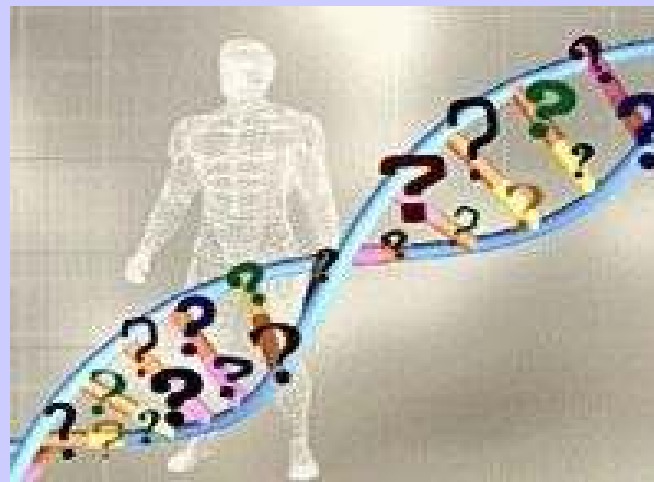


EL METABOLISME CEL·LULAR. EL CATABOLISME



1.- EL METABOLISME CEL·LULAR

1.1.- Concepte i objectius del metabolisme

1.2.-Tipus de metabolisme

1.3.- El paper del ATP

2.- EL CATABOLISME

2.1.- Concepte de catabolisme

2.2.- Tipus de catabolisme

2.3.- El catabolisme dels glúcids

2.4.- El catabolisme dels lípids

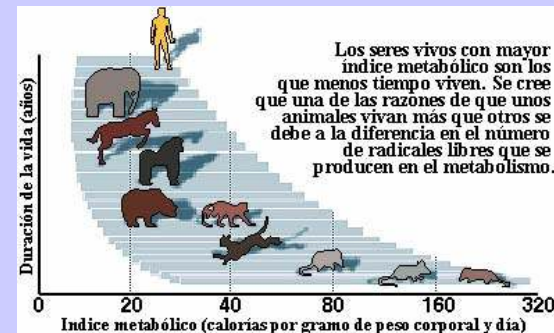
2.5.- Les fermentacions

1.- EL METABOLISME CEL·LULAR

1.1.- Concepte i objectius del metabolisme

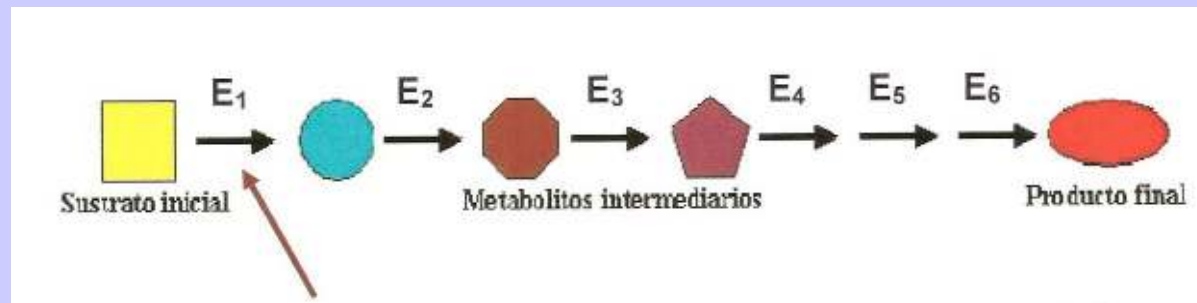
El metabolisme és el conjunt de reaccions químiques que se produeixen a l'interior de les cèl·lules i que condueixen a la transformació d'unes biomolècules en altres

Les diferents reaccions químiques del metabolisme s'anomenen vies metabòliques i les molècules que en elles intervien són els metabolits.



Regulació del metabolisme

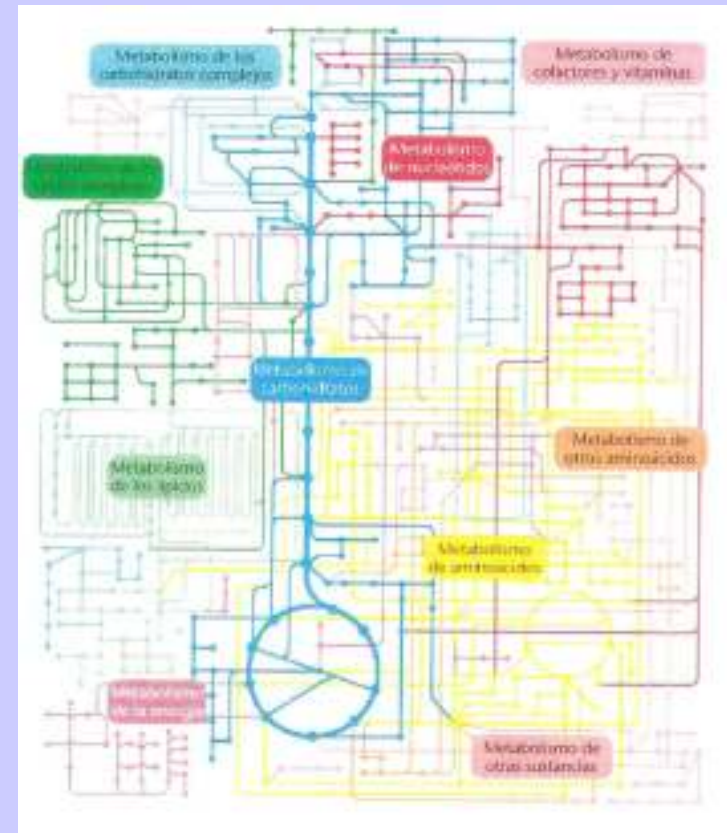
- Totes les reaccions del metabolisme estan regulades per enzims, que són específics per cada metabolit inicial o substrat i per cada tipus de transformació.
- Les substàncies finals de cada via metabòlica s'anomenen productes.



- Les connexions existents entre diferents vies metabòliques reben el nom de metabolits intermediaris.

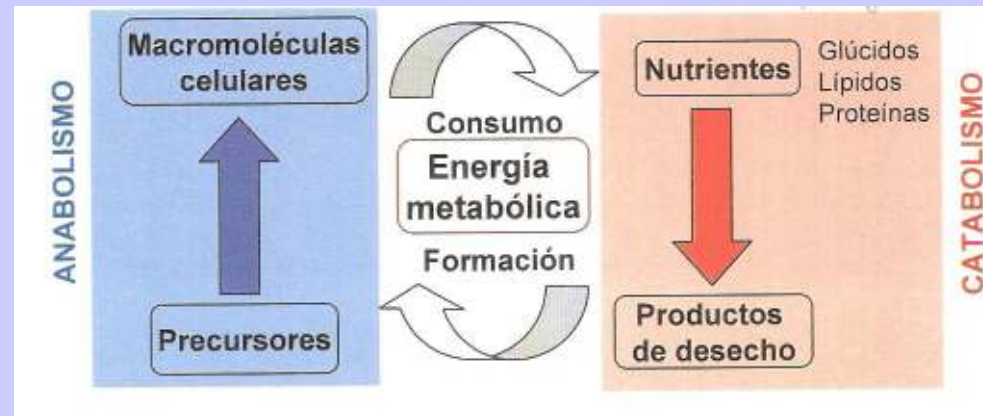
Funcions del metabolisme

- Obtenció d'energia química de les molècules combustibles o de la llum absorbida.
- La conversió dels principis nutritius exògens en molècules precursors del components macromoleculars de la cèl·lula.
- L'assemblatge d'aquests materials per formar proteïnes, àcids nucleics, lípids i altres components cel·lulars.
- La formació i degradació de les biomolècules necessàries per les funcions especialitzades de la cèl·lula.

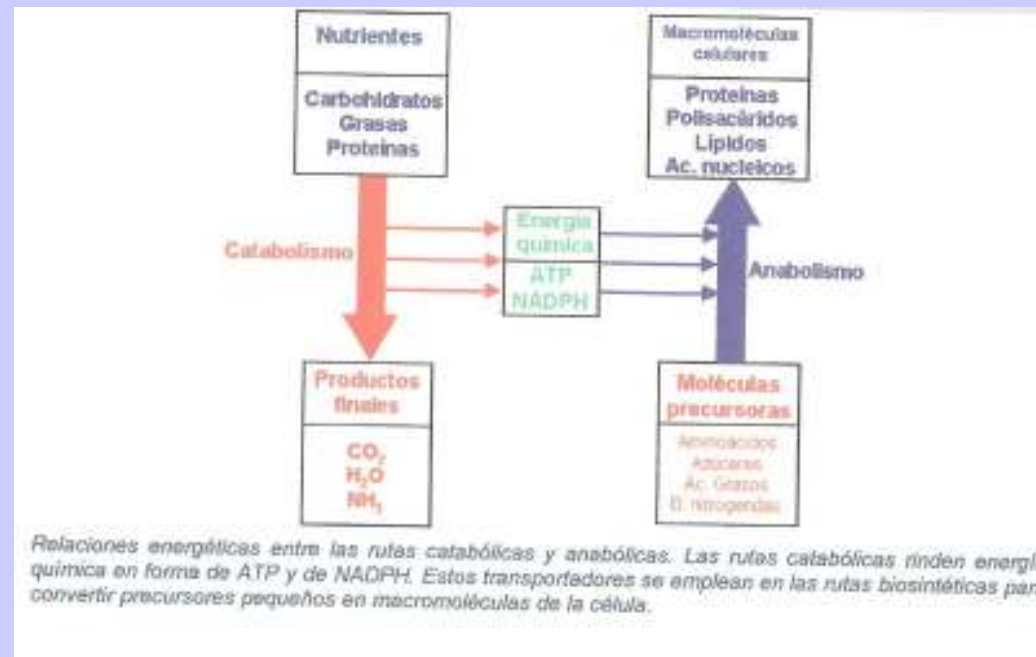


En el metabolismo se pueden considerar dues fases:

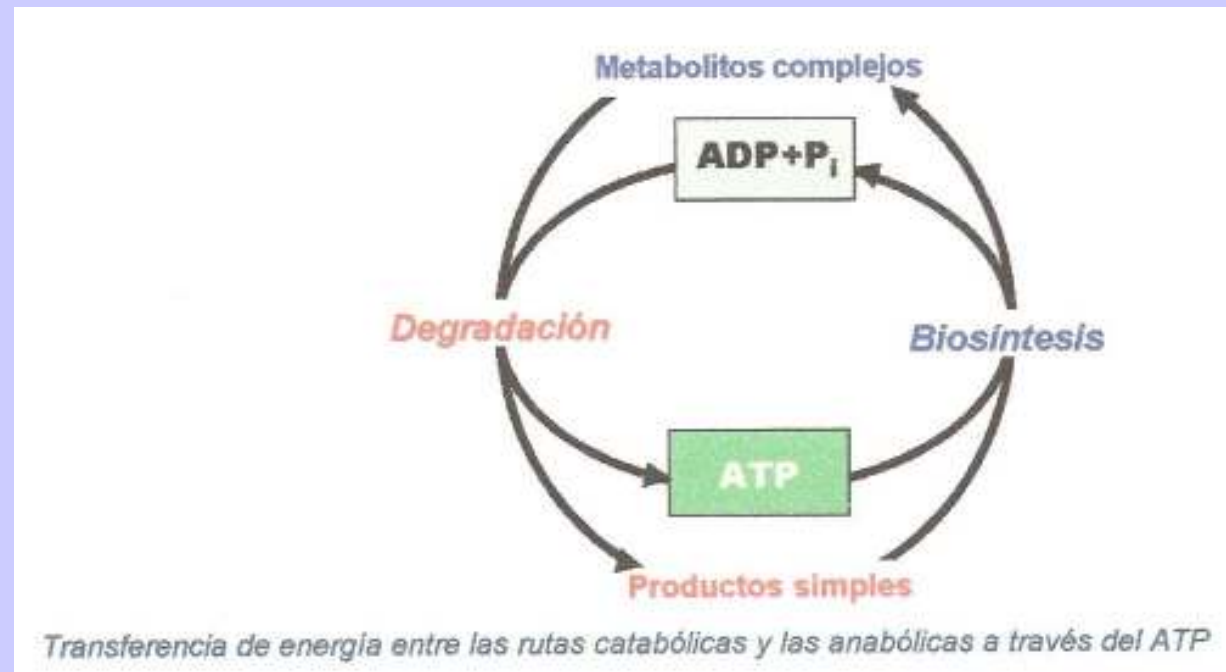
- una de degradació de matèria orgànica o **catabolisme**
- una altra de construcció de matèria orgànica o **anabolisme**



- El **catabolisme** és la transformació de molècules orgàniques complexes en altres de més senzilles, procés en el que s'allibera energia que s'emmagatzema en els enllaços fosfat del ATP.
- L'**anabolisme** és la síntesis de molècules orgàniques complexes a partir d'altres biomolècules més senzilles, per la qual cosa, se necessita subministrar energia, proporcionada per els enllaços fosfat del ATP.



Les molècules del ATP poden procedir de les reaccions catabòliques, de la fotosíntesis (en les plantes i alguns microorganismes) o de la quimiosíntesis (en altres microorganismes).



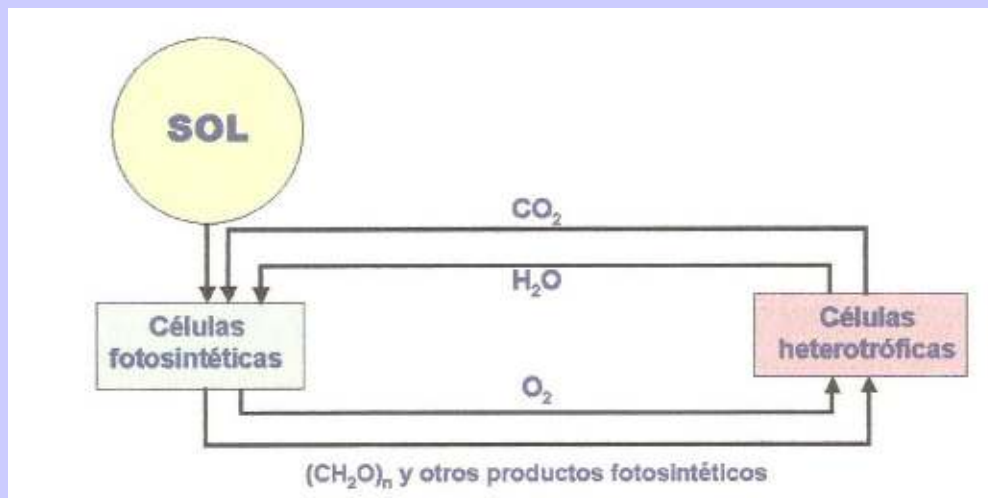
1.2.- Tipus de metabolisme

- Per créixer i desenvolupar-se, tots els éssers vius necessiten incorporar matèria, requerint tot tipus d'àtoms.
- Els més importants són els àtoms de carboni que, gràcies als enllaços covalents, formen l'esquelet de totes les biomolècules orgàniques.

-Si la font de carboni és el diòxid de carboni (CO₂) atmosfèric (o sigui, la forma oxidada del carboni o carboni inorgànic), se parla de metabolisme **autòtrof**

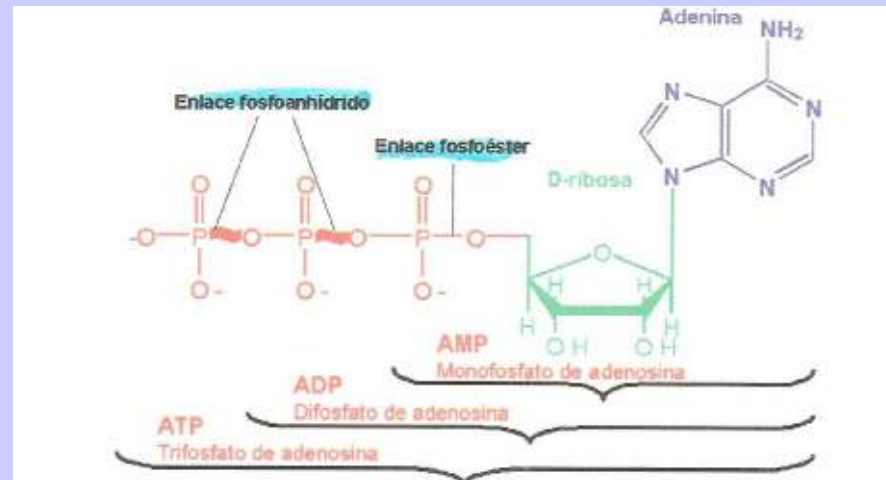
-Si la font és la pròpia matèria orgànica (formes més o menys reduïdes del carboni com metà, glucosa, grassa, etc., és a dir, l'anomenat carboni orgànic) se parla de metabolisme **heteròtrof**.

- En relació a les fonts d'energia per a les reaccions metabòliques...
 - si la font d'energia és la llum, se parla de **fotosíntesis**
 - si se tracte d'energia despresa en reaccions químiques, se parla de **quimiosíntesis**.

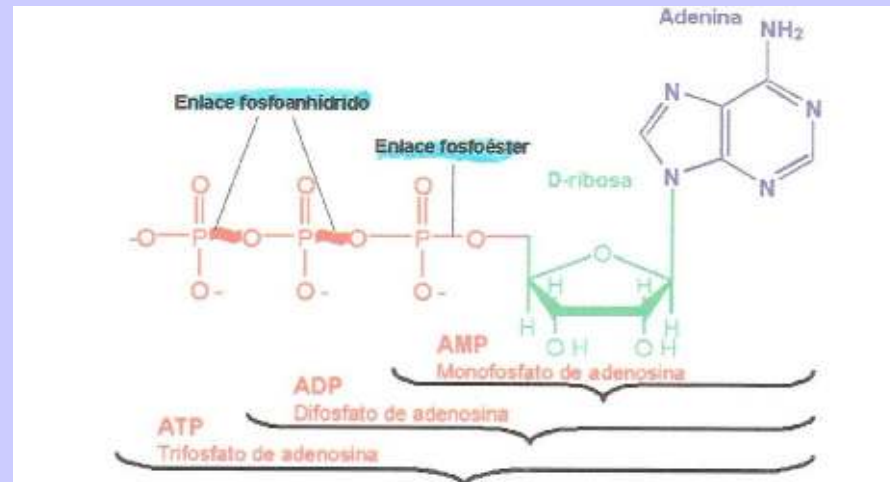


1.3.- El paper del ATP

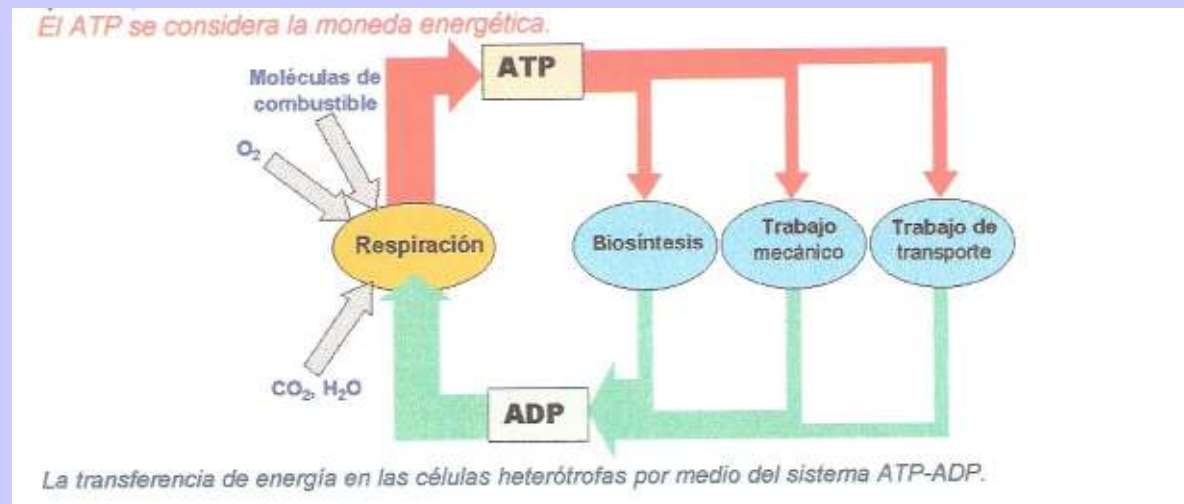
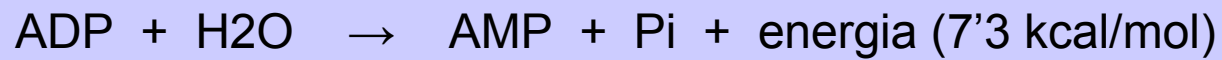
- L'**adenosin-trifosfat** o **ATP** és un nucleòtid molt important en el metabolisme.
- Pot actuar com a molècula energètica, al ser capaç d'emmagatzemar o cedir energia gràcies als seus dos enllaços éster-fosfòrics.
- Aquests enllaços són capaços d'emmagatzemar, cada un d'ells, 7'3 kcal/mol.



- Al hidrolitzar-se, se romp l'últim enllaç éster-fosfòric (desfosforilació) produint-se **ADP (adenosin-difosfat)** i una molècula d'àcid fosfòric (H_3PO_4) que se sol simbolitzar com Pi, alliberant-se, a més, l'energia.



- L'ADP és capaç de ser hidrolitzat també, rompent-se l'altre enllaç éster-fosfòric amb la qual cosa s'alliberen unes altres 7'3 kcal/mol i se produeixen **AMP (adenosín-monofosfat)** i una molècula d'àcid fosfòric:



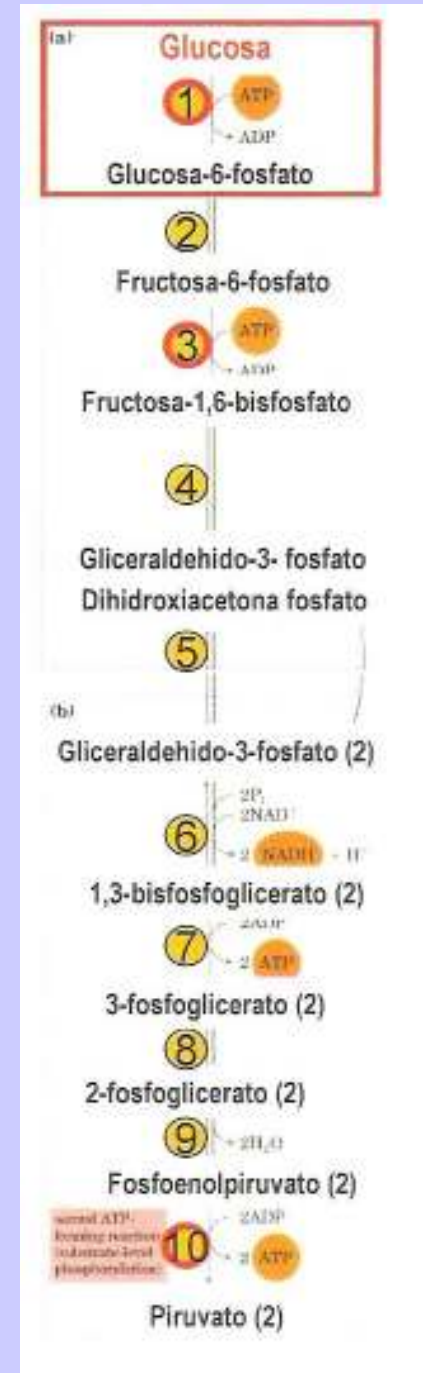
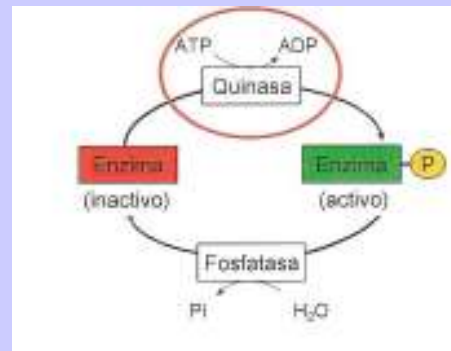
La síntesis de ATP

- La síntesis de ATP se pot realitzar per dues vies:
 - **Fosforilació a nivell de substrat** (energia d'un substrat)
 - **Fosforilació oxidativa** (energia de l'oxidació de substrats reduïts)

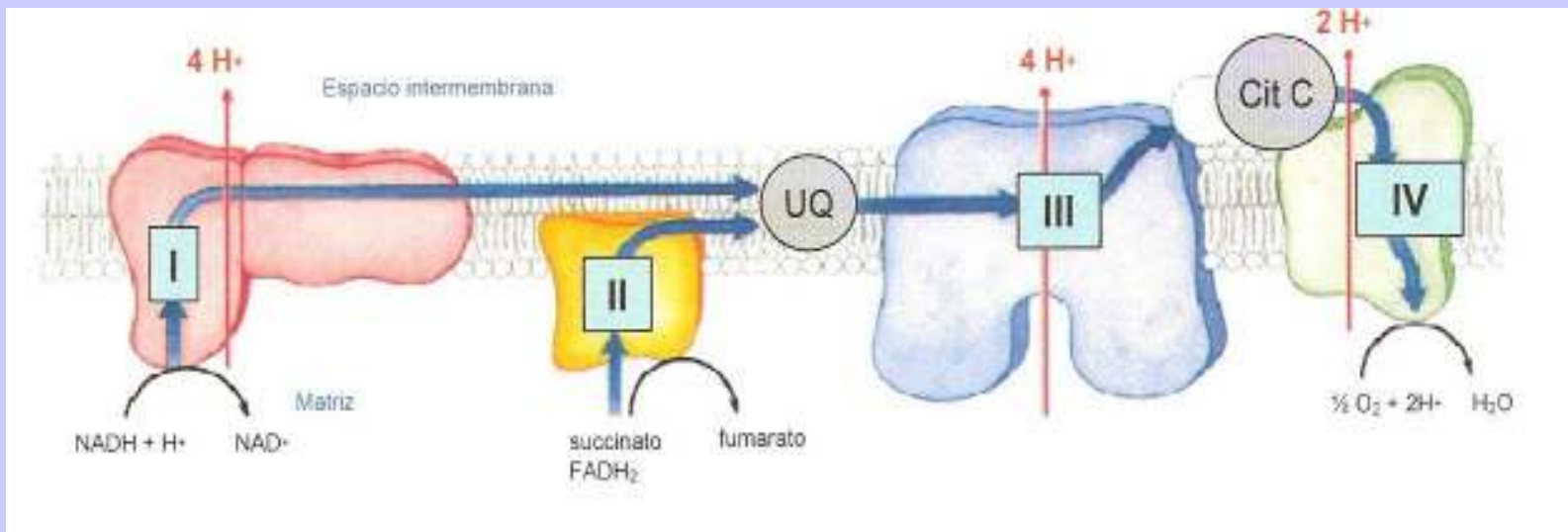
- **Mitjançant enzims del grup de les ATP-sintetases**

- **Fosforilació a nivell de substrat.** És la síntesis de ATP gràcies a l'energia que s'allibera a l'energia que s'allibera d'una biomolècula (substrat) al rompre's algun dels seus enllaços rics en energia, com passa en algunes reaccions de la glucòlisi i del cicle de krebs. (síntesis d'ATP a partir d'ADP).

Els enzims que regulen aquests processos s'anomenen quinases.



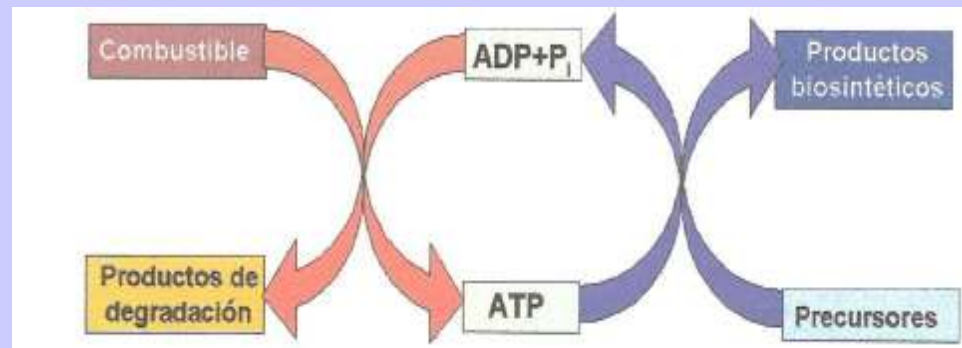
- **Mitjançant enzims del grup de les ATP-sintetases.** És la síntesis de ATP mitjançant els enzims ATPases existents a les crestes de les mitocòndries o als tilacoides dels cloroplasts, quan aquests enzims són travessats per un flux de protons (H^+)



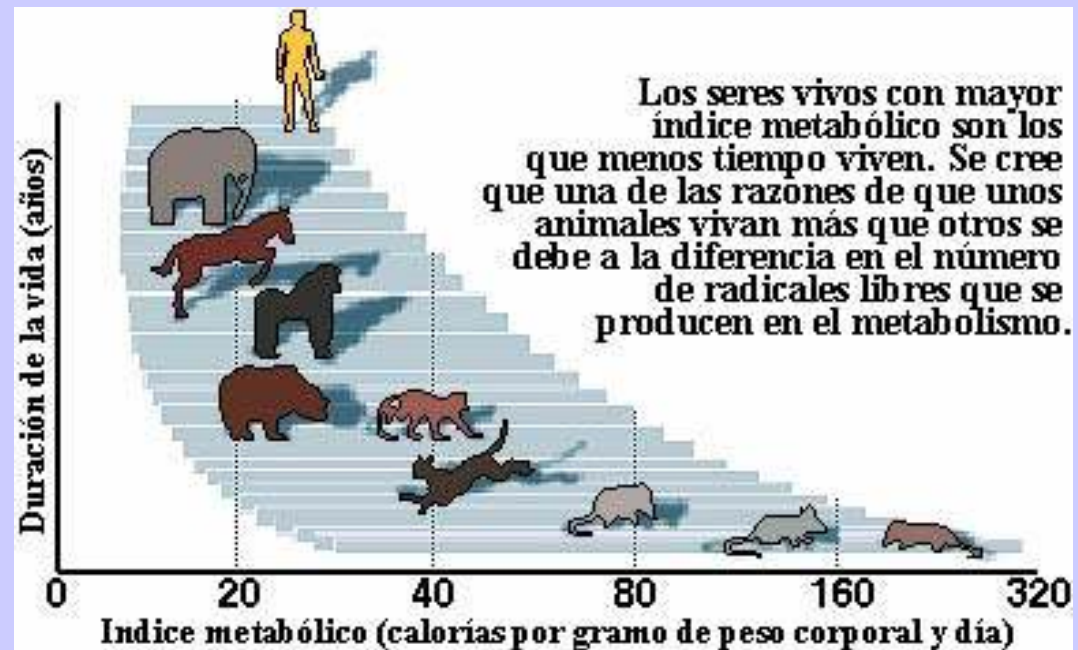
2.- EL CATABOLISME

2.1.- Concepte de catabolisme

- El catabolisme és la fase degradativa del metabolisme
- La finalitat és l'obtenció d'energia.
- Les molècules orgàniques són transformades en altres més senzilles que intervindran en altres reaccions metabòliques fins transformar-se en els productes finals del catabolisme.
- Generalment són expulsats de la cèl·lula, els anomenats productes d'excreció (CO₂, urea, àcid úric, etc.).

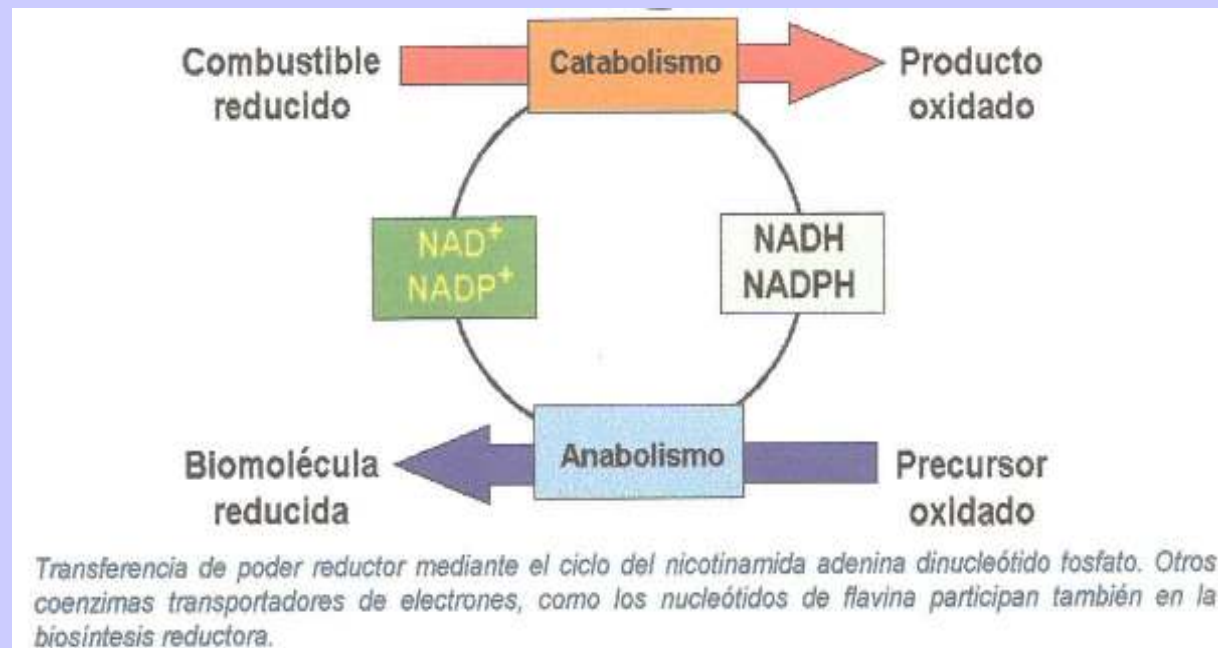


- L'energia alliberada en el catabolisme és emmagatzemada als enllaços rics en energia del ATP.
- Podrà ser utilitzada per reaccions de síntesis orgànica o per a realitzar activitats cel·lulars.
- El catabolisme és similar als organismes autòtrofs i als heteròtrofs.



- Les reaccions del catabolisme són reaccions d'**oxidació**, és a dir, de pèrdua d'electrons.
- Donat que la matèria que experimenta el catabolisme és matèria orgànica, constituïda bàsicament, per carboni i hidrogen, la forma d'oxidar-se és mitjançant la pèrdua d'àtom d'hidrogen que es troben units al carboni (deshidrogenació) o per guany d'àtoms d'oxigen (oxigenació).
 - Deshidrogenació: una molècula s'**oxida** al perdre àtoms d'hidrogen
 - Oxigenació: una molècula s'**oxida** al patir l'incorporació d'àtoms d'oxigen.

- Un àtom només pot perdre electrons (**oxidació**) si hi ha àtoms que els accepta (**reducció**).
- Aquests processos s'anomenen reaccions d'oxidació-reducció (reaccions <<**redox**>>).
- Les reaccions catabòliques són també reaccions redox. En elles, uns composts s'oxiden i altres se redueixen.



- Una molècula **s'oxida** quan perd electrons i una altra se **redueix** quan els guanya.
- Quan una molècula perd hidrògens (deshidrogenació), també **s'oxida**, ja que un àtom d'hidrogen se compon d'un protó i un electró.
- Una molècula se **redueix** quan guanya àtoms d'hidrogen. En la matèria orgànica, perquè una molècula pugui deshidrogenar-se, n'hi ha d'haver una altra que accepti aquests hidrògens (molècula acceptora d'hidrògens).
- Si se tracte d'una oxidació per oxigenació, hi ha d'haver una substància donadora d'àtoms d'oxígen.

Transferència electrònica

Els àtoms d'hidrogen despresos en les reaccions d'oxidació son captats per unes molècules anomenades **transportadores d'hidrogen**, com son:

- el **NAD+** (nicotinamida-adenin-dinucleòtit)
- el **NADP+** (nicotinamida-adenin-dinucleòtid fosfat)
- el **FAD** (flavin-adenin-dinucleòtid)

fins que finalment són transportats a la molècula **acceptora final d'hidrogen**, que se redueix (PODERS REDUCTORS)

Transferència electrònica

- En les reaccions d'oxidació i reducció, freqüentment els protons (H^+) i els electrons (e^-) van separats.
- Els electrons, abans d'arribar a la molècula acceptora final d'electrons, són captats per els anomenats **transportadors d'electrons**, que són els citocroms.
- El pas dels electrons d'un citocrom a un altre porta a una disminució del nivell energètic de l'electró i l'alliberació d'una energia que és utilitzada per fosforilar el ADP i formar molècules de ATP.

Transferència electrònica

Per tant, en els sistemes biològics hi ha 4 tipus de transferència electrònica:

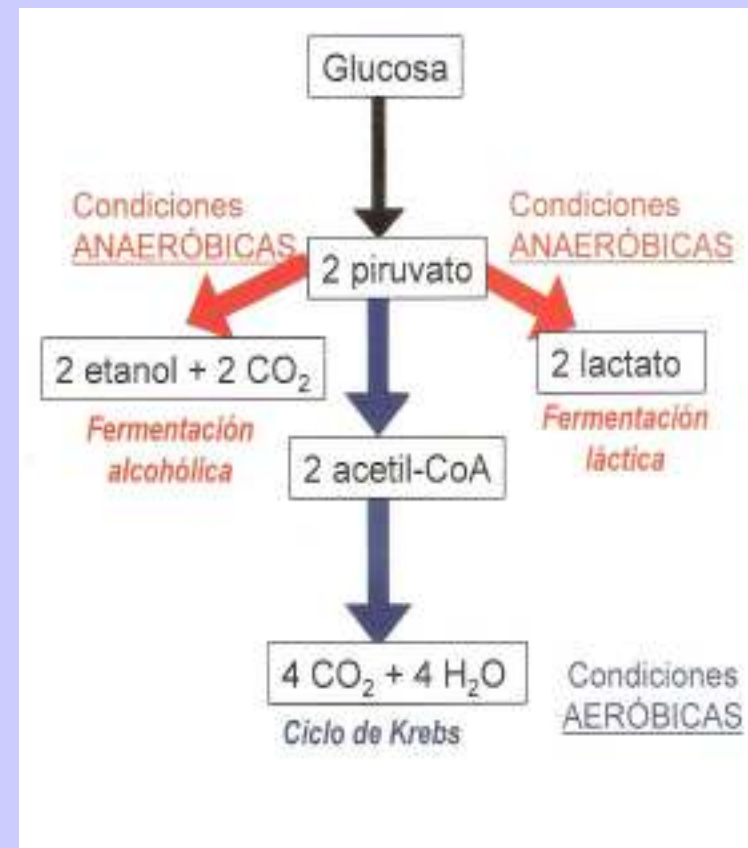
- Transferència directe d'electrons ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+} + 1\text{e}^-$)
- Transferència d'un àtom d'hidrogen ($\text{H} \rightarrow \text{H}^+ + 1\text{e}^-$)
- Transferència d'un ió hidrur ($\text{H}^- \rightarrow \text{H}^+ + 2\text{e}^-$)
- Combinació directe d'un reductor amb l'oxigen

Els tres primers tipus tenen lloc a la CADENA RESPIRATÒRIA

2.2.- Tipus de catabolisme

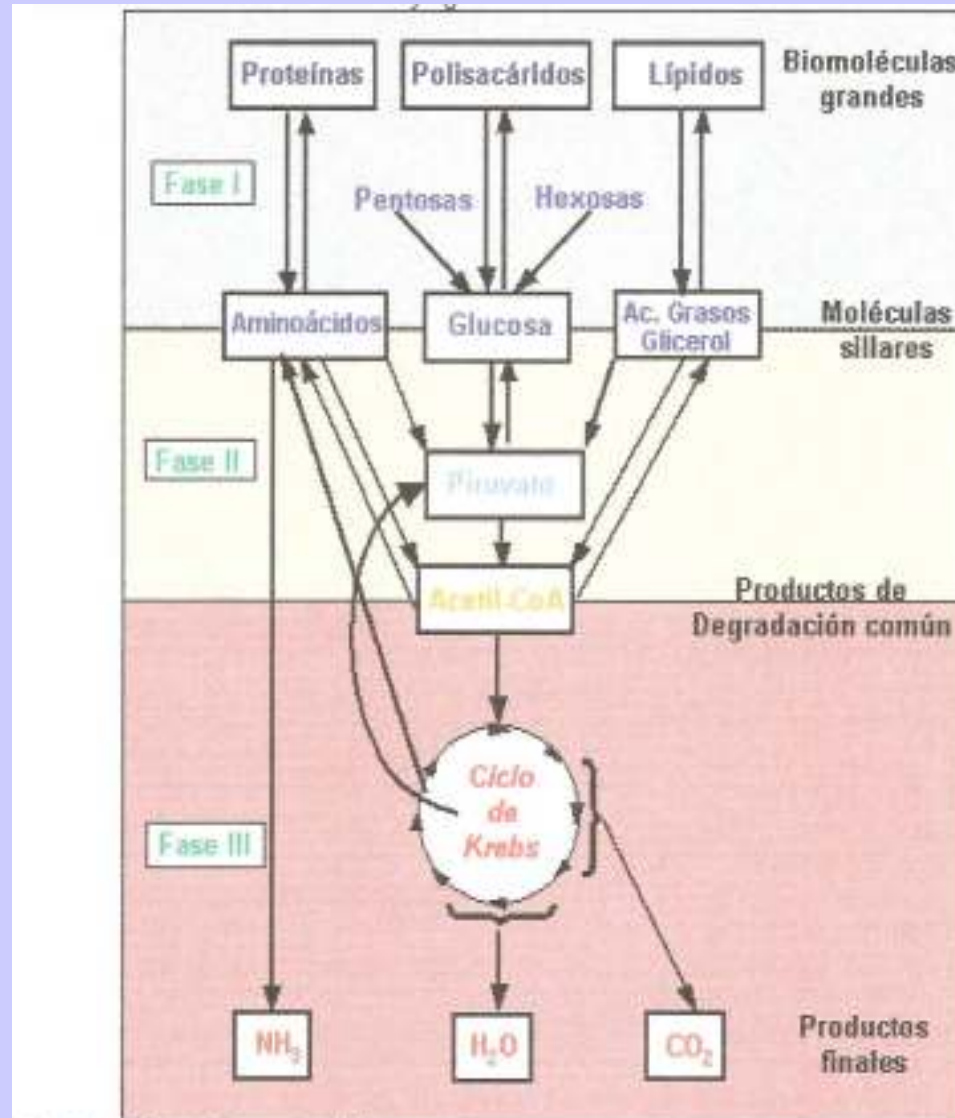
- En la **fermentació** la molècula que se redueix és sempre orgànica.
- En la **respiració** la molècula que se redueix és un compost inorgànic, per exemple O_2 , NO_3^- , SO_4^{2-} , etc.
 - Si és l'oxigen se denomina **respiració aeròbica**
 - Si és una substància diferent a l'oxigen, per exemple, el NO_3^- , SO_4^{2-} , etc, se denomina **respiració anaeròbica**.
 - En la respiració aeròbica, al reduir-se l' O_2 , mitjançant l'acceptació dels hidrògens, se forma aigua
 - En la respiració anaeròbica, al reduir-se l'ió nitrat NO_3^- , se forma ió nitrit NO_2^- , i al reduir-se l'ió sulfat SO_4^{2-} se forma ió sulfit SO_3^{2-} .

- En la fermentació, la molècula que se catabolitzza, és a dir, que s'oxida, és sempre una substància orgànica.
- En la respiració també ho és excepte en les bactèries quimioautòtrofes en que és inorgànica.



Les reaccions catabòliques són diferents segons la naturalesa dels substrats orgànics a degradar (glúcids, lípids, proteïnes, àcids nuclèics).

En aquest apartat nosaltres ens centrarem bàsicament en el catabolisme de glúcids i de lípids.



Tres fases del catabolisme-anabolisme

CATABOLISME

La degradació enzimàtica de cada un dels elements nutritius majoritaris de les cèl·lules tenen lloc per mitjà d'un cert nombre de reaccions enzimàtiques consecutives, que estan organitzades bàsicament en tres fases principals.

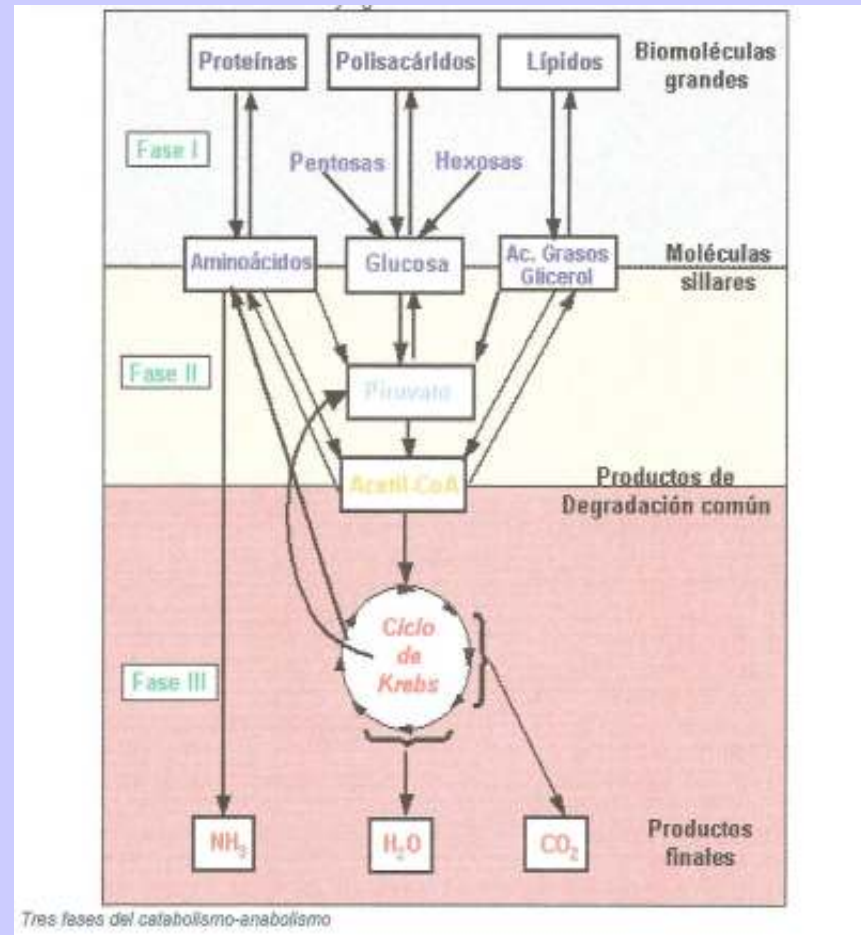
- Fase I

Les grans molècules nutritives se degraden, alliberant les seves unitats constructives principals.

- Els polisacàrids se degraden rendint hexoses o pentoses.

- Els lípids produeixen àcids grassos, glicerol i altres components.

- Les proteïnes s'hidrolitzen per donar aminoàcids.



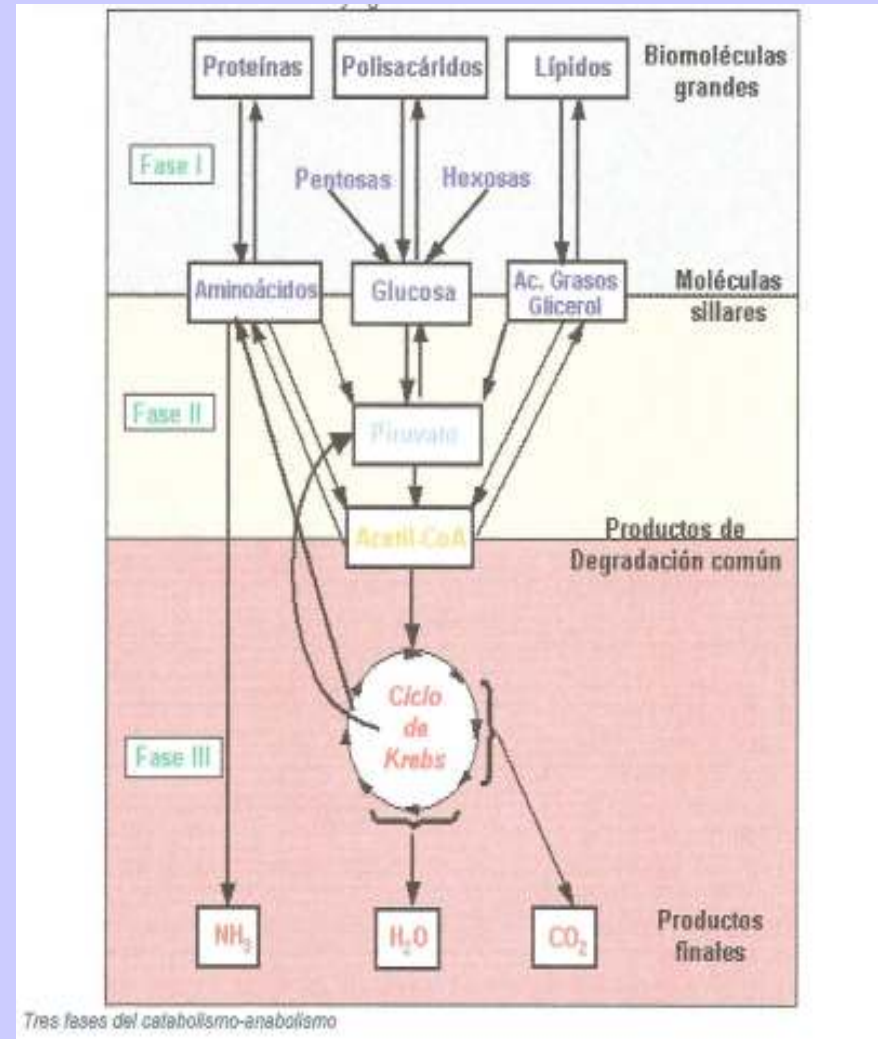
- Fase II

Tots els productes de la fase anterior se converteixen en un nombre menor d'intermediaris, encara més senzills.

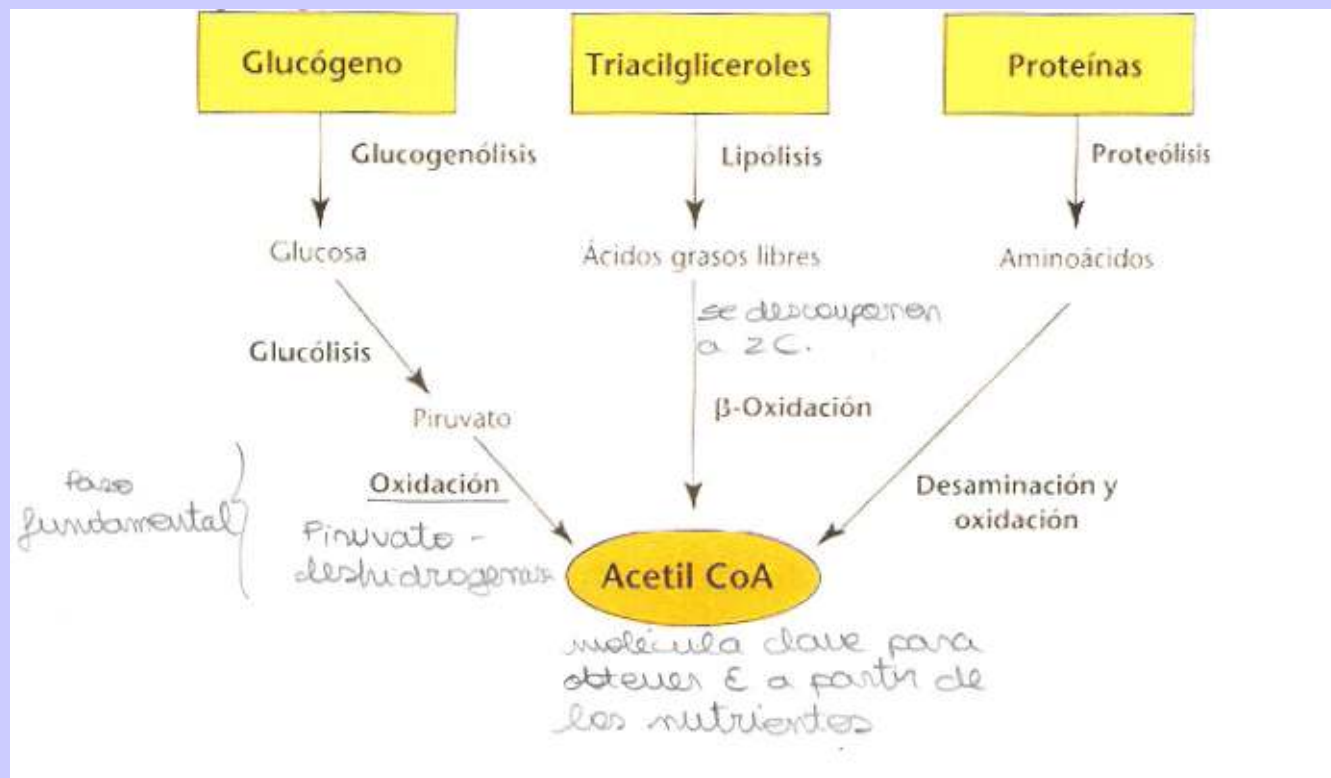
- Les hexoses, pentoses i glicerol se degraden passant per la formació d'àcid pirúvic, un intermediari de tres carbonis, per rendir una espècie més senzilla de dos carbonis, que és el grup acetil de l'acetil-CoA, que es troba així químicament activat.

- els diversos àcids grassos i aminoàcids s'escindeixen per formar acetil-CoA i uns pocs productes finals diferents.

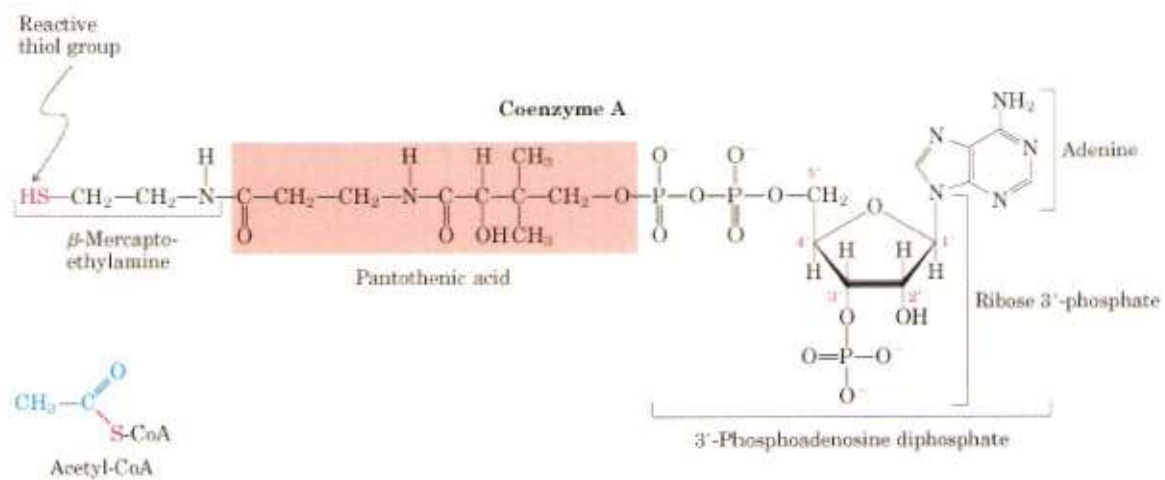
- Finalment, els grups acetil del acetil-CoA, així com altres productes de la fase II, se canalitzen cap a la fase III.



L'acetylCoA té un paper central en el metabolisme

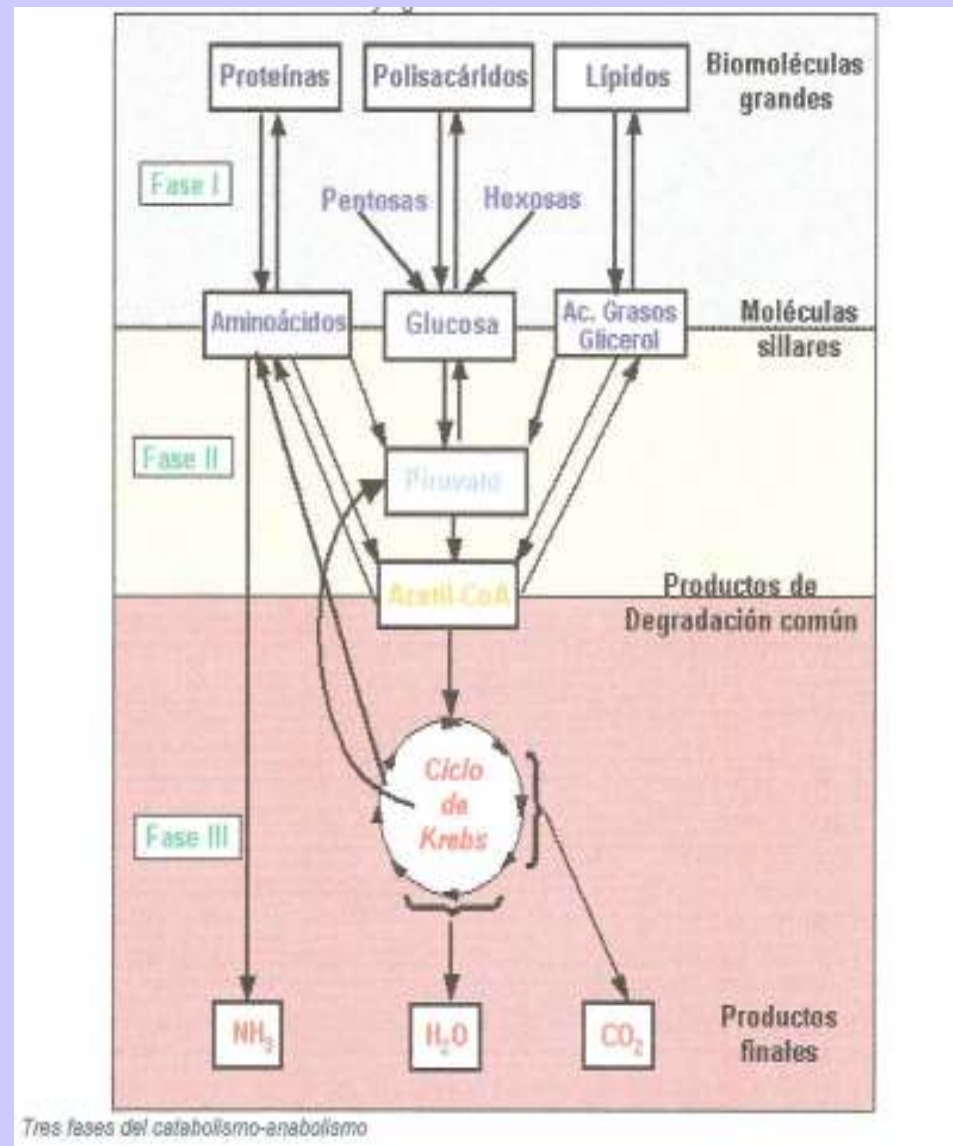


Acetyl-CoA



- Fase III

La darrera fase és la ruta catabòlica final comú, en la que en darrer terme aquests grups són oxidats fins a diòxid de carboni i aigua.



2.3.- El catabolisme dels glúcids

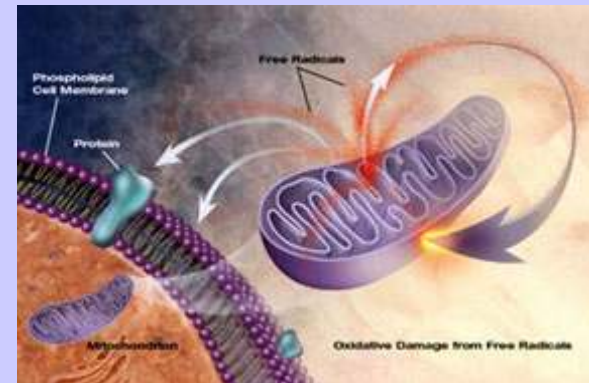
- En el tub digestiu dels animals i mitjançant els processos digestius, els polisacàrids i disacàrids de la ingesta de l'animal són hidrolitzats i convertits en les seves unitats monosacàrids com la glucosa, la fructosa i la galactosa.
- La reserva de glucogen del teixit muscular dels animals també pot ser hidrolitzada, quan es requereix energia per l'exercici muscular, en unitats de glucosa.
- Anàlogament, a les **cèl·lules vegetals**, les reserves de midó són hidrolitzades a molècules de glucosa.
- La **glucosa** és el més abundant dels monosacàrids, per lo que el seu procés degradatiu pot servir d'exemple del catabolisme respiratori dels glúcids.

En la degradació total per respiració de la glucosa i fins l'aprofitament complet de tota l'energia alliberada, se distingeixen dues fases:

- **GLUCÒLISIS**

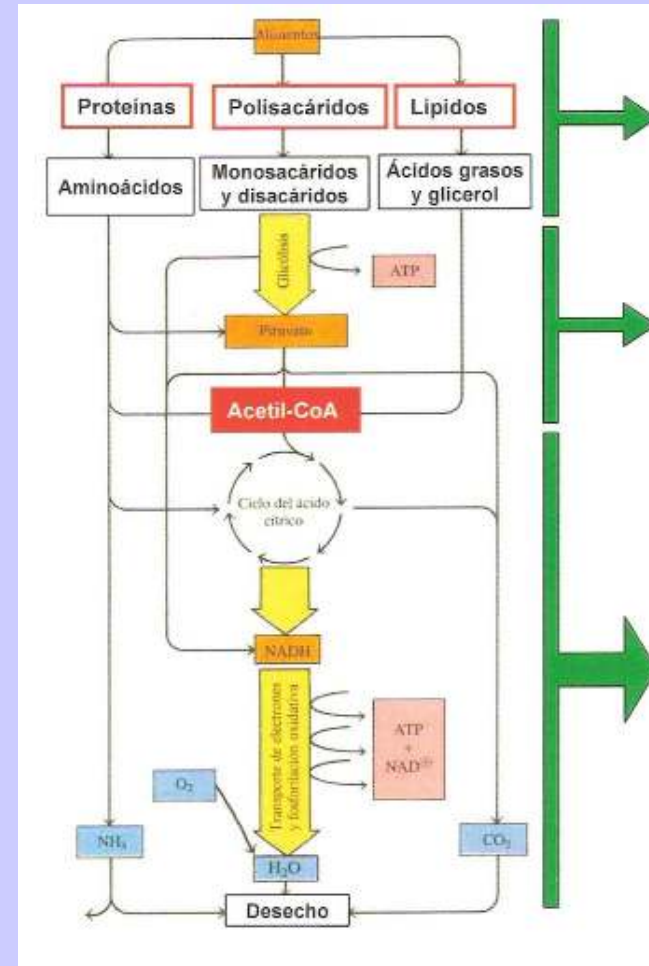
- **RESPIRACIÓ:**

- . El cicle de krebs
- . Transport d'electrons



LA GLUCÒLISIS

- És una ruta metabòlica en la que la glucosa s'escindeix en dues molècules d'àcid pirúvic (piruvat).
- És totalment anaeròbia, ja que no se necessita la presència d'oxigen.
- Se porta a terme al citoplasma cel·lular

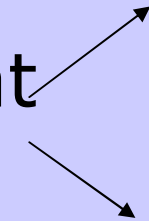


Glucosa

GLUCÒLISIS



2 Piruvat



Cond. aeròbiques

Cond. anaeròbiques

Fases i rendiment de la GLUCÒLISIS

Reaccions:

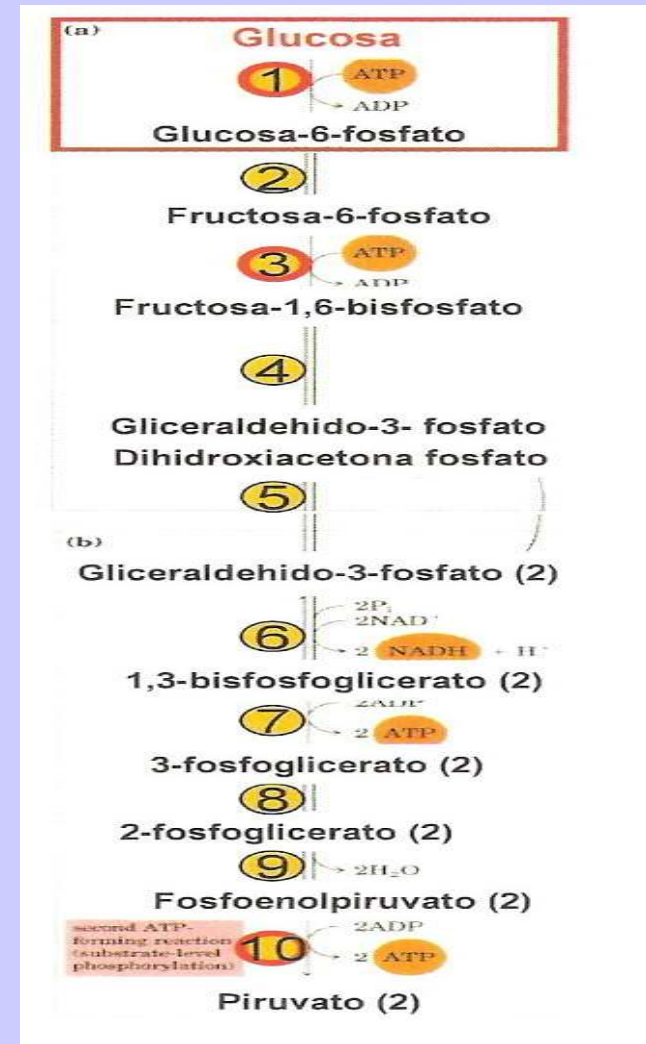
- 1.- Hexoquinasa
- 2.- Fosfofructosa isomerasa
- 3.- Fosfofructoquinasa
- 4.- Aldolasa
- 5.- Triosa fosfat isomerasa
- 6.- Gliceraldehid-3 fosfat deshidrogenasa
- 7.- Fosfoglicerat quinasa
- 8.- Fosfoglicerat mutasa
- 9.- Enolat
- 10.- Piruvat quinasa

Fase preparatòria

Fase de degradació

BALANÇ ENERGÈTIC:

Glucosa → 2 ATP + 2 NADH



Resum de la glucòlisis

- Degradació de l'esquelet carbonat de la glucosa a piruvat.
- Fosforilació del ADP a ATP per composts d'alta energia (fosforilació a nivell de substrat).
- Transferència d'àtoms d'hidrogen o electrons al NAD^+ formant NADH (formació de poder reductor).

LA RESPIRACIÓ CEL·LULAR

- Organismes aeròbics —————> Obtenició d'energia
(ésser humà)

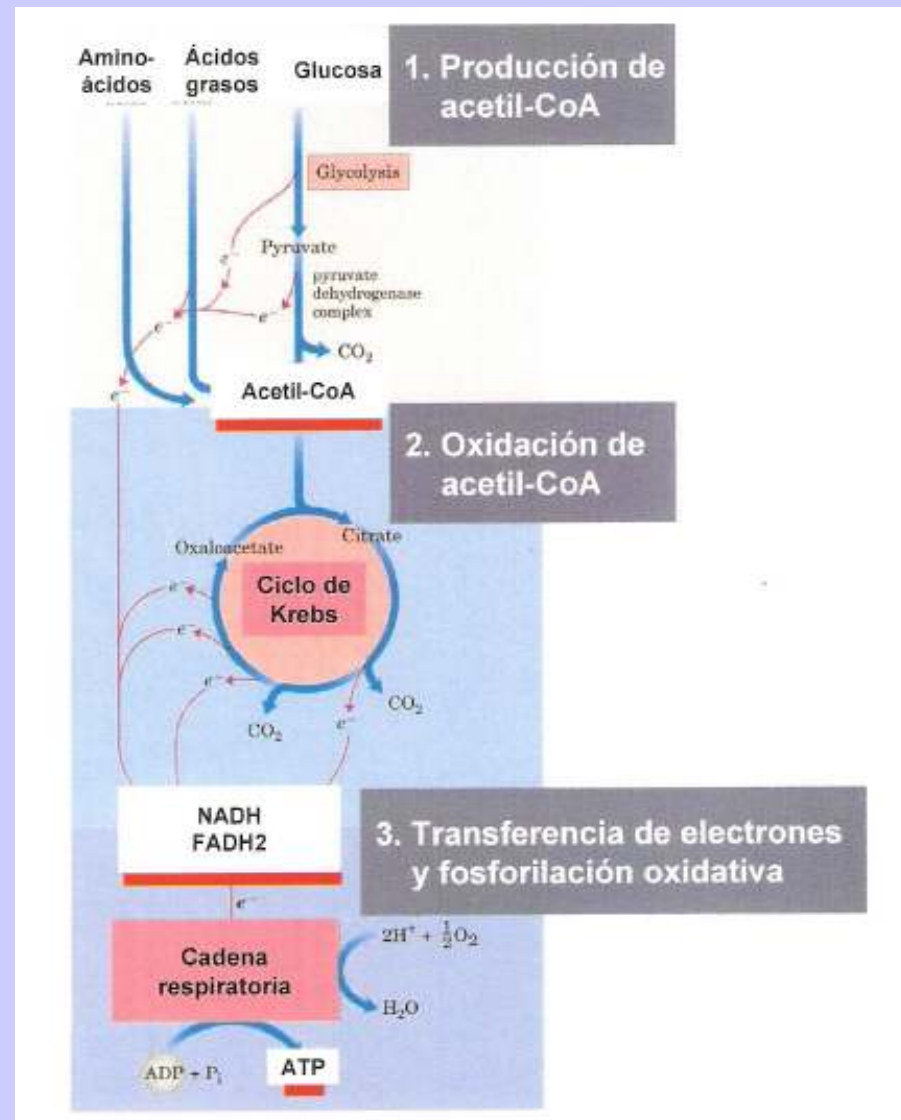
Fases:

- 1.- **Oxidació de nutrients** (glucosa → piruvat) a acetilCoA
- 2.- **Cicle de krebs o cicle dels àcids tricarboxícs:** oxidació del acetilCoA a CO₂, amb formació de coenzims reduïts (NADH i FADH₂)
- 3.- **Transferència electrònica i fosforilació oxidativa:** oxidació dels coenzims reduïts, alliberant-se protons que se transfereixen al llarg de la cadena respiratòria cap a l'O₂, donant H₂O i alliberant-se energia com ATP

1.- Oxidació de nutrients.

2.- Cicle de krebs o cicle dels àcids tricarboxícs.

3.- Transferència electrònica i fosforilació oxidativa.

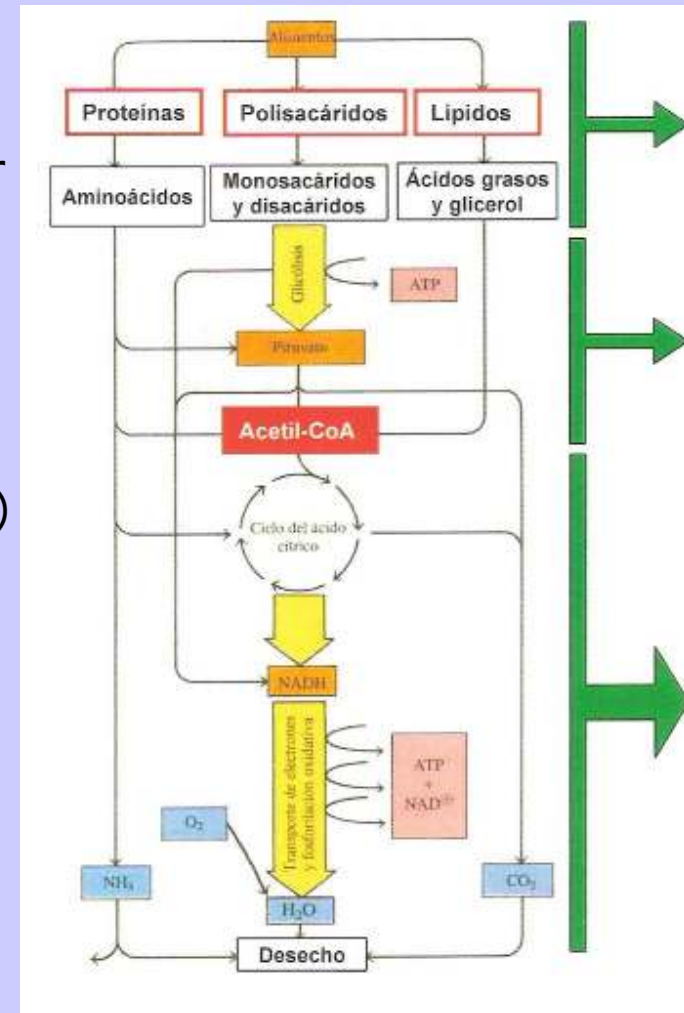


Introducció al cicle de krebs

- Via final i comú en la degradació de les molècules oxidables (carbohidrats, proteïnes i grasses) que rendeixen en el seu catabolisme acetil-CoA.
- Alguns aminoàcids, en el seu catabolisme, condueixen a la formació d'intermediaris del cicle de krebs.
- El cicle de krebs és punt de partida de la gluconeogènesis (síntesis de glucosa), lipogènesis i en alguns casos és punt de partida de la síntesis d'aminoàcids.

El cicle de krebs

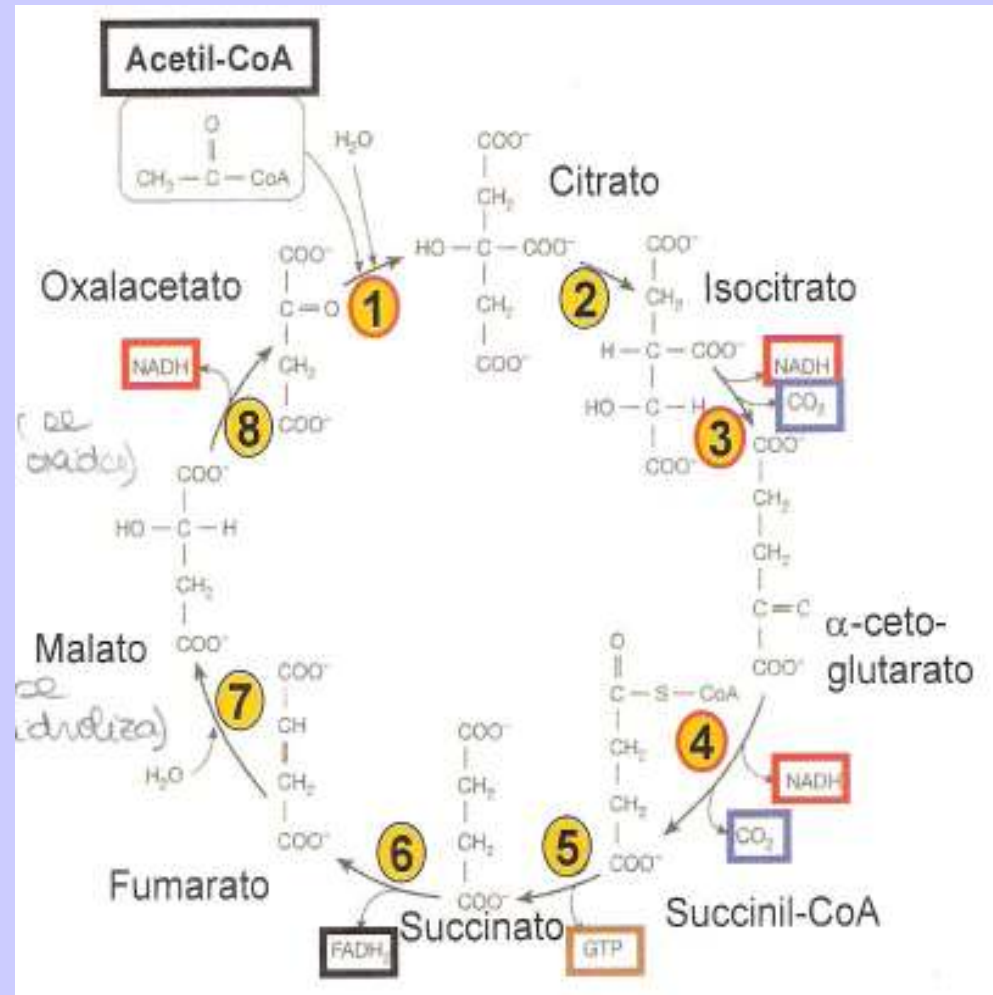
- L'àcid pirúvic (PIRUVAT) produït a la glucòlisi, per poder ser oxidat per respiració ha d'entrar a l'interior de les mitocòndries travessant la doble membrana d'aquestes.
- Sofreix un complicat procés d'oxidació i descarboxilació (pèrdua d'un àtom de carboni) en el que intervenen diferents enzims i coenzims (el denominat **sistema piruvat-deshidrogenasa**), transformant-se en **acetil-S-CoA**.



El cicle de krebs

Reaccions

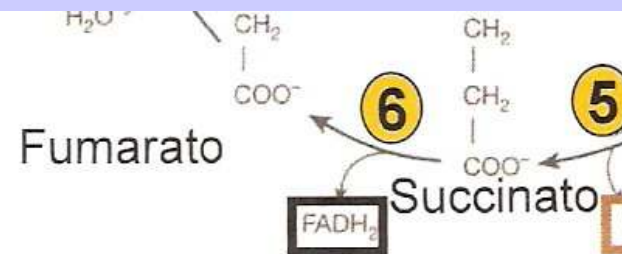
- 1.- Citrat sintasa
- 2.- Aconitasa
- 3.- Isocitrat deshidrogenasa
- 4.- Cetoglutarat deshidrogenasa
- 5.- SuccinilCoA sintetasa
- 6.- Succinat deshidrogenasa
- 7.- Fumarasa
- 8.- Malat deshidrogenasa



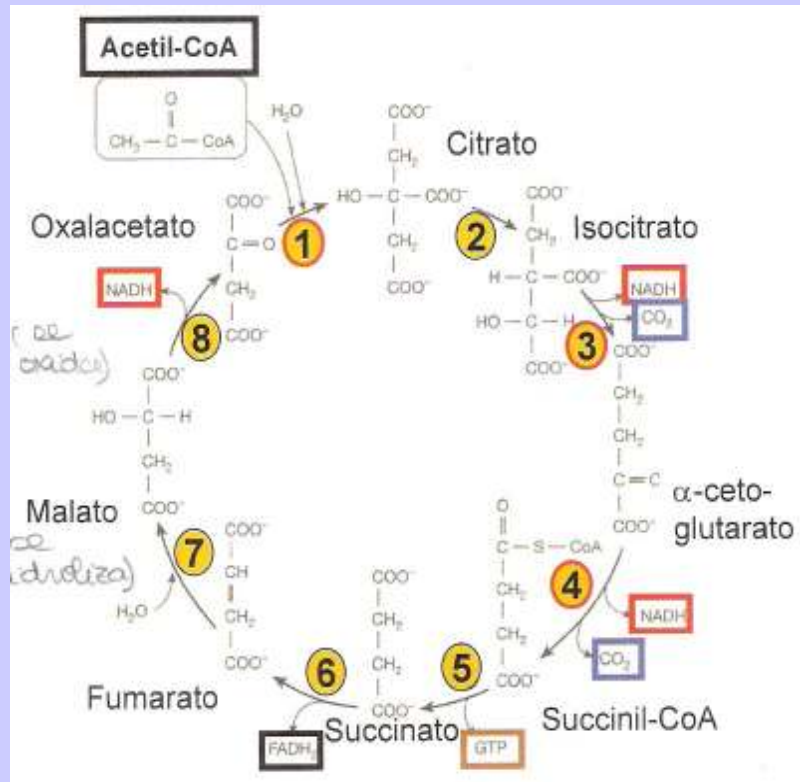
Cicle de krebs

Via anfibòlca catabolisme/anabolisme

Balance:



El cicle de krebs



- Com que en el cicle de Krebs penetra un compost de dos C (l'acetil-S-CoA) i es produeixen dues descarboxilacions (pas 3 i 4), la molècula queda totalment degradada.
- Com que en la glucòlisi se poden formar dues molècules d'àcid pirúvic, per a la degradació total d'una molècula de glucosa són necessàries dues voltes del cicle de Krebs.

LA RESPIRACIÓ: el transport d'electrons en la cadena respiratòria.

- La seva finalitat és l'oxidació dels coenzims reduïts (NADH + H⁺ i FADH₂).
- Consisteix en una cadena de molècules orgàniques, que se redueixen i oxiden.
- Se van traspasant unes a altres els protons i els electrons procedents del NADH i del FADH₂.

La cadena respiratòria

- Aquesta sèrie de molècules que se redueixen i s'oxiden s'anomena **cadena transportadora d'electrons** o **cadena respiratòria**.

- Se distingeixen unes molècules que s'ocupen de transportar simultàniament electrons i protons:

-**complex NADH deshidrogenasa** (que conté **flavin mononucleòtid** o **FMN**)

-**complex coenzim Q reductasa** o **ubiquinona**

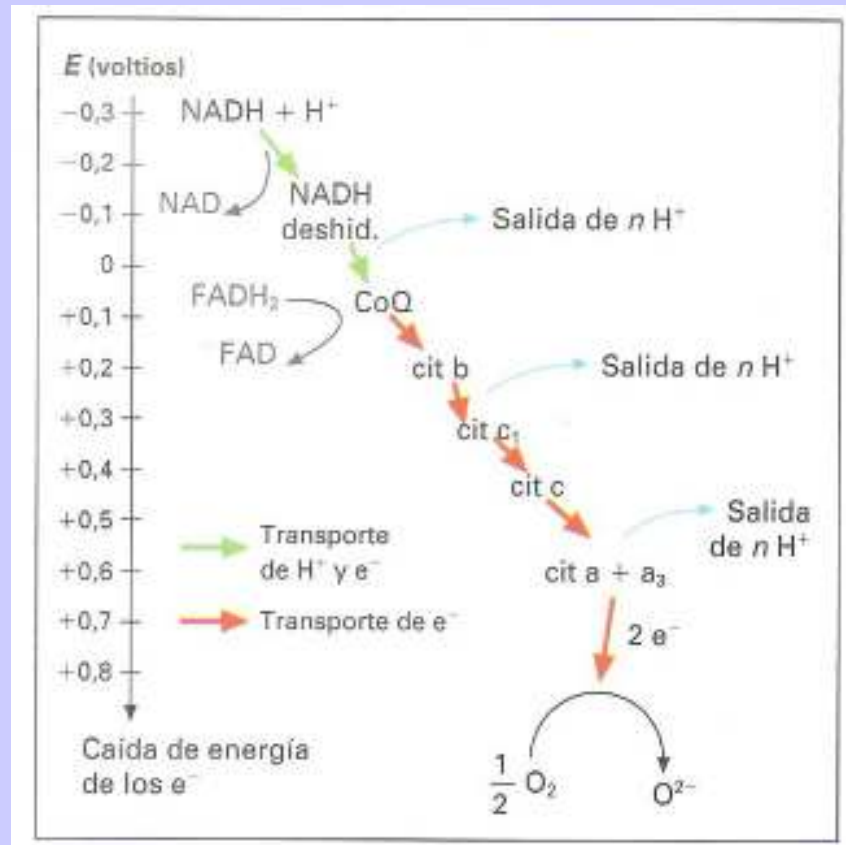
-altres molècules que només transporten electrons, com els citocroms, en els que se distingeixen el **complex de citocroms b-c1**, i el **complex citocrom-oxidasa** (o **complex de citocroms a-a3**).

La cadena respiratòria

- L'energia lliure necessària per generar ATP s'extreu de l'oxidació del NADH i del FADH₂ mitjançant la cadena de transport d'electrons
- És la successió dels quatre complexos proteics a través dels quals passen els electrons des d'un potencial estàndard de reducció baix a elevat.

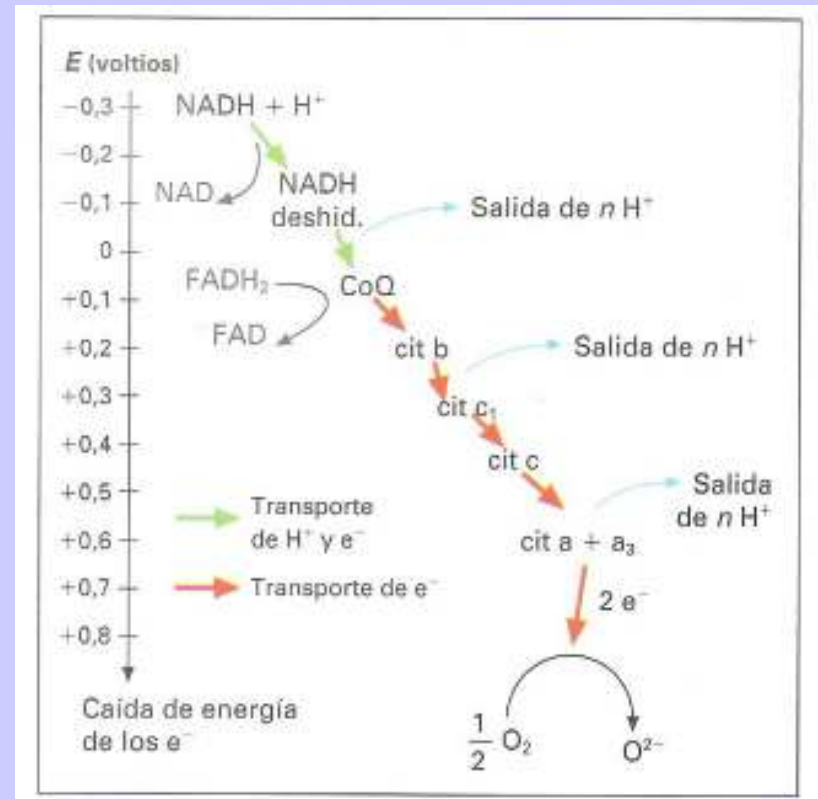
El transport electrònic

El transport d'electrons és possible perquè cada transportador té un potencial de reducció (tendència a donar electrons) inferior a l'anterior i superior al següent.



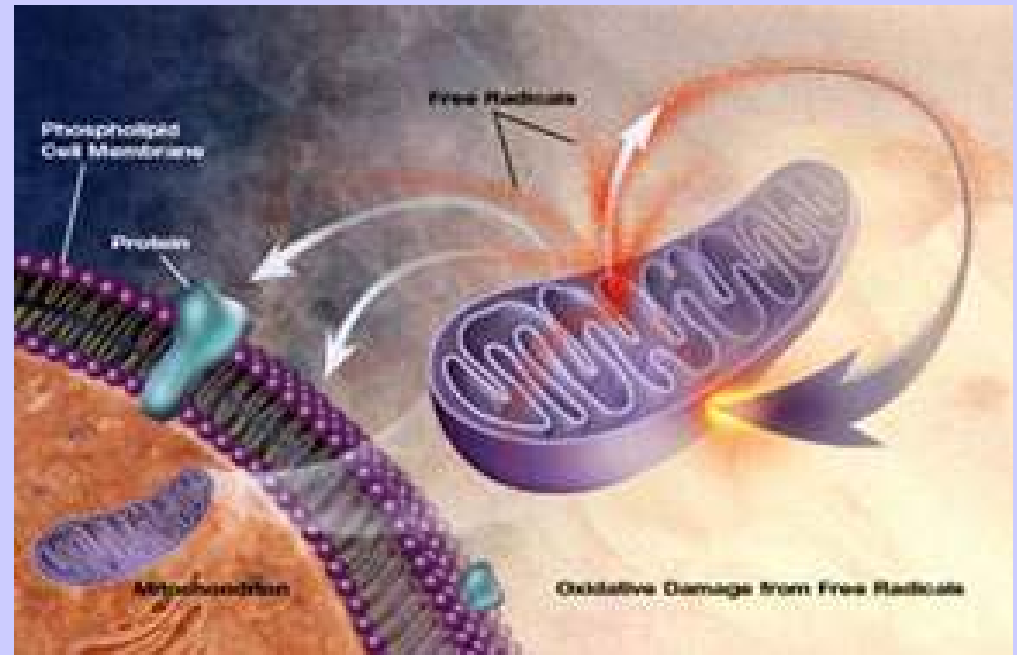
El transport electrònic

- El NADH i H⁺ donen els seus protons i electrons al complex NADH deshidrogenasa
- Aquest el cedeix al coenzim Q, que només dona electrons al citocrom b.
- Els electrons van passant als citocroms c1, a i a3.
- Finalment, a la respiració aeròbia, els electrons són cedits del citocrom a3 a l'oxigen molecular, que és l'acceptor final d'electrons.



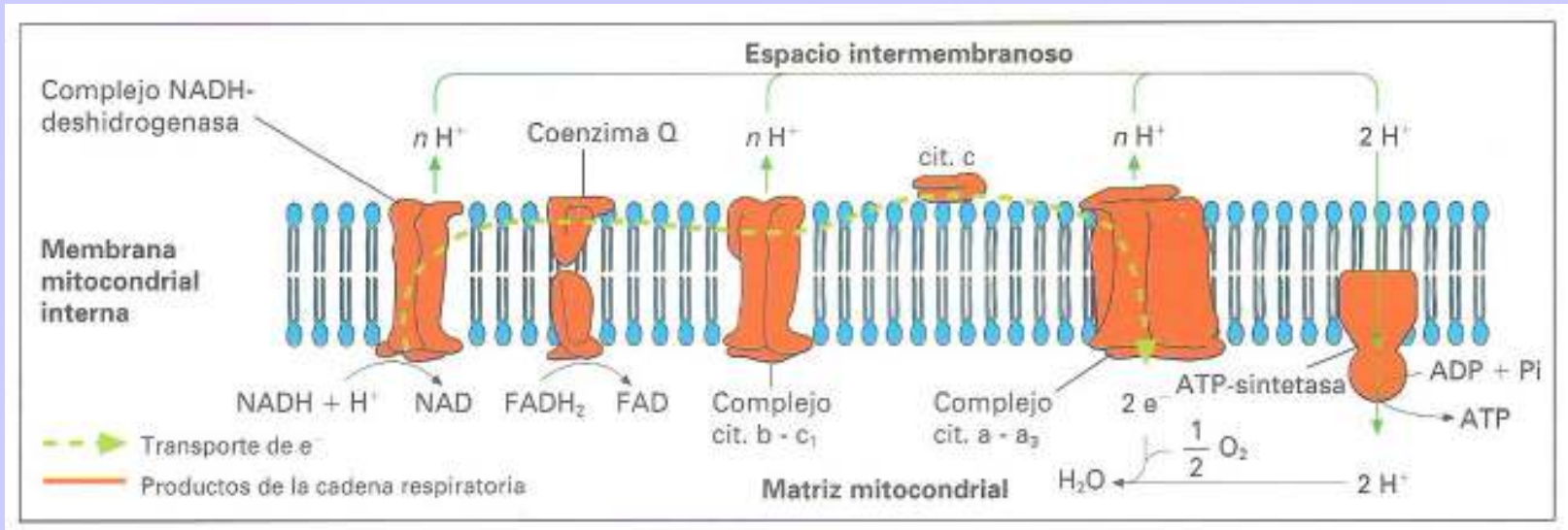
Localització de la cadena respiratòria

- A les cèl·lules eucariotes, les molècules que integren la cadena respiratòria se troben a les crestes de la membrana mitocondrial interna.
- En les bacteris, la cadena respiratòria està ubicada als mesosomes.

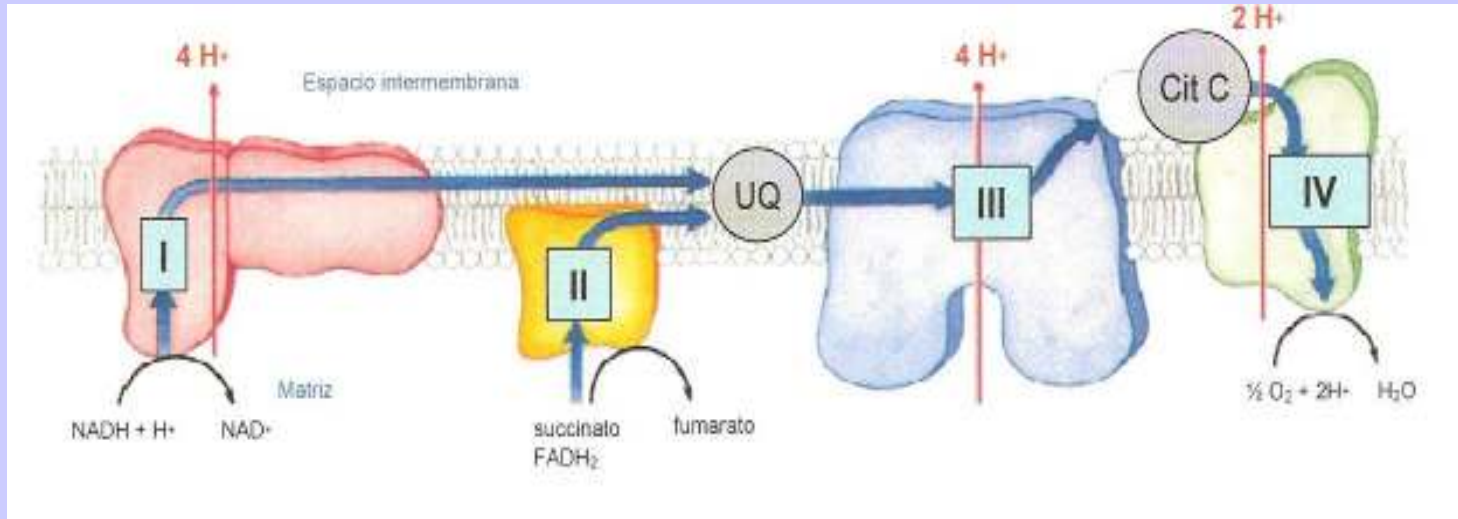


La fosforilació oxidativa

- Cada transportador d'electrons de la cadena s'oxida al cedir electrons i el següent se redueix al acceptar-los.
- Com que l'energia alliberada durant l'oxidació és major que la consumida per a la reducció, en cada pas hi ha un sobrant d'energia.
- L'energia s'inverteix en la síntesis de ATP, procés denominat **fosforilació oxidativa**.

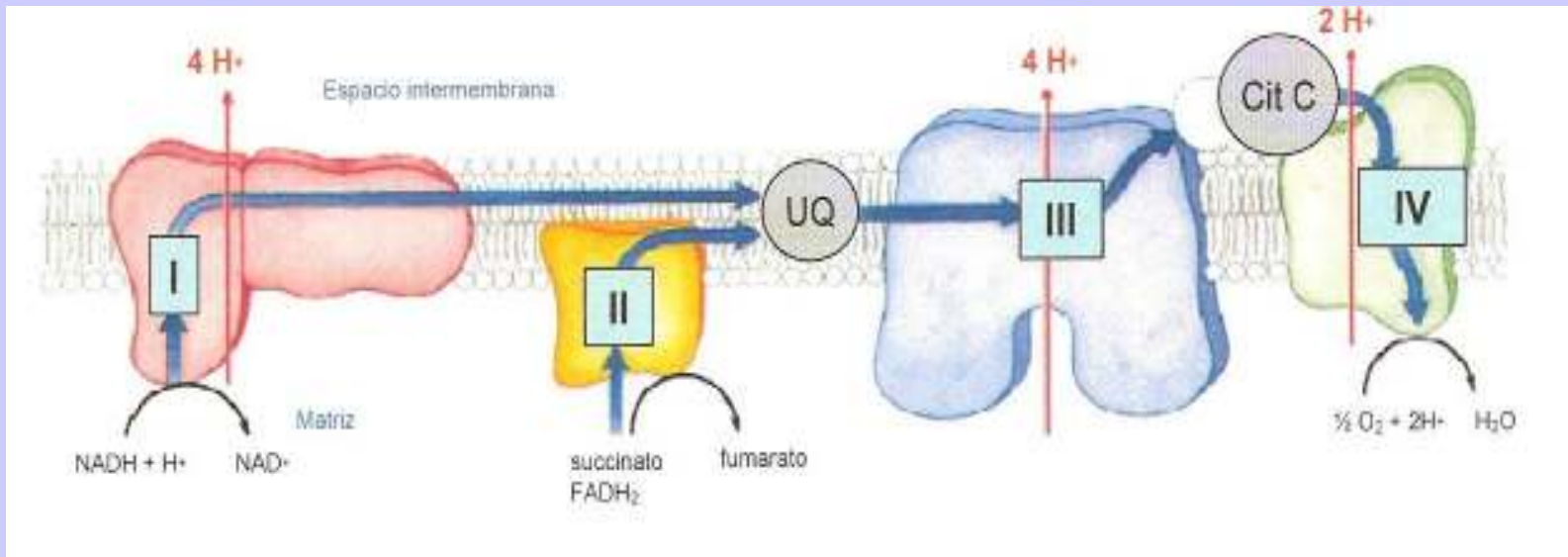


- complex NADH deshidrogenasa
- complex coenzim Q reductasa o ubiquinona
- complex de citocroms b-c1,
- complex citocrom-oxidasa (o complex de citocroms a-a3).



- complex NADH deshidrogenasa
- complex coenzim Q reductasa o ubiquinona
- complex de citocroms b-c1,
- complex citocrom-oxidasa (o complex de citocroms a-a3).

- Moltes de les proteïnes de la membrana mitocondrial interna estan organitzades en els quatre complexos respiratoris de la cadena de transport electrònic.
- Cada complex consisteix en varis components proteics que estan associats amb diferents grups prostètics, amb activitat redox, i amb potencials de reducció successivament creixents.



Hipòtesis quimiosmòtica

Model més acceptat per explicar el procés de la **fosforilació oxidativa**
Segons aquesta teoria:

- L'energia alliberada s'inverteix en provocar un bombeig de protons (H^+) des de la matriu mitocondrial a l'espai intermembrana.

- Existència d'una diferència de carga elèctrica als dos costats de la membrana interna.

- Quan els protons en excés a l'espai intermembrana tornen a la matriu mitocondrial, ho fan travessant les partícules F o complexos enzimàtics ATP sintetasa, subministrant-lis l'energia necessària per la síntesis de ATP.

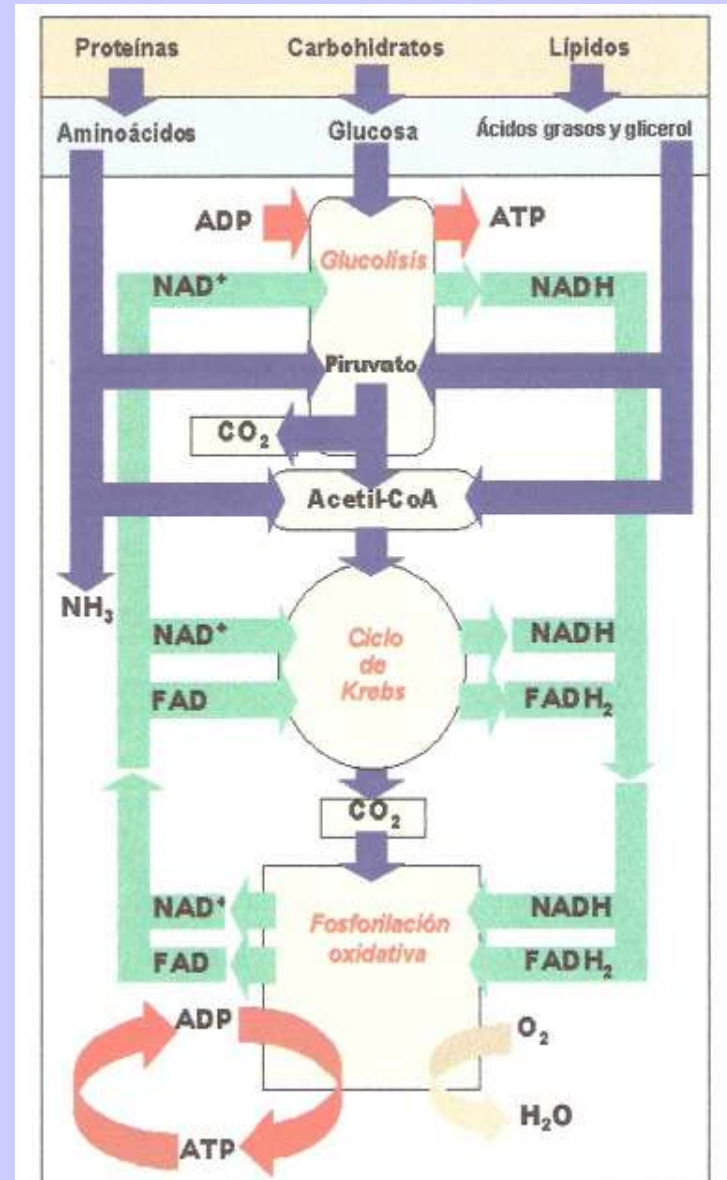
Rendiment

- S'ha calculat que com que l'energia alliberada en cada un dels complexos NAD deshidrogenasa, citocroms b-c1 i citocrom-oxidasa, és suficient per sintetitzar un ATP (es necessiten 7'3 kcal/mol)
 - A partir d'un $\text{NADH}^+ + \text{H}^+$ que ingressa a la cadena respiratòria s'obté 3 ATP.
 - A partir d'un FADH_2 només s'obtenen 2 ATP, ja que el FADH_2 s'incorpora a la cadena respiratòria al complex coenzim Q reductasa.
- Com a producte final de la cadena respiratòria i la fosforilació oxidativa, també se produeix aigua.

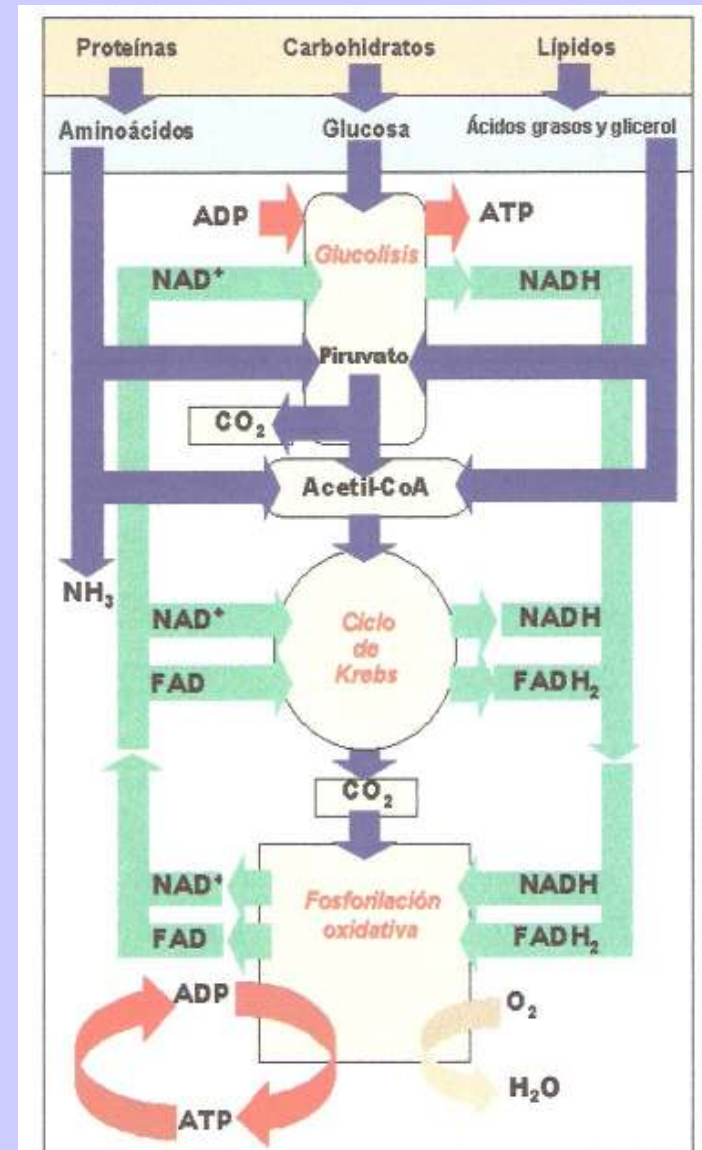
Localització de la cadena respiratòria i fosforilació oxidativa

- La cadena respiratòria i la fosforilació oxidativa, en els organismes superiors, se troba localitzada a la **mitocòndria**.
- Aquest orgànul s'ha especialitzat en l'oxidació terminal dels substrats i en la extracció eficaç de la major part de l'energia interna de les molècules.
- Se pot dir que les **mitocòndries** són les centrals energètiques cel·lulars.
- Aquests orgànuls contenen la **maquinària oxidativa capaç d'extreure energia dels substrats energètics oxidant-los a substàncies fàcilment eliminables**.

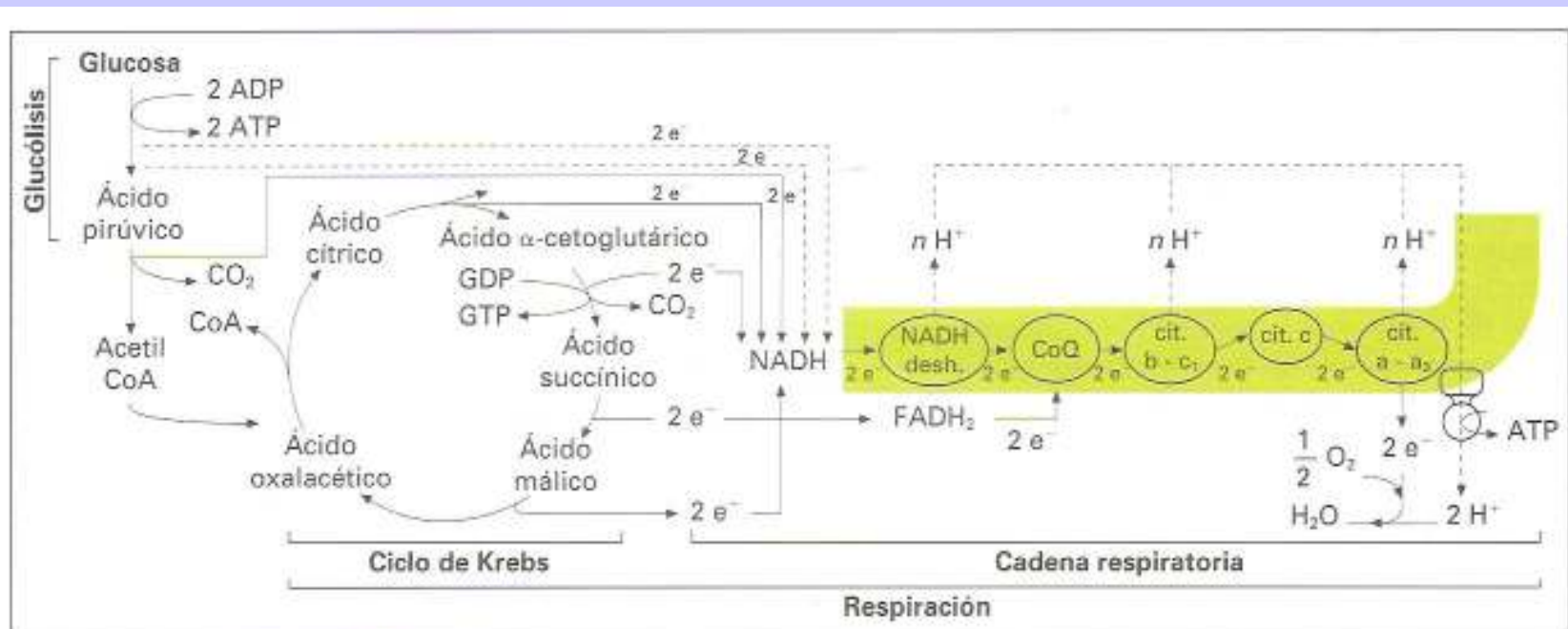
- A la glucòlisis, per cada molècula de glucosa que se degrada se formen dues molècules d'àcid pirúvic (PIRUVAT), 2 NADH i 2 ATP.
- En el cicle de Krebs se produeixen 1 GTP (equivalent a 1 ATP), 3 NADH i 1 FADH₂



- Si les dues molècules d'àcid pirúvic obtingudes a la glucòlisi inicien el cicle de krebs, tots els productes d'aquest s'ha de multiplicar per dos: 2 GTP (equivalent a 2 ATP), 6 NADH i 2 FADH₂.
- Els coenzims reduïts poden ingressar a la cadena respiratòria i induir la fosforilació oxidativa i la formació de ATP.



Esquema global de l'oxidació de la glucosa en la respiració aeròbica



9 Esquema global de la oxidación de la glucosa en la respiración aeróbica.

El resultat final

- El resultat final és la formació d'unes 38 molècules de ATP, dues de les quals s'han format al **citoplasma** (glucòlisis) i les 36 restants a la **mitocòndria**.
- A més, de les 38 molècules de ATP, 34 s'han format a les **ATP-sintetases** gràcies al transport electrònic induït per els coenzims reduïts a la cadena respiratòria i 4 per **fosforilació al substrat** (2 a la glucòlisis i 2 al cicle de krebs).

- L'ATP és capaç d'emmagatzemar una energia d'aproximadament 7 kcal/mol.
- La degradació total d'un mol de glucosa (180 g) rendeix 266 kcal.

$$38 \text{ mols de ATP} \times 7 \text{ kcal/mol ATP} = 266 \text{ kcal}$$

2.4.- El catabolisme dels lípids

- En els éssers vius les grasses tenen una gran importància com a combustible orgànic, donat el seu alt valor calòric: la degradació d'1g de grassa pot proporcionar fins a 9'5 Kcal
- per 4'2 kcal la dels glúcids
- i 4'3 kcal la de les proteïnes.

- El principal mecanisme d'obtenció d'energia dels lípids ho constitueix **l'oxidació dels àcids grassos**
- Procedeix de l'hidròlisis dels lípids, entre els que destaquen els triglicèrids i els fosfolípids

- Aquestes hidròlisis són catalitzades per lipases específiques, que rompen les unions tipus éster i alliberen els àcids grassos de la glicerina:

Triglicèrid → Glicerina + 3 àcids grassos

Fosfolípid → Glicerina + 2 àcids grassos + 1 compost
alcohòlic + H₃PO₄

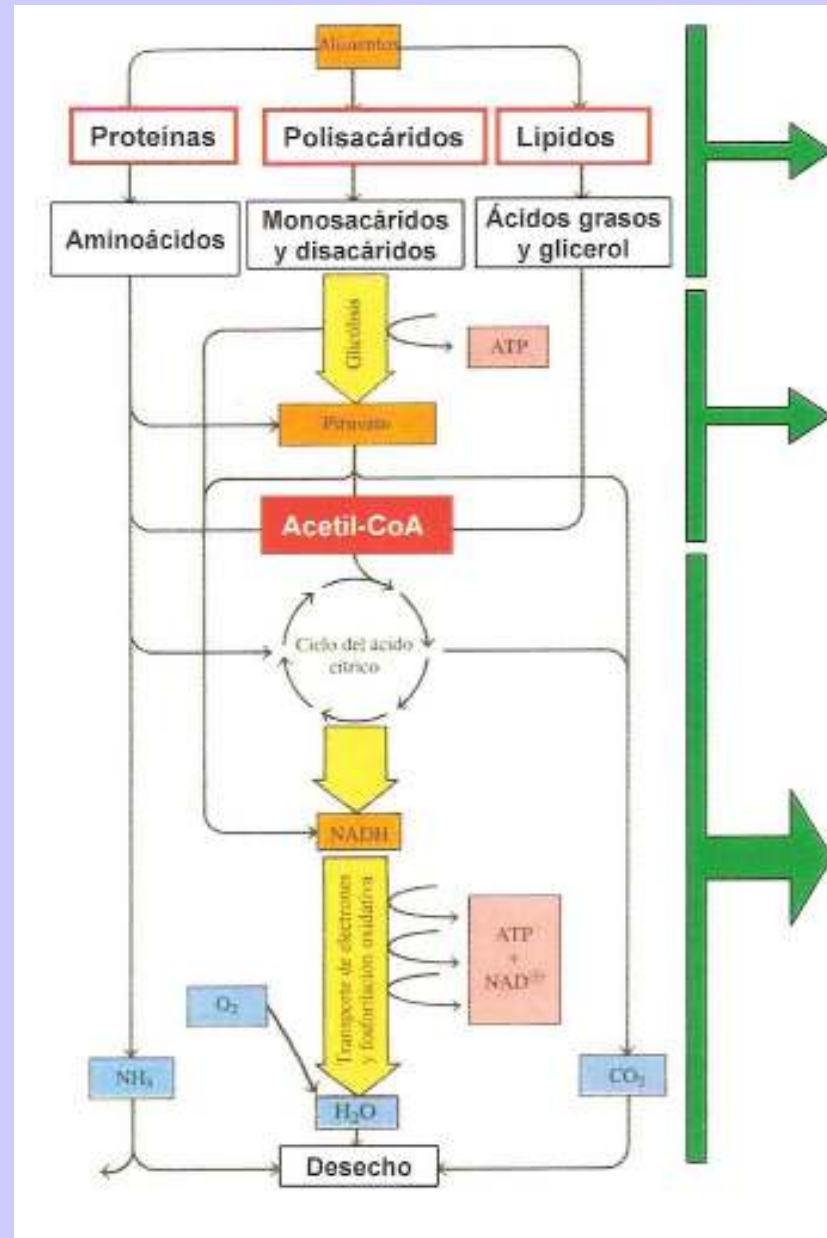
La glicerina obtinguda pot transformar-se en dihidroxiacetona

Se pot integrar a la segona fase de la **glucòlisis**.



La glicerina també es pot degradar completament en el **cicle de krebs**.

I obtenint el rendiment energètic corresponent a la **cadena respiratòria**.

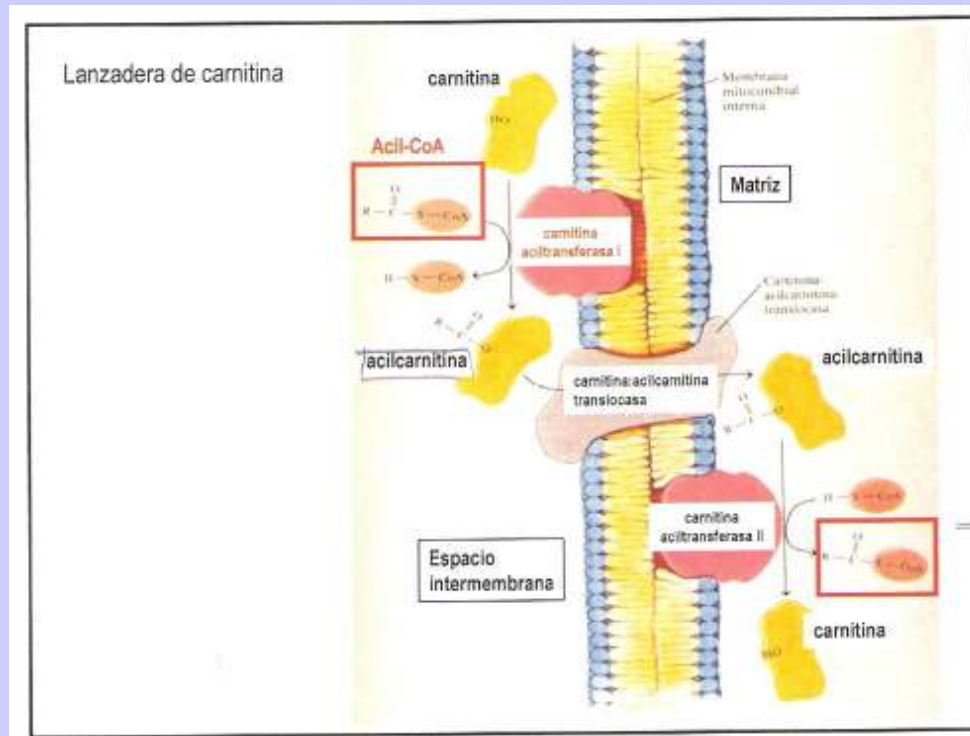


L'oxidació dels àcids grassos

Els àcids grassos obtinguts al citoplasma han d'entrar a la mitocondria

Es produeix la **β -oxidació** que consisteix en l'oxidació del carboni β mitjançant les següents reaccions:

- 1.- L'àcid gras queda activat al unir-se amb el CoA i se forma acil-CoA (de n carbonis), en una reacció que requereix energia subministrada per el ATP i se realitza al citoplasma.
- 2.- L'acil-CoA penetra a la mitochondria gràcies a un transportador orgànic especial, la carnitina.

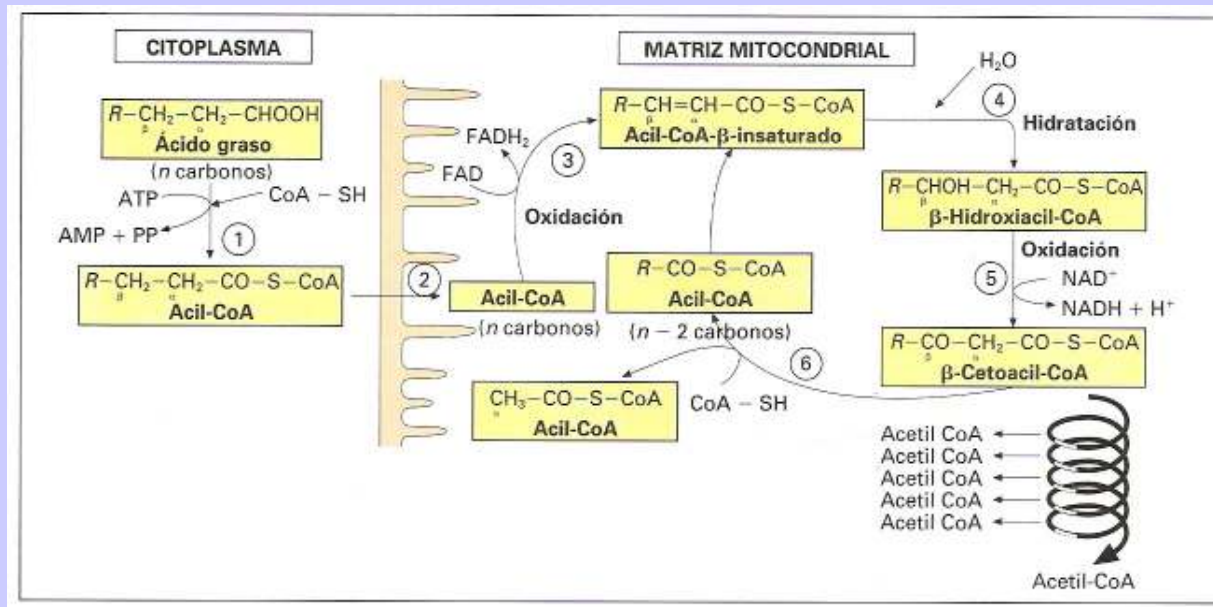


3.- L'acil-CoA pateix la primera oxidació del carboni β , formant-se un acil-CoA insaturat (amb un doble enllaç) i 1 FADH₂

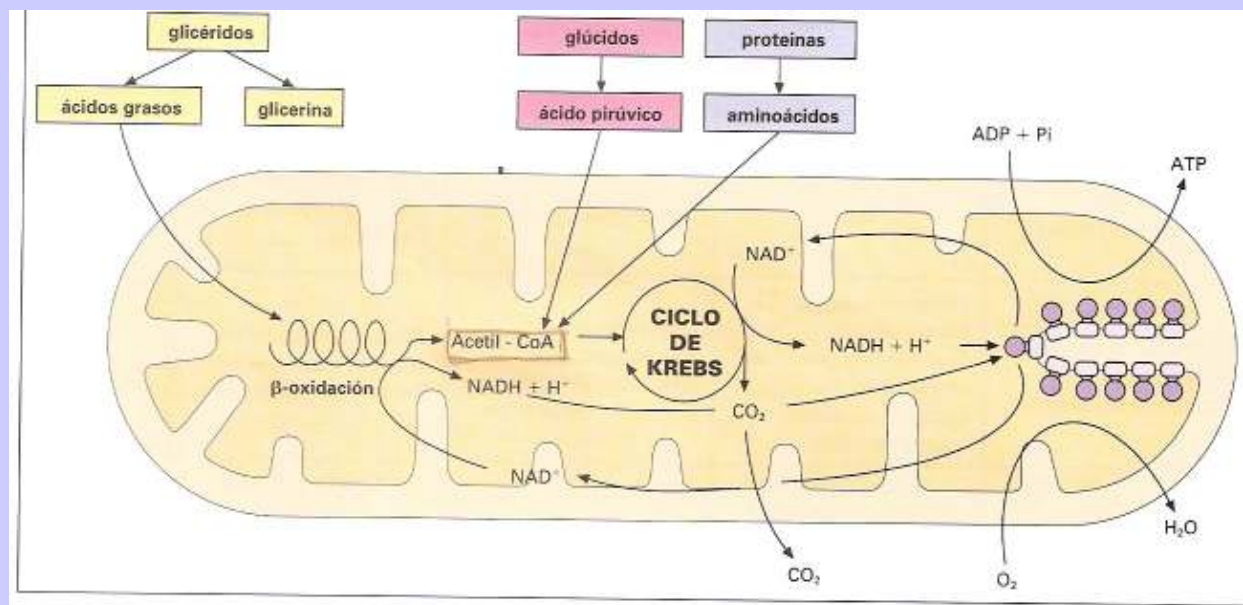
4.- L'acil-CoA s'hidrata amb la qual cosa se forma un β -hidroxiacil-CoA, sense doble enllaç i amb un grup alcohol (-OH) al carboni β .

5.- El β -hidroxiacil-CoA pateix l'oxidació del carboni β , formant-se un β -cetoacil-CoA (amb un grup cetònic -CO- al carboni β) i 1 NADH + H⁺

6.- El β -cetoacil-CoA interacciona amb una molècula de CoA i se romp en dues molècules, un acetil-CoA de dos carbonis i un acil-CoA que té dos carbonis menys ($n-2$) que el que inicià el cicle de la β -oxidació.

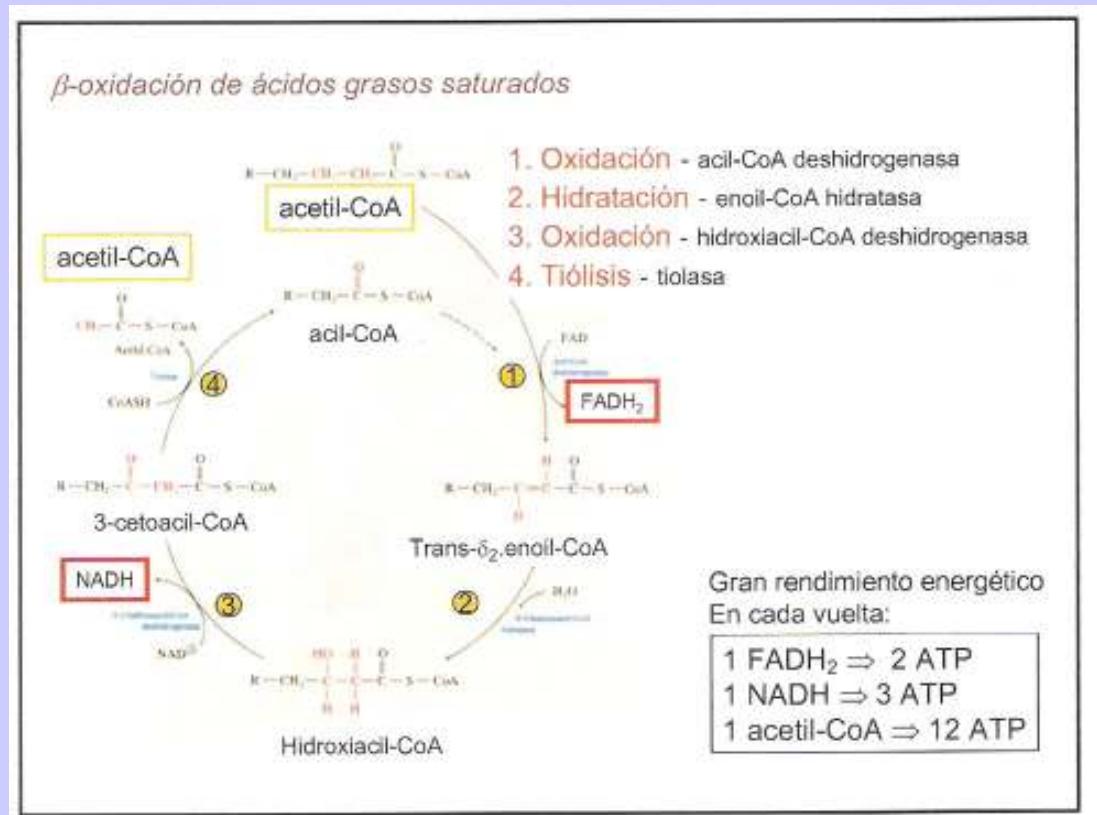


- La molècula d'acil-CoA de dos carbonis menys ($n-2$) pot iniciar una altre cicle de β -oxidació i originar una altre acetil-CoA i un acil-CoA de dos carbonis menys ($n-4$) i així sucessivament fins que s'obtingui un acil-CoA, és a dir, un acetil-CoA.
- Les molècules d'acetil-CoA formades als cicles de β -oxidació poden seguir la ruta catabòlica del cicle de krebs i degradar-se totalment de forma aeròbica.



Rendiment energètic del catabolisme dels àcids grassos

- Com a exemple se pot escollir l'àcid palmític.
- Aquest àcid gras té 16 carbonis (CH₃-[CH₂]₁₄-COOH).
- Per que es pugui oxidar completament seran necessàries set voltes del cicle de β-oxidació.
- Es produiran vuit molècules d'acetil-CoA.



Recordant que...

- Cada una de les molècules d'acetil-CoA pot ingressar al cicle de krebs, amb el rendiment energètic que això suposa (12 ATP/ -cicle de krebs-cadena respiratòria)
- Els FADH₂ i NADH poden penetrar a la cadena respiratòria, s'obtenen:

8 Acetil-CoA x 12 ATP/ c.krebs-c.respiratoria	96 ATP
7 FADH ₂ x 2	14 ATP
7 FADH x 3	21 ATP
TOTAL	131 ATP

Restant als 131 ATP obtinguts la molècula de ATP que se necessita per activar a l'àcid gras i per que pugui penetrar a la mitocondria

Resulta que un mol d'àcid palmític (256 g) pot proporcionar 131 mols de ATP, lo que expressat en calor són:

$$131 \text{ mols de ATP} \times 7 \text{ Kcal/mol} = 910 \text{ kcal.}$$

2.5.- Les fermentacions

-És un procés catabòlic en el que, a diferència de la respiració, no intervé la cadena respiratòria.

-L'acceptor final de protons i d'electrons no és una molècula inorgànica sinó que és un compost orgànic.

-La fermentació sempre dona entre els seus productes finals algun compost orgànic.

-La fermentació, al no intervenir la cadena respiratòria i no poder-se utilitzar l'oxigen de l'aire com acceptor d'electrons, és sempre un procés anaeròbic.

Diferències entre fermentació i respiració

- No hi ha síntesis d'ATP a les ATP-sintetases; només hi ha síntesis d'ATP en substrat.
- Això explica la baixa rentabilitat energètica de les fermentacions.
- Per exemple, una glucosa al degradar-se produeix 38 ATP mitjançant respiració i només 2 ATP mitjançant fermentació.
- Els coenzims reduïts ($\text{NADH} + \text{H}^+$) que se formen al començar l'oxidació del substrat en les fermentacions, al no poder oxidar-se en la cadena respiratòria, han de ser consumides al final d'elles per evitar el bloqueig del procés per falta de coenzims oxidats (NAD^+).

Característiques de les fermentacions

Les fermentacions són pròpies dels microorganismes (alguns llevats i bacteris),

Alguna, com la fermentació làctica, se pot realitzar al teixit muscular dels animals quan no arriba suficient oxigen a les cèl·lules.

Segons sigui la naturalesa del producte final se diferencien diferents tipus de fermentacions:

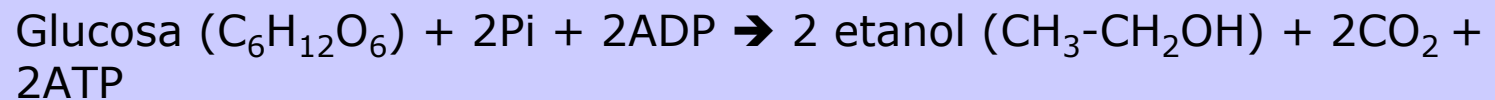
- Fermentació alcohòlica
- Fermentació làctica
- Fermentació butírica
- Fermentació putrefacció.

La fermentació alcohòlica

- És la transformació d'àcid pirúvic en etanol i diòxid de carboni.
- Se produeix quan determinats fongs unicel·lulars (llevats) que estan catabolitzant, mitjançant respiració, un líquid ric en sucres, acabant l'oxigen disponible i continuen el catabolisme per fermentació.
- En una primera etapa se realitza la glucòlisis i se transforma la glucosa en àcid pirúvic.
- En l'etapa següent se realitza la fermentació alcohòlica, transformant-se l'àcid pirúvic en etanol i diòxid de carboni

- Com a producte secundari se pot produir també altres molècules orgàniques com glicerina, àcid succínic i àcid acètic.

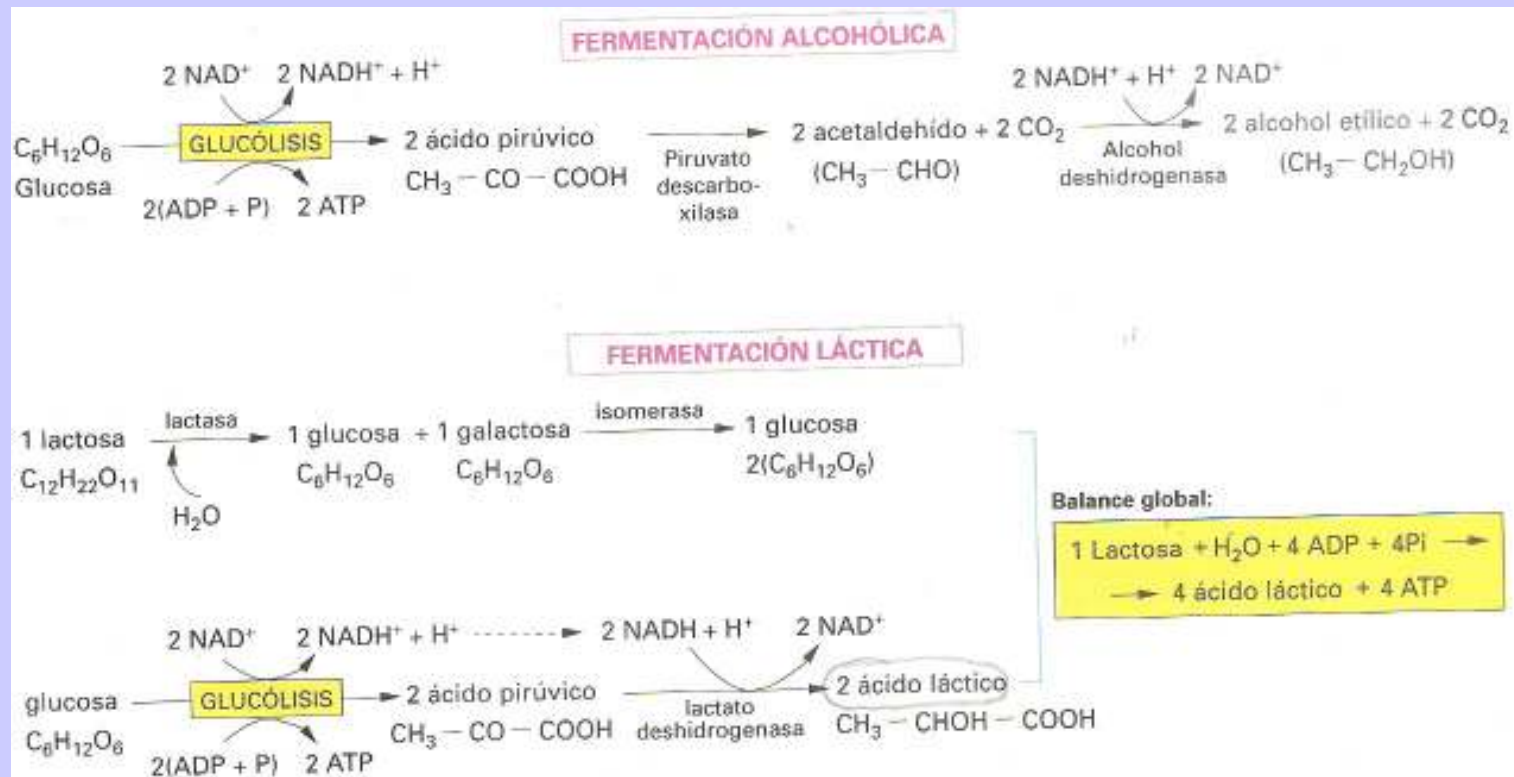
La reacció global de la glucòlisis i la fermentació alcohòlica és:



La fermentació làctica

- En aquesta fermentació se forma àcid làctic a partir de la degradació de la glucosa.
- Generalment, aquesta fermentació se dona quan determinats microorganismes inicien la fermentació de la lactosa de la llet.
- També se produeix a les cèl·lules musculars dels animals quan no hi ha suficient oxigen per efectuar un sobreesforç físic i l'àcid pirúvic procedent de la glucòlisis no pot oxidar-se de manera y se transforma en àcid làctic.
- L'acumulació d'àcid làctic dona lloc a la formació d'uns petits cristalls que claven el múscul i produeixen el mal conegut com "agujetas".

La fermentació làctica i alcohòlica



Resum del catabolisme

COMPARACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE CATABOLISMO			
Conceptos considerados	Respiración		Fermentación
	Aerobia	Anaerobia	
¿Necesitan oxígeno?	Sí.	No.	No.
Sustrato que pueden oxidar.	Cualquier principio inmediato y diversas moléculas inorgánicas.	Cualquier principio inmediato.	Preferentemente glúcidos y prótidos.
Primer aceptor de los H^+ y de los electrones.	NAD^+ .	NAD^+ .	NAD^+ .
Aceptor final de los hidrógenos (H^+ y e^-).	O_2 .	Se trata de moléculas inorgánicas como el SO_4^{2-} , NO_3^- , CO_2 , CO_3^{2-} .	El aceptor final de hidrógenos es una molécula orgánica que generalmente procede del propio sustrato. Éste presenta unos átomos que aceptan hidrógenos y otros que los ceden (se oxidan).
Productos en los que se transforman los aceptores finales de H^+ y e^- .	H_2O .	SH_2 , NO_2^- , N_2 , CH_4 .	Algún compuesto orgánico, como, por ejemplo, el etanol, el ácido láctico, etc.
Productos en los que se transforma el carbono del sustrato.	Generalmente da CO_2 . En ocasiones, la oxidación puede ser incompleta. Por ejemplo, de etanol a ácido acético.	Generalmente da CO_2 . En ocasiones, la oxidación del carbono puede ser incompleta.	Algún compuesto orgánico, como el etanol, el ácido láctico, etc. Puede aparecer además CO_2 .
¿Son capaces de obtener ATP al oxidar el $NADH + H^+$?	Sí.	Sí.	No. Carecen de cadena respiratoria. Sólo hay fosforilación a nivel de sustrato. El $NADH + H^+$ cede sus hidrógenos al aceptor final sin producirse la síntesis de ATP.
Energía que se obtiene de una glucosa.	Hasta 38 ATP.	Hasta 38 ATP.	Variable. Suele ser de unos 2 ATP.