

Tema 9 : Citologia i fisiologia cel·lular (II)

Panorama del metabolisme cel·lular

1. Concepte de metabolisme. Fases.
2. Classificació metabòlica de les cèl·lules
3. Transformacions energètiques en les cèl·lules
 - 3.1. Necessitat d'un intermediari energètic en l'acoblament entre catabolisme i anabolisme. L'ATP
 - 3.2. Fonts d'energia per a la síntesi d'ATP
 - 3.2.1. Fosforilació oxidativa i fotofosforilació
 - 3.2.2. Quimiosíntesi

1. Concepte de metabolisme. Fases

Concepte

Podem definir **metabolisme** com el conjunt de reaccions químiques que tenen lloc a l'interior d'una cèl·lula. Aquesta definició és incompleta ja que no indica que el metabolisme és un procés altament integrat on participen nombrosos conjunts de sistemes multienzimàtics -**vies** o **rutes metabòliques**- formats per conjunts de reaccions encadenades i catalitzades per enzims específics. Les molècules que hi intervenen reben el nom de **metabòlits**.

El metabolisme està constituït per un conjunt de reaccions químiques organitzades

Els centenars de reaccions químiques catalitzades enzimàticament dins la cèl·lula no es realitzen de forma aïllada, ans al contrari estan relacionades entre si, tot constituïnt seqüències de reaccions consecutives de 2 a 20 o més etapes les quals, al seu torn, es troben lligades tot formant reticles d'esquemes convergents o divergents. Malgrat que el metabolisme cel·lular comprén centenars de reaccions, les rutes metabòliques centrals presenten un pla d'organització relativament senzill i són gairebé idèntiques en la major part dels éssers vius.

Funcions específiques del metabolisme

El fi general del metabolisme és l'intercanvi de matèria i energia amb el medi ambient. Quines són, però, les funcions específiques del metabolisme?

- 1- Obtenir energia química de l'entorn, bé a partir de la llum solar o d'elements nutritius orgànics.
- 2- Conversió de la matèria prima externa en les unitats estructurals bàsiques dels components

cel·lulars.

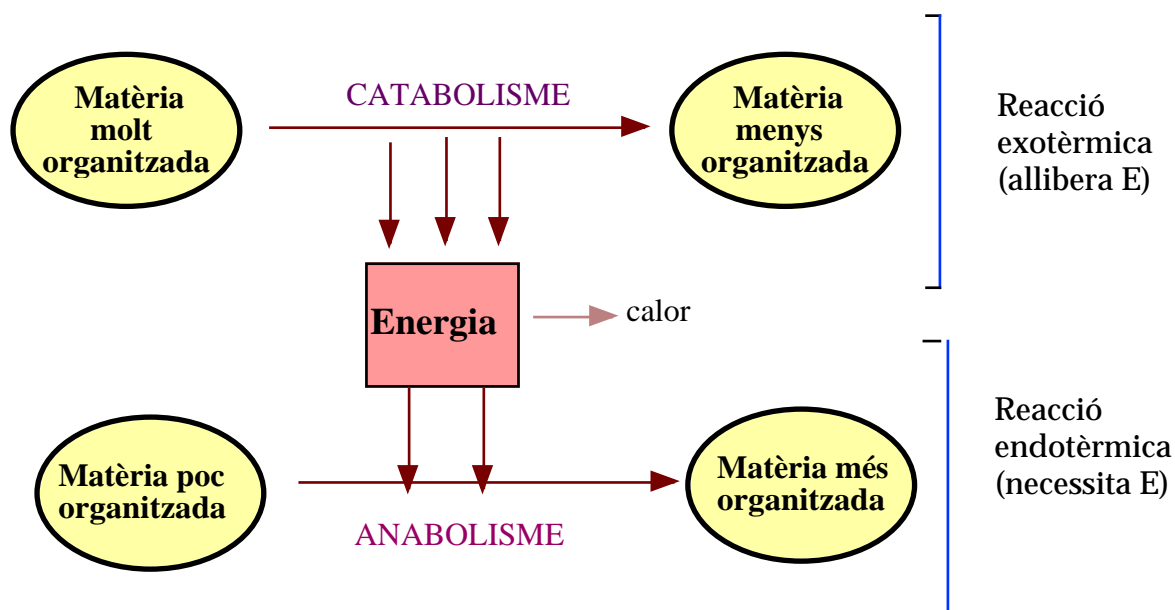
- 3- Reunir aquestes unitats per formar proteïnes , àcids nucleics i altres components estructurals cel·lulars característics.
- 4- Formar i degradar les biomolècules per obtenir l'energia necessària per la realització de les funcions vitals.

Fases del metabolisme:
Catabolisme i anabolisme

Fases del metabolisme

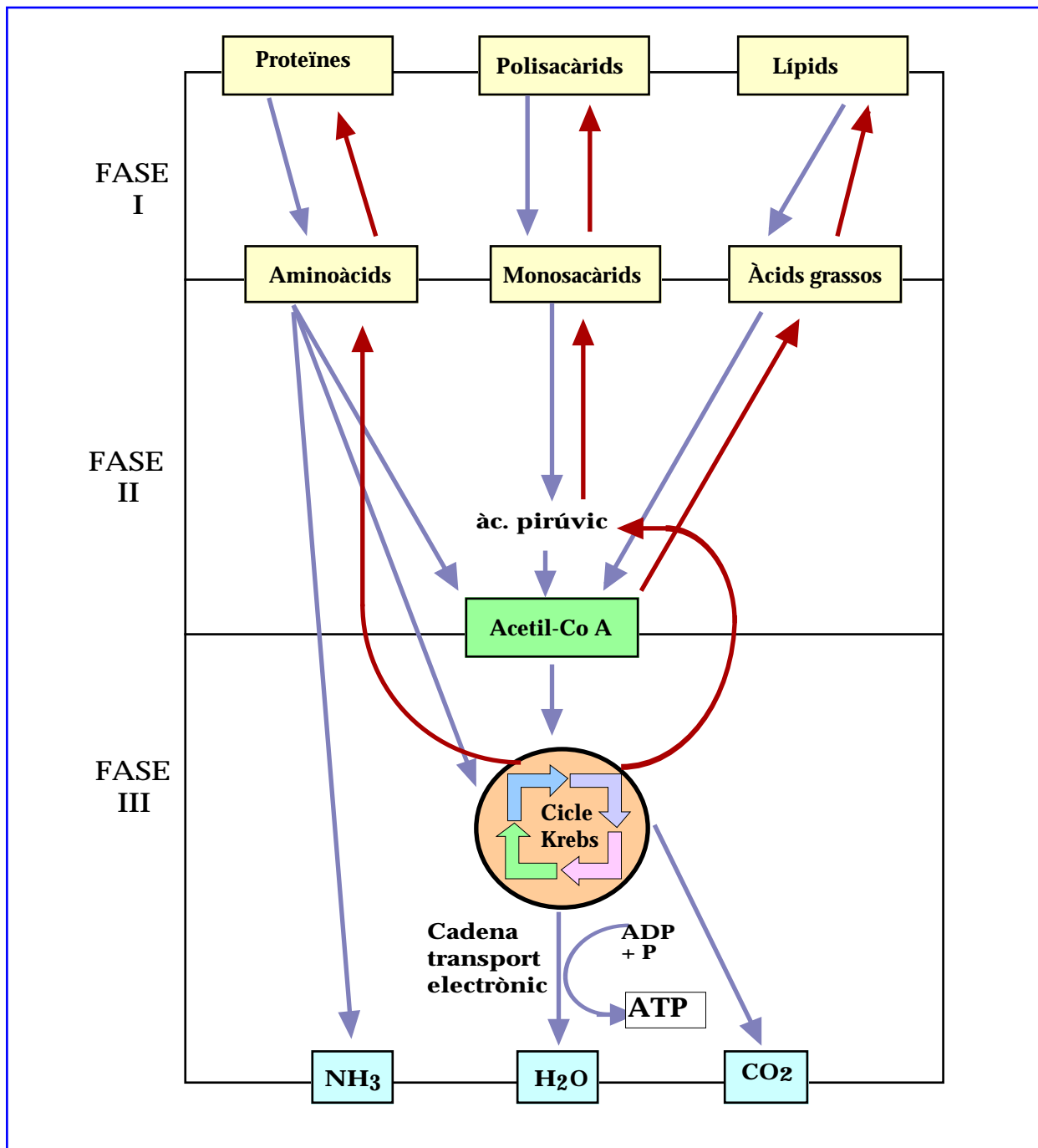
El metabolisme consisteix en dos conjunts principals de reaccions : catabolisme i anabolisme. Ambdós tipus de reaccions tenen lloc de forma simultània i acoblada.

* El **catabolisme** és la fase degradativa. Les molècules orgàniques complexes, provinents del medi extern o de les pròpies reserves cel·lulars, són degradades -generalment per processos oxidatius- a productes més menuts i senzills. El catabolisme ve acompanyat per l'alliberament de l'energia inherent a l'estructura complexa de les molècules orgàniques. Aquesta energia es conserva en forma d'ATP i és uti-



litzada per a la realització de les funcions vitals. Part d'aquesta energia es perd en forma de calor.

* L'**anabolisme** constitueix la fase de construcció o biosíntesi. Les molècules senzilles són ordenades per a construir els components cel·lulars (àcids nucleics, lípids, proteïnes, etc). Com que l'anabolisme



representa un augment de complexitat, precisa una

Rutes anabòliques i catabòliques .El metabolisme **aerobi** està organitzat en tres fases principals:

Catabolisme

Fase I: les grans molècules es degraden i alliberen les seues unitats constituents.

Fase II: les unitats estructurals es transformen en productes intermediaris , el producte final dels quals és una molècula de 2 C -el grup acetil de l'acetilCoA

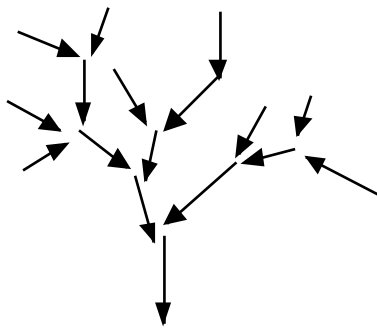
FaseIII: Aquest compost intermediari és degradat totalment a CO₂ i H₂O.

Anabolisme

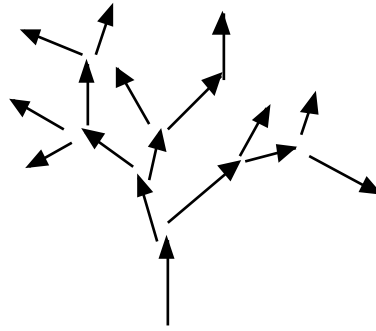
En la fase III es generen petites molècules precursors que esdevindran les molècules unitat en la fase II; aquestes, al seu torn, s'acoblen en la fase I per a constituir les macromolècules.

Catabolisme (fletxes discontinües, cap avall).

Anabolisme (fletxes contínues , cap amunt)



Rutes convergents del catabolisme



Rutes divergents de l'anabolisme

despesa d'energia la qual és aportada per l'ATP.

Si observem l'esquema de la pàgina anterior es pot observar que les rutes catabòliques convergeixen cap a productes finals comuns i originen la síntesi de l'ATP -fonamentalment en la fase III. Les rutes anabòliques són divergents: a partir d'uns pocs precursors de la fase III, tot utilitzant l'energia continguda en l'ATP, formen moltes molècules diferents.

Les rutes anabòliques i catabòliques no són exactament inverses. Per exemple, la degradació del glucogen a àcid làctic té lloc amb una seqüència de 12 etapes catalitzades enzimàticament. Podria semblar lògic que la biosíntesi del glucogen a partir de l'àcid làctic estigués constituïda també per 12 reaccions. Tanmateix aquesta biosíntesi únicament implica 9 de les 12 etapes de la via degradativa. Tot i que l'existència de dos conjunts de rutes metabòliques, una per l'anabolisme i una altra pel catabolisme pot semblar un malbaratament, aquesta ordenació posseeix importants avantatges:

Aquesta classificació es pot fer si atenem a diferents criteris

- * Avantatges energètics: la ruta catabòlica és energèticament impossible per a l'anabolisme (es necessiten reaccions més econòmiques)
- * Regulació independent: Ambdues rutes tenen lloc en localitzacions diferents (compartimentació cel·lular)

2. Classificació metabòlica de les cèl·lules

1. Segons la font externa de carboni:

- * **Autòtrofes** (autoalimentades). Utilitzen CO₂ com

Metabolisme aerobi i anaerobi

a única font de C i formen a partir d'aquest totes les biomolècules

* **Heteròtrofes** (alimentades a partir d'altres). No poden utilitzar CO_2 i han d'obtenir C del seu entorn a partir de substàncies complexes en forma més o menys reduïda com la glucosa. Depenen de les autòtrofes.

2. Segons la font d'energia:

* **Fotòtrofes**. Energia solar

* **Quimiòtrofes**. A partir de reaccions re-dox

+ **Quimiolitòtrofes** (oxidació de compostos inorgànics)

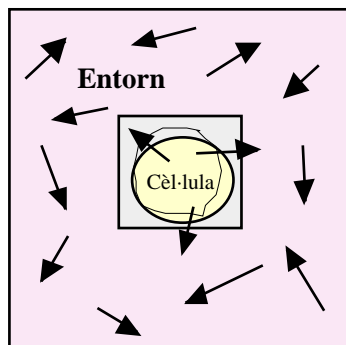
+ **Organòtrofes** (oxidació de molècules orgàniques)

Flexibilitat metabòlica de les cèl·lules

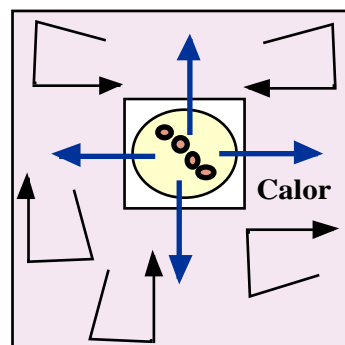
Així mateix podem parlar d'organismes **aerobis** -viuen en contacte amb l'aire i utilitzen l'oxigen molecular per oxidar la matèria orgànica i obtenir energia- i organismes **anaerobis** -viuen en absència de l'aire i utilitzen altres substàncies per a oxidar les seues molècules. Els **anaerobis** poden ser **estrictes** -si són enverinats pelr l' O_2 ino poden viure en presència de l'aire- i **facultatius** -quan poden realitzar ambdós processos. Moltes cèl·lules eucariotes són facultatives: si disposen d' O_2 prefereixen utilitzar-lo ja que obtenen una major energia; per exemple una cèl·lula muscular utilitza normalment la respiració aeròbia per a obtenir l'energia necessària per contraure's; en situacion d'estrés , realitza també la fermentació làctica.

Cal destacar que els organismes vius posseixen una gran flexibilitat metabòlica: en les plantes superiors, les cèl·lules del parènquima foliar són fotosintètiques durant el dia i heteròtrofes al llarg de la nit. Les cèl·lules de l'epidermis , les conductores o les de l'arrel són sempre heteòtrofes.

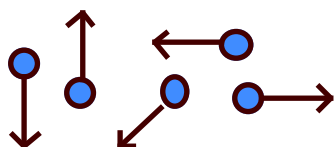
3. Transformacions energètiques de



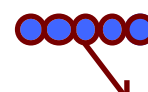
Les molècules de la cèl·lula l'entorn es troben en un estat relativament desordenat



La cèl·lula ha alliberat calor mitjançant el metabolisme, procés que ordena les seues molècules. Aquest alliberament de calor provoca un desordre en les molècules de l'entorn que compensa l'augment d'ordre a l'interior de la cèl·lula



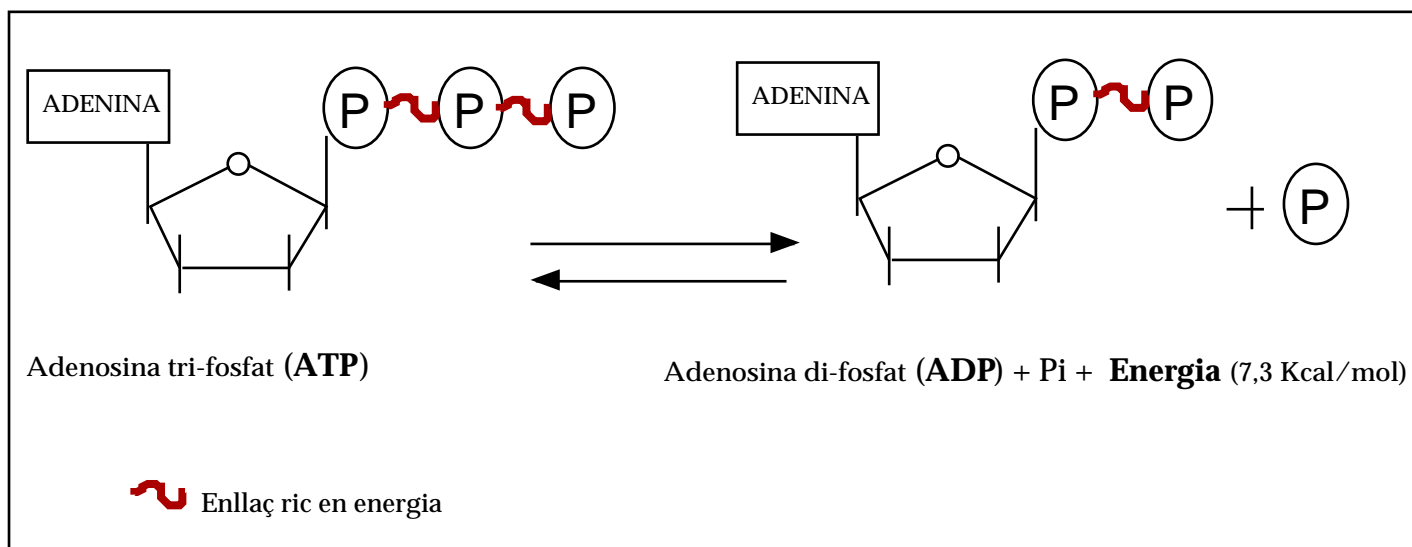
Aminoàcids individuals :
Capacitat de moviment gran
entropia elevada



Pèptid:
Moviment restringit,
entropia baixa

les cèl·lules

És ben conegut per tothom que les coses abandonades tenen la tendència de desordenar-se de mica en mica. Aquesta tendència general es troba expressada a la segona llei de la termodinàmica que afirma que en qualsevol sistema aïllat el grau de desordre augmenta progressivament. Tanmateix, els éssers vius són força ordenats. Com és això possible des del punt de vista termodinàmic?



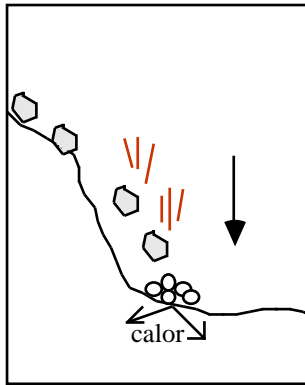
Fosforilació de substrat: es forma ATP quan un substrat allibera energia en degradar-se

Fosforilació oxidativa o fotofosforilació: es forma ATP gràcies a mecanismes de transport electrònic

Els éssers vius no són cap excepció a les lleis de la termodinàmica. Com es pot explicar aquesta aparent paradoxa?. Els éssers vius absorbeixen de l'entorn formes d'energia útil -**energia lliure** = tipus d'energia capaç de realitzar un treball a temperatura i pressió constant- i posteriorment la tornen novament a l'entorn, però d'altra forma menys útil, fonamentalment calor el qual es dissipa a l'atzar per l'entorn i fa que augmente el desordre o **entropia** del conjunt **organisme-entorn**.

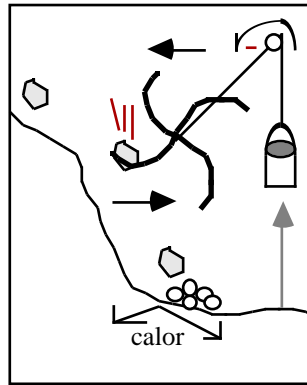
La maquinària de transformació d'energia de la cèl·lula està constituïda per molècules orgàniques relativament fràgils i inestables que solament funcionen dins d'uns estrets marges de temperatura i pH: les cèl·lules són màquines isotèrmiques.

3.1. Necessitat d'un intermediari energètic en l'acoblament entre catabolisme i anabolisme. L'ATP



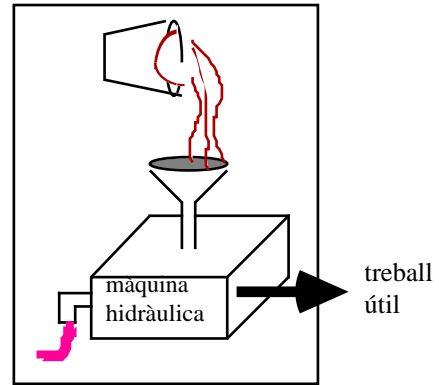
L'energia cinètica és transformada en calor directament.

Oxidació directa
No pot ser aprofitada per la cèl.lula



Part de l'energia és utilitzada per alçar un poal d'aigua: s'allibera menys calor i part de l'energia pot ser aprofitada en forma d'energia potencial

Oxidació acoplada a una reacció de síntesi d'ATP



L'energia potencial acumulada a la poal pot ser utilitzada per impulsar diverses màquines hidràuliques.

L'energia enmagatzemada en forma d'ATP pot ser utilitzada per a impulsar altres processos cel.lulars

Els éssers vius utilitzen l'energia en forma d'una molècula específica, l'adenosina trifosfat (ATP) que actua com a moneda de canvi universal d'energia. A mesura que l'ATP transfereix la seua energia a les altres molècules, perd el seu grup fosfat terminal i es transforma en ADP (adenosina difosfat) que al seu torn pot acceptar energia química mitjançant la recuperació del grup fosfat per transformar-se novament en ATP, ja siga gràcies a l'energia solar o a la que es troba enmagatzemada a la matèria orgànica

La hipòtesi quimiosmòtica de Mitchell explica el mecanisme de formació d'ATP en tots els tipus de cèl.lules

Les molècules orgàniques contenen molta energia potencial, atés el seu alt grau d'ordenació estructural: quan la glucosa és degradada per oxidació en CO_2 i H_2O) allibera una energia que es conserva en forma d'ATP que es difondrà per la cèl.lula cap aquells indrets on siga necessari un aportament d'energia. La presència de complexos multienzimàtics específics fa que la major part de l'energia present a l'ATP es transforme en formes útils: biosíntesi, transport actiu, etc.

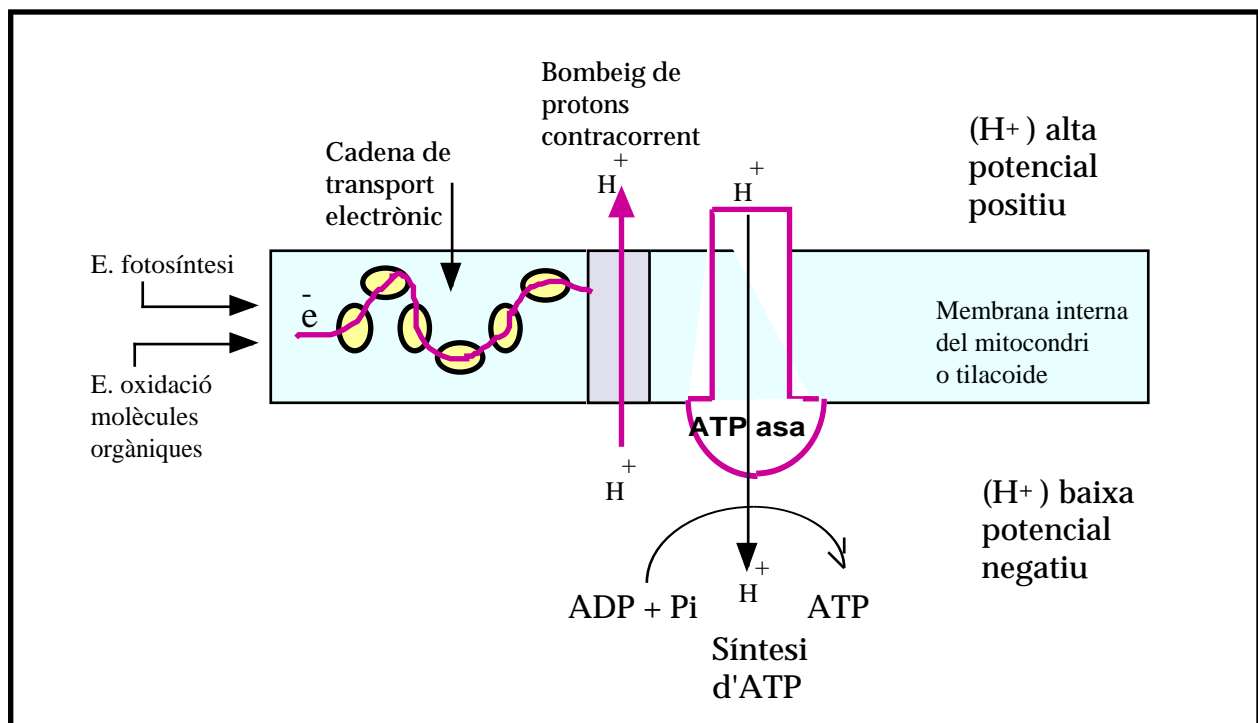
Una segona manera de transportar energia química és en forma d'electrons o àtoms d'hidrogen (protons + electrons) els quals són necessaris per a la reducció de molècules orgàniques. els electrons són trans-

portats enzimàticament mitjançant coenzims específics com el NAD. **REPASSEU ELS CONCEPTES D'OXIDACIÓ I REDUCCIÓ VISTOS AL TEMA 6 I EN EL LLIBRE DE QUÍMICA.** Els dibuixos de la pàgina següent poden ajudar-vos a entendre aquest concepte.

Tot això serà explicat amb més detall i atenció en el pròxim tema

3.2. Fonts d'energia per a la síntesi d'ATP. Conversió de l'energia en cloroplasts i mitocondris

De quina manera generen les cèl·lules l'enllaç fosfat d'alta energia de l'ATP? Si ens fixem en els dos processos més importants del metabolisme cel·lular -la fotosíntesi als cloroplasts i la respiració aeròbia als mitocondris- sembla ser que tenen poca cosa en comú. Tanmateix, un dels descobriments més revolucionaris de la biologia cel·lular és el fet que els cloroplasts i els mitocondris (itambé determinats bacteris) utilitzen el mateix -o gairebé el mateix- mecanisme per a generar APT a partir d'ADP + Pi.



Les fonts immediates d'energia per a la síntesi d'ATP són els gradients de concentració de protons i els gradients de potencial elèctric a través de membrana; al conjunt l'anomenarem **gradient electro-**

químic.

El procés mitjançant el qual una cèl·lula genera ATP es diu **quimiosmosi**. La teoria quimiosmòtica es basa en el gradient de concentració de H^+ a través de membrana.

3.2.1 . Fotofosforilació oxidativa i fotofosforilació

**Concepte de quimiosíntesi.
Comparació amb altres processos metabòlics**

Al procés de fotosíntesi, l'energia absorbida de la llum s'utilitza per a impulsar un moviment d'electrons a través d'una sèrie de proteïnes transportadores localitzades a les membranes internes del cloroplast. Als mitocondris, l'energia alliberada per l'oxidació de les molècules orgàniques és utilitzada així mateix per impulsar el moviment d'electrons a través d'una sèrie de transportadors situats a la membrana mitocondrial interna. Tots aquests moviments d'electrons es troben associats al bombeig d' H^+ a través de membrana, fet que genera un gradient electroquímic transmembranal d' H^+ , és a dir, un gradient de concentració d' H^+ i/o de potencial elèctric a través d'aquestes membranes.

Un exemple de quimiosíntesi: els bacteris del nitrogen

L'energia enmagatzemada per aquest gradient pot ser utilitzada per a posar novament en moviment els H^+ a través de la membrana, ara en sentit favorable al gradient de concentració, tot això associat a la síntesi d'ATP a partir d'ADP + P_i (amb la presència d'un enzim ATPasa)

Els electrons transportats tenen en un primer moment una energia lliure alta. En traslladar-se a través d'eixa sèrie de proteïnes intramembranals que s'oxiden i redueixen successivament, els electrons van perdent de mica en mica una part de la seua energia lliure, la qual serà utilitzada per a bombejar contra corrent protons a través de membrana, fet que originarà el potencial electroquímic. Aquest gradient d' H^+ és la font immediata d'energia per a la síntesi d'ATP.

3.2.2. Quimiosíntesi

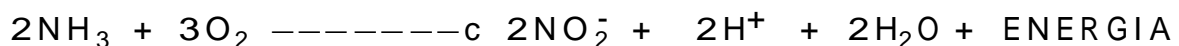
La quimiosíntesi constitueix un altre tipus de nutrició autòtrofa. A diferència de la fotosíntesi, l'energia necessària per a dur a terme les reaccions d'anabolisme prové de l'oxidació de molècules inorgàniques senzilles. La quimiosíntesi és realitzada per un reduït nombre de bacteris i hi podem distingir dues fases:

* En la primera fase s'obté l'energia en forma d'ATP i coenzims reduïts, a partir de l'oxidació de compostos inorgànics senzills com NH_4^+ i NO_2^- (bacteris del nitrogen), H_2S (bacteris del sofre) o Fe^{2+} (bacteris del ferro). Aquesta fase suposa un transport invers d'electrons a través de membrana i una fosforilació oxidativa

* En una segona fase, l'energia obtinguda en la fase anterior serà utilitzada per sintetitzar matèria orgànica a partir de CO_2 i nitrats incorporats pel microorganisme, en un procés semblant a la fase obscura de la fotosíntesi. Algunes espècies de bacteris (*Azotobacter*, *Rhizobium*) poden incorporar nitrogen atmosfèric.

Posarem com a exemple de quimiosíntesi el cas dels **bacteris del nitrogen** que tenen un paper important en el cicle de la matèria. Obtenen l'energia necessària per poder dur un metabolisme autòtrof a partir de l'energia alliberada en processos oxidatius de substàncies nitrogenades. Podem distingir-hi dos tipus:

- **Bacteris nitrosificants** que transformen l'amoniac procedent de la descomposició dels éssers vius en nitrits. Exemple *Nitrosomonas*.



- **Bacteris nitrificants** que transformen els nitrits en nitrats (forma mineral de N en què les plantes absorbeixen aquest bioelement). Exemple: *Nitrobacter*

