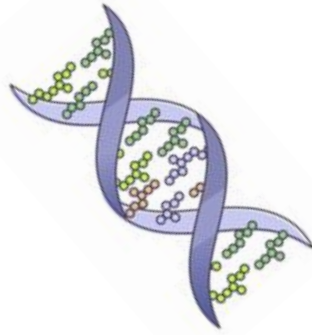
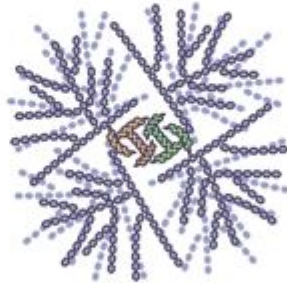
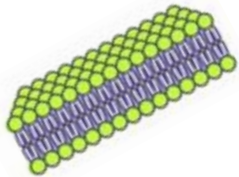




BLOC I

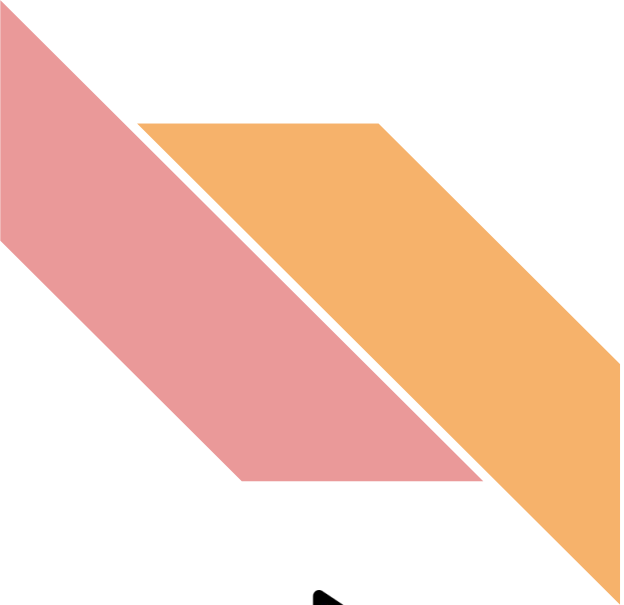
LES BIOMOLÈCULES

I EL METABOLISME

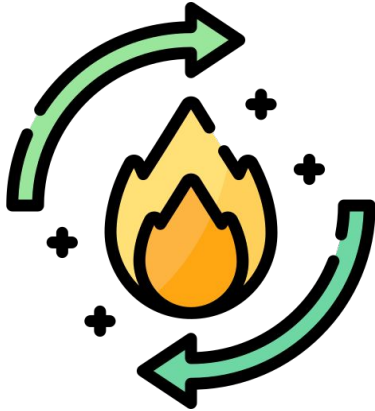


Biologia II
2n de Batxillerat
2023-24

Jaume Benet i Bertran



Unitat 2. CATABOLISME

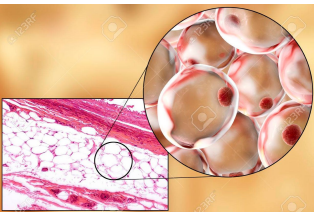
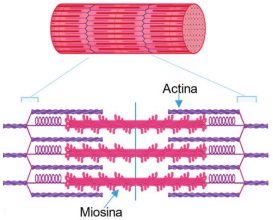
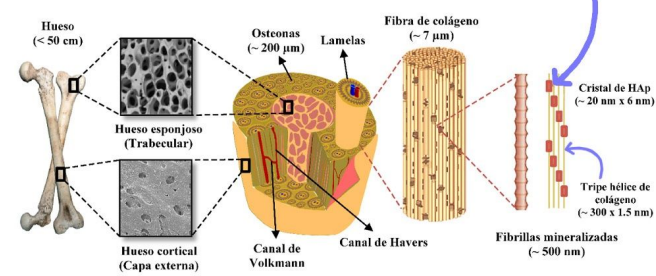


1. El catabolisme
2. Respiració aeròbica
3. Fermentació
4. Respiració anaeròbica

1. El catabolisme

En el cos humà trobem una proporció aproximada de:

- Aigua 65% → **citoplasma** de les cèl·lules i **matriu extracel·lular** No aporta energia
- Proteïnes 18% → **músculs** (actina i miosina), **tendons, ossos i lligaments** (col·lagen) **4,3 kcal/g**
Produeix residus tòxics (grups amino → amoníac)
- **Lípids 12%** → **reserves energètiques** (teixit adipòs) i **membranes cel·lulars** **9,5 kcal/g**
Degradació complexa (cèl·lules especialtzades)
- **Glúcids 0,3%** → **energia immediata**, fàcils de degradar per obtenir energia i no generen productes tòxics **4,2 kcal/g**
Tenen oxigen, ja estan parcialment oxidats (directament a qualsevol cel·lula)
 - Vegetals: **amilosa** i **amilopectina** (midó)
 - Animals: **glicogen**



1.1. Producció d'energia en el catabolisme

Tema 2. Catabolisme



- Finalitat: **obtenció d'energia**

- menys enllaços → menys energia (G)
- més desordre → menys energia (G)
- e^- més a prop del nucli → menys energia (G)

- Molècules orgàniques inicials → Molècules senzilles → Productes finals (**productes d'excreció**)
 - trencament d'enllaços
 - canvis d'enllaços (e^- més propers al nucli)

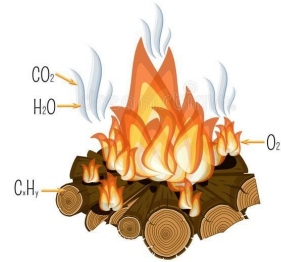
$\Delta G < 0$

- Energia alliberada emmagatzemada en **enllaços d'ATP**

Nom	Respiració aeròbica	Respiració anaeròbica	Fermentació
Acceptador final d' e^-	Inorgànic		Orgànic
Reducció final	O_2 es redueix a H_2O	NO_3^- , SO_4^{2-} ... es redueixen a N_2 , H_2S ...	Piruvat es redueix a etanol, lactat...
Síntesi ATP	Fosforilació a nivell de substrat i fosforilació oxidativa		Fosforilació a nivell de substrat
Cadena d' e^-	Intervé la cadena de transport d' e^- del mitocondri		No intervé
Exemples	Animals, vegetals, majoria de fongs i procariotes	Alguns bacteris i arqueobacteris	Cèl·lules musculoesquelètiques, alguns fongs i bacteris



1.2. Alliberació gradual d'energia

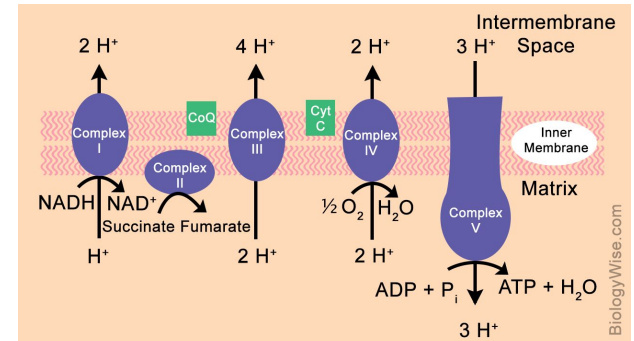
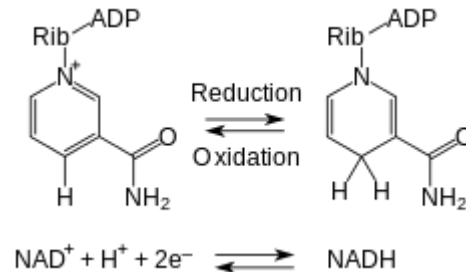
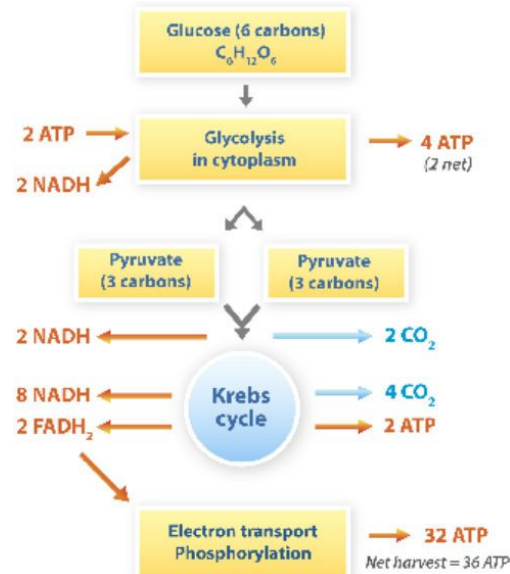


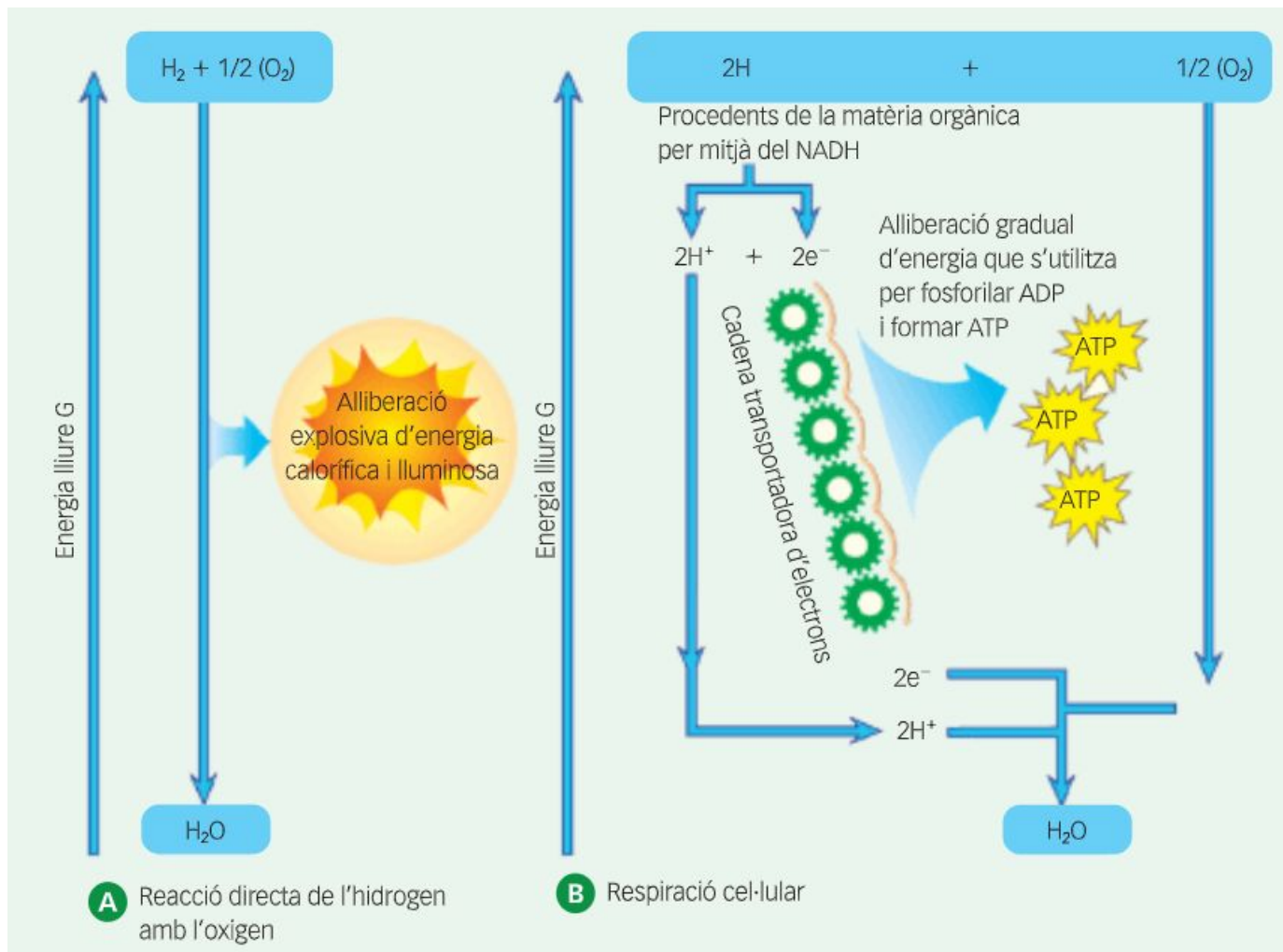
- **Vàries reaccions** redox (cadascuna catalitzada per un enzim)
- Traspàs d' e^- construint **àtoms d'H** a través de coenzims (**NAD^+** , **FADH**)

En una combustió hi ha una gran reacció que allibera molta energia, mataria a un ésser viu

- Coenzims porten e^- a la **cadena transportadora d'electrons** fins arribar a l' O_2 a través dels **citocroms** (proteïnes de membrana) emmagatzemant l'energia en forma d'**ATP**

En una combustió els e^- passen directament de la matèria orgànica a l'oxigen



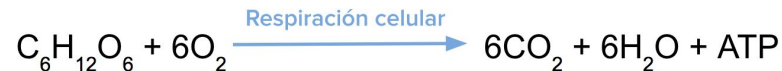


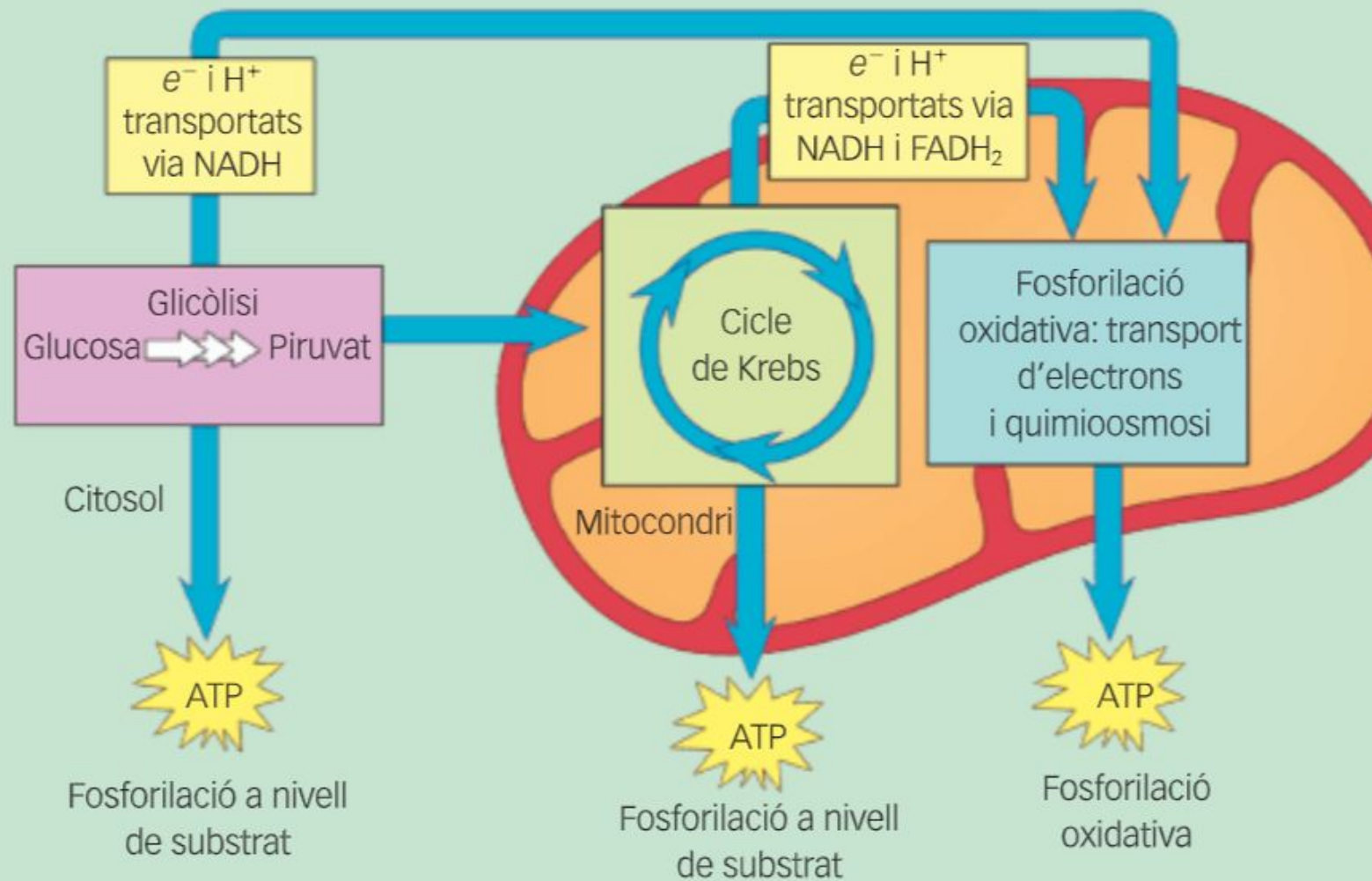


2. Respiració aeròbica

2.1. Catabolisme respiratori dels glúcids

- **Monosacàrids** font principal d'energia (digestió de la dieta, hidròlisi dels polisacàrids de reserva: glicogen i midó)
- Monosacàrid més abundant ➡ **Glucosa**
- Distingim dues **fases**:
 - **Glicòlisi** (al citosol)
 - **Respiració: cicle de Krebs** (en eucariotes a la matriu mitocondrial, en procariotes al citosol) i **fosforilació oxidativa o cadena respiratòria** (en eucariotes a les crestes mitocondrials, en procariotes a la membrana)



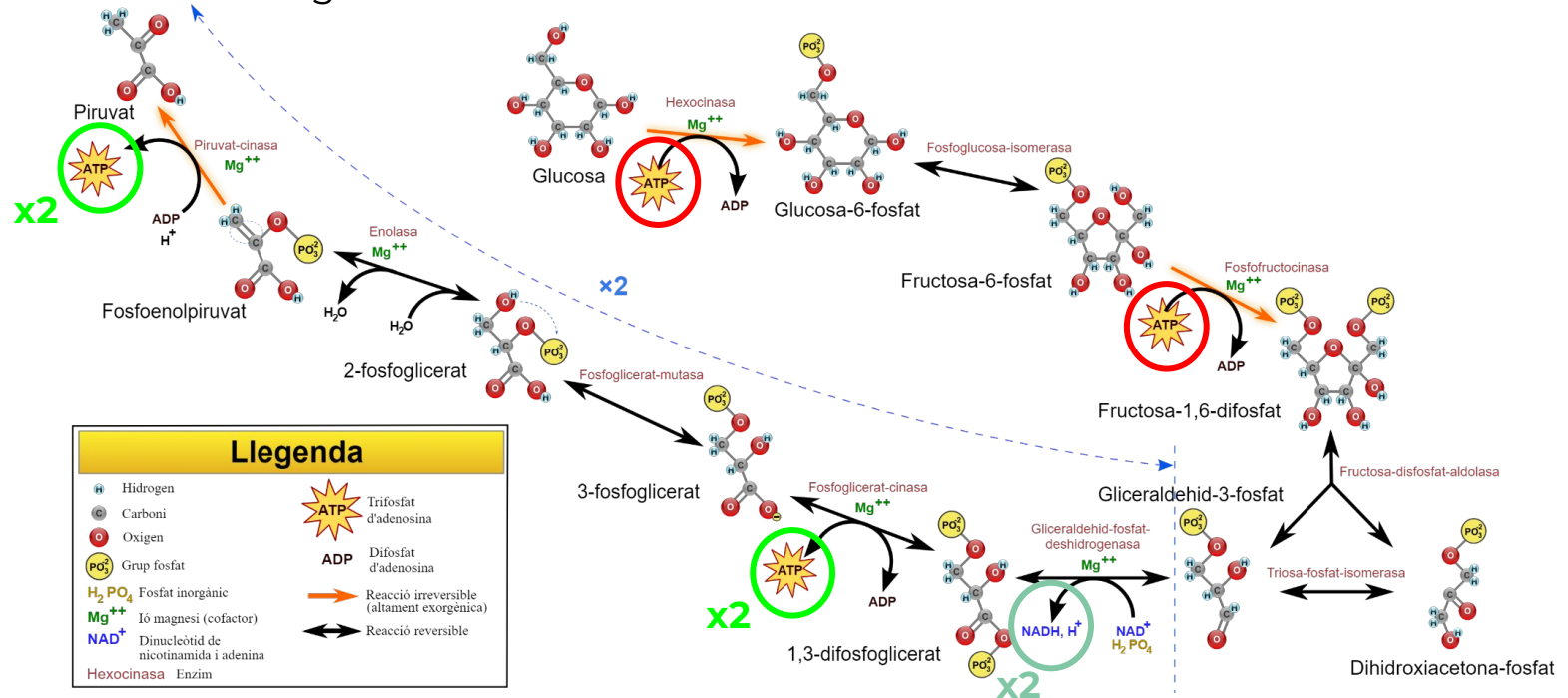


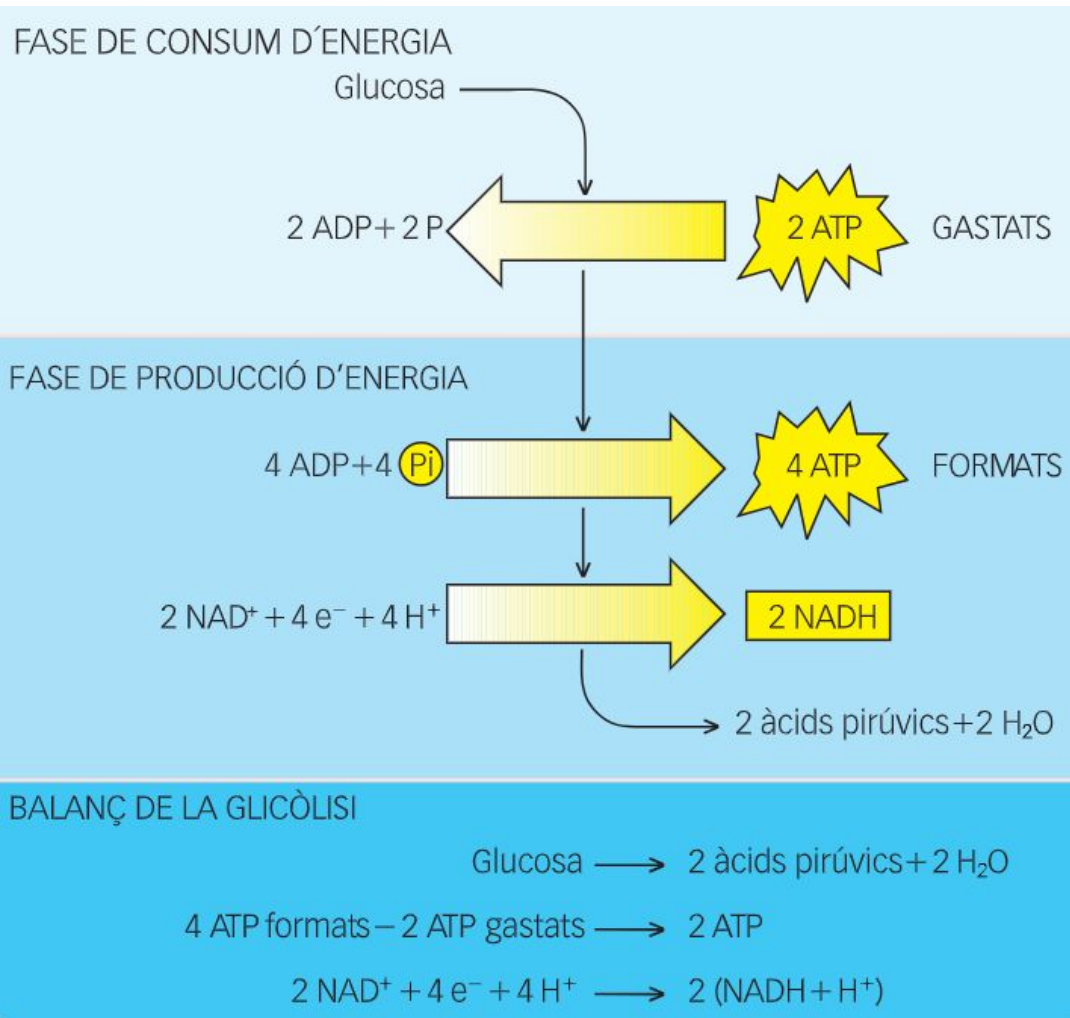
Glicòlisi

Tema 2. Catabolisme
Jaume Benet i Bertran

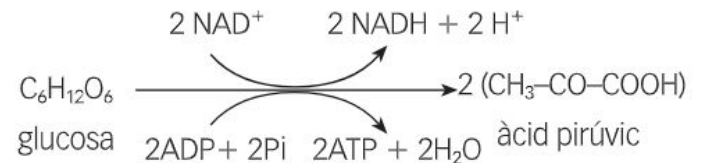


- **Glucosa** ($C_6H_{12}O_6$) s'escindeix en **2 molècules d'àcid pirúvic** ($CH_3-CO-COOH$)
- Fosforilació a nivell de substrat: s'obtenen **2 ATP**
- Deshidrogenació: s'obtenen **2 NADH** i **2 H^+**





• **Balanç final de la glicòlisi:**

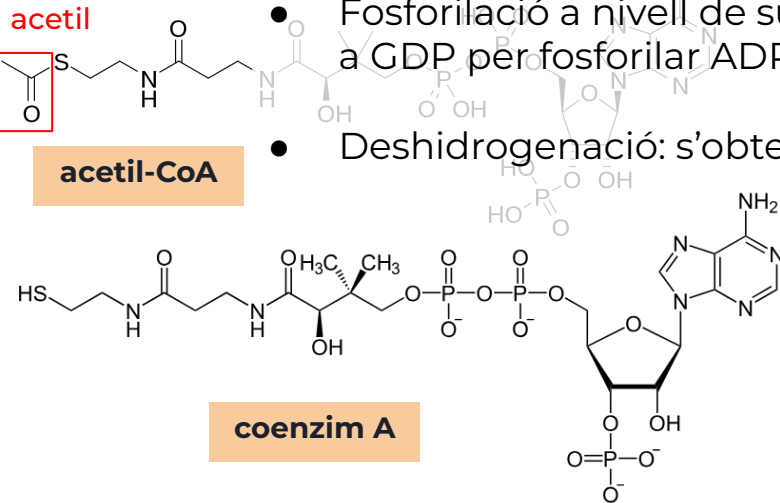


Cicle de Krebs

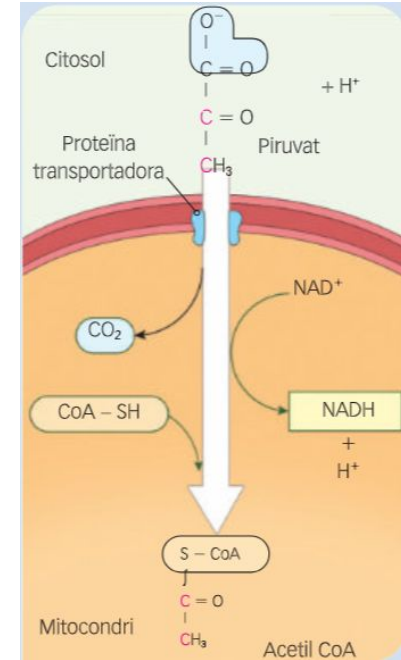
Tema 2. Catabolisme
Jaume Benet i Bertran

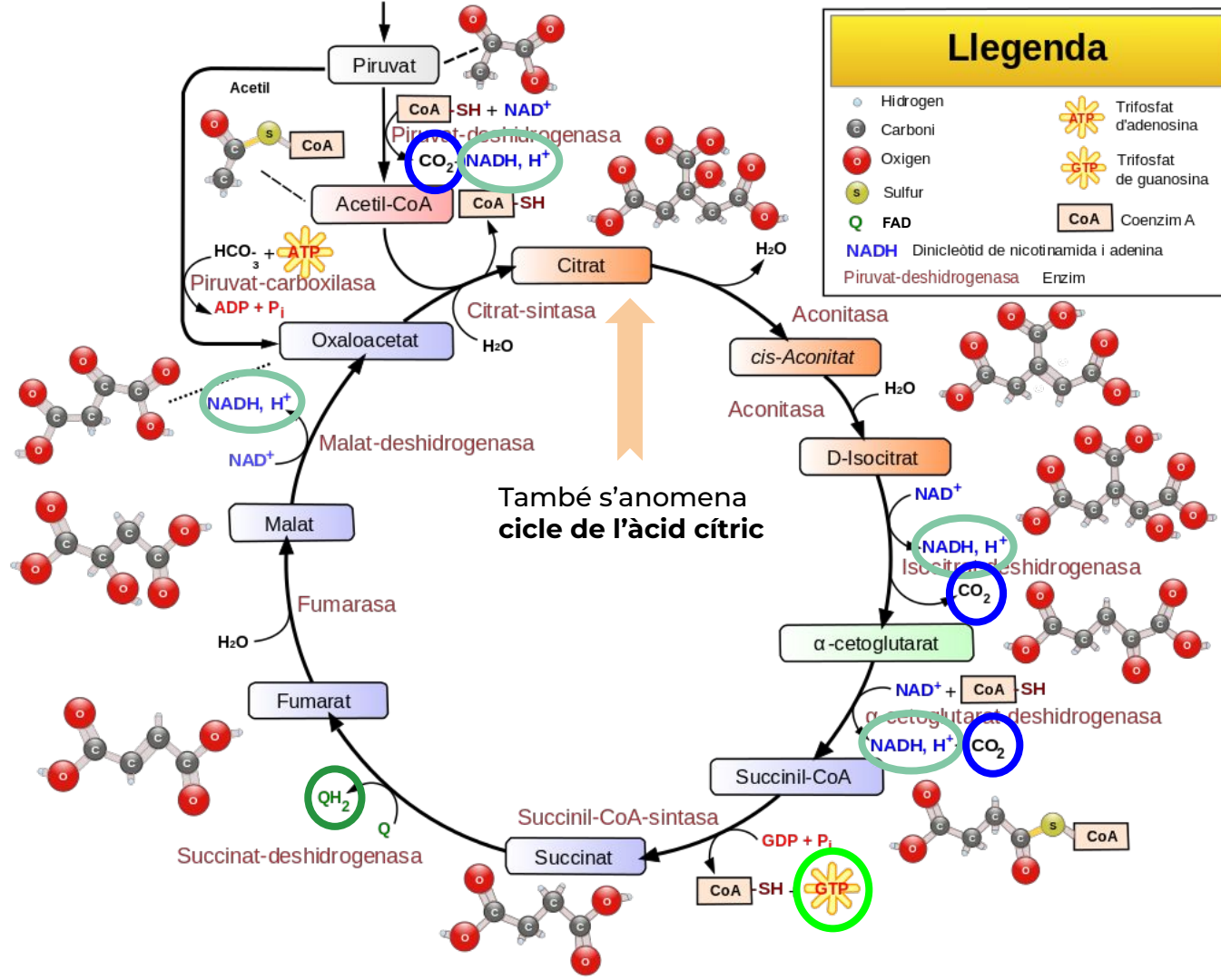


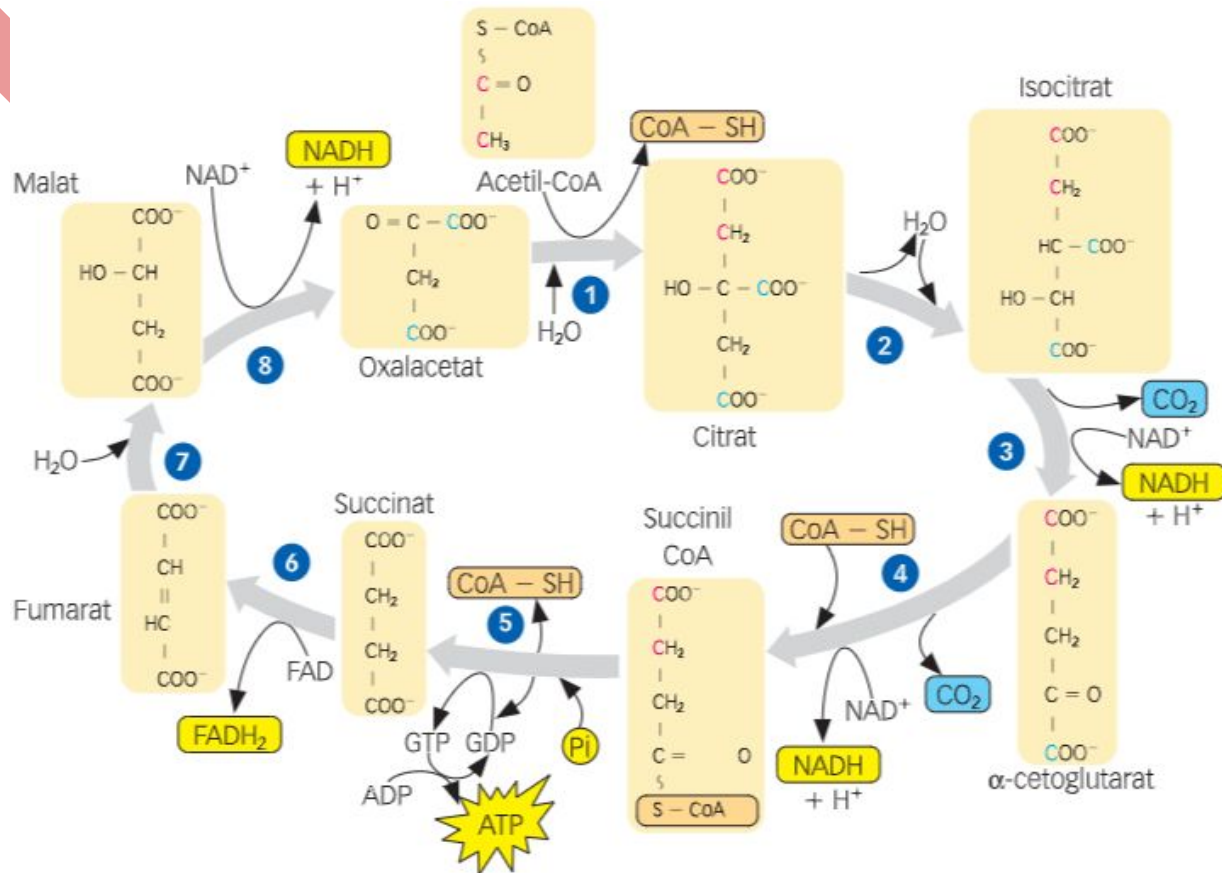
- **Sistema piruvat-deshidrogenasa: àcid pirúvic** ($\text{CH}_3\text{-CO-COOH}$) es transforma en **acetil-S-Coenzim A** o **acetil-CoA** (S-CoA-CO-CH_3) per entrar al **cicle de Krebs**
- Es produeixen **descarboxilacions**, els 3C provinents del piruvat s'acaben perdent (**grups carboxil** es transformen en **CO_2**)
- Participa el **coenzim A** (CoA o CoA-SH) que pot transferir grups acil (R-C-X)
- Fosforilació a nivell de substrat: s'obté **1 GTP** (es desfosforilarà a GDP per fosforilar ADP a ATP)
- Deshidrogenació: s'obtenen **4 NADH** i **4 H^+** , **1 FADH_2**



exemple de **descarboxilació**



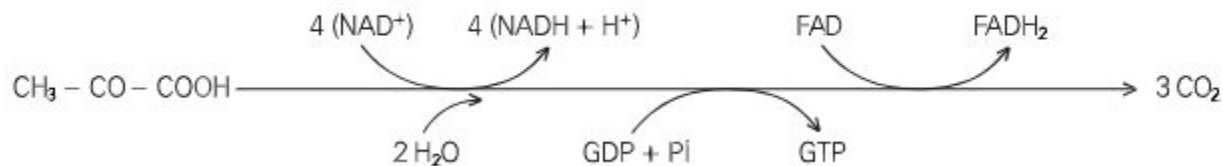




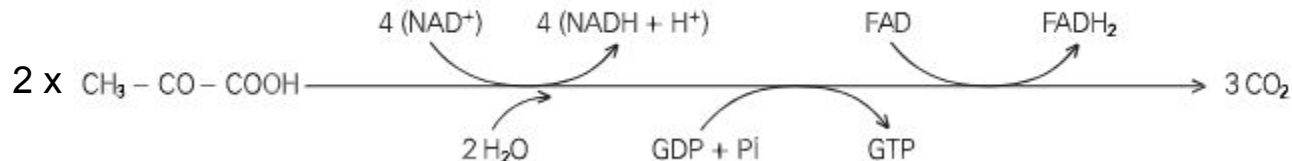
1. L'acetil-CoA afegeix el grup acetil (2C) a l'oxalacetat, i es forma citrat.
2. El citrat es converteix en el seu isòmer, traient i afegint una molècula de H_2O .
3. El citrat perd una molècula de CO_2 , el compost s'oxida i redueix el NAD^+ .
4. Es perd un altre CO_2 i es torna a reduir el NAD^+ .
5. El CoA és desplaçat per un fosfat que es transfeix al GDP, i forma GTP; d'aquí es transfeix a l'ADP i forma ATP.
6. Es passen dos hidrògens al FAD i el succinat s'oxida a fumarat.
7. Una addició de H_2O reorganitza els enllaços.
8. El substrat s'oxida, redueix el NAD^+ i regenera l'oxalacetat.



- **Balanç final del cicle de Krebs:**



- **Balanç final del cicle de Krebs en l'oxidació d'1 molècula de glucosa:**



Fosforilació oxidativa

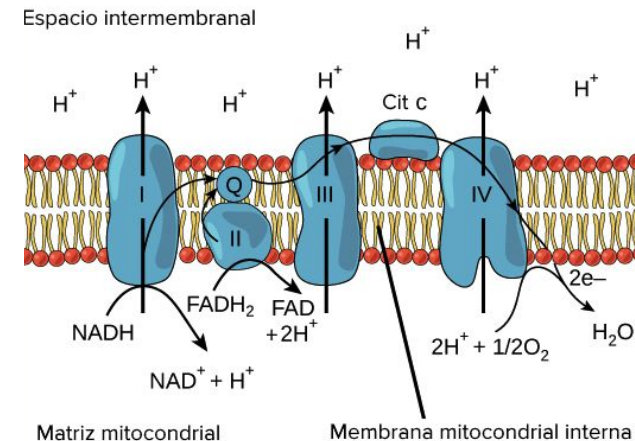
Tema 2. Catabolisme



- Oxidació de **NADH** i **FADH₂** per **reutilitzar NAD⁺** i **FAD** i per **sintetitzar ATP**
- Consta de dos processos: **transport d'electrons** i **quimiosmosi**

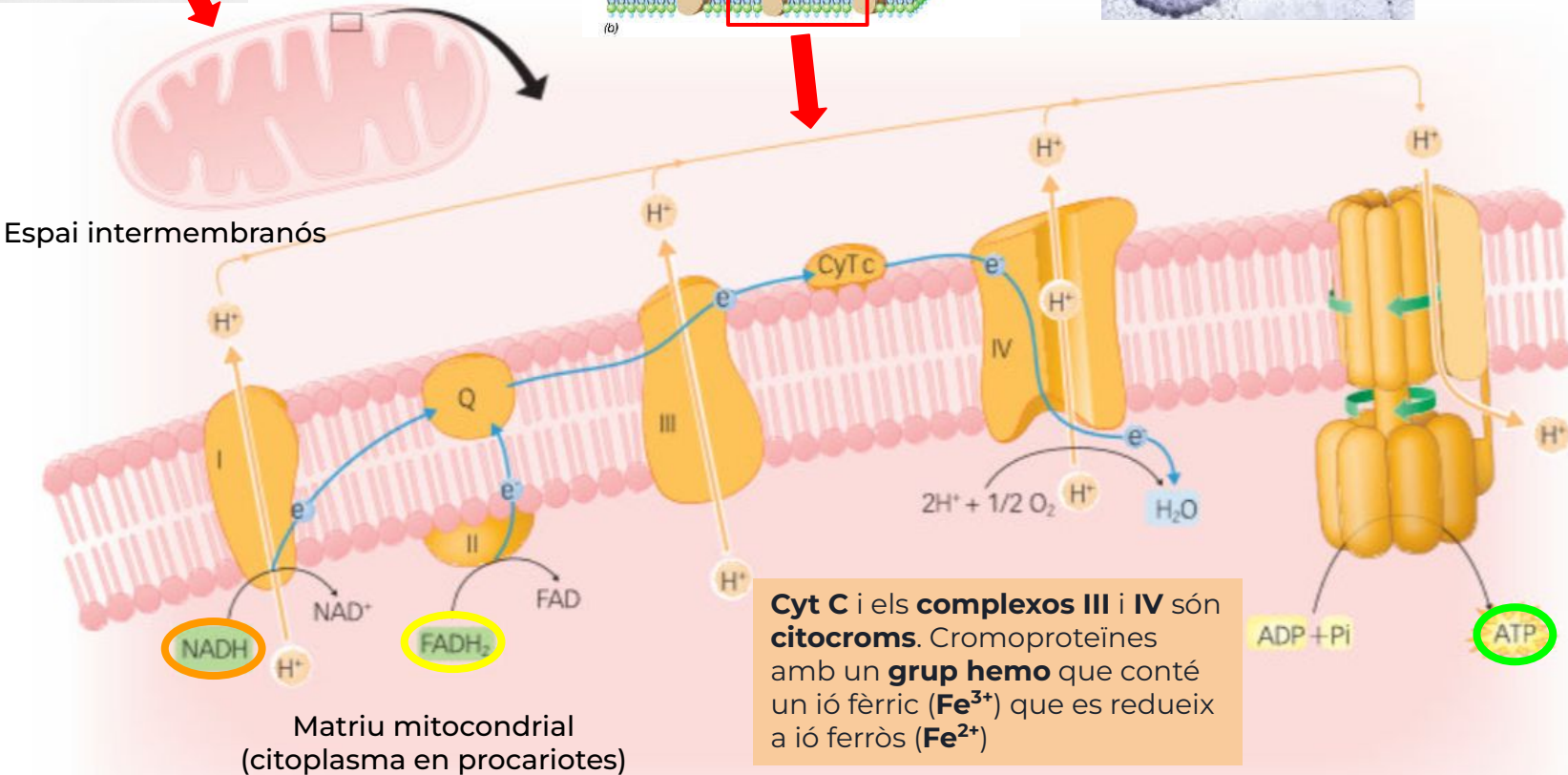
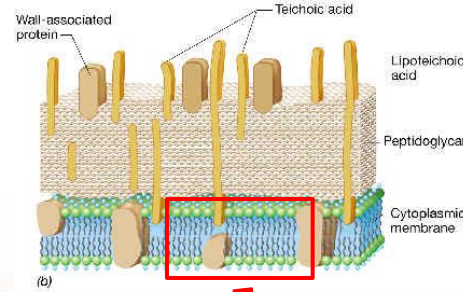
Transport d'electrons

- **Cadena de transport d'e⁻** (**cadena respiratòria**) on els e⁻ són transferits de molècula a molècula ordenadament a la membrana lipídica
- Cada **molècula accepta e⁻** (es redueix) i **els transfereix** (s'oxida):
 - **Complex proteic I**: accepta e⁻ de NADH
 - **Complex proteic II**: accepta e⁻ de FADH₂
 - **Ubiquinona (Q)**: petita molècula lípídica mòbil que transporta e⁻ de I i II a III
 - **Complex proteic III**: accepta e⁻ de Q
 - **Citocrom c (Cyt c)**: petita proteïna mòbil de l'interior de la membrana que transporta e⁻ de III a IV
 - **Complex proteic IV**: cedeix e⁻ a O₂





2. Catabolisme ume Benet i Bertran





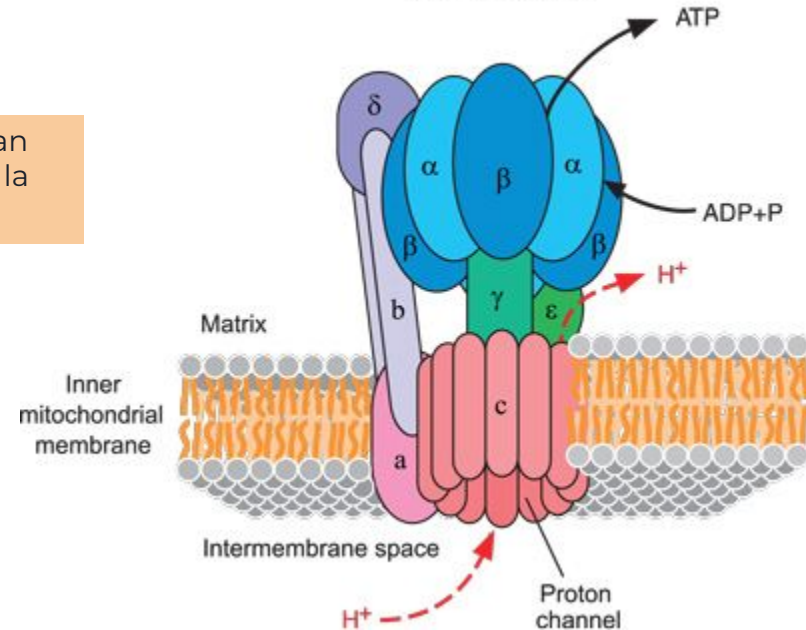
Quimiosmosi

- Es bombegen **H⁺ a l'espai intermembranós** amb l'energia de la transferència d'e⁻ en I, III i IV
- Tornen els **H⁺ a la matriu/citoplasma** a través d'unes proteïnes de membrana: **ATPsintases**

Part estàtica: suport
(a, b, δ , 3 α i 3 β)

Part mòbil: rotor (c, γ i ϵ) que gira quan passen H⁺ pel seu interior, provocant la **unió d'ADP + Pi i formant ATP**.

- NADH:** activa 3 canals de H⁺ ➡ **3 ATP**
- FADH₂:** activa 2 canals de H⁺ ➡ **2 ATP**



Balanç final de l'oxidació de glucosa

Tema 2. Catabolisme
Jaume Benet i Bertran



Ruta	Lloc	Molècula obtinguda	Núm. molècules	ATP equivalents
Glicòlisi	citoplasma	ATP	2	2 ATP
Cicle de Krebs				
			TOTAL ATP	

Balanç final de l'oxidació de glucosa

Tema 2. Catabolisme
Jaume Benet i Bertran

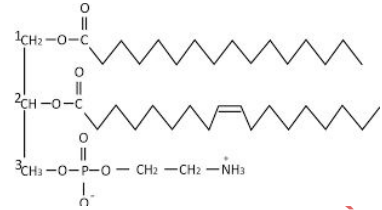
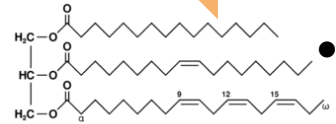


Ruta	Lloc	Molècula obtinguda	Núm. molècules	ATP equivalents
Glicòlisi	citoplasma	ATP	2	2 ATP
		NADH + H ⁺	2	6 ATP
Cicle de Krebs	matriu mitocondrial	GTP	2	2 ATP
		NADH + H ⁺	8	24 ATP
		FADH ₂	2	4 ATP
			TOTAL ATP	38 ATP



2.2. Catabolisme respiratori dels lípids

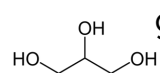
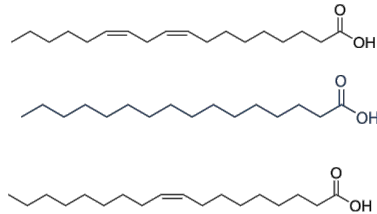
- Obtenir energia a partir de l'**oxidació d'àcids grassos** → via de la **β -oxidació**



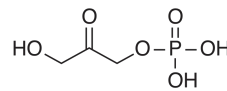
Acilglicèrids

hidròlisi (**lipases**)

àcids grassos + glicerina



dihidroxiacetona-3-P

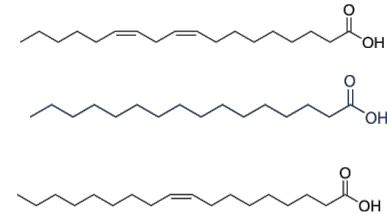


- via de la **glicòlisi**
- síntesi glúcids**

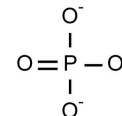
Fosfoglicèrids

hidròlisi (**fosfolípases**)

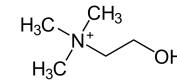
glicerina + fosfat + aminoalcohol + **àcids grassos**



fosforilacions en moltes reaccions



síntesi de proteïnes



β -oxidació dels àcids grassos

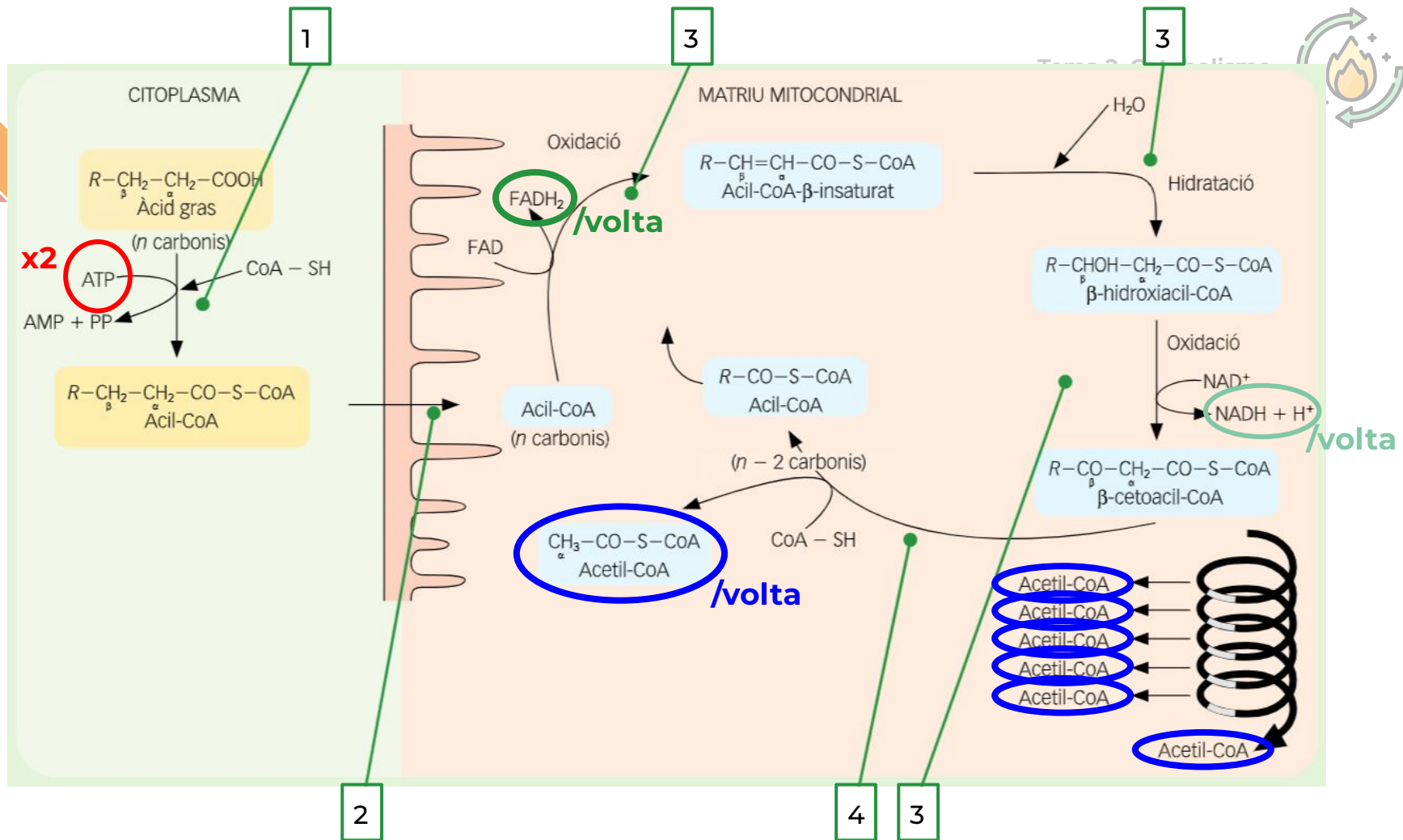


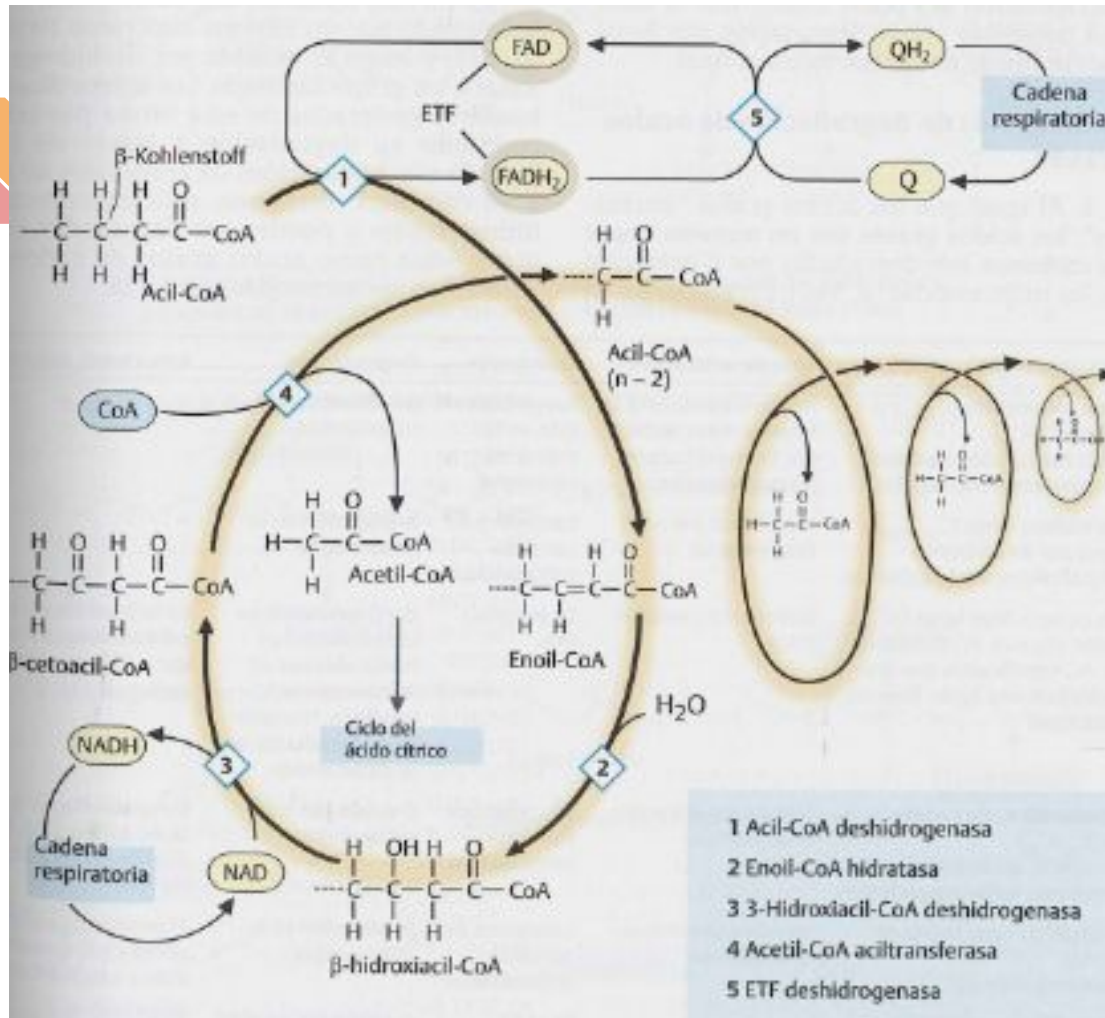
- **Àcid gras** ($\text{CH}_2\text{-R-COOH}$) ha d'entrar al **mitocondri** per oxidar-se en la **β -oxidació** i donar lloc a **acetils-CoA** (S-CoA-CO-CH_3)
- Participa el **coenzim A** (CoA)
- És una via en **hèlix** (hèlix de Lynen), l'àcid gras **perd 2 carbonis per volta**
- Fosforilació a nivell de substrat: es perden 2 ATP: **-2 ATP**
- Deshidrogenació: s'obtenen **1 NADH** i **1 H^+** , **1 FADH_2** per volta

Passos:

1. **Activació de l'àcid gras** ➡ Unió a **CoA** per formar **acil-CoA** ($\text{S-CoA-CO-CH}_2\text{-CH}_2\text{-R}$)
2. **Entrada al mitocondri de l'acil-CoA**

{	acil-CoA curt ➡	travessa membrana directament
	acil-CoA llarg ➡	necessita proteïna carnitina
3. **Deshidrogenacions** (generen **$\text{NADH} + \text{H}^+$** i **FADH_2**) i **hidratació** (incorporació **H_2O**)
4. **Ruptura de l'acil-CoA** ➡ acil-CoA perd **acetil-CoA** (formació acil-CoA amb **2C menys**)
↳ cap al **cicle de Krebs**





A **cada volta** de l'hèlix,
l'**acil-CoA té 2C menys**
(surten en forma
d'acetil-CoA)



un àcid gras de **n C**,
realitzara **(n-2)/2 voltes**



això és perquè l'acil-CoA de
2C ja no ha de realitzar cap
volta, ja és un acetil-CoA



Balanç final de l'oxidació de l'àcid palmític (16C)

Ruta	Lloc	Molècula obtinguda	Núm. molècules	ATP equivalents
Activació àcid gras				
β -oxidació				
Cicle de Krebs				
			TOTAL ATP	



Balanç final de l'oxidació de l'àcid palmític (16C)

Ruta	Lloc	Molècula obtinguda	Núm. molècules	ATP equivalents
Activació àcid gras	citoplasma	ATP	-2	- 2 ATP
β -oxidació	mitocondri	acetil-CoA	8	
		FADH ₂	7	14 ATP
		NADH + H ⁺	7	21 ATP
Cicle de Krebs	mitocondri	GTP	8 · 1	8 ATP
		NADH + H ⁺	8 · 3	72 ATP
		FADH ₂	8 · 1	16 ATP
			TOTAL ATP	129 ATP



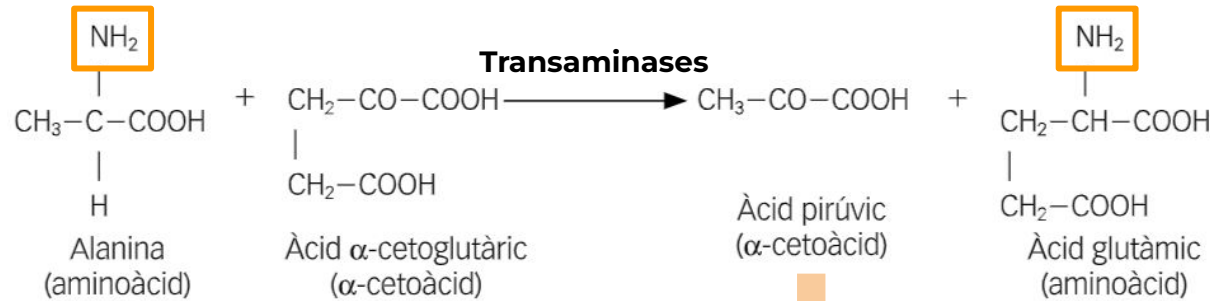
2.3. Catabolisme respiratori de les proteïnes

augmenta el
pH del medi

- Degradació de proteïnes produeix **residus tòxics** → **amoníac** (NH_3) → **ió amoni** (NH_4^+)
- Aminoàcids en excés** (ni emmagatzemar ni excretar) o **dejuni** prolongat

Passos:

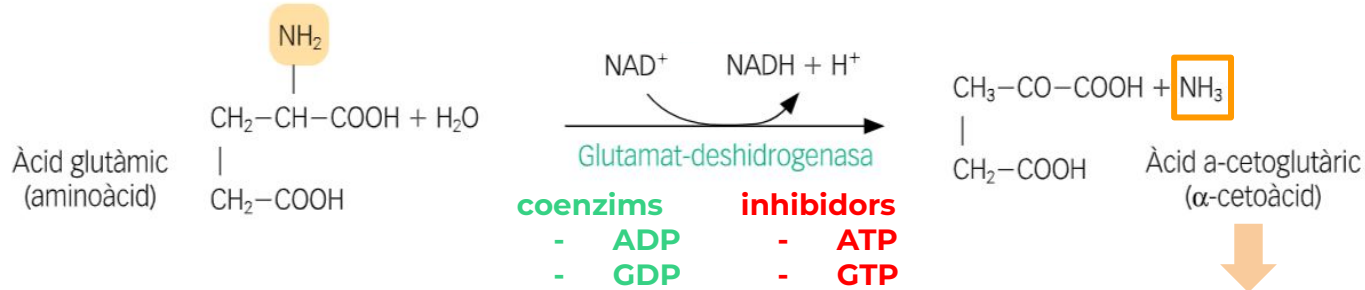
- Transaminació** → traspàs del **grup amino** ($-\text{NH}_2$) d'un aminoàcid a un **α -cetoàcid**



- via de la **glicòlisi**
- síntesi glúcids**

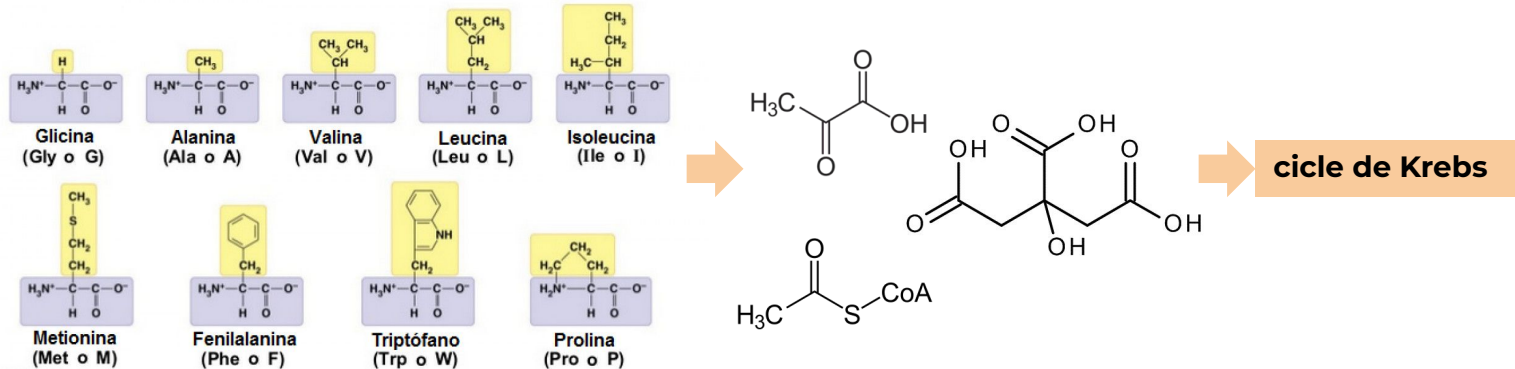


2. Desaminació oxidativa → separació del **grup amino** i formació d'**amoníac** (NH₃)



- **cicle de Krebs**
- **transaminació**

3. Transformació del radical → en **piruvat**, **acetil-CoA** o compost del **cicle de Krebs**

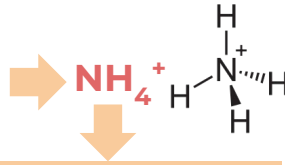




4. Eliminació de l'amoniac → **amoníac** (NH_3) en medi aquós canvia a **ió amoni** (NH_4^+)



- **Animals amoniotèlics:** invertebrats i peixos ossis



absorbeixen aigua
per osmosi i NH_4^+
diluit perd toxicitat



- **Animals ureotèlics:** peixos cartilaginosos, amfibis i mamífers



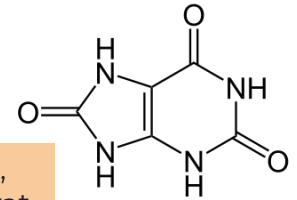
compost **menys tòxic**



- **Animals uricotèlics:** insectes, aus i rèptils



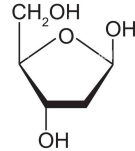
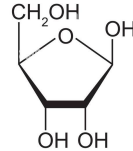
pràcticament **no tòxic**,
pot trobar-se concentrat
i així estalviar aigua





2.4. Catabolisme respiratori dels àcids nucleics

- No són utilitzats per obtenir energia, però de vegades és necessari degradar-los per sintetitzar nous àcids nucleics → A partir de **cèl·lules malmeses** o la **dieta**



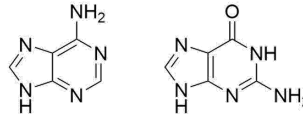
via de la **glicòlisi**

pentosa

nucleases per donar
lloc a **nucleòtids**

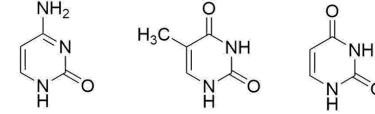
base nitrogenada

púriques (A, G)



àcid úric ($C_5H_4N_4O_3$)

pirimidíniques (C, T, U)

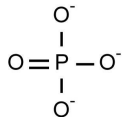


urea (CH_4N_2O) o
amoníac (NH_3)



fosfat

fosforilacions en
moltes reaccions



3. Fermentació

Tema 2. Catabolisme
Jaume Benet



Trichosporon cutaneum

- **NO** intervé la **cadena respiratòria** o cadena de transport d'e⁻
 → **NADH + H⁺** produïts a la glicòlisi **s'oxiden per ser reutilitzats**
- Procés anaeròbic
- **Acceptor final d'e⁻** és un **compost orgànic** → Apareix **producte final orgànic**

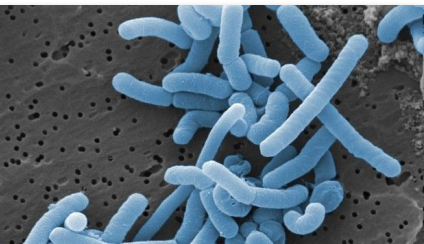
és característic i dona nom a la fermentació

- Síntesi ATP → **NOMÉS** per **fosforilació a nivell de substrat**
 - No hi ha ATPsintases
 - Baixa producció energètica

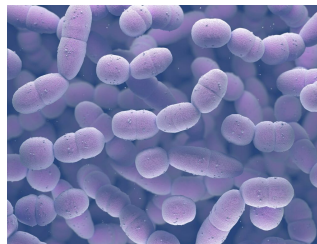
Saccharomyces cerevisiae



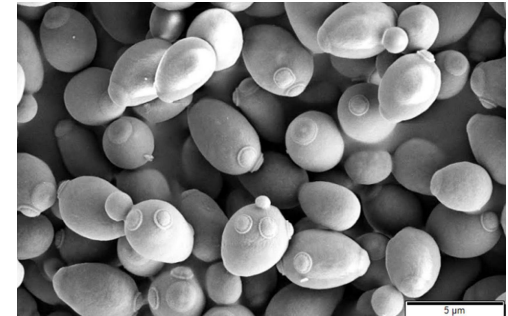
Penicillium roqueforti



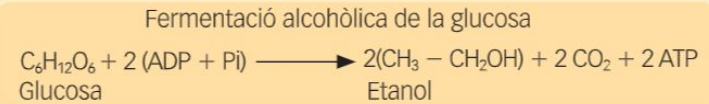
Lactobacillus bulgaricus



Streptococcus thermophilus



- 2n** realitzen fermentació quan s'ha **esgotat l'O₂**



3.2. Fermentació làctica



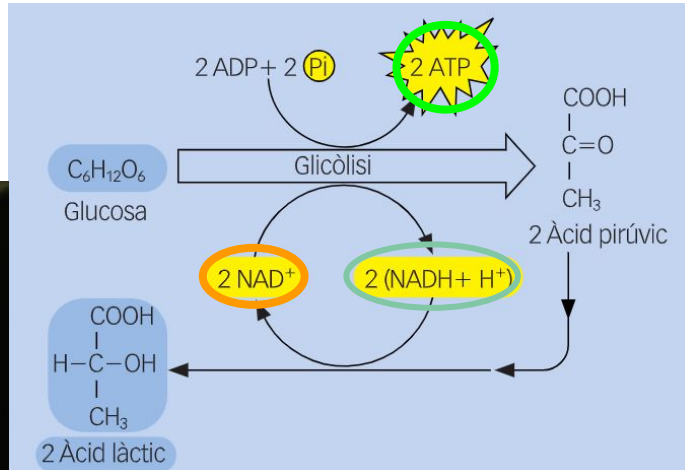
- **Àcid pirúvic** ($\text{CH}_3\text{-CO-COOH}$) es transforma en **àcid làctic** ($\text{C}_2\text{H}_4\text{OH-COOH}$)

- Produïda per **llevats, bacteris i cèl·lules del múscul esquelètic**

- Fosforilació a nivell de substrat: s'obtenen **2 ATP**

- Deshidrogenació: s'obtenen **2 NADH** i **2 H⁺** s'oxiden en **2 NAD⁺**

en un sobre-
esforç muscular
l'**O₂** s'**acaba** ràpid
i es necessita
energia



3.3. Fermentació butírica



- **Àcid pirúvic** ($\text{CH}_3\text{-CO-COOH}$) es transforma en **àcid butíric** ($\text{C}_3\text{H}_7\text{COOH}$), **àcid acètic** (CH_3COOH), **diòxid de carboni** (CO_2), **hidrogen** (H_2) i altres compostos
- Produïda per **bacteris anaerobis** (*Clostridium*)
- Fosforilació a nivell de substrat: s'obtenen **4 ATP**
- Deshidrogenació (pot variar): s'obtenen **2 NADH** i **2 H⁺** → s'oxiden en **2 NAD⁺**





3.4. Fermentació pútrida o putrefacció

- Degradació de **proteïnes** i obtenció de **compostos orgànics pudents** (cadaverina, indole, escatol...)
- Produïda per **fongs i bacteris**



responsables de la
pudor dels cadàvers
o de les **llavors en**
descomposició



4. Respiració anaeròbica

4.1. Bacteris productors de metà

- Acceptor final d'e⁻: **diòxid de carboni** (CO₂)
- Forma reduïda: **metà** (CH₄)
- Produïda per **arqueobacteris anaerobis estrictes** (*Methanobacteria*)



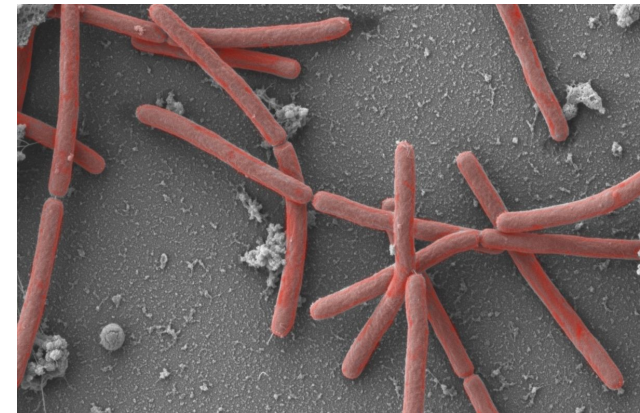
en zones amb **matèria orgànica** i **absència d'O₂**: pantans, femers, sediments, intestins...

Methanobacterium aarhusense



Methanococcus jannaschii

Methanothermobacter thermautotrophicus





4.2. Bacteris reductors de sofre

- Acceptor final d'e⁻: **sulfats** (SO_4^{2-})
- Forma reduïda: **sulfur d'hidrogen** (H_2S)
- Produïda per **bacteris anaerobis**



en zones **sulfuroses** i **absència d'O₂**:
fangs anòxics, fons de rius eutrofitzats...



Desulfovibrio desulfuricans





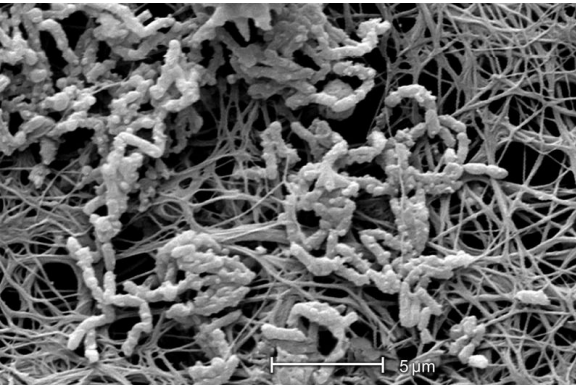
4.3. Bacteris reductors de nitrats

- Acceptor final d'e⁻: **nitrats** (NO_3^-)
- Forma reduïda: **nitrits** (NO_2^-) o **nitrogen** (N_2)
- Produïda per **bacteris**, **arqueobacteris** i **fongs aerobis facultatius** (**microorganismes desnitrificants**)



en **sòls** en **absència d'O₂**

Alcaligenes xylosoxidans



Pseudomonas aeruginosa

