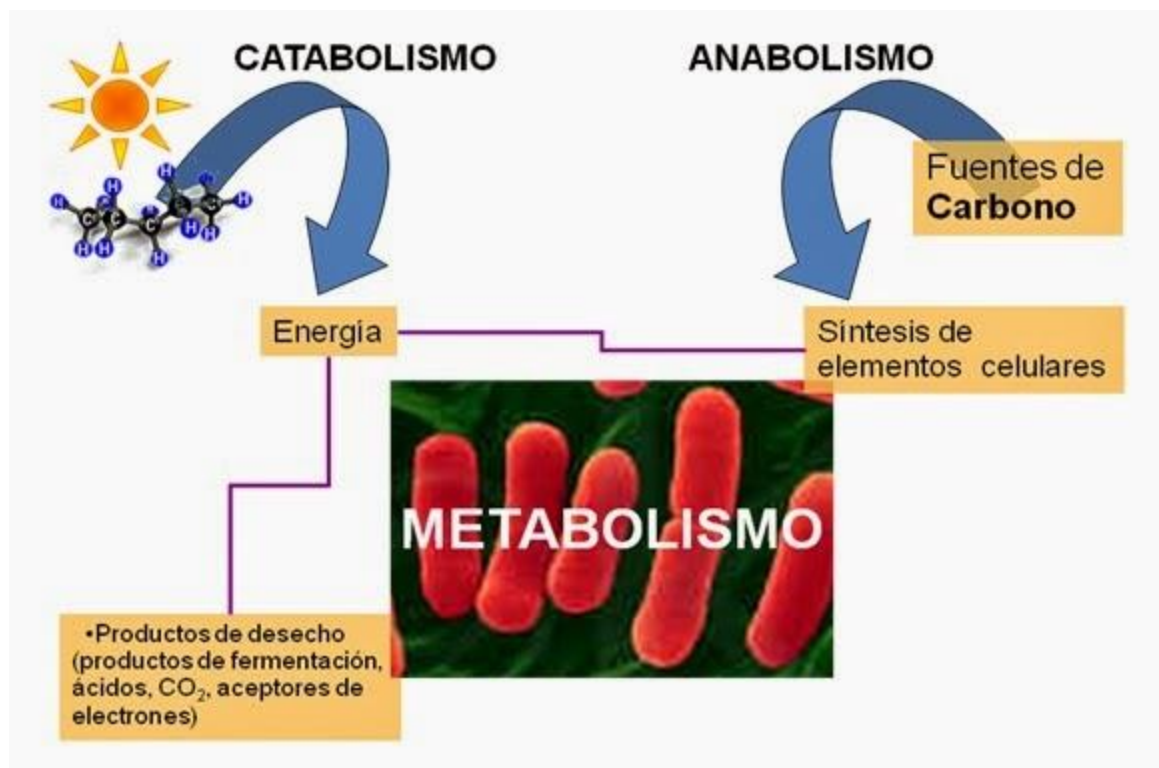


Fisiología y Metabolismo Bacteriano



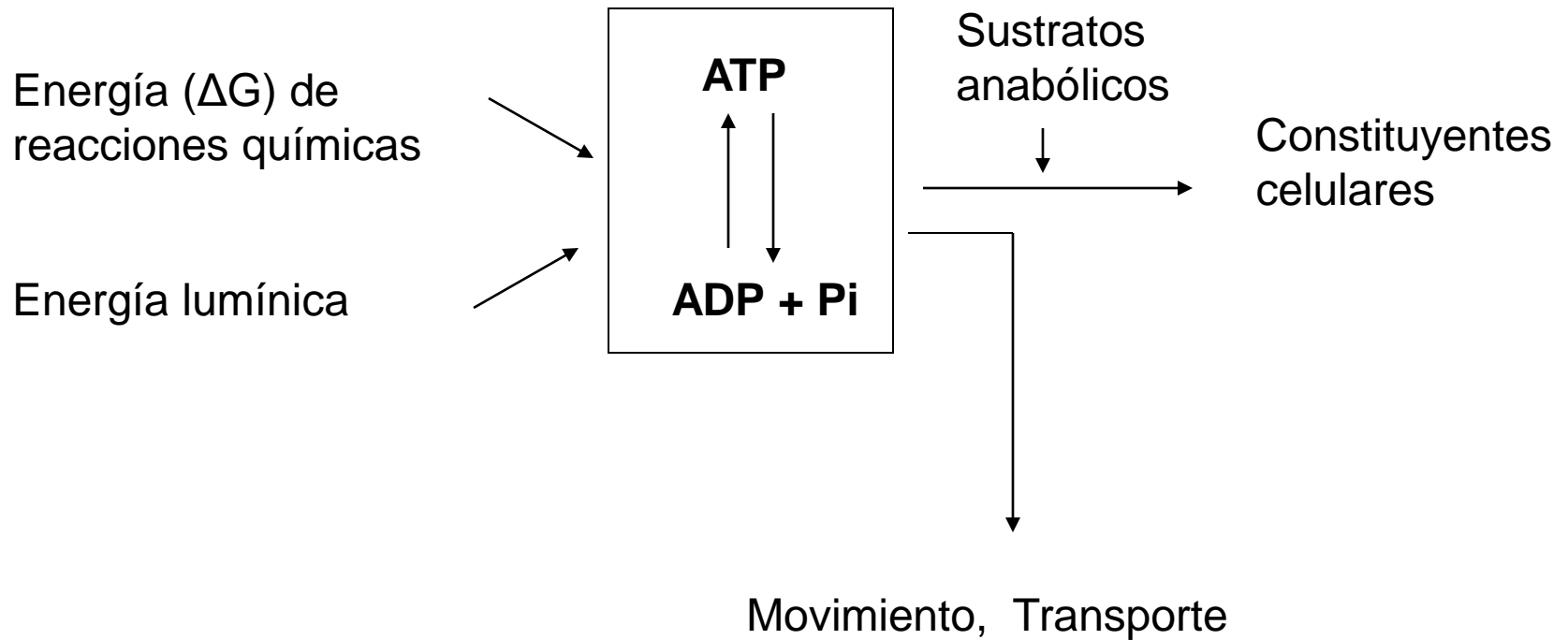
Generalidades

- ✓ Los procariotas poseen **rutas metabólicas más diversas** que los organismos eucariotas (algunas únicas)
- ✓ Mayor capacidad para vivir en ambientes extremos
- ✓ Rol clave en el reciclado de los elementos en la biosfera
- ✓ Sistemas de transporte de solutos para la adquisición de nutrientes del medioambiente
- ✓ Secreción de proteínas mediante sistemas generales y especializados (producción enzimas /construcción de envoltura y apéndices extracelulares)
- ✓ Regulación de la expresión génica. Control metabólico a nivel génico y de actividad enzimática
- ✓ Estrategias de supervivencia en condiciones adversas

Reacciones Químicas que constituyen el Metabolismo Celular

Catabolismo

Anabolismo



Metabolismo: Conceptos Básicos

Metabolismo: Conjunto de reacciones químicas que ocurren en una célula

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



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

ΔG° : Cambio de energía libre durante una reacción (medido en condiciones standard, 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

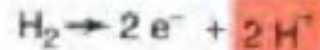
Reducción: ganancia de electrones

Pueden involucrar electrones o átomos de H

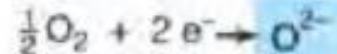
Las reacciones redox ocurren en pares (una sustancia se oxida y otra se reduce)

Dador de electrones: sustancia oxidada

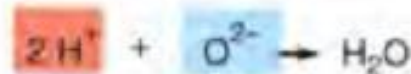
Aceptor de electrones: sustancia reducida



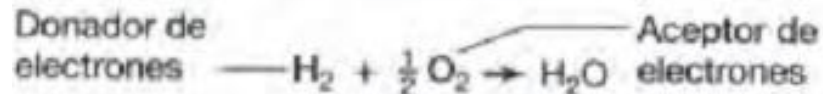
Mitad de la reacción donadora de electrones



Mitad de la reacción aceptores de e⁻.



Formación de agua



Reacción neta

Potencial de reducción (E)

Afinidad de un compuesto químico por los electrones

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 o mol. con E^0 +

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

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

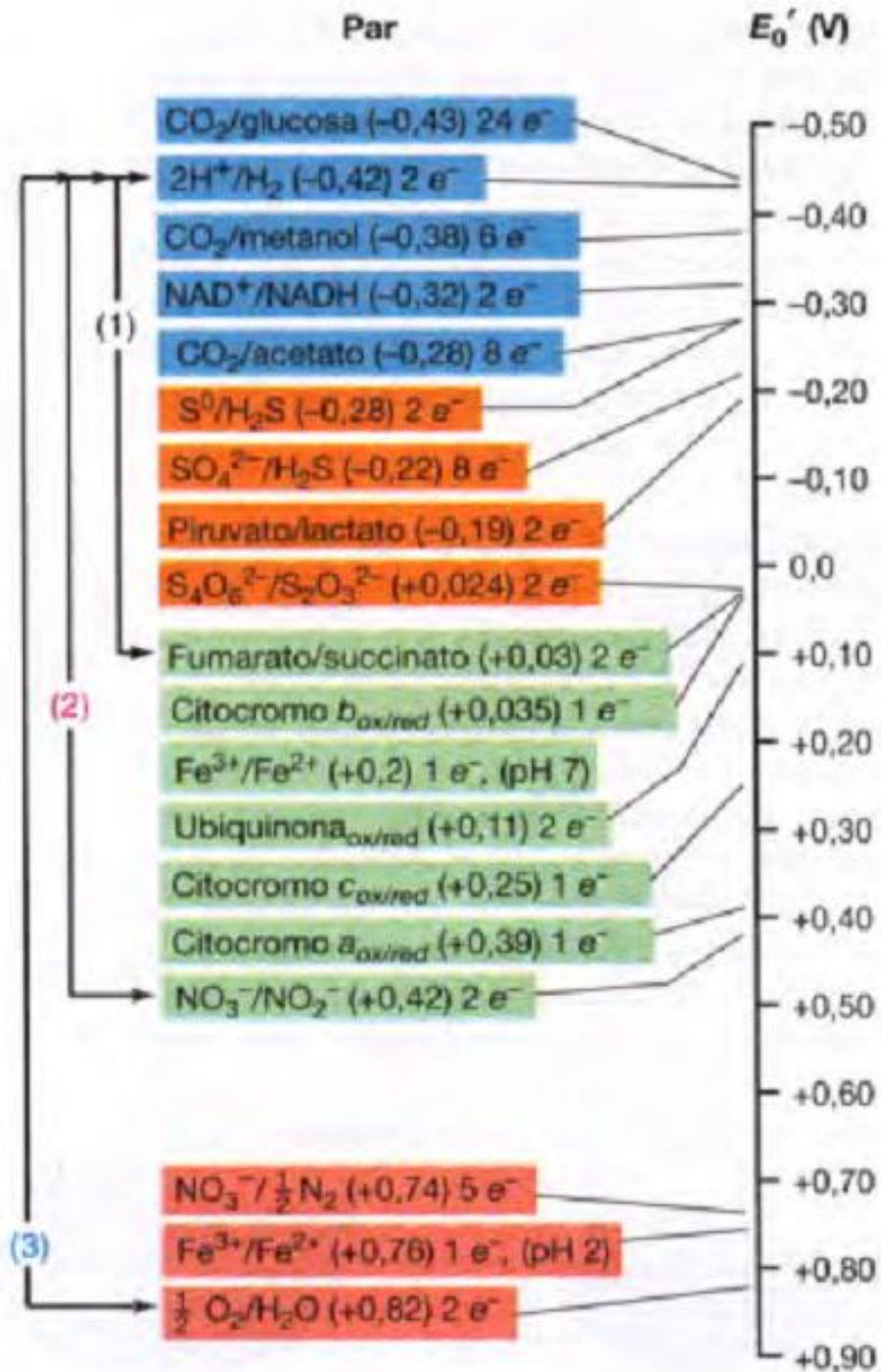
n = número de electrones transferidos en la reacción

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

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 $\Delta E^0'$, mayor es la energía liberada

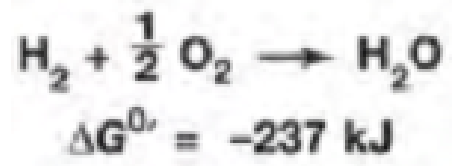
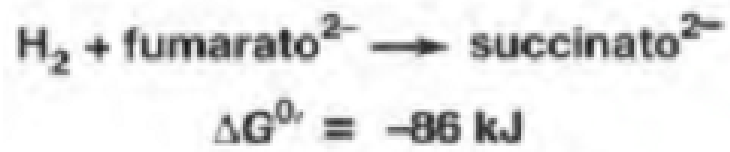


TABLE 13–7 Standard Reduction Potentials of Some Biologically Important Half-Reactions, at pH 7.0 and 25 °C (298 K)

<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

Compuestos intermediarios entre el dador primario de electrones (ej. Glu) y el aceptor final (ej. O_2)

Hay dos tipos:

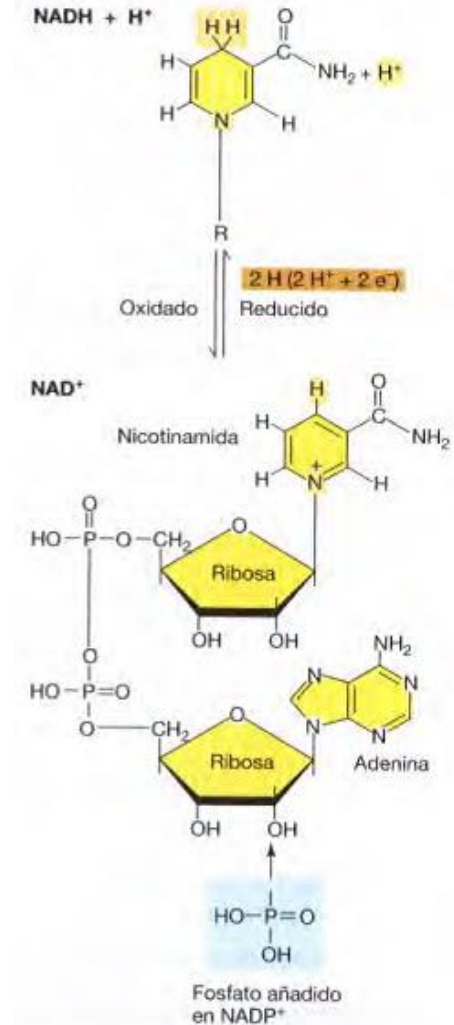
-**Solubles** (coenzimas): NAD^+ , $NADP^+$

-**Asociados a la membrana:**

Quinonas, citocromos, flavoproteínas, Fe-S proteínas

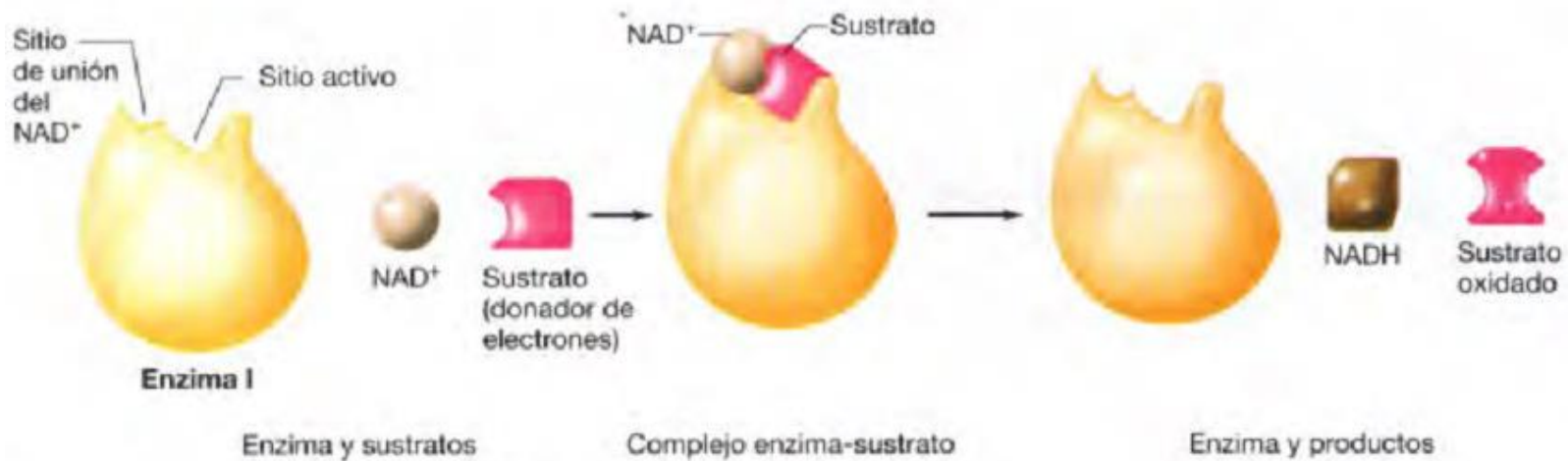
NAD^+ / $NADH$ reacciones catabólicas

$NADP^+$ / $NADPH$ reacciones anabólicas

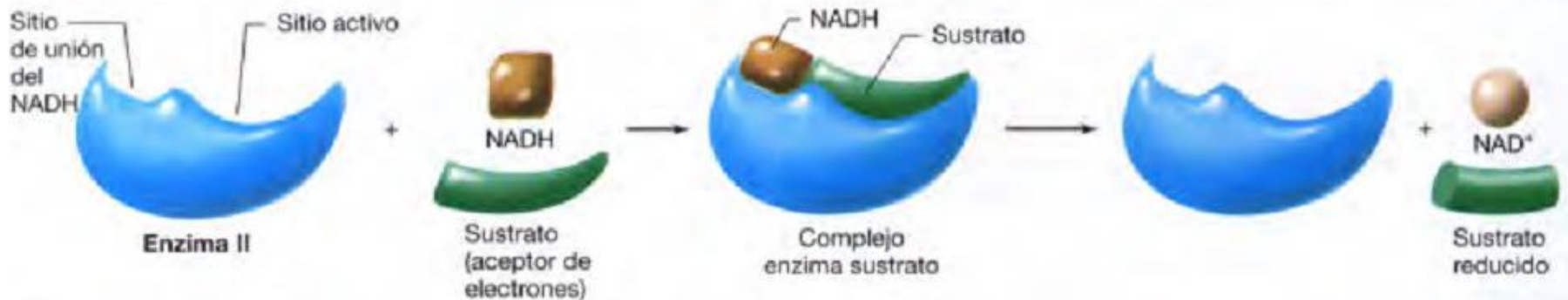


NAD⁺ y NADH se reciclan, por lo tanto, se necesitan en pequeñas cantidades

Dos reacciones redox conectadas por la misma coenzima (NAD⁺/NADH)



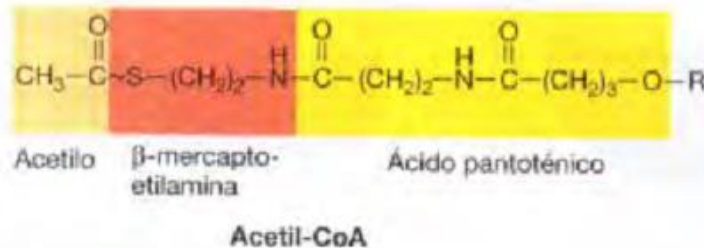
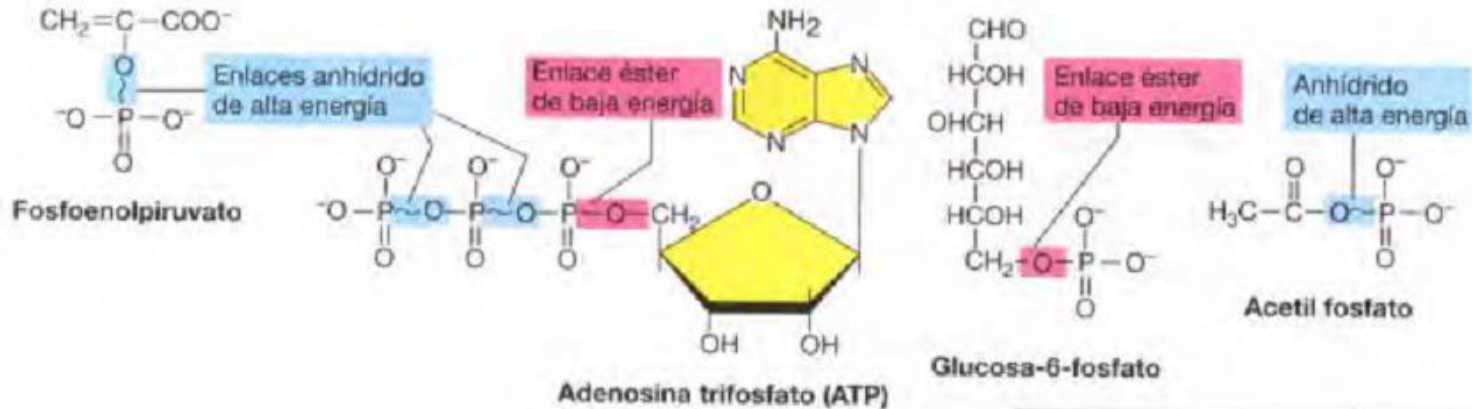
Reacción 1. La enzima I reacciona con el sustrato (donador de electrones) y con la forma oxidada de la coenzima NAD⁺.



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

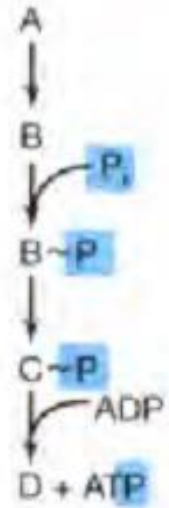
ATP es el compuesto de reserva de energía más importante de la célula

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

Catabolismo

- **Fermentación:** Reacciones redox en ausencia de aceptor exógeno

ATP sintetizado directamente a partir de un compuesto intermediario rico en energía. **Fosforilación a nivel de sustrato**

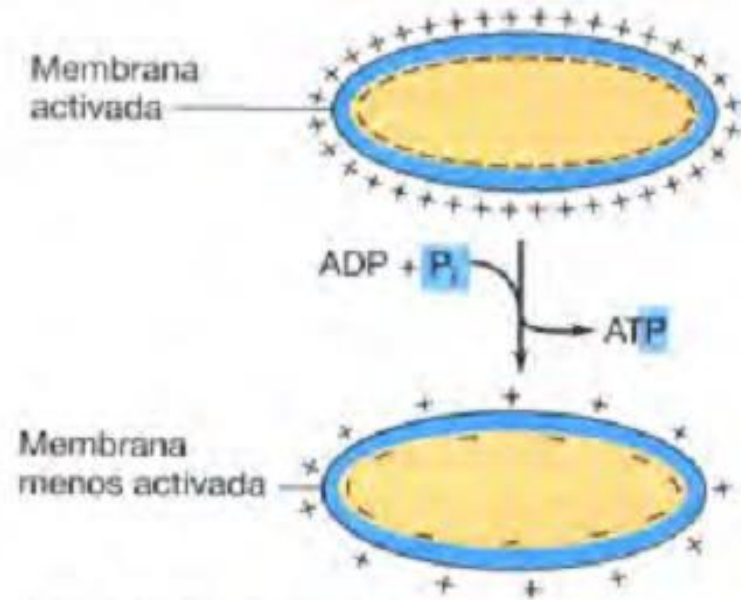


(a) Fosforilación a nivel del sustrato

- **Respiración:** Reacciones redox en presencia de aceptor exógeno de electrones (O₂ u otro)

ATP se produce a expensas de Fuerza Protón Motiva/*Proton Motive Force* (FPM/*PMF*)

Fosforilación oxidativa y fotofosforilación



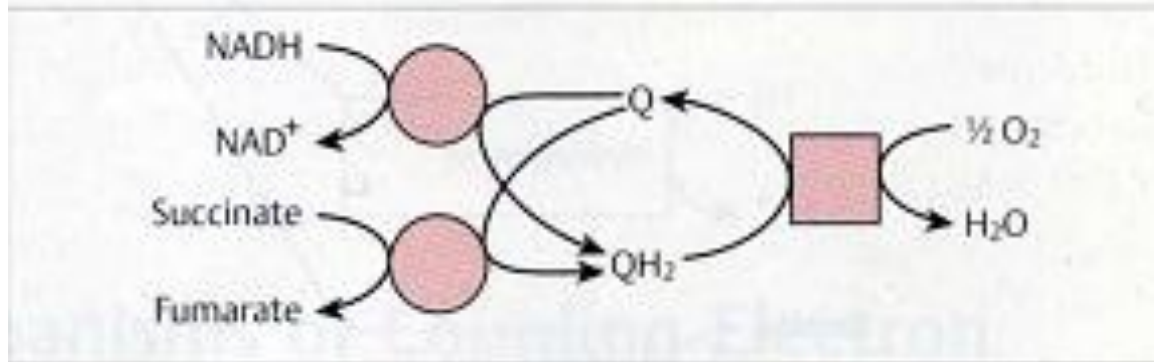
(b) Fosforilación oxidativa

Transporte de electrones y FPM

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

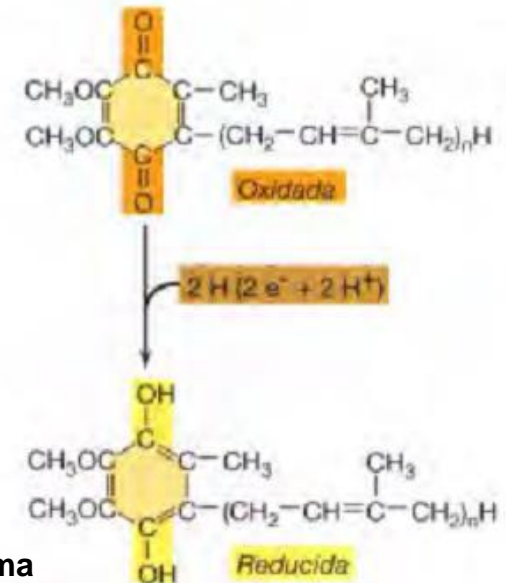
- **Deshidrogenasas**
- **Reductasas** (óxido-reductasas)

Están topológicamente separadas, conectadas por quinonas (Q) liposolubles



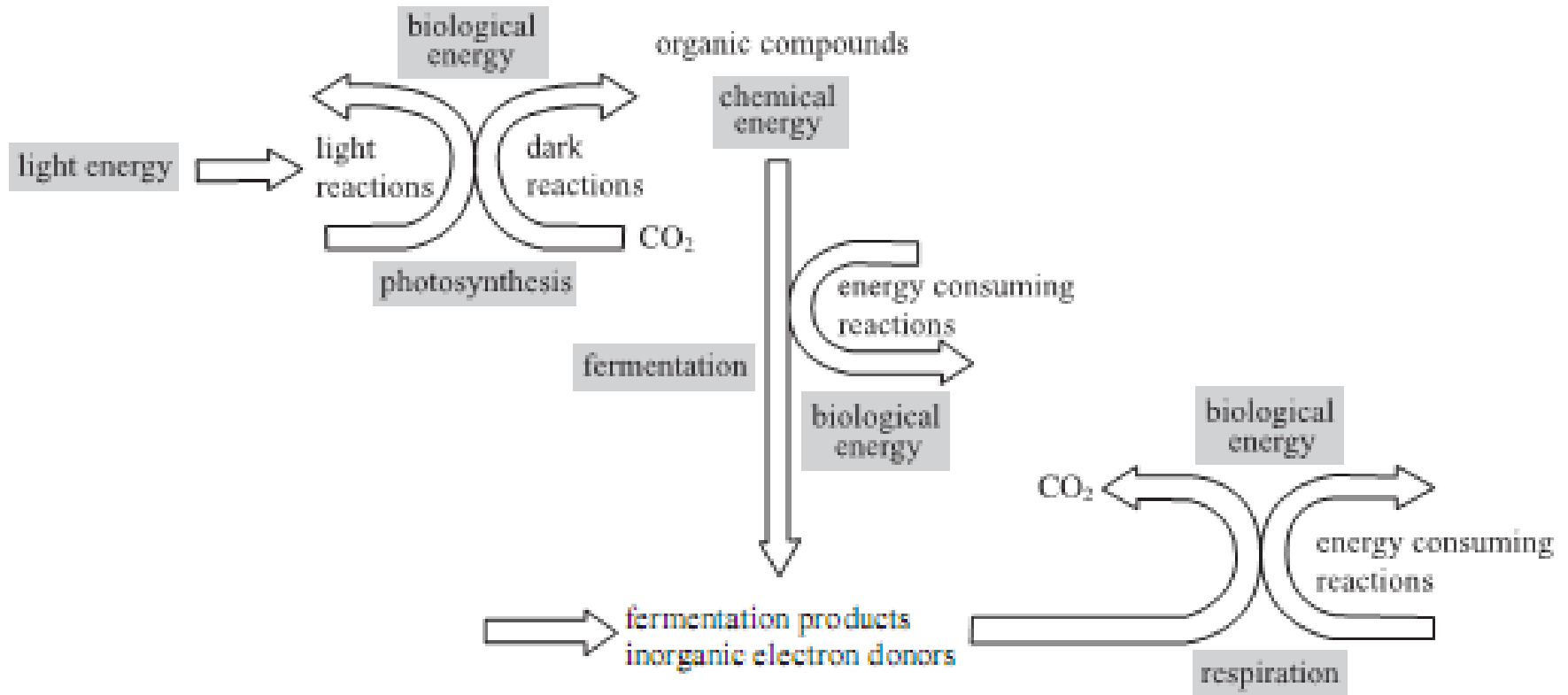
Composición de la cadena de transporte de electrones de *E. coli* creciendo aeróbicamente

Formas oxidada y reducida de la coenzima Q (quinona)



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

Transducción de la energía en los procariotas



Rol del ATP y PMF en procesos de transducción de energía

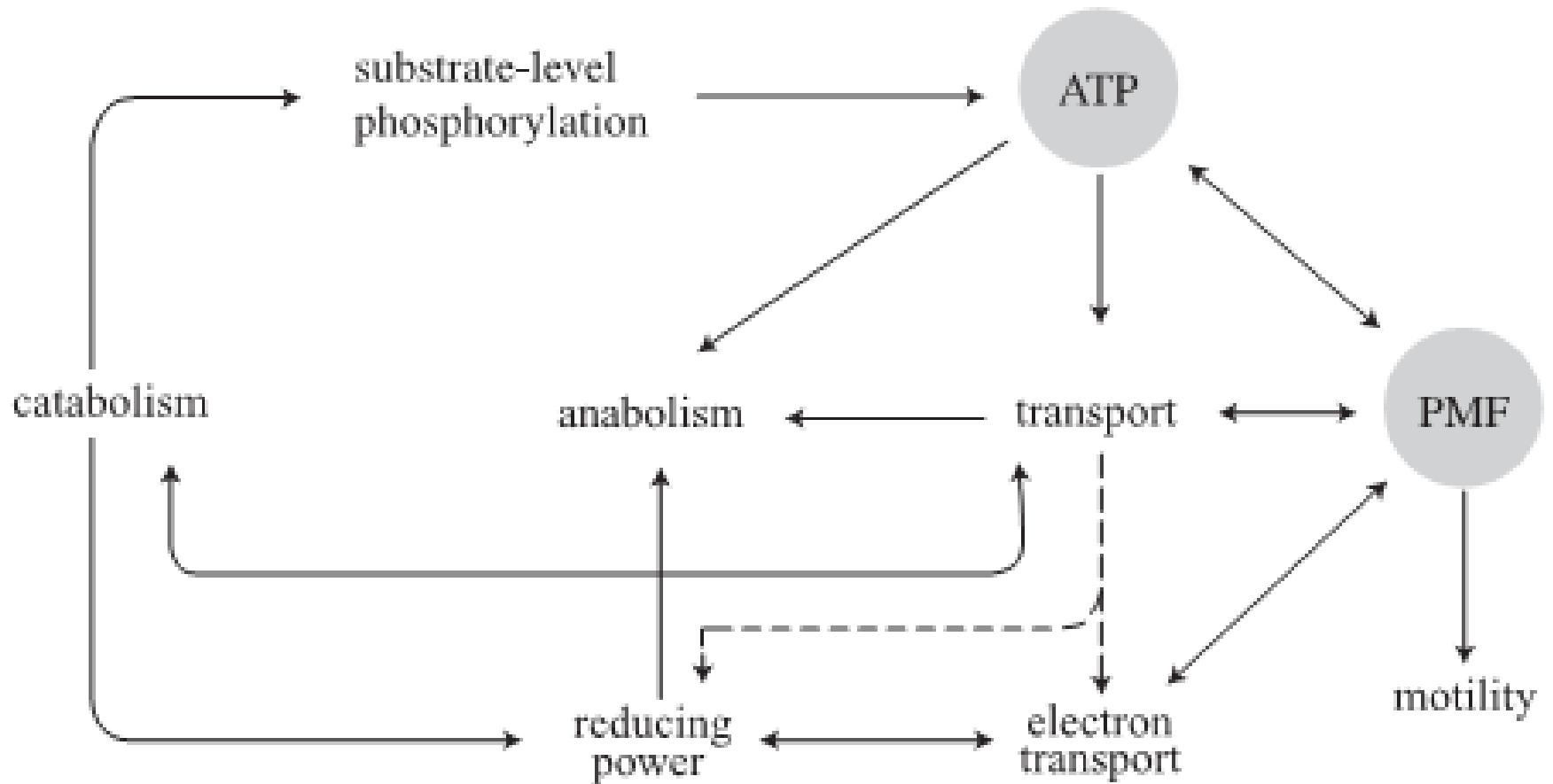
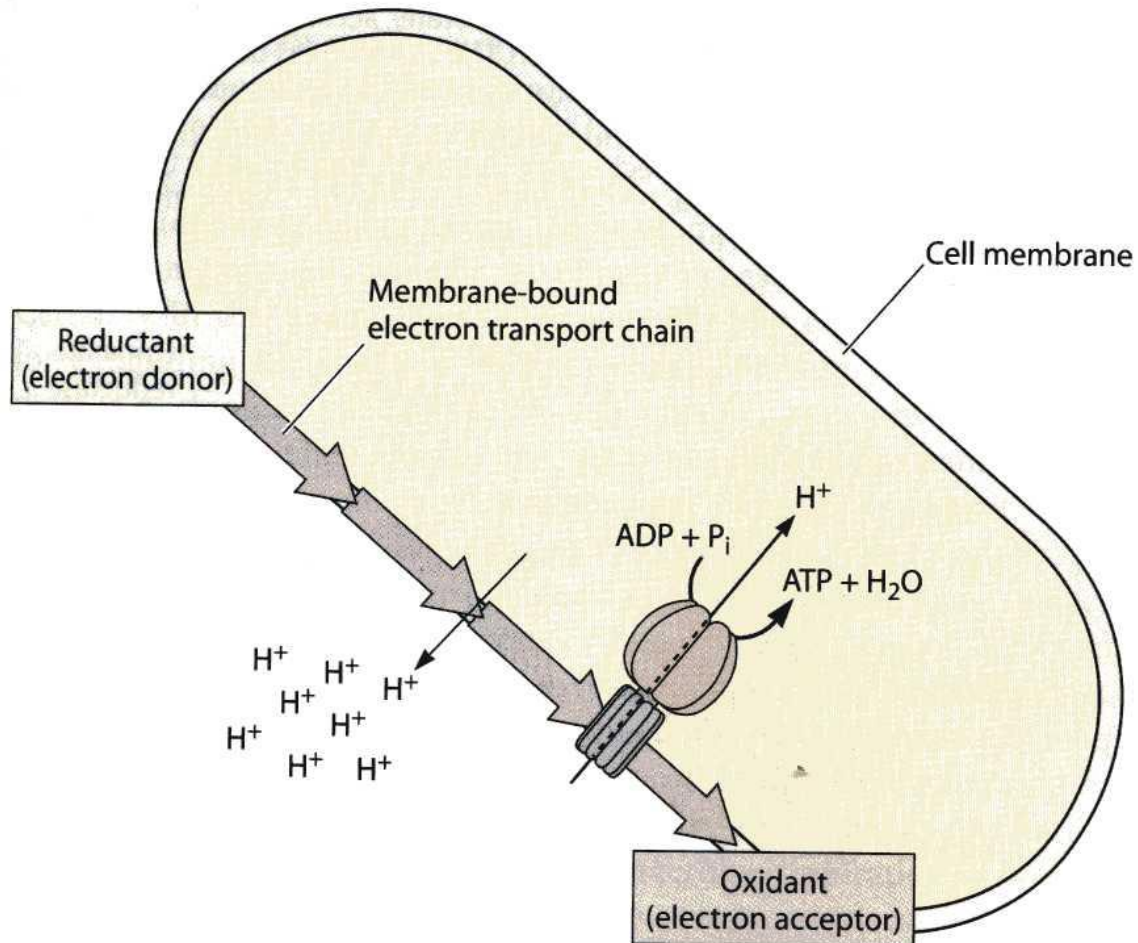
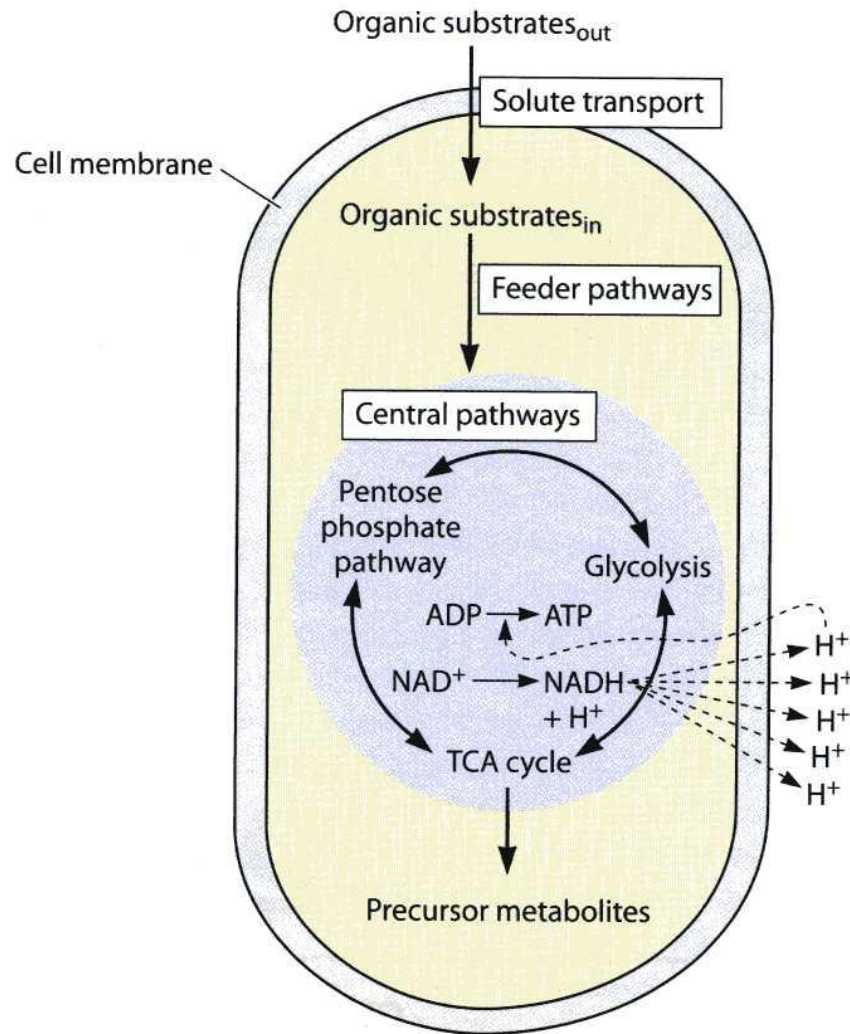


Figure 6.6 Overview of electron transport system in respiration. Electrons removed from substrates (reductants) travel down a redox gradient from carrier to carrier in a membrane, forming a proton (H^+) gradient, which can be used to form ATP from ADP.



Procesos de obtención de energía en microorganismos heterótrofos



Rutas del Metabolismo central en *E. coli*

