

## 1. ANABOLISME

És la via constructiva del metabolisme, ruta de síntesi de molècules orgàniques a partir de molècules inorgàniques. Es distingeixen dues etapes successives:

- anab. autòtrof: pas de molècules inorgàniques a orgàniques senzilles. ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,...  $\rightarrow$  glucosa, aminoàcids, glicerina,...)
- anab. heteròtrof: pas de molècules orgàniques senzilles a molècules orgàniques complexes.

Hi ha dos tipus d'anabolisme autòtrof, segons la font d'energia:

- Fotosíntesi: energia lluminosa. La fan plantes, algues i cianobacteris.
- Quimiosíntesi: energia despresa per les reaccions químiques. La fan bacteris fotosintètics.

Els organismes que es nodreixen de substàncies inorgàniques són els que possibiliten la vida als organismes heteròtrofs.

## 2. FOTOSÍNTESI

Procés anabòlic que es produeix als cloroplasts i en el qual l'E lluminosa es transforma en E química, que posteriorment serà emprada per la fabricació de substàncies orgàniques a partir de les inorgàniques. És possible gràcies a l'existència de **pigments fotosintètics**: molècules capaces de captar E lluminosa i utilitzar-la per activar e- fins arribar a transferir-los a altres àtoms, iniciant una reacció química.

Segons el procés que s'utilitza per recuperar els e- perduts pels pigments fot., es diferencien dos tipus de fotosíntesi:

- Fotosíntesi oxigènica: obté els electrons de la descomposició de l' $\text{H}_2\text{O}$  ( $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \text{O}_2$ ) = el donador d'e- és l'aigua i allibera  $\text{O}_2$ . (Plantes, algues i cianobacteris)
- Fotosíntesi anoxigènica: o bacteriana, obté els e- de  $\text{H}_2\text{S}$  ( $\text{H}_2\text{S} \rightarrow 2\text{H}^+ + 2\text{e}^- + \text{S}$ ). Pròpia dels bacteris porpres i verds del sofre. Els bacteris que fan la fotosíntesi anoxigènica tene **clorosomes**: orgànuls de parets proteiques, que contenen bacterioclorofil·la.

Podem distingir diferents tipus de processos: fotosíntesi dels compostos del carboni, del sofre i del nitrogen. Com que l'estructura de les plantes i algues és bàsicament de cel·lulosa i les reserves són de midó, el procés més important és el dels compostos de carboni i la fotosíntesi dels glúcids.

## 3. PLASTS

Orgànuls exclusivament vegetals. Existeixen diversos tipus de plast:

- Cloroplasts: plast verds.
- Cromoplasts: plast taronges o grocs, per acumulació de carotenoides.
- Leucoplasts: plast blancs, en les parts no verdes de les plantes. Exemple: patata  $\rightarrow$  amiloplasts.

## 4. EST. FOTOSINTETITZADORES: CLOROPLASTS, TILACOIDES I CLOROSOMES.

En les **plantes i algues**, la fotos. es duu a term als **cloroplasts**: orgànuls discoïdals amb memb. externa i interna, i amb espai intern=**estroma**, que conté tilacoides. En les membranes dels tilacoides hi ha els **fotosistemes**: complexos proteics que contenen clorofil·la i altres pigments fotosintètics.

Hi ha dos tipus de tilacoides:

- tilacoides de grana, que es troben apilats.
- tilacoides d'estroma o lamela, formen làmines paral·leles.

Els cloroplasts s'enriqueixen en clorofil·la quan s'estimulen per la llum. Els **cianobacteris** no tenen cloroplasts, però sí tilacoides al citoplasma. Els **bacteris** que fan la fotosíntesi anoxigènica no tenen ni cloroplasts ni tilacoides sinó **clorosomes**: orgànuls de parets proteiques, que tenen bacterioclorofil·la.

## 5. PIGMENTS FOTOSINTÈTICS I ABSORCIÓ DE LLUM

Els pigments fotosintètics són lípids que estan units a proteïnes que són presents en les membranes dels tilacoides. En les **plantes** hi ha clorofil·les i carotenoides; en **cianobacteris i algues vermelles** hi ha ficocianina i ficoeritrina, i en els bacteris fotosintètics hi ha bacterioclorofil·la.

La clorofil·la està constituïda per un anell porfirínic amb un àtom de Mg al centre, associat a un metanol i a un fitol. Hi ha dos tipus de clorofil·les: clorofil·la a, absorbeix llum de longitud d'ona pròxima a 683 nm, i la clorofil·la b, que n'absorbeix a 660 nm.

Els carotenoides són isoprenoides i absorbeixen llum de 440 nm. Poden ser carotens (vermells) i xantofil·les (grogues).

Els pigments fotosintètics tenen enllaços covalents senzills alternats amb enllaços covalents dobles. Això fa que hi hagin e<sup>-</sup> lliures que poden moure's per tot l'anell i fer variar els enllaços. S'anomena estat de **ressonància** entre dues estructures. Aquests e<sup>-</sup> necessiten poca E per ascendir a nivells superiors, la qual cosa s'anomena **excitació**, per això tenen prou amb E lluminosa per fer-ho. Com que és una quantitat d'E ínfima, també tenen molta facilitat per alliberar-la quan descendeixen a l'orbital inicial, **relaxació**. Aquesta és la base de l'aprofitament de la llum per iniciar les reaccions químiques.

## 6. FOTOSISTEMES

Un **fotosistema** està constituït per proteïnes transmembrana que constitueixen dues subunitats:

- complex captador de llum o antena
- centre de reacció

El **complex captador de llum** conté molècules de pigments fotosintètics: clorofil·la a/b i carotenoides que poden captar E lluminosa i transmetre-la a altres molècules, energia d'excitació, fins cedir-la al pigment fotosintètic del centre de reacció.

El **centre de reacció** conté clorofil·la a = pigment diana, que quan rep E captada pels pigments de l'antena és capaç de transferir e<sup>-</sup> a una altra molècula, primer acceptor d'e<sup>-</sup>, que els passarà a una molècula externa fora del centre de reacció. D'aquesta manera, el pigment diana és capaç d'iniciar una reacció de transferència d'e<sup>-</sup> (reacció redox). El pigment diana reposa els e<sup>-</sup> perduts a partir de primer donador d'e<sup>-</sup>.

Hi ha dos tipus de fotosistemes:

- El fotosistema I (PSI) té un pigment diana que capta la llum de longitud d'ona menor o igual a 770 nm, per això rep el nom de clorofil·la P700. És incapaç de trencar la molècula d'aigua per aconseguir e<sup>-</sup>.
- El fotosistema II (PSII) té un pigment diana que capta llum de longitud d'ona menor o igual a 680 nm, per això rep el nom de clorofil·la P680. És capaç de trencar les molècules d'aigua per aconseguir els electrons necessaris per reposar els que ha perdut en el pigment diana.

En l'**aparell fotosintetitzador** que hi ha en les membranes dels tilacoides a continuació de cada fotosistema hi ha una cadena de molècules transportadores d'e<sup>-</sup> i proteïnes ATP-sintetases. Aquestes últimes sintetitzen ATP a partir dels de la diferència de potencial que hi ha a un costat i l'altre de la membrana tilacoïdal, de manera semblant al que succeix en la respiració mitocondrial.

## 7. PROCESSOS DE LA FOTOSÍNTESI

En la fotosíntesi hi haurà els següents processos:

- 1) Captació per les clorofil·les i altres pigments fotosintètics de l'energia lluminosa i la seva transformació en E química continguda a ATP.
- 2) Obtenció d'e<sup>-</sup> a partir de H<sub>2</sub>O. Aquests e<sup>-</sup>, activats per E lluminosa, serviran per reduir NADP<sup>+</sup>.
- 3) Incorporació del carboni del CO<sub>2</sub> a les cadenes carbonades.
- 4) Reducció per NADPH del carboni incorporat i síntesi de compostos orgànics.
- 5) Reducció d'altres substàncies inorg. (nitrats, nitrits, sulfats, ...) per la seva incorporació a les cadenes carbonades.

## 8. CONSEQÜÈNCIES

Les conseqüències de la fotosíntesi són molt important per als éssers vius:

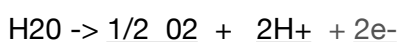
- Tots o quasi tots els éssers vius depenen directa o indirectament de la fotosíntesi per la obtenció de substàncies orgàniques i E.
- A partir de la fotosíntesi s'obté O<sub>2</sub>. Aquest oxigen va transformar l'atmosfera primitiva de la Terra i va fer possible l'existència dels organismes heteròtrofs aeròbics.

## 9. FOTOSÍNTESI DELS COMPOSTOS DEL CARBONI: FASE LLUMINOSA ACÍCLICA, FASE LLUMINOSA CÍCLICA I FASE FOSCA.

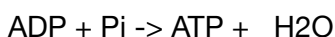
### FASE LLUMINOSA ACÍCLICA

Gràcies a la llum captada pels pigments fotosintètics, es produeixen: fotòlisi de l'aigua, fotofosforil·lació de l'ADP i la fotoreducció de NADP<sup>+</sup>.

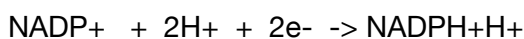
- **Fotòlisi de l'aigua:** quan arriben els fotons al fotosistema II, s'excita la clorofil·la P680 (p.d.), que perd tants e<sup>-</sup> com fotons ha absorbit. Els e<sup>-</sup> passen al 1º acceptor d'e<sup>-</sup> i després a plastoquinona PQ. Per reposar els e<sup>-</sup> a la clorofil·la P680 es produeix la fotòlisi de l'aigua: hidròlisi de molècules d'aigua, a la cara interna de la membrana dels tilacoides, i els H<sup>+</sup> s'acumulen a l'interior del tilacoide.



- **Fotofosforil·lació de ADP:** PQ s'activa quan rep 2e<sup>-</sup> i capta 2 H<sup>+</sup> de l'estroma. Cedeix e<sup>-</sup> al complex de citocroms b-f i introdueix els 2H<sup>+</sup> al tilacoide. Aquests 2H<sup>+</sup> i els 2H<sup>+</sup> de la fotòlisi de l'aigua creen una diferència de potencial electroquímic als costats de la membrana que provoca la sortida de H<sup>+</sup> per mitjà dels enzims ATP-sintetases, amb la consegüent síntesi de l'ATP que s'acumula a l'estroma.



- **Fotoreducció del NADP<sup>+</sup>:** quan incideixen 2 fotons en el fotosistema I, la clorofil·la P700 perd 2e<sup>-</sup> que passen al 1º acceptor d'e<sup>-</sup> i a la Fd. Els e<sup>-</sup> perduts per la clorofil·la P700 són reposats per la PQ, que els rep del complex citocrom b-f. La Fd passa els e<sup>-</sup> a l'enzim NADP- reductasa, que s'activa, capta 2H<sup>+</sup> de l'estroma i amb els 2 e<sup>-</sup> els transfereix a un ió NADP<sup>+</sup> de l'estroma, que es redueix a NADPH+H<sup>+</sup>.



Per cada 10 NADPH+H<sup>+</sup> produït es generen 13 ATP, i a la fase fosca es necessiten 15 ATP per cada NADPH+H<sup>+</sup>.

## FASE LLUMINOSA CÍCLICA

Només intervé el PSI. Es genera un flux cíclic d'e<sup>-</sup> que dona lloc a la síntesi d'ATP. No hi ha fotòlisi de H<sub>2</sub>O (no es despen O<sub>2</sub> i no es redueix NADP<sup>+</sup>). La finalitat és sintetitzar la quantitat necessària d'ATP per poder passar a la fase fosca.

Quan els fotons incideixen sobre el PSI, la clorofil·la P700 allibera e<sup>-</sup> que arriben a la Fd, la qual els passarà a un citocrom b6 i aquest a la PQ, que capta dos H<sup>+</sup> i passa a reduïda: PQH<sub>2</sub>. Aquesta cedeix 2e<sup>-</sup> al citocrom f i introdueix 2H<sup>+</sup> al tilacoide. Quan aquests surten a través de les ATP-sintetases, provoquen la síntesi d'ATP. La PC retorna els e<sup>-</sup> a la clorofil·la P700.

## FASE FOSCA O BIOSINTÈTICA

Es produeix la síntesi de compostos de carboni dins l'estroma dels cloroplasts. No necessita llum, tot i que es fa de dia. Utilitza ATP i NADPH obtingut en la fase lluminosa per sintetitzar matèria orgànica a partir de substàncies inorgàniques.

Font de carboni: CO<sub>2</sub>.

Font de nitrogen: nitrats NO<sub>3</sub><sup>-</sup> > reduït > -NH<sub>3</sub>

Font de sofre: sulfats SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> > reduït > -SH

Distingim dos processos:

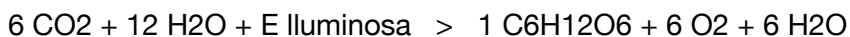
- **Fixació del CO<sub>2</sub>:** el CO<sub>2</sub> entra en l'estroma del cloroplasts i s'uneix a la pentosa ribulosa-1,5-difosfat gràcies a l'enzim rubisco. Dona lloc a un compost de 6 carbonis inestable que es dissocia en dues molècules d'àcid 3-fosfoglicèric
- **Reducció del CO<sub>2</sub> fixat:** per mitjà del consum d'ATP i del NADPH, l'àcid 3-fosfoglicèric es redueix a gliceraldehid 3-fosfat, que pot seguir tres vies: regeneració de la ribulosa-1,5-difosfat (dins cloroplast), síntesi de midó, àcids grassos i aa (dins cloroplast), i síntesi de glucosa i fructosa (fora cloroplast).

## 10. IMPORTÀNCIA DE LA FOTOSÍNTESI

1. Transforma m.i. en m.o. a partir de CO<sub>2</sub>.
2. Transforma l'E de la radiació solar en E química que s'emmagatzema en forma de compostos orgànics que sustenten la majoria de cadenes tròfiques.
3. Allibera O<sub>2</sub>, que es fa servir en la respiració cel·lular de totes les cèl·lules aeròbiques.

## 11. BALANÇ DE LA FOTOSÍNTESI OXIGÈNICA DEL CARBONI

En la fase lluminosa es produeixen ATP i NADPH necessaris per reduir en la fase fosca el CO<sub>2</sub> a m.o.



Com que hi intervenen 24 hidrògens, es produeixen 24H<sup>+</sup> i 24e<sup>-</sup>, i com que cada electró necessita l'impacte de dos fotons, un en PSI i l'altre en PSII, es necessiten 48 fotons (hv).

## 12. QUIMIOSÍNTESI

És una forma de nutrició autòtrofa en la qual l'E i els e<sup>-</sup> (ATP-NADPH) necessaris pels processos de l'anabolisme procediran de l'oxidació de substàncies inorgàniques. És una forma de nutrició bacteriana (organismes quimioautòtrofs). Diferents espècies s'han especialitzat en l'oxidació de substrats que es transformaran en minerals i seran absorbits per les plantes. Segons el substrat oxidat tenim:

- Bacteris del nitrogen: oxiden compostos reduïts del nitrogen, com l'amoniac  $\text{NH}_3$  i els transformen en nitrats  $\text{NO}_3^-$ , assimilables per les plantes. Hi ha dos grups de bacteris: els nitrosificants-> transformen amoniac en nitrits (*Nitrosomonas*), i els nitrificants -> que transformen els nitrits en nitrats (*Nitrobacter*).
- Bacteris nitrosificants: nitrosificació: de amoniac a nitrit.  $2 \text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{HNO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$ . Són bacteris del gènere *nitrosococcus* i *nitrosomonas*.
- Bacteris nitrificants: nitrificació: de nitrits a nitrats.  $\text{NO}_2^-$  a  $\text{NO}_3^-$ . Bacteris del gènere *Nitrobacter*.
- Bacteris del sofre: sulfobacteris incolor: oxiden sofre o compostos del sofre. Transformen  $\text{H}_2\text{S}$  en  $\text{H}_2\text{SO}_4$  ( $\text{NO}_4^{2-}$ ) assimilable per les plantes. S'anomenen així per no confondre'ls amb els sulfobacteris verds, que són fotosintètics. Utilitzen l'energia que es desprèn de l'oxidació del sofre o de compostos de sofre per fixar el  $\text{CO}_2$  en matèria orgànica.
- Bacteris incolor del sofre: oxiden sofre o compostos del sofre. Són bacteris responsables de la transformació del  $\text{H}_2\text{S}$ , procedent de la descomposició de la matèria orgànica.
- Bacteris del ferro: oxiden compostos ferrosos a fèrrics. A causa d'això transformen els minerals de carbonats de ferro en jaciments d'òxid de ferro. Altres, Utilitzen l'energia que es desprèn de l'oxidació de carbonats o sulfats de ferro per fixar el  $\text{CO}_2$  en matèria orgànica.
- Bacteris metanotròfic: Són bacteris desintegradors del metà. Viuen a grans profunditats, on hi ha emanacions volcàniques hidrotermals riques en metà i matèria orgànica en descomposició.

### 13. FASES DE LA QUIMIOSÍNTESI

Es distingeixen dues fases:

- En la primera fase, la reacció d'oxidació de les substàncies inorgàniques constitueix la font d'energia per a la fosforilació de l'ADP en la cadena respiratòria: fosforilació oxidativa. Una part d'aquest ATP s'utilitza per provocar un transport invers d'e- en la mateixa cadena respiratòria per obtenir NADH.
- En la segona fase, les vies metabòliques seguides coincideixen amb les de la fase fosca de la fotosíntesi. Exemple, el carboni s'incorpora a partir del  $\text{CO}_2$ , a través del Cicle de Calvin; el nitrogen s'incorpora a partir dels nitrats, etc. Alguns bacteris incorporen nitrogen a partir del nitrogen atmosfèric ( $\text{N}_2$ ).

