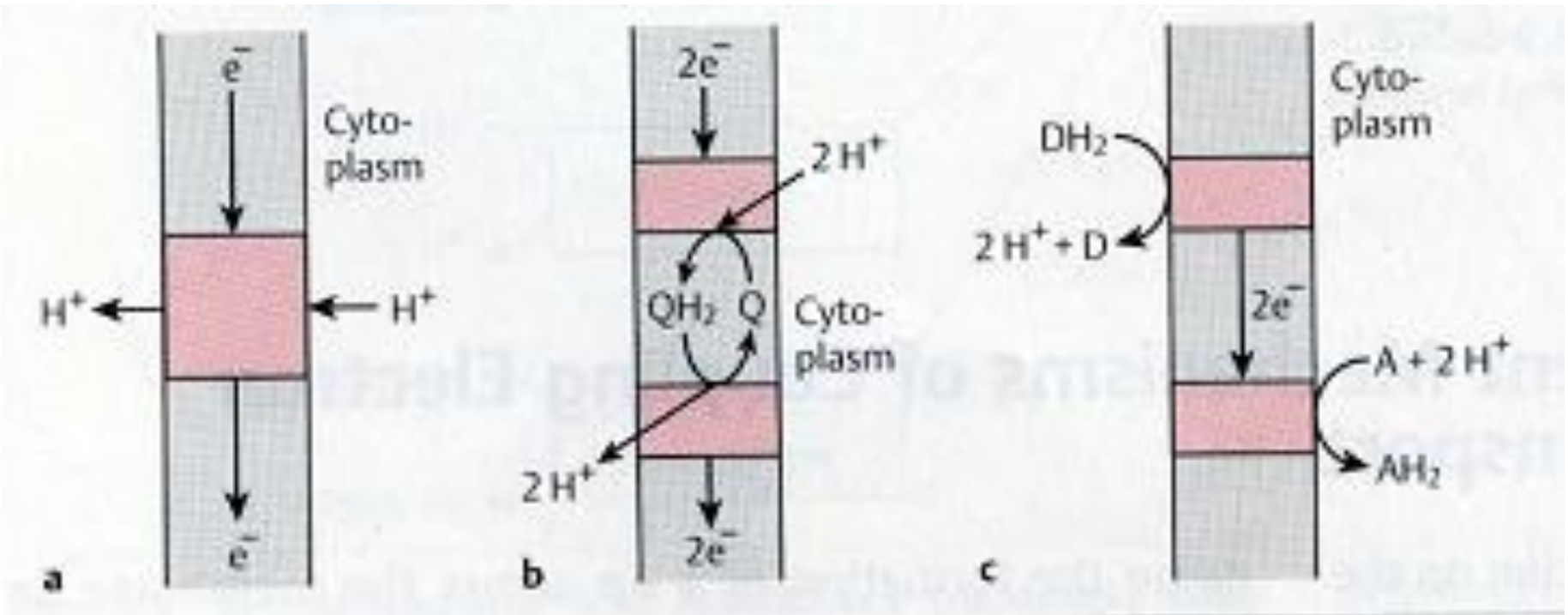
Figure 6.6 Overview of electron transport system in respiration. Electrons removed from substrates (reductants) travel down a redox gradient from carrier to carrier in a membrane, forming a proton (H^+) gradient, which can be used to form ATP from ADP.



Deshidrogenasas y reductasas que podrían ser componentes de la cadena de T de e de *E. coli* y otras bacterias

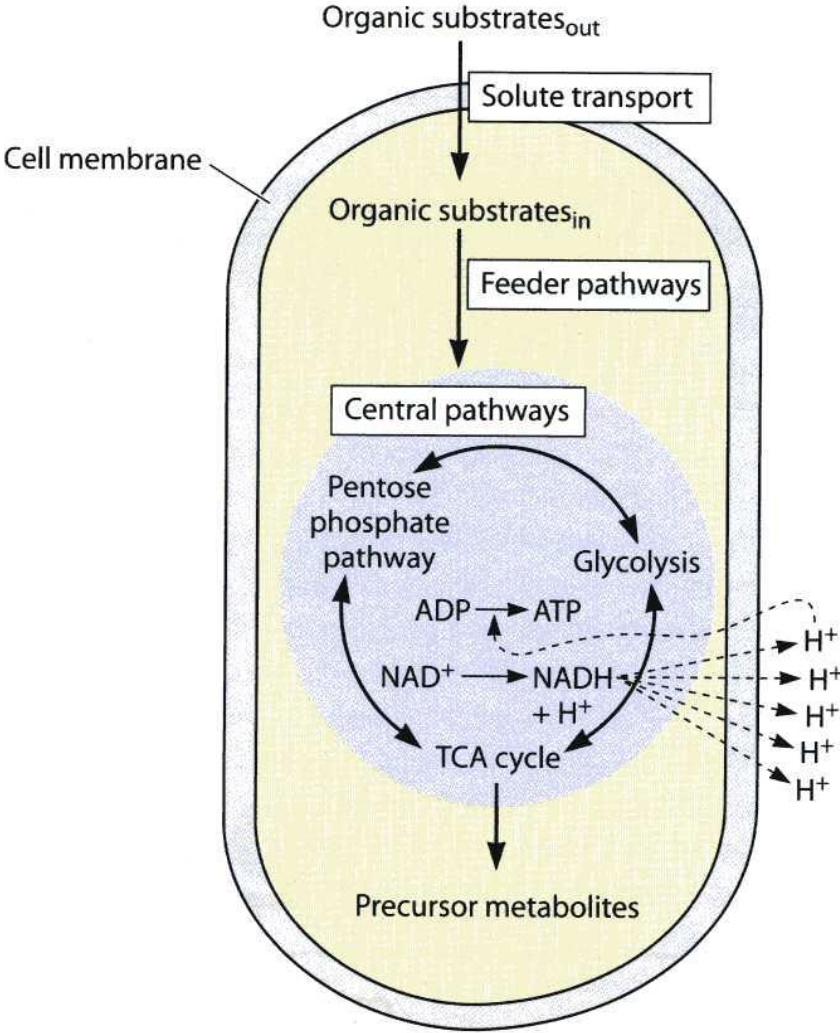


Existen diferentes mecanismos para acoplar el T de e al transporte de H⁺ (generación de Δp)



- Mecanismo mediado por bombas (algunas NADH deshidrogenasas y cit. Oxidasas)
- Reacción redox de la Q
- Δp se genera sin traslocación de H^+

Procesos de obtención de energía en microorganismos heterótrofos



Rutas degradativas presentes en procariotas

Metabolismo central:

- Ruta Embden-Meyerhoff-Parnas (EMP). Glicólisis.
- **Ruta Entner- Doudorof (ED). Alternativa de glicólisis.** Característica de *Pseudomonas*
- Ciclo del Acido tricarboxílico o Krebs (TCA)
- Ruta de la Pentosa fosfato (PP)

Reacciones anapleróticas:

Linker (ej. reacción PDH)

Baypass (ej. **ciclo glioxilato**)

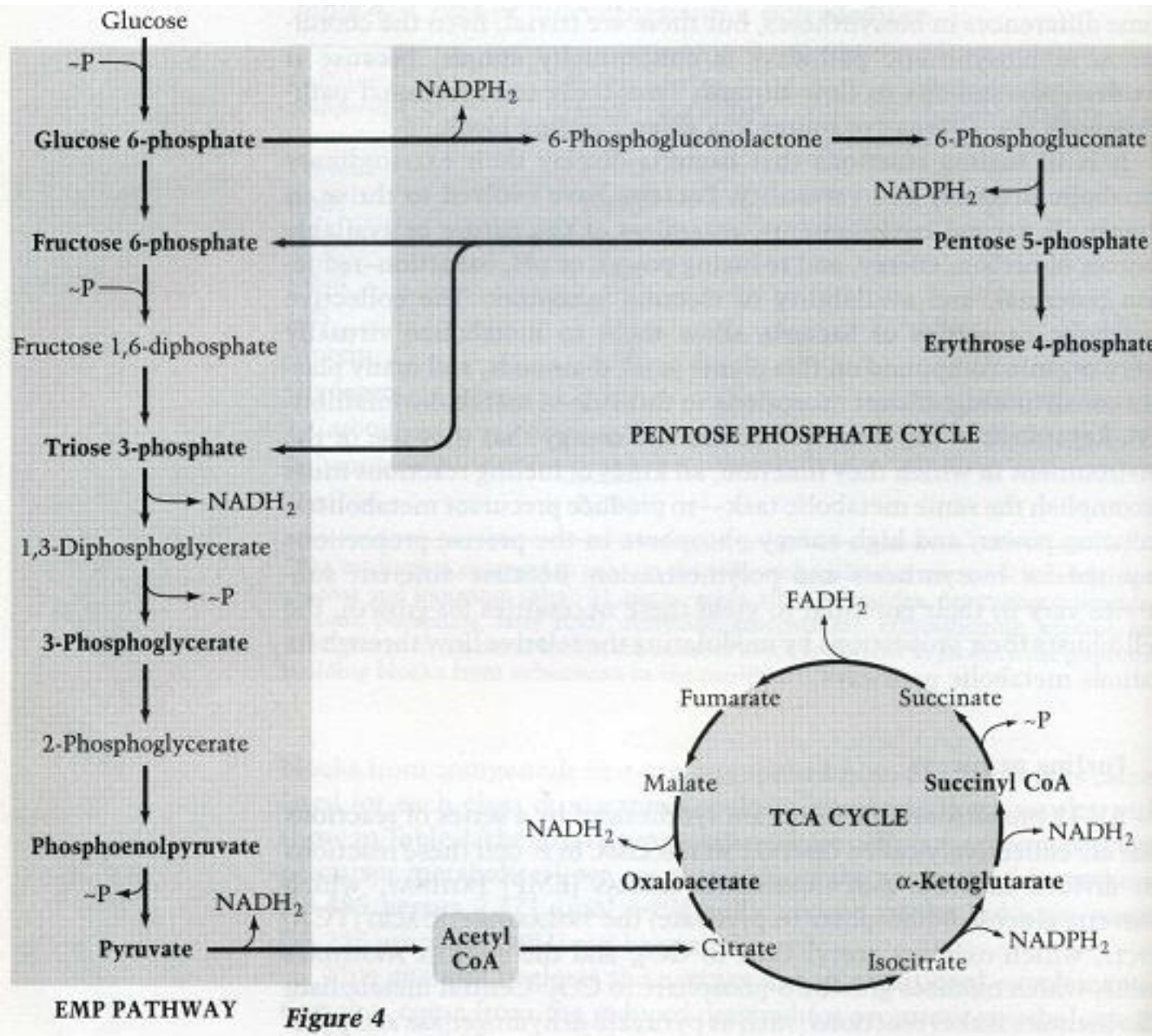
Flujo reverso (ej **ciclo reverso del TCA para fijar CO₂ en anaerobios**)

Carboxilación de PEP o Piruvato para formar oxalacetato (reposición)

Rutas perisféricas:

Utilización de sustratos que no son intermediarios en las vías centrales. Ej. Lactosa.

Rutas del Metabolismo central en *E. coli*



EMP PATHWAY

Figure 4

Reacciones químicas que constituyen el metabolismo celular

