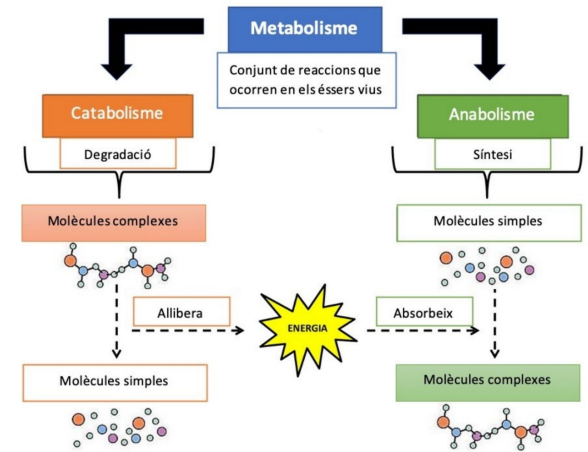


UP14 - Anabolisme

1. Introducció

L'anabolisme engloba el conjunt de processos metabòlics mitjançant els quals l'organisme **construeix molècules complexes a partir de substàncies més senzilles**, utilitzant energia en forma d'ATP.

Podem diferenciar dos tipus d'anabolisme:



Tipus d'anabolisme	Font de carboni	Font d'energia	Processos principals	Organismes
Autòtrof	CO ₂	Llum solar (fotosíntesi) Energia química procedent de reaccions d'oxidació de compostos inorgànics (quimiosíntesi)	Fotosíntesi i quimiosíntesi	Fotosíntesi → plantes, algues, cianobacteris i els bacteris fotosintètics Quimiosíntesi → bacteris quimiosintètics
Heteròtrof	Biomolècules orgàniques senzilles	Energia química (ATP)	Síntesi de molècules complexes pròpies de l'organisme	Tots els éssers vius (autòtrofs i heteròtrofs) L'anabolisme heteròtrof es realitza tant per funcions de reserva energètica com amb funcions estructurals .

1. Introducció

Podem diferenciar dos tipus d'anabolisme:

PAU

Tipus d'organisme	Font de C	Font d'energia	Donadors d'electrons	Exemples
Fotoautòtrofs	CO_2	Llum	Composts inorgànics: H_2O , H_2S	Plantes, algues, cianobacteris i sulfobacteris fotosintètics.
Quimioautòtrofs	CO_2	Reaccions oxidació-reducció	Composts inorgànics: NH_3 , H_2O , H_2S , Fe	Bacteris desnitrificants, del sofre, del ferro, del nitrogen, del metà i de l'hidrogen.
Fotoheteròtrofs	Composts orgànics	Llum	Composts orgànics	Bacteris porpres no sulfuris.
Quimioheteròtrofs	Composts orgànics	Reaccions oxidació-reducció	Composts orgànics	Animals, fongs, protozous i molts de bacteris.

1. Introducció

ANABOLISME AUTÒTROF

FOTOSÍNTESI

QUIMIOSÍNTESI

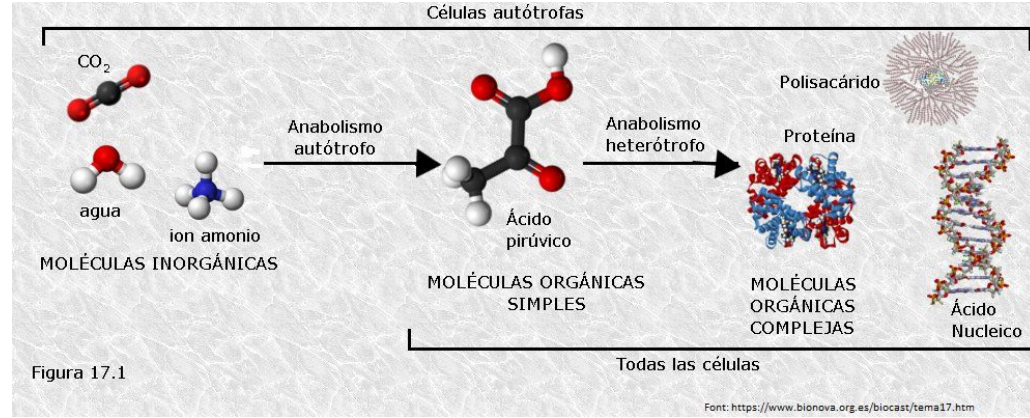
ANABOLISME HETERÒTROF

ANABOLISME GLÚCIDS

ANABOLISME DE LÍPIDS

ANABOLISME DE PROTEÏNES

ANABOLISME D'ÀCIDS NUCLEICS



NOTA ACLARATORIA

Aeròbic: procés **catabòlic** que requereix la presència d'oxigen.

Anaeròbic: procés **catabòlic** que **no** requereix la presència d'oxigen.

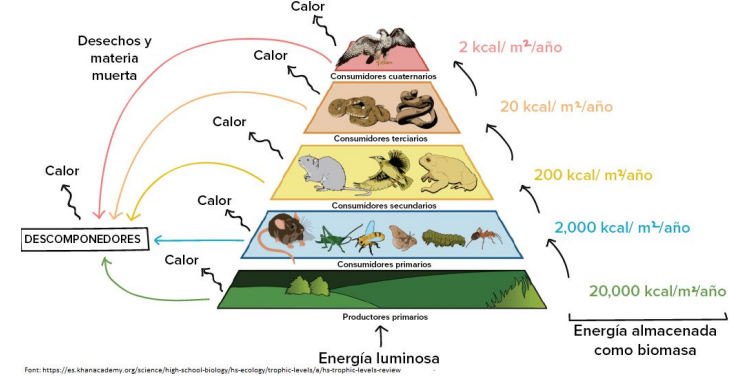
Oxigènic: procés fotosintètic (**anabòlic**) que produeix oxigen.

Anoxigènic: procés fotosintètic (**anabòlic**) que **no** produeix d'oxigen.

2. Anabolisme autòtrof

2.1 Fotosíntesi

La vida a la Terra depèn dels organismes fotosintètics, ja que són capaços de produir matèria orgànica nova a partir de substàncies inorgàniques; és per això que sempre es troben en el primer nivell de les piràmides tròfiques: els **productors**.



La **fotosíntesi** és el procés pel qual algunes cèl·lules capten l'energia procedent de la llum solar i la transformen en energia química, que s'utilitza per **sintetitzar matèria orgànica** a partir de matèria inorgànica.

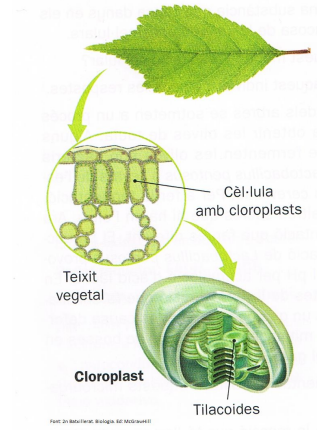
On es realitza?

En les **plantes** i les **algues** la fotosíntesi es duu a terme als **cloroplasts**.

- A les membranes dels **tilacoides** s'hi troben els **fotosistemes**, uns complexos proteics amb molècules de clorofil·la i altres pigments fotosintètics.

Els **cianobacteris** no presenten cloroplasts, però sí tilacoides al citoplasma.

Els **bacteris anoxigènics** no tenen ni cloroplasts ni tilacoides, però sí uns orgànuls denominats clorosomes que contenen bacterioclorofil·la.



2. Anabolisme autòtrof

2.1 Fotosíntesi

Tipus de fotosíntesi

Fotosíntesi oxigènica

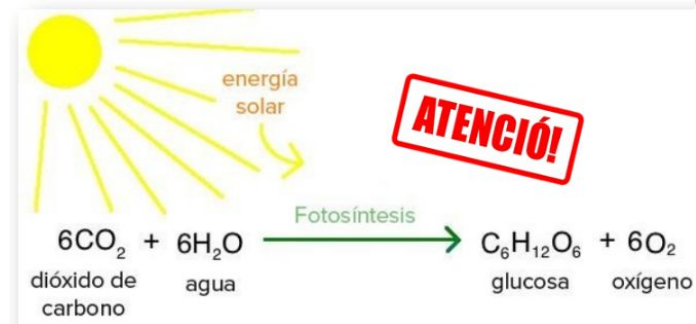
- Plantes, algues i cianobacteris.
- Es descomponen molècules d'aigua i se'n desprèn oxigen.



Fotosíntesi anoxigènica

- Bacteris púrpura i verds del sofre.
- Es descomponen molècules d'àcid sulfhídric (H_2S).
- S'anomena anoxigènica perquè no es desprèn oxigen, sinó precipitats de sofre.

Equació global de la fotosíntesi



2.1 Fotosíntesi

2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

Abans de començar...

La fotosíntesi oxigènica té lloc a les membranes dels til·lacoides, on es localitzen els **fotosistemes**, uns complexos proteics que contenen pigments fotosintètics capaços de captar l'energia lumínica

Com és un fotosistema?

Cada fotosistema consta de:

Un complex antena

- Actua com a col·lector de la llum solar.
- Està format per clorofil·les i altres pigments fotosintètics, com els carotenoides.
- La seva funció és **captar l'energia de la llum solar** i transmetre-la al centre de reacció fotoquímic (energia d'excitació).

Centre de reacció fotoquímic

- Conté un dímer de clorofil·la que recull l'energia captada (pigment diana).
- Associat a un acceptor primari d'electrons.
- La seva funció és **transformar l'energia lumínica en energia química** mitjançant l'alliberament d'electrons excitats

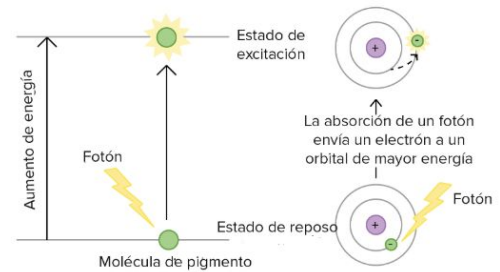
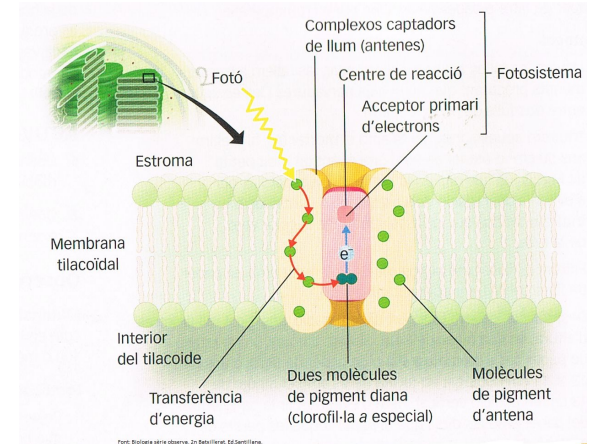


Imagen modificada de "Bis2A 06.3 Fotosíntesis: las reacciones dependientes de la luz en la fotosíntesis: Figuras 7 y 8", de Mitch Singer (CC BY 4.0).



Al **complex antena** es produeix una transferència d'energia entre pigments, mentre que al **centre de reacció** l'energia lumínica provoca l'alliberament d'un electró cap a un acceptor primari.

2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

Es distingeixen dos tipus de fotosistemes:

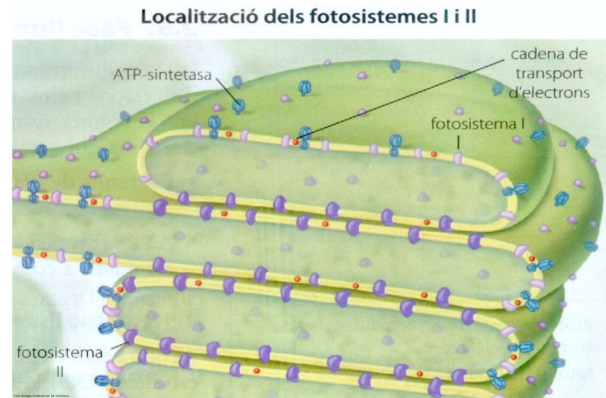
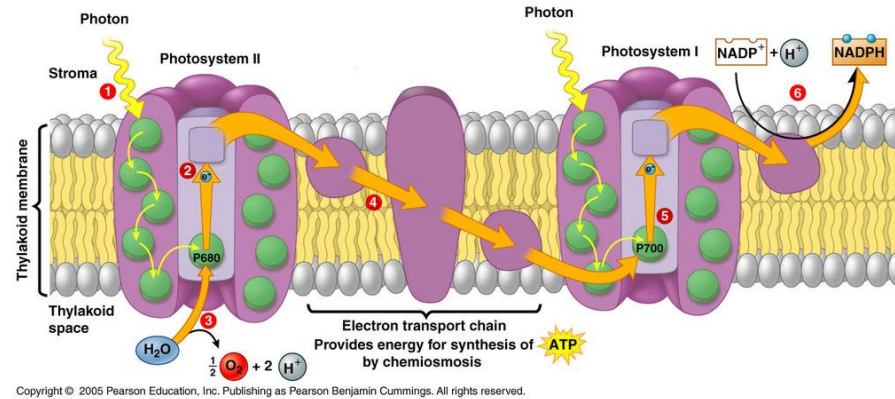
Fotosistema I (PS I)

- El seu **pigment diana** capta llum de longitud d'ona menor o igual a 700 nm, per això rep el nom de **clorofil-la P700**.
- Aquest fotosistema és abundant als tilacoides de l'estroma (tilacoides no apilats) i **no pot trencar la molècula d'aigua per alliberar electrons al medi**.

Fotosistema II (PS II)

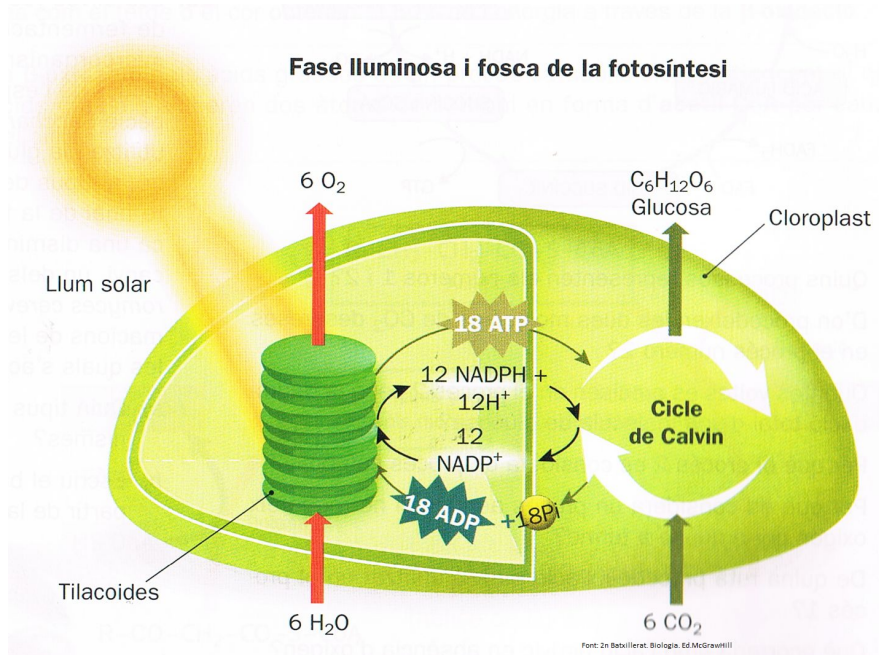
- Conté un **pigment diana** que capta llum de longitud d'ona menor o igual a 680 nm, rep el nom de **clorofil-la P680**.
- Aquest fotosistema abunda als tilacoides en grana i **pot trencar les molècules d'aigua per alliberar al medi electrons**.

En la membrana dels tilacoides, a més, hi ha molècules transportadores d'electrons, i **ATP sintetases** que sintetitzen ATP a partir de la diferència de potencial.



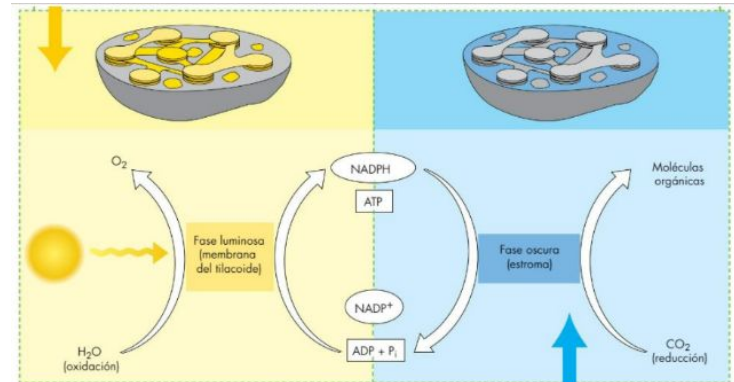
2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

La fotosíntesi oxigènica es realitza als cloroplasts i té lloc en dues fases: **fase lumínica** i **fase fosca**



Fase lumínica	Fase fosca
- En les membranes tilacoidals dels cloroplasts. - Necessita llum. - Genera NADPH i ATP. - Allibera O_2 per fotòlisi de l'aigua.	- En l'estroma dels cloroplasts. - No necessita llum. <u>Consumeix el NADPH i ATP</u> produïts en la fase lumínica. - Es fixa el CO_2 i se sintetitzen molècules orgàniques. Cicle de Calvin

Font: Zn Batallieret, Biologia, Ed McGrawHill



2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

FASES DE LA FOTOSÍNTESI

Fase lumínica

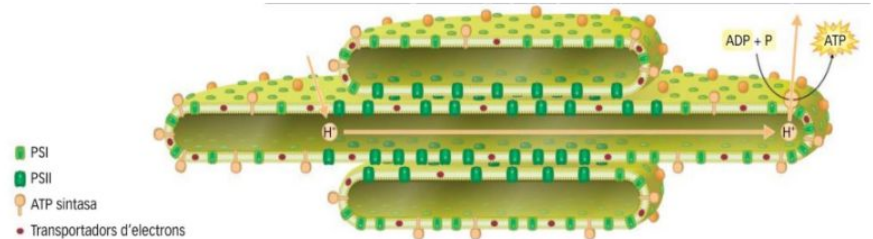
La fase lumínica és l'etapa de la fotosíntesi en què els pigments fotosintètics capten l'energia de la llum i la converteixen en energia química, produint **ATP** i **NADPH**, i alliberant **oxigen** com a subproducte.

Es pot presentar en **dues modalitats**: amb **transport acíclic d'electrons** i amb **transport cíclic**.

- Transport acíclic → Intervenien els **fotosistemes I i II**
- Transport cíclic → Només hi intervé el **fotosistema I**

A més dels fotosistemes, hi intervenen altres elements que es troben en la membrana dels til·lacoides:

- **Cadenes de transport electrònic** que transfereixen electrons d'unes molècules a altres.
- **ATP-sintetases** que sintetitzen ATP gràcies al bombament de protons.



2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

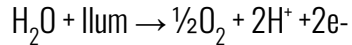
FASES DE LA FOTOSÍNTESI

Fase lumínica

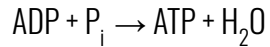
A. FASE LLUMINOSA ACÍCLICA

Aquesta fase es compon de tres processos:

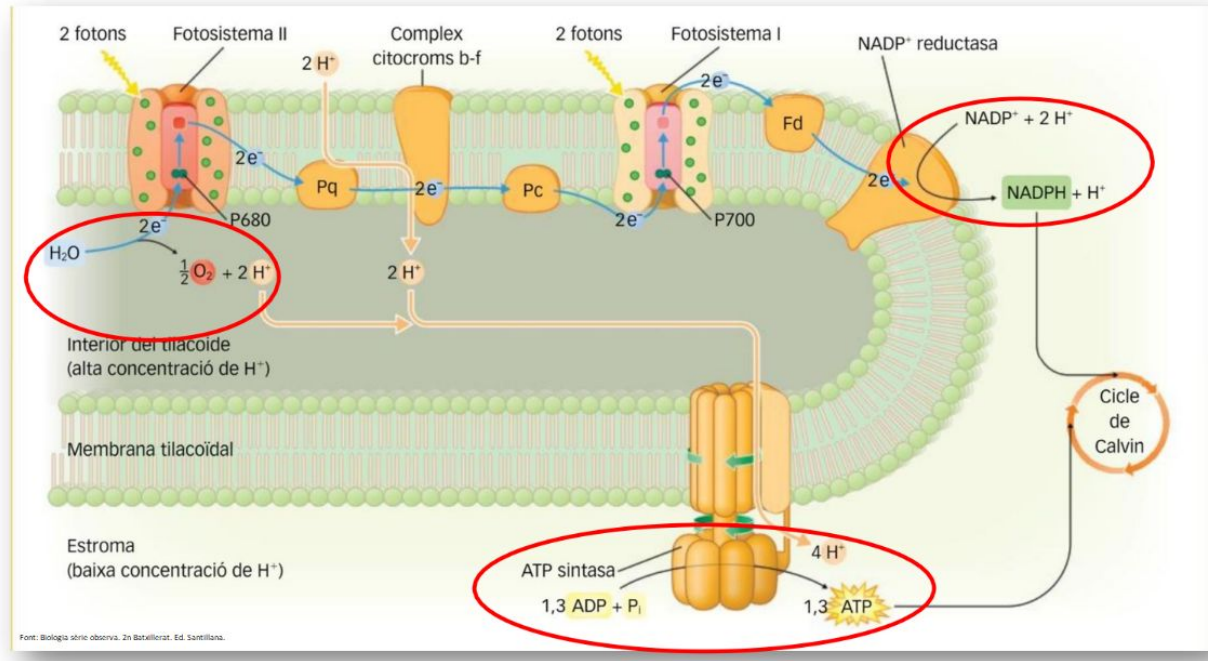
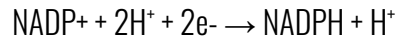
1) **La fotòlisi de l'aigua**



2) **La fotofosforilació de l'ADP**



3) **Fotoreducció del NADP⁺**



A. FASE LLUMINOSA ACÍCLICA

En la fase lluminosa **es produeix un flux d'electrons** segons el denominat **esquema en Z**

1. Fotosistema II (P680)

Al fotosistema II, els pigments del complex antena absorbeixen dos fotons.

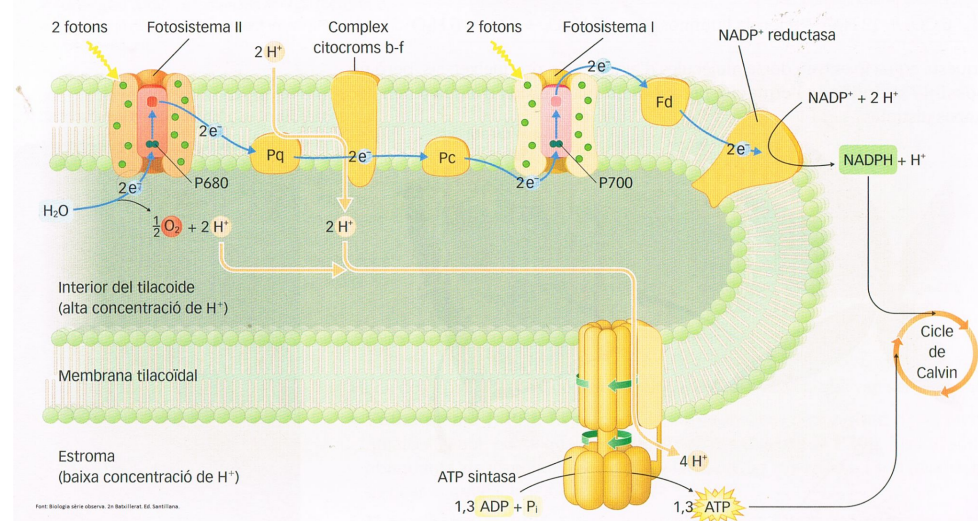
- Aquesta energia excita successivament el P680, que finalment cedeix dos electrons ($2e^-$) a l'acceptor primari.

El **P680** queda oxidat i necessita recuperar aquests electrons

2. Fotòlisi de l'aigua

Els electrons perduts pel PSII es reemplacen mitjançant la fotòlisi de l'aigua.

- S'allibera oxigen (O_2)
- Es generen protons (H^+) dins del lumen del tilacoide
- **Es recuperen els electrons del PSII**



A. FASE LLUMINOSA ACÍCLICA

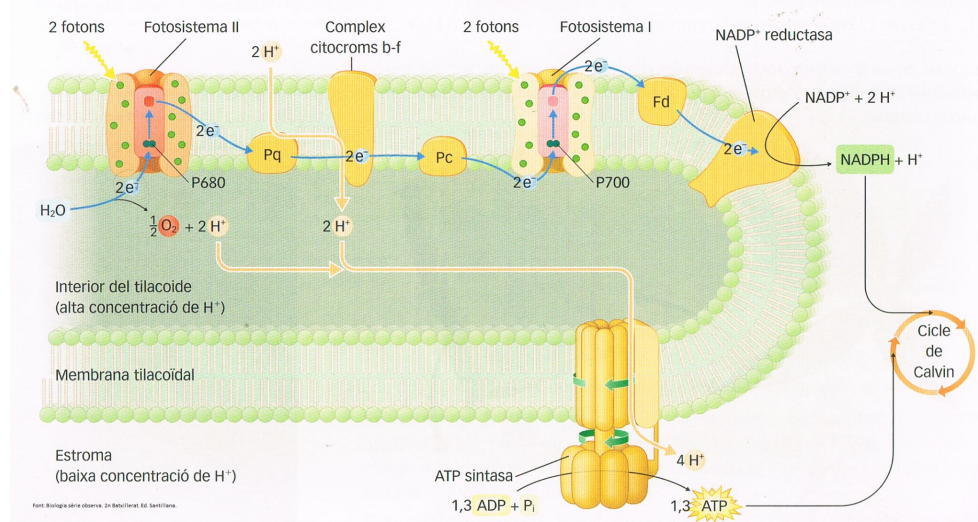
3. Cadena de transport d'electrons

Els 2 electrons del PSII passen per una cadena de transport electrònic:

- Plastoquinona (PQ)
- Complex de citocroms b_6-f
- Plastocianina (PC)

Durant aquest transport el complex citocrom b_6-f bombeja protons (H^+) cap a l'interior del tilacoide, la qual cosa contribueix a crear una alta concentració de protons al lumen.

Després de travessar aquesta cadena, els electrons són cedits a la clorofil·la P700 del fotosistema I.



4. Fotosistema I (P700)

Quan el fotosistema I rep llum, la clorofil·la P700 s'excita, cedint 2 electrons al primer acceptor d'electrons.

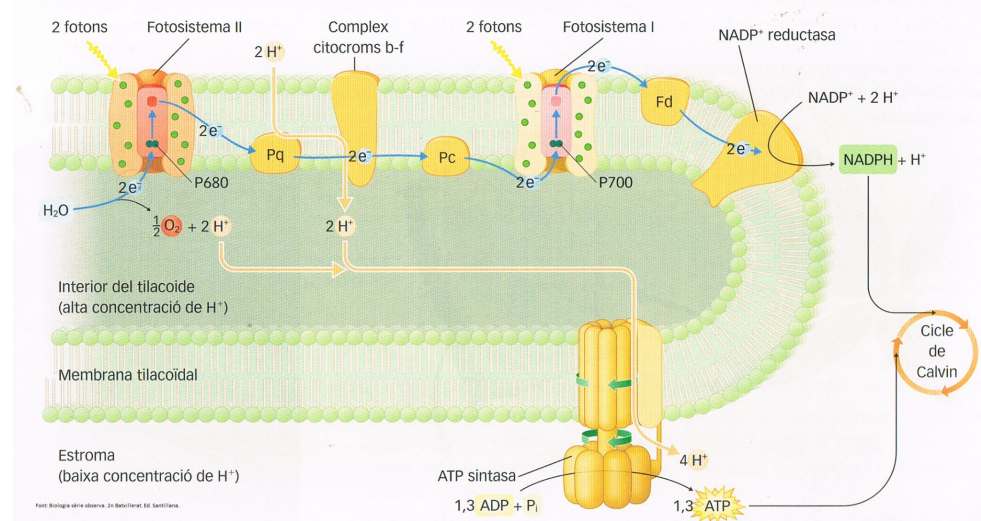
- La **P700 reposta els $2e^-$ perduts** gràcies als que rep a través de la cadena transportadora d'electrons (provinents del fotosistema II).

A. FASE LLUMINOSA ACÍCLICA

5. Reducció del NADP⁺

El primer acceptor d'electrons del fotosistema I transfereix els electrons a una altra cadena de transport electrònic (ferredoxina), la qual passa els 2e⁻ a l'enzim **NADP⁺ reductasa**.

- La NADP⁺ reductasa s'activa, capta 2H⁺ de l'estroma i juntament amb els e⁻ els cedeix al NADP⁺
 - El **NADP⁺** es redueix a **NADPH + H⁺**



6. Fotofosforilació de l'ADP

Degut a la introducció de protons a l'interior del tilacoide, es crea una **diferència de potencial electroquímic** entre les dues cares de la membrana del tilacoide.

- Aquest gradient fa que **els protons passin a través de la ATP-sintetasa i es produeixi la síntesi d'ATP**.

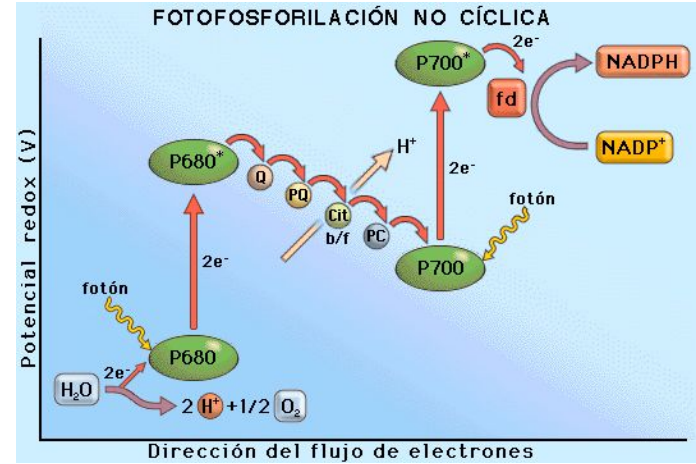
Per cada 3 protons es sintetitza una molècula d'ATP.

A. FASE LLUMINOSA ACÍCLICA

Per què és un esquema “en Z”?

L'esquema en Z representa els **canvis en el nivell energètic dels electrons** al llarg de la fase lumínica de la fotosíntesi.

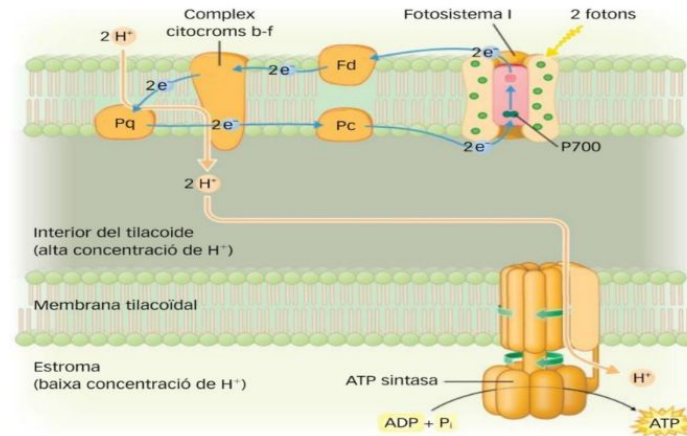
- L'energia **augmenta** quan els electrons són excitats al fotosistema II
- **Disminueix** durant el transport electrònic
- **Torna a augmentar** en el fotosistema I amb una nova absorció de llum
- **Finalment disminueix** en la reducció del NADP^+



B. FASE LLUMINOSA CÍCLICA

De vegades, la cèl·lula necessita ATP, però no NADPH, llavors recorre al transport d'electrons fotosintètic cíclic.

- En aquesta fase **es produeix únicament la fotofosforilació de l'ADP** i tan sols intervé el **fotosistema I (PSI)**.



B. FASE LLUMINOSA CÍCLICA

En aquesta fase es genera un **flux cíclic d'electrons** que fa que s'introdueixin protons a l'interior del tilacoide.

- Es crea un gradient electroquímic s'utilitza per a la **síntesi d'ATP**.

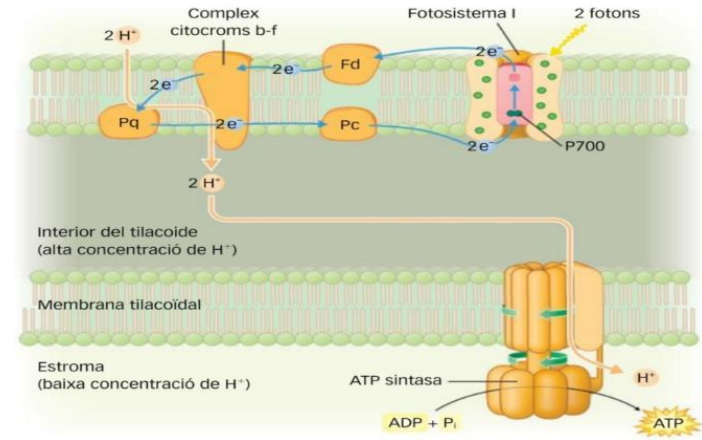
Com que **no hi intervé el fotosistema II** no hi ha fotòlisi de l'aigua i, per tant, ni s'allibera oxigen ni es produeix la reducció del NADP⁺.

Aquesta fase comença quan dos fotons incideixen sobre el fotosistema I:

- La **clorofil·la P700** allibera dos electrons a l'acceptor primari, iniciant-se una cadena de transport electrònic.
- Els electrons arriben a la **ferredoxina (Fd)**, passen pel **complex citocrom b-f** i d'aquí a la **plastoquinona (Pq)**, la qual captarà els electrons i **es reduirà a PqH₂**.

La plastoquinona reduïda cedeix els dos electrons al citocrom b-f i d'aquí a la **plastocianina (Pc)**, la qual **retornarà els electrons al fotosistema I**.

Els H⁺ introduïts a l'interior del tilacoide passaran a través de la **ATP-sintetasa per formar ATP**.

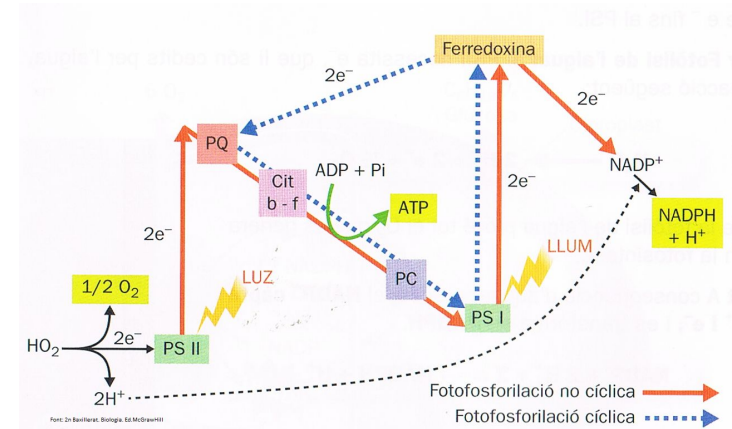
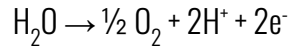


2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

Quin és el balanç de la fase lluminosa de la fotosíntesi?

A la fase lluminosa acíclica:

- Per **cada molècula d'aigua** hidrolitzada ingressen **$2H^+$** a l'interior del tilacoide, **més $2H^+$** que s'introdueixen amb el primer acceptor d'electrons (la plastoquinona) del fotosistema II fan un total de **$4H^+$** .
- Com que l'ATP-sintasa produeix un ATP per cada $3H^+$, **per cada molècula d' H_2O que s'hidrolitza es produeixen 1,33 molècules d'ATP.**
- La $NADP^+$ reductasa capta $2H^+$ i juntament amb els e^- i el $NADP^+$, es redueix per formar $NADPH + H^+$.



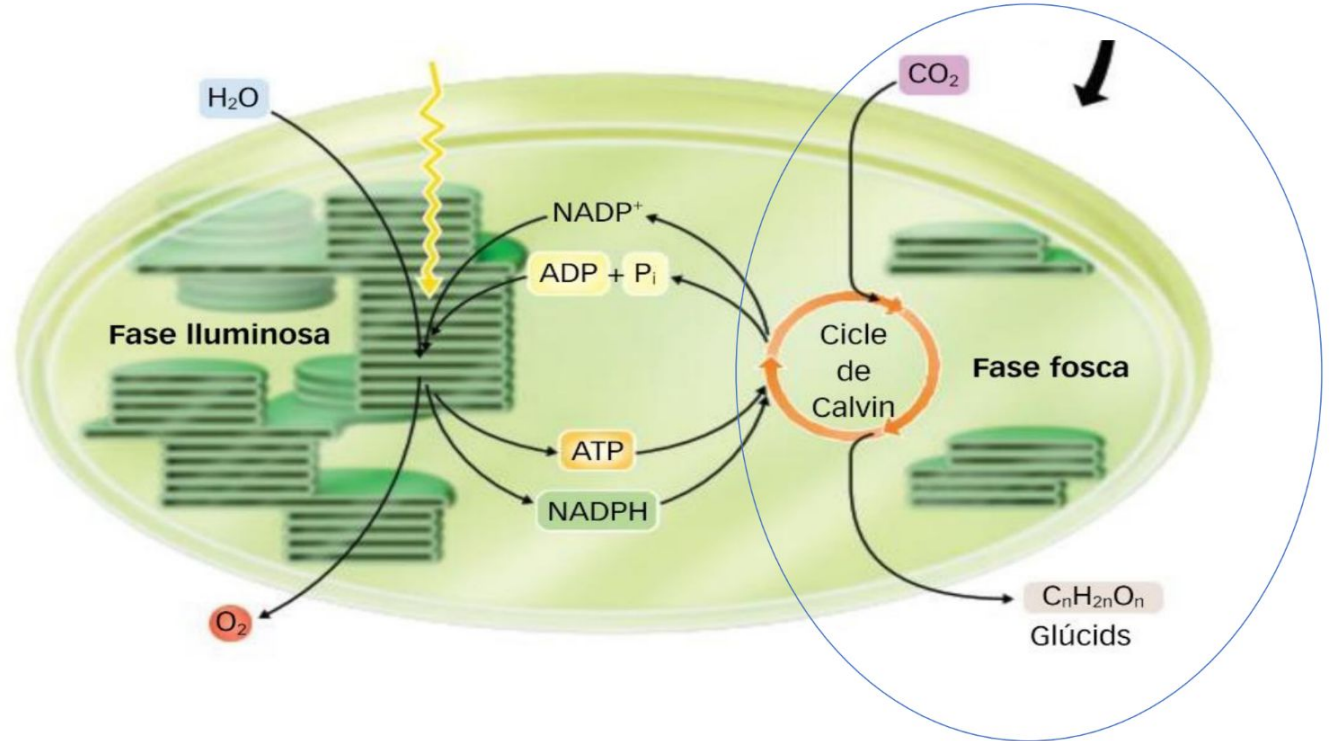
A la fase cíclica:

- Només es produeix ATP.**
- Aquesta fase és important donat que **en la fase fosca es requereix més ATP que el que es produeix a la fase acíclica.**
- La fase cíclica també té lloc quan en el medi no hi ha $NADP^+$ que pugui ser reduït a $NADPH$.

2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

FASES DE LA FOTOSÍNTESI

Fase fosca



2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

FASES DE LA FOTOSÍNTESI

Fase fosca

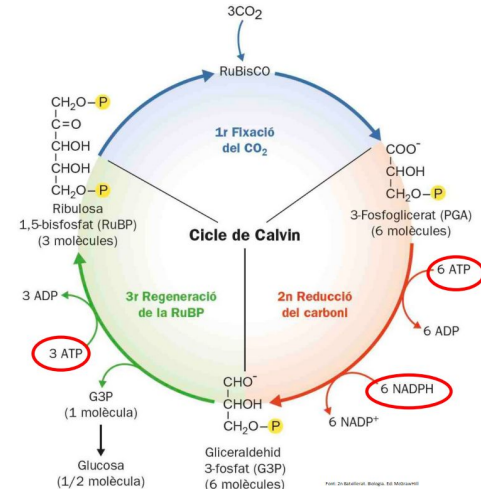
La fase fosca, també anomenada **cicle de Calvin**, és el conjunt de reaccions de la fotosíntesi que no requereixen directament la llum, però depenen dels productes de la fase lumínica.

- Es duu a terme a l'**estroma dels cloroplasts**
- La seva finalitat és **sintetitzar matèria orgànica** a partir del **CO₂** (obtingut del medi), **ATP** i **NADPH** (obtinguts durant la fase lumínica).

En el cicle de Calvin el compost inicial es regenera en cada volta de cicle, es tracta d'un **glúcid** de 5 carbonis combinat amb dos grups fosfat, la **ribulosa-1,5- bifosfat (RuBP)**

Podem dividir el cicle de Calvin en tres etapes:

1. **Fixació del CO₂**
2. **Reducció del carboni**
3. **Regeneració de la RuBP**



2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

FASES DE LA FOTOSÍNTESI

Fase fosca

1. Fixació del CO₂

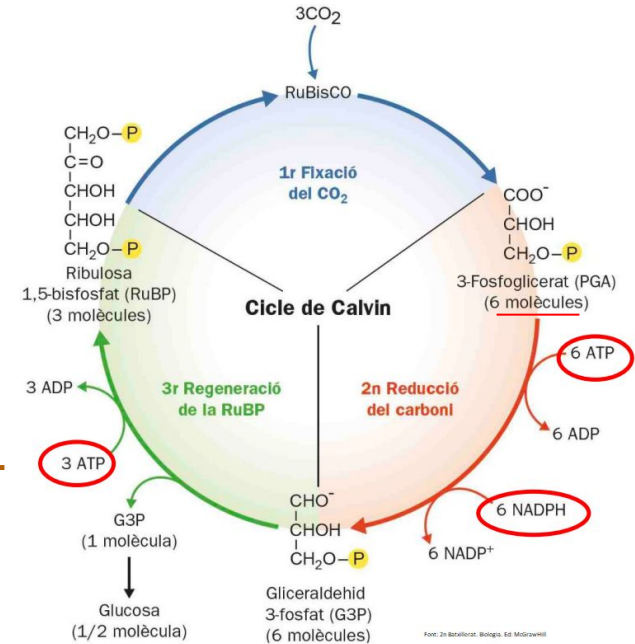
El cicle comença amb tres molècules de CO₂

- El **CO₂** s'uneix a una molècula de ribulosa-1,5-bisfosfat (**RuBP**), en una reacció catalitzada per l'enzim **RuBisCO**.
- Es forma un compost inestable de 6 carbonis que es divideix ràpidament en dues molècules de **3-fosfoglicerat (PGA)**. També es pot anomenar **àcid 3-fosfoglicèric**.

Per cada CO₂ fixat, es formen 2 molècules de PGA, per tant, 6 molècules de PGA en total.

2. Reducció del carboni

- El **PGA** és **fosforilat** per l'**ATP** i posteriorment és **reduït** pel **NADPH**.
- Es forma **gliceraldehid-3-fosfat (G3P)**, una triosa fosfat.



Fase fosca

3. Regeneració de la RuBP

- De les sis molècules de G3P **només una** s'utilitza per sintetitzar glúcids en el citosol (producte de la fase fosca)
- Les 5 molècules de G3P restants es convertiran finalment en tres molècules de RuBP, les quals poden tornar a actuar com a acceptors de CO_2

La regeneració de la RuBP requereix de tres molècules d'ATP.

A tenir en compte!

El G3P també pot servir per:

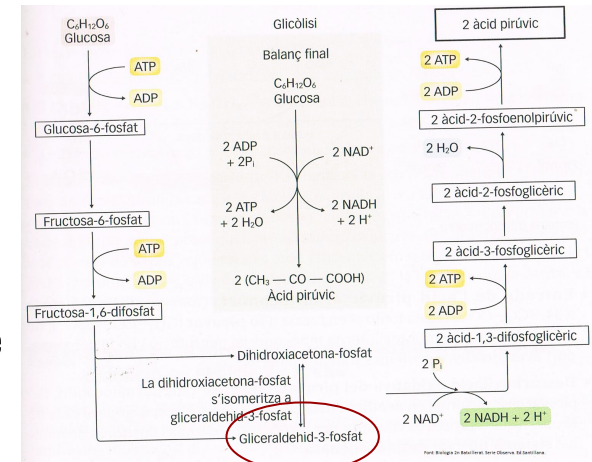
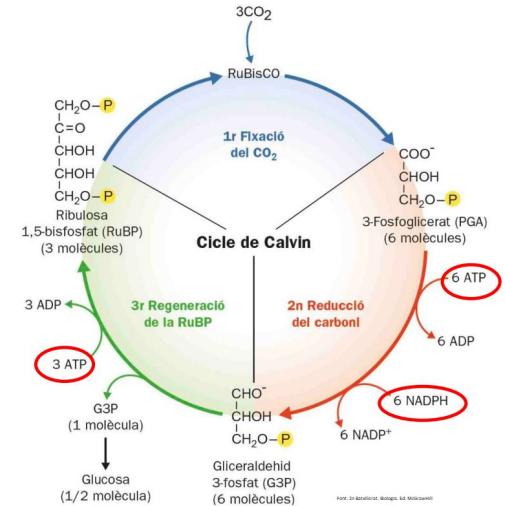
Sintetitzar sacarosa:

- Es forma glucosa i fructosa al citosol, per després unir-se i formar sacarosa, la qual formarà part de la saba elaborada.

Obtenir energia:

- El gliceraldehid-3-fosfat format pot sortir del cloroplast i passar al citosol, on pot ser metabolitzat a través de la glucòlisi. El piruvat resultant entra al mitocondri, on es transforma en acetil-CoA, que és la molècula que accedeix al cicle de Krebs.

Síntesi de midó, àcids grassos i aminoàcids als cloroplasts.



2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

Balanç final de la fotosíntesi oxigènica

La glucosa és un monosacàrid de 6 carbonis i el gliceraldehid-3-P és un monosacàrid de 3 carbonis, de manera que **per sintetitzar una molècula de glucosa necessitem dues molècules de G3P**, és a dir, **necessitem que 6 molècules de CO_2 s'incorporin al cicle de Calvin**.

Perquè és important la fotosíntesi?

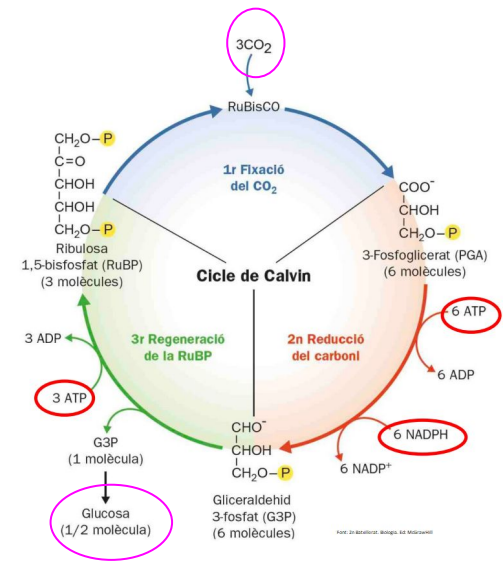
1. Transforma l'energia de la llum en energia química, utilitzable per als éssers vius.

2. Produeix molècules orgàniques a partir de molècules inorgàniques.

- Els organismes fotosintètics són els productors dels ecosistemes ja que la matèria orgànica que fabriquen sustenta a la resta d'éssers vius.

3. Produeix O_2 atmosfèric, que fa possible la respiració dels éssers aerobis i ha permès que es formi la capa d'ozó (O_3).

4. Capta CO_2 atmosfèric, contribuint així a reduir-ne els nivells.

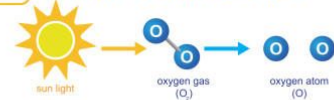


CHEMISTRY ●●●

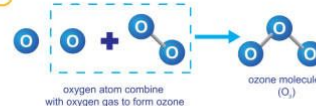
Formation of OZONE

step 1

UV light break oxygen gas into 2 atoms of oxygen



step 2



2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

Factors que influeixen en la fotosíntesi

La **intensitat de la fotosíntesi** depèn tant de **factores interns** de la planta, com la quantitat de clorofil·la o l'estat dels pigments a les fulles, com de **factores externs**, com la **concentració de CO_2** , la **temperatura**, la **intensitat de la llum**, l'**humitat** o la **concentració d' O_2** .

1. Intensitat de la llum

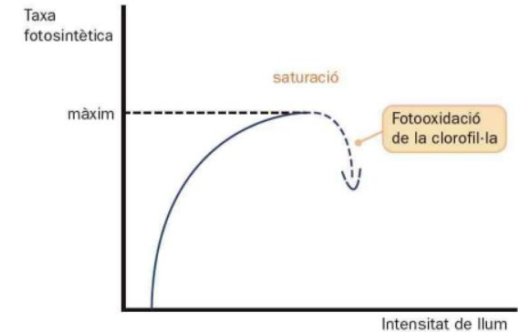
A mesura que augmenta la intensitat lumínica, la taxa fotosintètica també augmenta.

- Aquest augment es produeix fins a un **punt de saturació màxim**, a partir del qual la fotosíntesi ja no augmenta perquè tots els fotosistemes funcionen a ple rendiment.

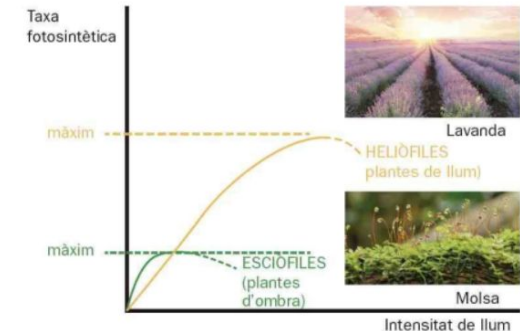
Si la intensitat de llum continua augmentant pot produir-se la **fotooxidació** dels pigments, provocant la **fotoinhibició** amb la conseqüent **disminució de la taxa de fotosíntesi**.

Cada espècie està adaptada a viure en un interval d'intensitat de llum.

- Les **espècies esciòfiles** són plantes d'ombra, de manera que toleren **baixes intensitats**.
- Les **plantes heliòfiles** són plantes de sol, de manera que necessiten **altes intensitats**.



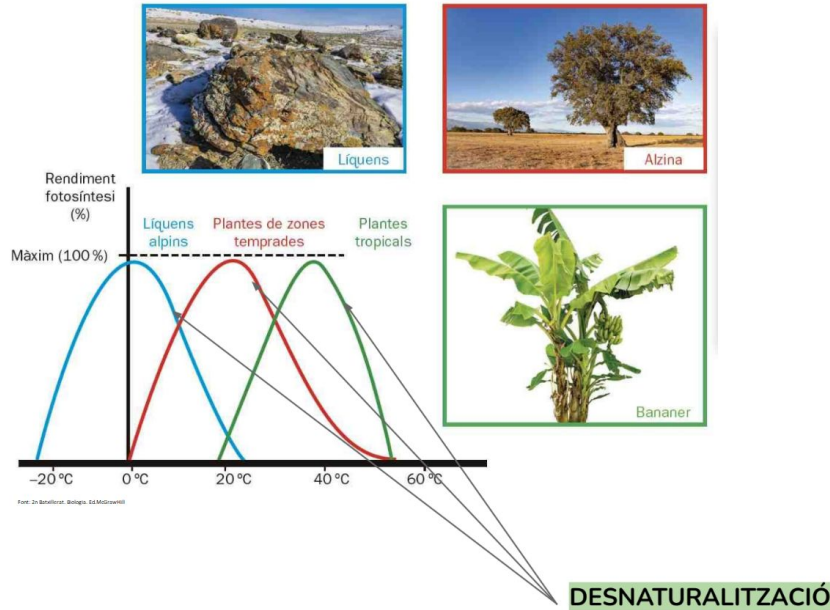
Font: 2n Batxillerat, Biologia, Ed. Miquel Martí



2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

Factors que influeixen en la fotosíntesi

2. Temperatura



Cada espècie està adaptada a viure dintre d'uns intervals de temperatura.

L'augment de temperatura incrementa la velocitat de la fotosíntesi fins a un òptim.

Per sobre d'aquest valor:

- Els **enzims poden desnaturalitzar-se**
- La **fotosíntesi disminueix**.

2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

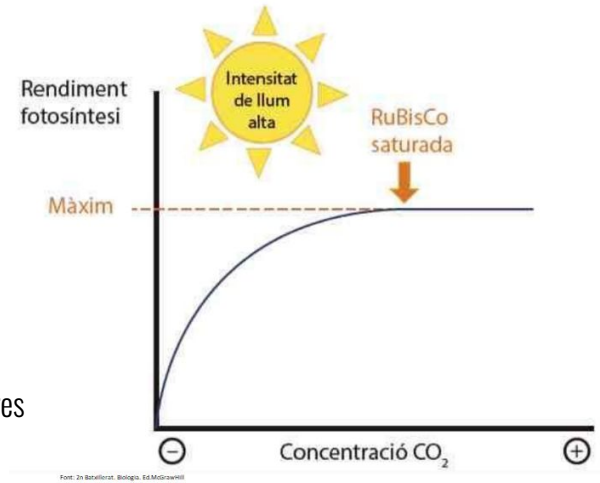
Factors que influeixen en la fotosíntesi

3. Concentració de CO_2

El CO_2 és el **substrat** del cicle de Calvin, en concret l'enzim **RuBisCo**.

Quan la concentració de CO_2 **augmenta**:

- S'incrementa la velocitat de fixació del carboni per part de la RuBisCo, fins que tots els centres actius de l'enzim estan ocupats i el **rendiment s'estabilitza**.

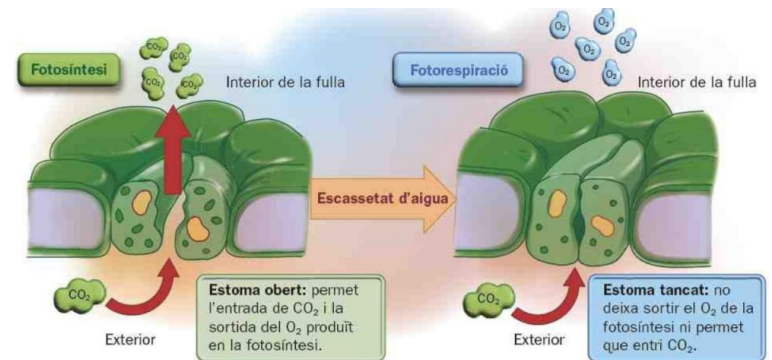


4. Humitat

La humitat ambiental influeix en l'obertura dels estomes.

Amb **humitat adequada** els **estomes** romanen **oberts**, entra CO_2 i la fotosíntesi es manté.

En condicions de **baixa humitat** els **estomes es tanquen** per evitar la pèrdua d'aigua, disminueix l'entrada de CO_2 i baixa la fotosíntesi.



2.1.1 Fotosíntesi oxigènica

Factors que influeixen en la fotosíntesi

5. Concentració d'O₂

La **fotorespiració** és un procés metabòlic que té lloc a les plantes quan l'enzim **RuBisCO**, en lloc de fixar CO₂, fixa O₂.

Aquest procés **consumeix energia i no produeix matèria orgànica**, per la qual cosa **redueix l'eficiència de la fotosíntesi**.

La RuBisCO pot actuar de dues maneres:

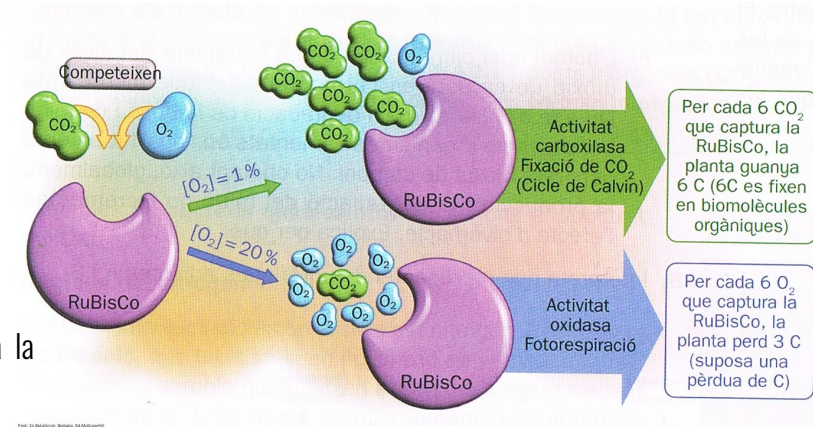
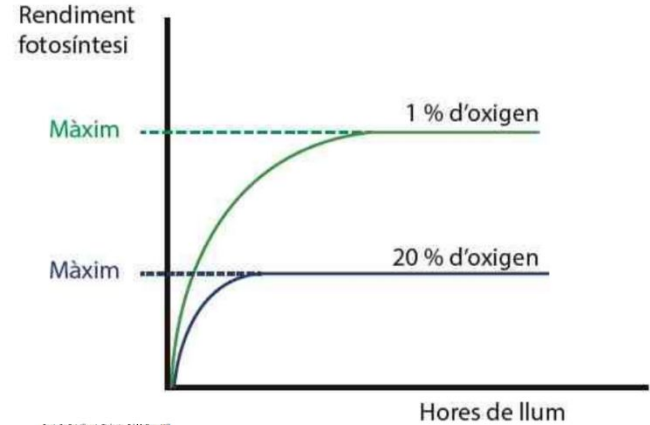
- Com a **carboxilasa** (fixa CO₂)
- Com a **oxigenasa** (fixa O₂).

Quan actua com a oxigenasa s'inicia la fotorespiració, es consumeixen ATP i s'allibera CO₂.

- **No es forma glucosa.**

Què passa quan la concentració d'oxigen és elevada?

- **Augmenta la probabilitat que la RuBisCO fixi O₂**, i, per tant, augmenta la fotorespiració.
- Això provoca una **disminució de la intensitat fotosintètica**.



2. Anabolisme autòtrof

2.2 Quimiosíntesi

La quimiosíntesi es basa en la **producció de matèria orgànica** utilitzant com a font d'energia l'**oxidació de molècules inorgàniques reduïdes**, sense la necessitat d'utilitzar la llum solar. Els organismes que duen a terme aquest procés, principalment **bacteris**, s'anomenen **quimioautòtrofs**.

La quimiosíntesi es desenvolupa en dues fases principals:

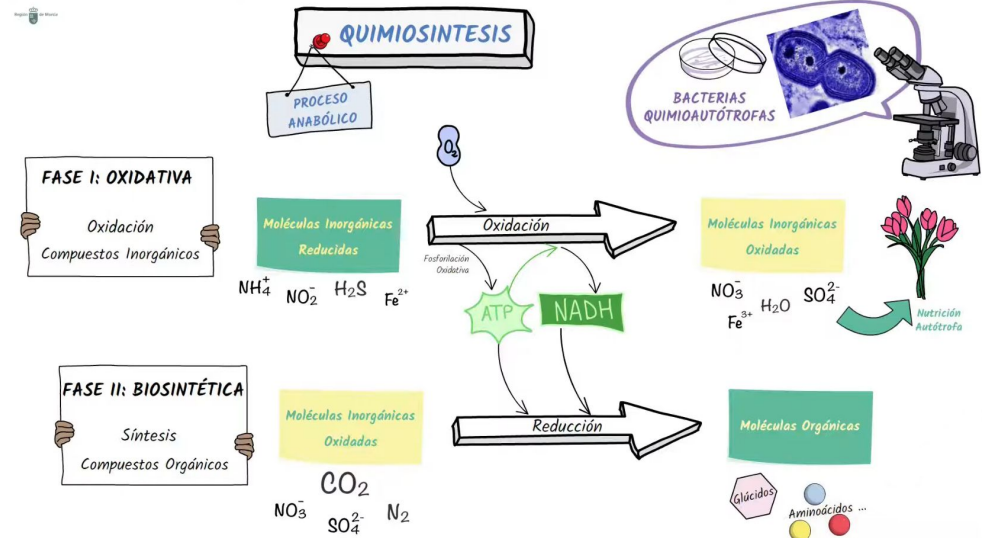
1. Fase d'obtenció d'energia (fase oxidativa)

En aquesta fase es produeixen **reaccions d'oxidació de substàncies inorgàniques** (com NH_3 , NO_2^- , H_2S , Fe^{2+}).

L'energia alliberada s'utilitza per sintetitzar **ATP** (fosforilació oxidativa) i per generar **poder reductor (NADH)**.

Aquesta fase és equivalent a la fase lumínica de la fotosíntesi, però l'energia no prové de la llum, sinó de reaccions químiques.

Té lloc a les membranes bacterianes.



2.2 Quimiosíntesi

2. Fase de fixació del carboni (biosintètica)

En aquesta fase, **gràcies a l'ATP i el poder reductor obtingut a la fase anterior, el CO_2 és fixat i transformat en matèria orgànica.**

Aquesta fase és equivalent a la fase fosca de la fotosíntesi.

Té lloc al citoplasma del bacteri.

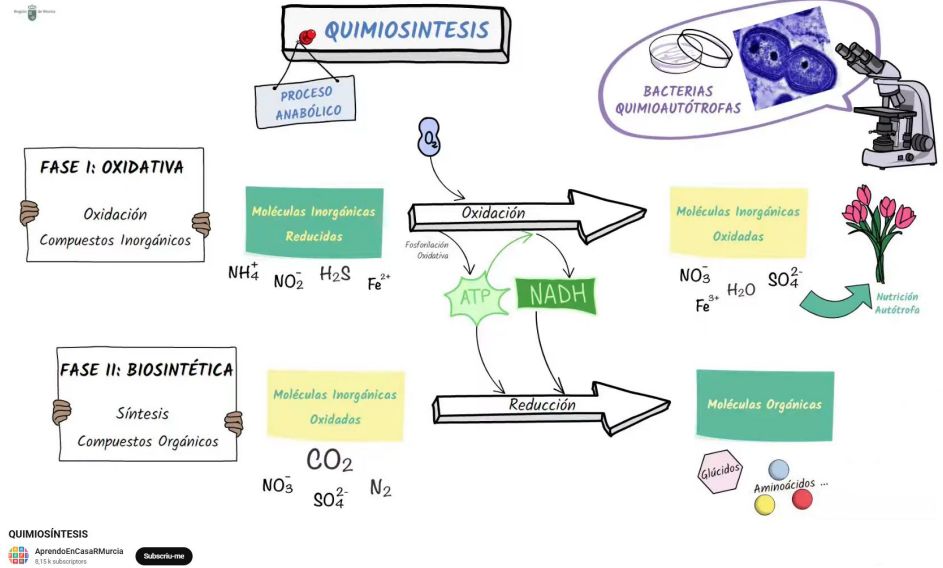
Tipus de bacteris quimiosintètics

Bacteris del sofre

- Oxiden sofre o compostos sulfurats (H_2S).
- Aerobis obligats (necessiten O_2).
- Viuen en aigües residuals o zones volcàniques.

Bacteris del ferro

- Viuen en aigües amb sals ferroses (Fe^{2+}).
- Oxiden Fe^{2+} a Fe^{3+} i obtenen energia.



2.2 Quimiosíntesi

Tipus de bacteris quimiosintètics

Bacteris de l'hidrogen

- Quimioautòtrofs facultatius (poden usar altres fonts de C).
- Oxiden $H_2 \rightarrow H_2O$ i obtenen energia.

Bacteris del nitrogen

Són bacteris que formen part del **cicle del nitrogen** i **transformen compostos nitrogenats per fer-los assimilables per les plantes**.

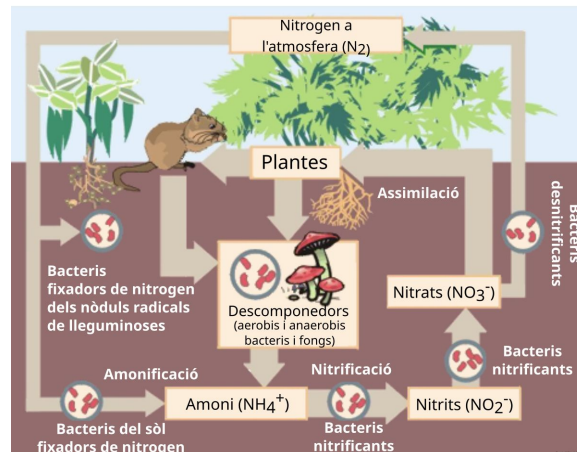
Nitrosomones

- Oxiden amoni (NH_4^+) $\rightarrow$ nitrits (NO_2^-).
- Obtenen energia d'aquesta reacció.
- Viuen principalment en sòls i aigües riques en amoni.

Nitrobàcter

- Oxiden nitrits (NO_2^-) $\rightarrow$ nitrats (NO_3^-).

Els nitrats són formes de nitrogen que les plantes poden absorbir i utilitzar.



3. Anabolisme heteròtrof

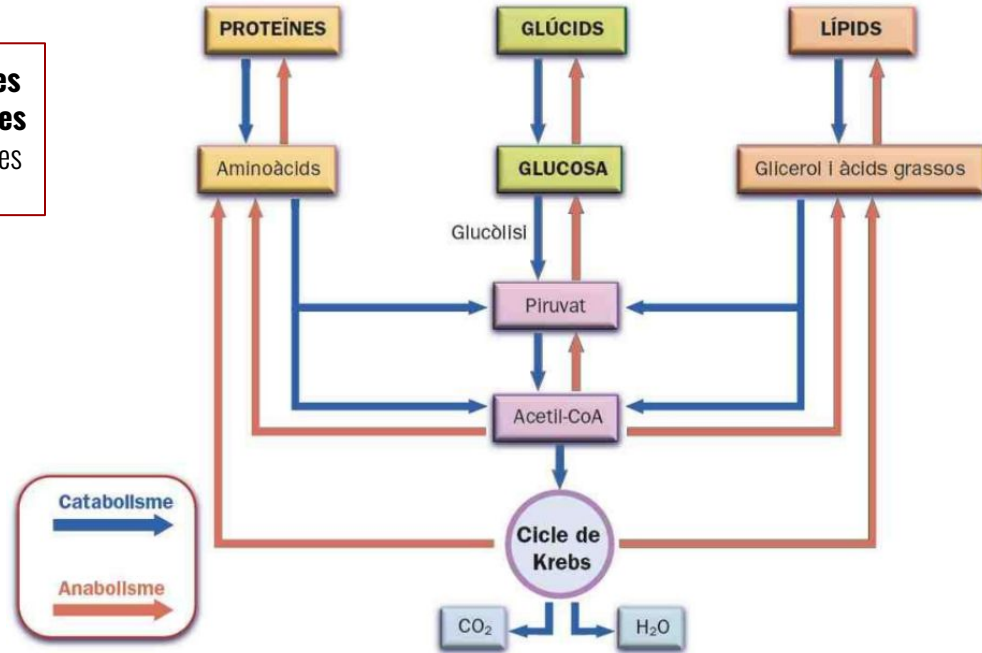
L'**anabolisme heteròtrof** és el procés metabòlic a partir del qual **es formen molècules complexes a partir de molècules orgàniques senzilles (molècules precursors)**, que té lloc tant a les cèl·lules autòtrofes com en les heteròtrofes.

ATENCIÓ!

Es un **procés de reducció** (a diferència del catabolisme).
A partir de molècules orgàniques **PETITES** s'obtenen molècules orgàniques **GRANS**, molt més reduïdes.

Les reaccions anabòliques són **endergòniques**, **emmagatzemen energia** en els enllaços de les molècules formades.

Hi ha diferents vies per a la síntesi de glúcids, lípids, proteïnes i àcids nucleics que **estan interrelacionades**; gràcies a això, a partir d'un tipus de biomolècula pot sintetitzar-se un altre.



Font: Zn Batallier et al. Biologia. Ed. McGrawHill

Els animals herbívors, a partir de l'herba (glúcid) produeixen carn i llet (proteïnes i lípids), però els animals no poden obtenir glúcids a partir d'una dieta exclusiva de lípids i proteïnes

3. Anabolisme heteròtrof

Quins tipus d'anabolisme heteròtrof veurem?

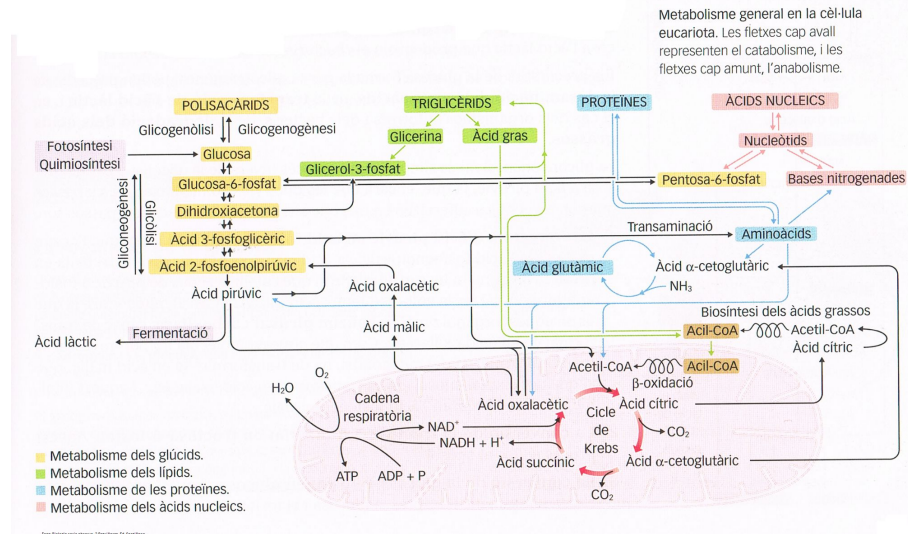
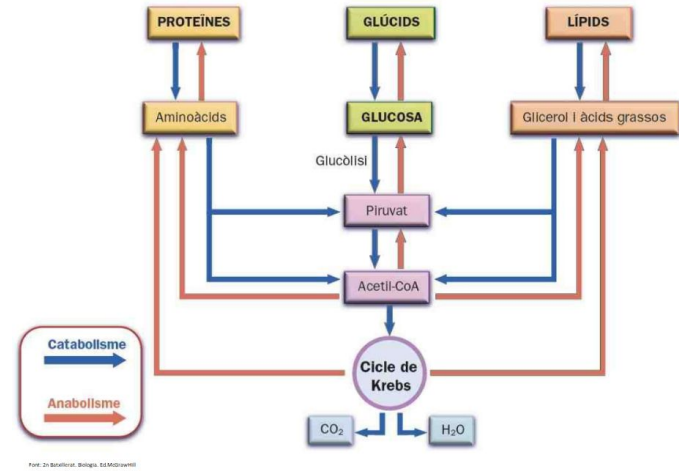
- Síntesi de **glúcids** com la glucosa (**gluconeogènesi**).
- Síntesi de **glucogen** (**glucogenogènesi**).
- Síntesi de **lípid**s (d'àcids grassos o triglicèrids, **lipogènesi**).
- Síntesi d'**aminoàcids**.

Caràcter amfibòlic del cicle de Krebs

Hem vist al tema de catabolisme que el **cicle de Krebs** és l'etapa final de la degradació de les biomolècules a CO_2 i H_2O , però depenent de les necessitats de la cèl·lula, **moltes de les molècules intermediàries d'aquest cicle poden ser dirigides cap a rutes anabòliques**.

Exemples:

- El **citrat** pot actuar com a precursor d'àcids grassos
- L' **α -cetoglutarat** de l'aminoàcid glutamat i de bases nitrogenades púriques



3. Anabolisme heteròtrof

3.1 Biosíntesi de glúcids: gluconeogènesi i glucogenogènesi

Gluconeogènesi

La **gluconeogènesi** o neoglucogènesi és la **síntesi de glucosa** a partir de **composts orgànics no glucídics** (aminoàcids, àcid làctic i glicerol). En els animals aquest procés té lloc al fetge (en un 90%) i a l'escorça renal, i és imprescindible mantenir els nivells de glucosa en sang (glucèmia).

La glucosa pot sintetitzar-se mitjançant la gluconeogènesi a partir de **diversos compostos** que s'incorporen a la via en diferents punts:

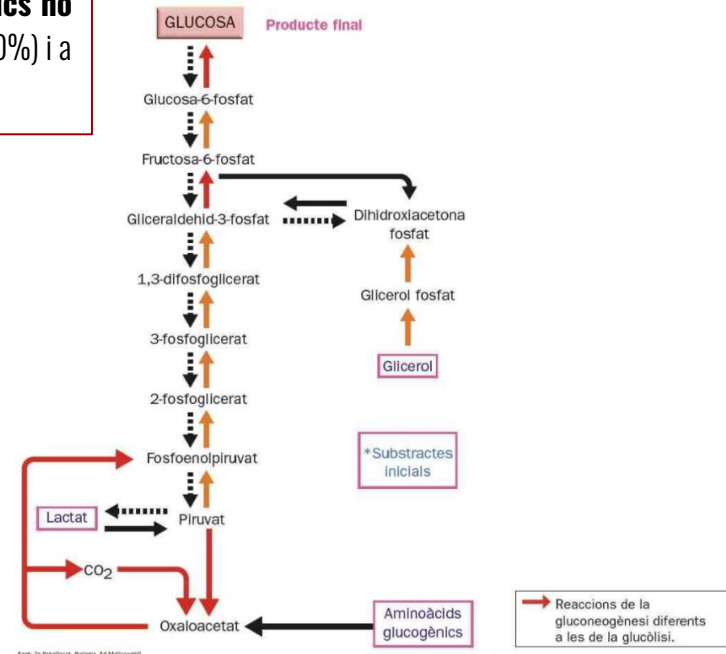
Lactat → es transforma en piruvat per acció de la **lactat deshidrogenasa** (reacció inversa a la fermentació), amb formació de NADH.

Aminoàcids glucogènics (com l'alanina) → es converteixen en piruvat o en intermediaris del cicle de Krebs, que donen lloc a oxalacetat.

Glicerol → es transforma en dihidroxiacetona-fosfat, intermedi de la gluconeogènesi.

RECORDA!

La glucosa s'emmagatzema a l'organisme en forma de glucogen al fetge i al múscul. Tot i així, durant període de dejuni, fam o exercici intens el glucogen s'esgota. És per això, que es necessita un mètode per sintetitzar glucosa.



3.1 Biosíntesi de glúcids: gluconeogènesi i glucogenogènesi

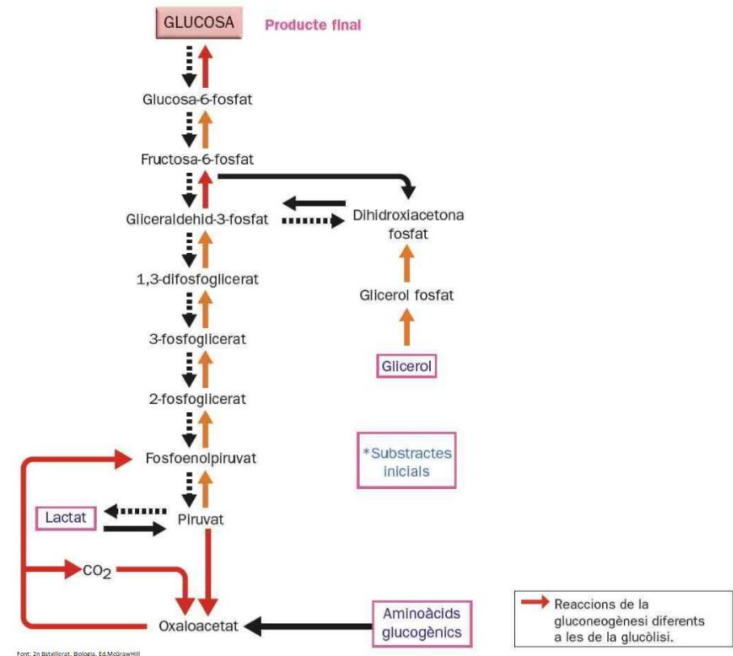
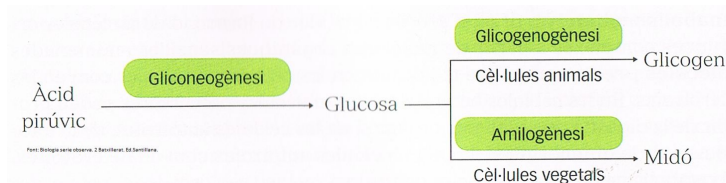
Gluconeogènesi

Quines són les seves característiques?

- És el procés de síntesi de glucosa a partir de **piruvat**.
- **Consumeix ATP** i poder reductor (**NADH**)
- Es produeix en el **citoplasma**, excepte el primer pas en el qual intervé el mitocondri.
- Comparteix la majoria de les reaccions amb la glucòlisi, però en sentit contrari.
 - No obstant, **els enzims** que catalitzen les reaccions en un sentit (glucòlisi) o en el contrari (gluconeogènesi) **són diferents**.

Glucogenogènesi

L'excés de glucosa és emmagatzemat en forma de **glucogen**, a les cèl·lules animals, o de **midó** a les cèl·lules vegetals.



3.1 Biosíntesi de glúcids: gluconeogènesi i glucogenogènesi

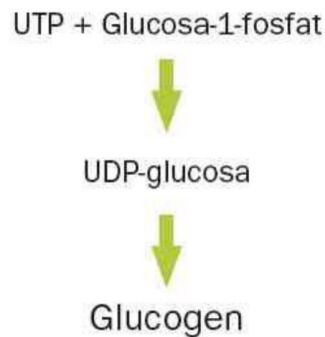
Glucogenogènesi

La glucogenogènesi és la **síntesi de glucogen** a partir de glucosa, amb la finalitat d'emmagatzemar-la com a reserva d'energia.

Quin és el procés?

- S'inicia amb la **glucosa-6-fosfat**, que es transforma en **glucosa-1-fosfat** per acció d'una mutasa.
- La **glucosa-1-fosfat s'activa** mitjançant la unió a **UTP** (trifosfat d'uridina), formant **UDP-glucosa**.
 - Les unitats de glucosa activada s'uneixen per formar glucogen mitjançant enllaços $\alpha(1\rightarrow4)$, gràcies a l'acció de l'enzim **glucogen sintasa**.
 - Les ramificacions del glucogen es formen gràcies a un enzim específic que crea enllaços $\alpha(1\rightarrow6)$.

La síntesi de glucogen en els animals té lloc en el citoplasma de les cèl·lules del fetge i en les cèl·lules del múscul esquelètic.



L'**amilogènesi** fa referència a la síntesi de midó.

Es produeix als plastids de les cèl·lules vegetals en un procés semblant a la glucogenogènesi, amb l'única diferència que la **molècula activadora és l'ATP**.

3.2 Biosíntesi de lípids: àcids grassos i triglicèrids

La biosíntesi dels lípids té lloc mitjançant tres processos:

- Síntesi d'**àcids grassos**
- Síntesi de **glicerina**
- Síntesi de **triacilglicèrids** (lípid amb funció de reserva més important)

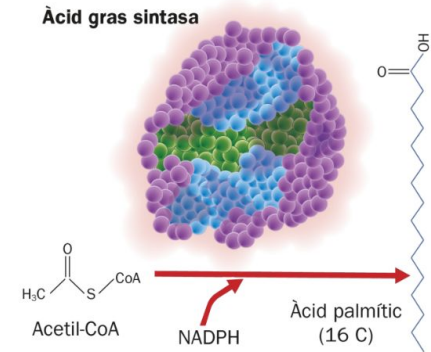
Síntesi d'àcids grassos

Es produeix en el **citoplasma**, on es localitza **enzim àcid gras sintetasa (SAG)**.
En les cèl·lules vegetals es localitza en l'**estroma dels cloroplasts**.
Consumeix poder reductor en forma **NADPH**.

El substrat inicial és l'**acetil-CoA** que pot procedir de:

- El **piruvat** de la glucòlisi
- **β -oxidació dels àcids grassos**
- D'**aminoàcids**

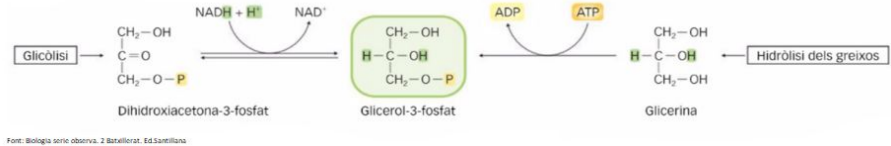
És per aquest motiu que l'**excés de qualsevol d'aquestes biomolècules acaba convertit en àcids grassos** i aquests emmagatzemats en forma de triglicèrids (greixos) en el teixit adipós dels animals.



3.2 Biosíntesi de lípids: àcids grassos i triglicèrids

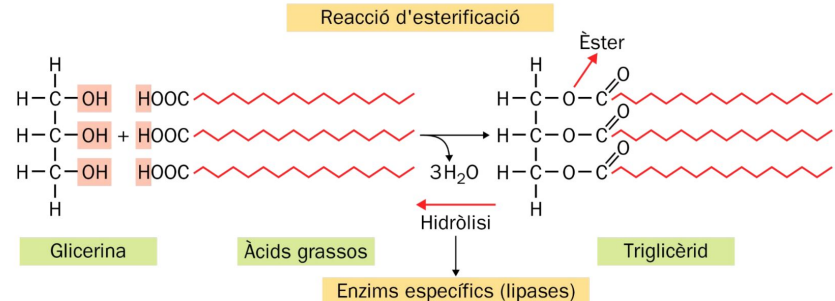
Síntesi de glicerina (glicerol)

Perque la **glicerina** es pugui unir als àcids grassos **ha d'estar activada en forma de glicerol-3-fosfat**, el qual s'obté a partir de la **dihidroxiacetona 3-fosfat** que es forma durant la glucòlisi, o a partir de la **glicerina** que es forma en les cèl·lules després de la hidròlisi dels greixos.



Síntesi de triacilglicèrids

Es produeix per **esterificació d'una molècula de glicerina amb tres àcids grassos**.
S'esdevé en el **citoplasma de cèl·lules hepàtiques i adipòcits**.



3.3 Biosíntesi d'aminoàcids no essencials

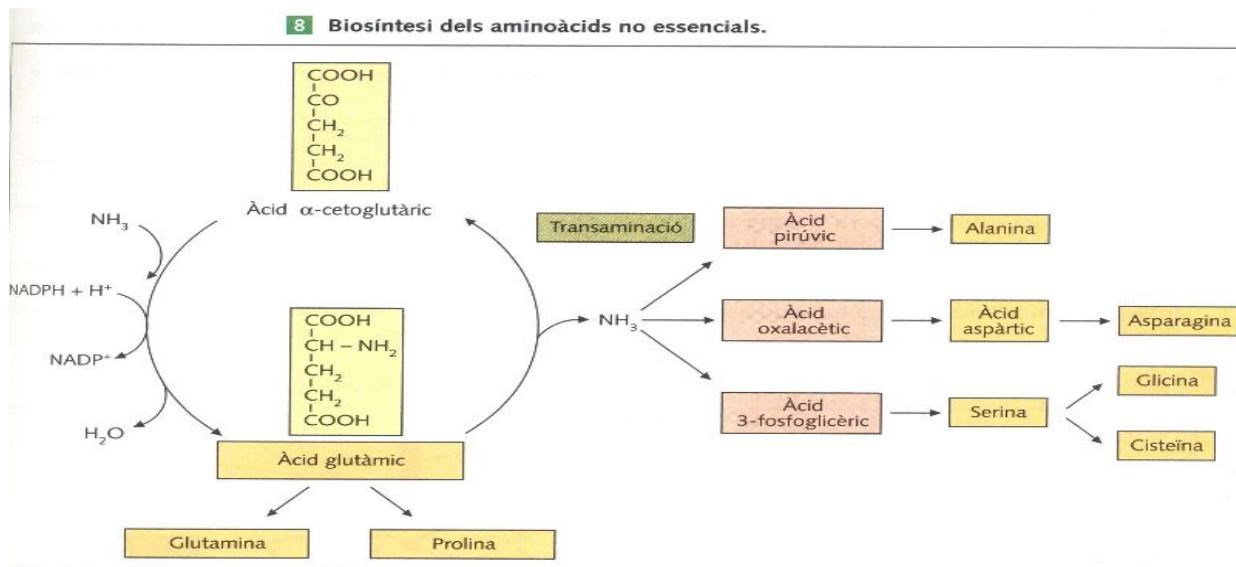
Els aminoàcids no essencials són aquells que l'organisme pot sintetitzar i, per tant, no cal obtenir-los directament de la dieta. La síntesi dels aminoàcids no essencials es fa a partir d'**intermediaris del metabolisme** (glucòlisi i cicle de Krebs) mitjançant dos processos relacionats: **desaminació** i **transaminació**.

Com es produeix?

AMINACIÓ reductora

L' NH_3 (amoni) s'uneix a l' **α -cetoglutarat** i es forma **àcid glutàmic** (glutamat). És a dir, l'amoni lliure s'incorpora per primera vegada a una molècula orgànica.

El glutamat és el primer aminoàcid que incorpora el nitrogen inorgànic.



3.3 Biosíntesi d'aminoàcids no essencials

Com es produeix?

El glutamat pot:

- Transferir el seu grup amino a diferents α -cetoàcids, tornant-se a convertir-se en **α -cetoglutarat (TRANSAMINACIÓ)**
- Formar directament glutamina i prolina, sense transaminació.

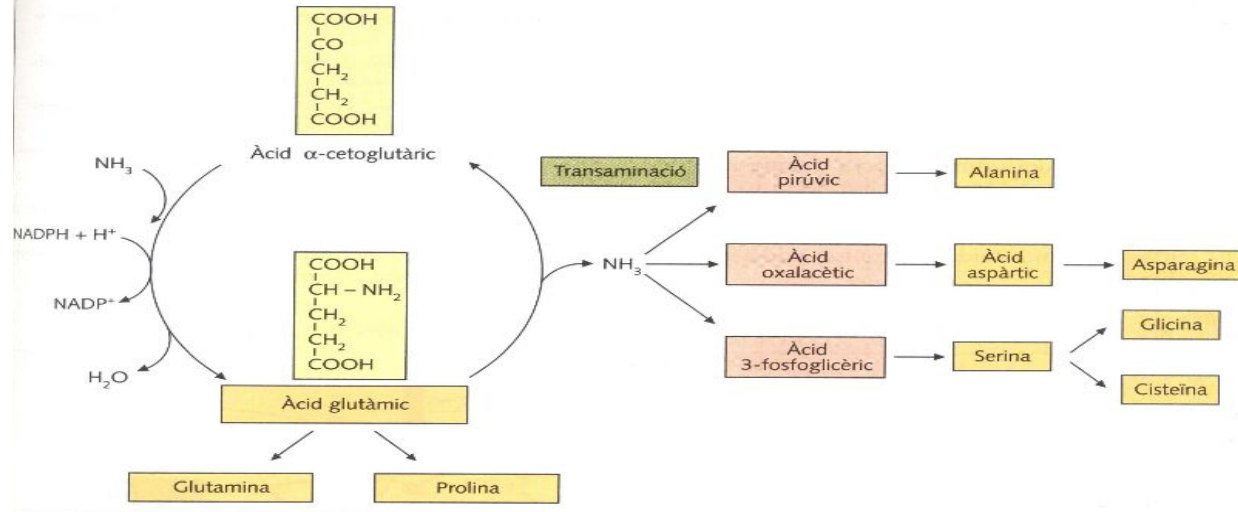
El nitrogen es mou com a grup amino, no com a amoni.

El glutamat pot perdre el grup amino (**DESAMINACIÓ**), convertint-se en NH_3 (amoni).

Això serveix per:

- Eliminar excés de nitrogen
- Reutilitzar-lo en noves aminacions

8 Biosíntesi dels aminoàcids no essencials.



El glutamat és el centre del metabolisme del nitrogen perquè:

- Rep nitrogen (**aminació**)
- El distribueix a altres aminoàcids (**transaminació**)
- O l'allibera (**desaminació**)

3.4 Biosíntesi de nucleòtids

Les cèl·lules poden sintetitzar nous nucleòtids a partir dels **productes de la hidròlisi de nucleòtids preexistents**, com ara **pentoses**, **àcid fosfòric** i **bases nitrogenades**.

A més, aquests nucleòtids també es poden sintetitzar de nou, a partir de molècules petites i senzilles. El procés de síntesi difereix segons si els nucleòtids contenen **bases púriques** (adenina i guanina) o **bases pirimídiques** (citosina, timina i uracil).

