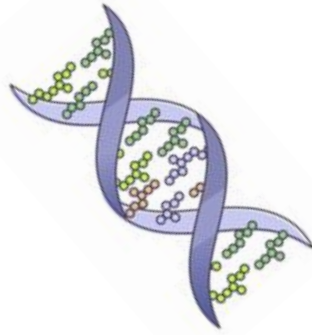
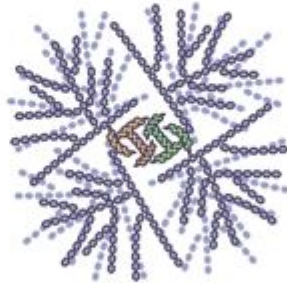
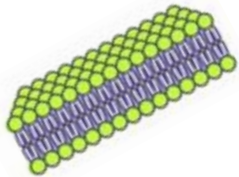




BLOC I

LES BIOMOLÈCULES

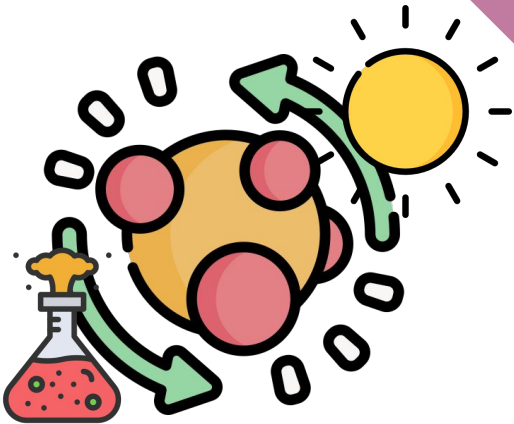
I EL METABOLISME



Biologia II
2n de Batxillerat
2023-24
Jaume Benet i Bertran

Unitat 3. ANABOLISME AUTÒTROF

1. L'anabolisme autòtrof-heteròtrof
2. Fotosíntesi
3. Quimiosíntesi
4. Organismes fixadors de nitrogen





1. L'anabolisme autòtrof-heteròtrof

- **Anabolisme autòtrof:** **Molècules inorgàniques** (H_2O , CO_2 , NO_3^- ...)

➡ **Molècules orgàniques senzilles**
(glucosa, glicerina, aminoàcids...)

- **Anabolisme fotosintètic:** utilitza **energia lluminosa** (**fotoautòtrofs**)
- **Anabolisme quimiosintètic:** utilitza **energia química** produïda en l'oxidació de compostos inorgànics (**químioautòtrofs**)

- **Anabolisme heteròtrof:** **Molècules orgàniques senzilles**

↓
Molècules orgàniques complexes
(midó, lípids, proteïnes...)

comú a tots els organismes

{ **heteròtrofs**
autòtrofs

➡ Síntesi de **macromolècules energètiques i estructurals**

2. Fotosíntesi

- 
 Energia lluminosa → pigments fotosintètics → Energia química



Alga

- Fotosíntesi oxigènica:** els pigments recuperen e^- perduts amb la **descomposició d'aigua** ($H_2O \rightarrow 2H^+ + 2e^- + \frac{1}{2} O_2$) → plantes, algues i cianobacteris

- Fotosíntesi anoxigènica:** els pigments recuperen e^- perduts amb la **descomposició d'àcid sulfhídric** ($H_2S \rightarrow 2H^+ + 2e^- + S$) → bacteris porpres del sofre i bacteris verds del sofre

Planta



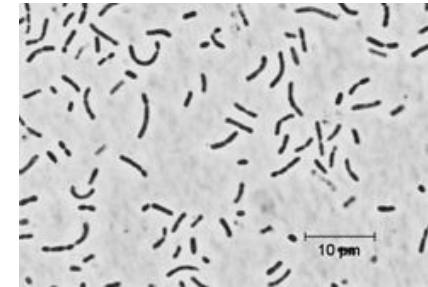
Cianobacteri



Bacteri porpre del sofre

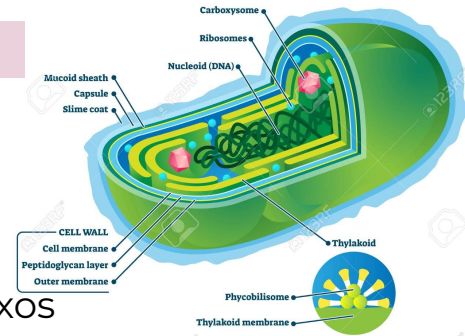


Bacteri verd del sofre



Estructures fotosintetitzadores

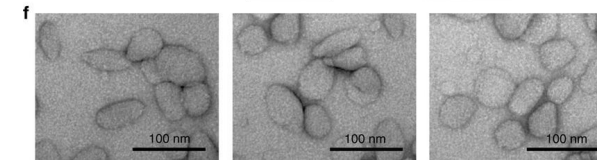
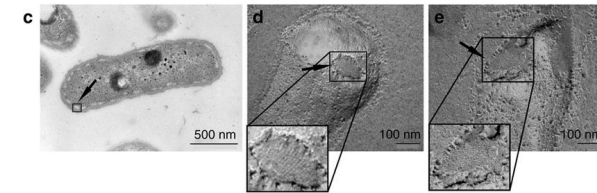
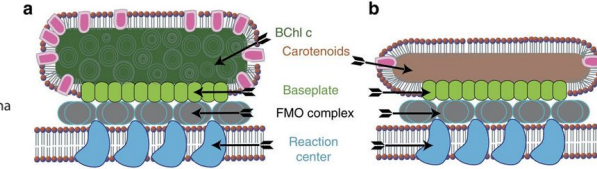
cianobacteri



- **Tilacoide**: sàcul amb membranes que contenen complexos proteics amb **molècules de clorofil·la** i **altres pigments**.

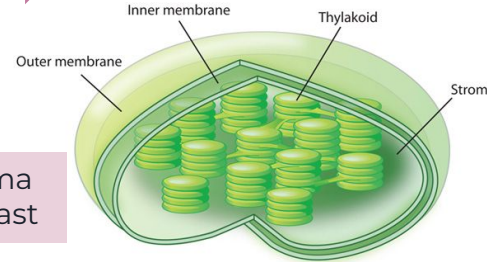
- En **algues i plantes** ➔ **Cloroplasts**
- En **cianobacteris** ➔ **Citoplasma**

a i b. esquemes clorosomes
c, d, e i f. bacteris anoxigènics
al microscopi electrònic



cloroplast al
microscopi
electrònic

esquema
cloroplast



- **Clorosoma**: estructura proteica membranosa acoblada a la part interna de la membrana que conté **bacterioclorofil·la** i **altres pigments**.

- En **bacteris fotosintètics anoxigènics**



Pigments fotosintètics

Lípids units a proteïnes, presents **a les membranes** dels tilacoides o dels clorosomes.

plantes i
algues (+ tots
menys bacteris)

- **Clorofil·les**: **anell porfirínic** (amb Mg) associat a un **fitol**
- **Carotenoides**: **isoprenoides** que poden ser modificats (absorbeixen a 440 nm)

Clorofil·la a: absorbeix a 683 nm

Clorofil·la b: absorbeix a 660 nm

Carotens: només C i H

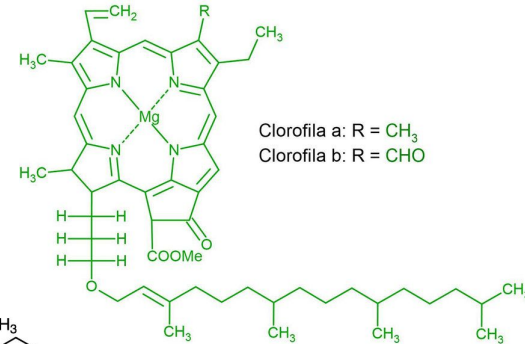
Xantofil·les: també O

cianobacteris

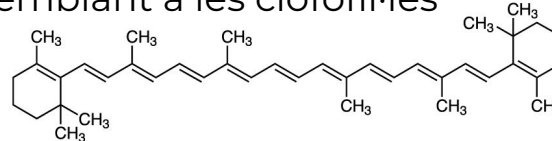
- **Ficocianines**: pigment blau que absorbeix a 620 nm
- **Ficoeritrines**: pigment vermell que absorbeix a 555 nm
- **Bacterioclорofil·les**: molt semblant a les clorofil·les

algues
vermelles

bacteris
anoxigènics

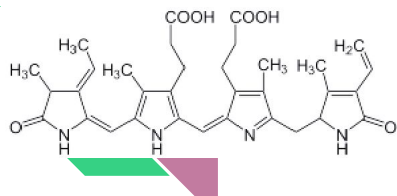


β -carotè

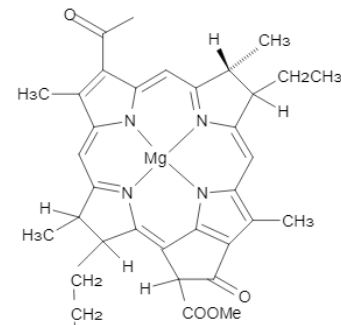
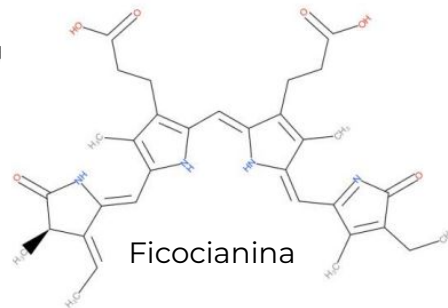
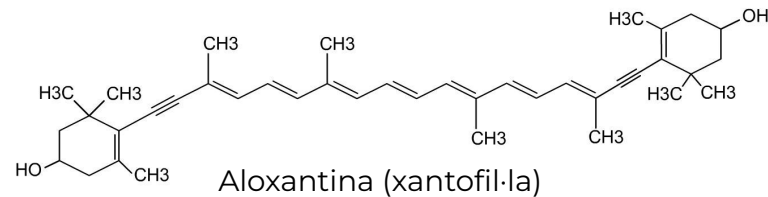


clorofil·la (a i b)

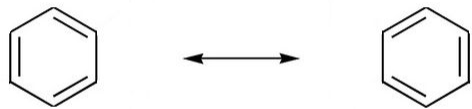
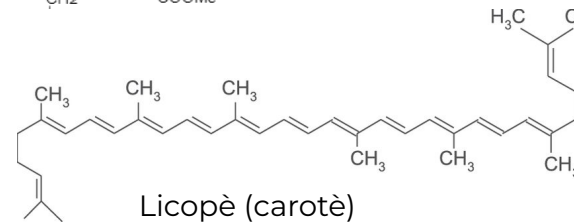
Ficoeritrina



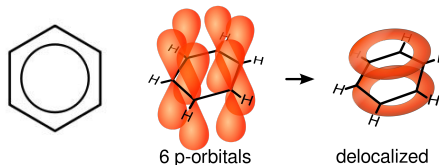
Els pigments fotosintètics tenen enllaços covalents simples i dobles alternats. Això fa que els e^- estiguin **deslocalitzats**, movent-se lliurement entre aquests enllaços i modificant-los. Les diferents configuracions de la molècula modificada es troben en equilibri en **estat de ressonància**.



Bacterioclorofil·la

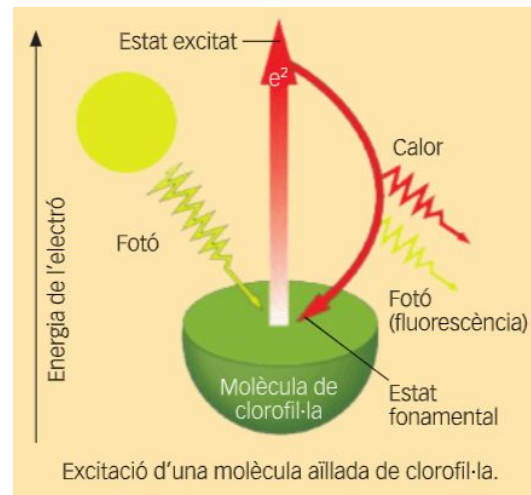


Possibles configuracions dels enllaços de la molècula de benzè



Estat de ressonància de la molècula de benzè

Els e^- deslocalitzats necessiten molt poca energia (amb **energia lumínica** n'hi ha prou) per ascendir a nivells més energètics, passant al seu **estat excitat**. També tenen facilitat per alliberar l'energia i tornar al seu **estat fonamental**.

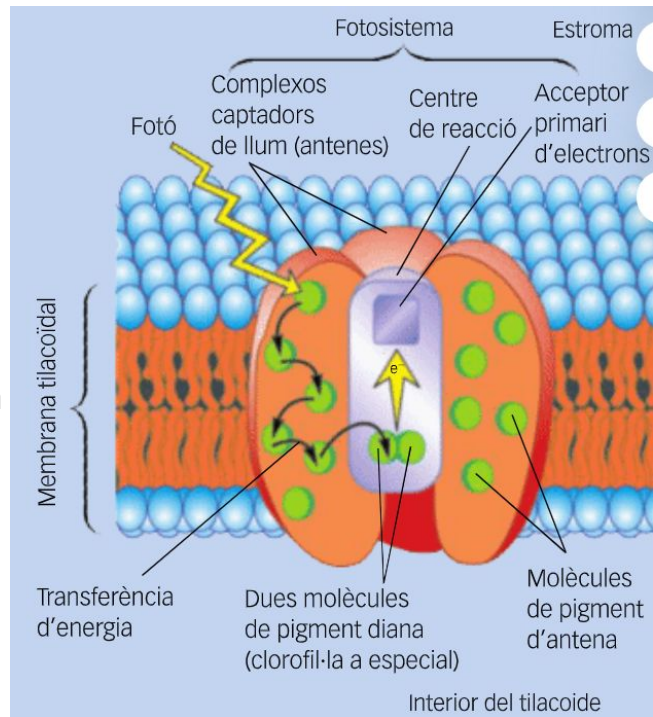


Fotosistemes



Formats per **proteïnes transmembrana** amb 2 subunitats: el **complex captador de llum** i el **centre de reacció**.

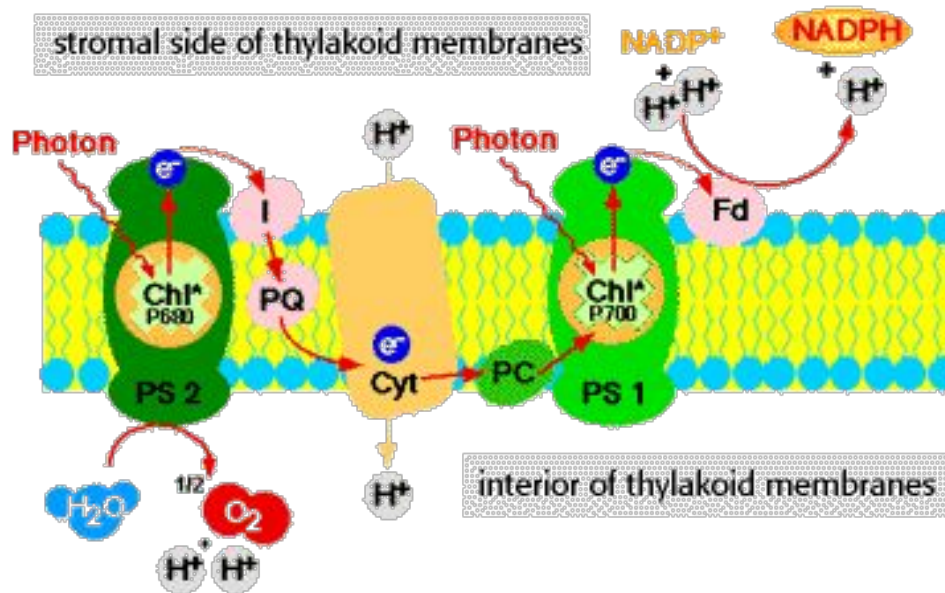
- **Complex captador de llum** o **antena**: conté molècules de **pigments fotosintètics d'antena** que capten energia lluminosa i la transmeten, en forma d'**energia d'excitació**, fins al pigment fotosintètic del centre de reacció.
- **Centre de reacció**: conté **pigments fotosintètics diana** que reben l'energia dels pigments d'antena i transfereixen els e^- al **primer acceptor d' e^-** , que surt del centre de reacció per començar les **reaccions redox**.
Els pigments diana han de recuperar els e^- cedits a partir del **primer donador d' e^-** .





Anomenats segons l'ordre amb que van ser descoberts trobem 2 tipus de fotosistema:

- **Fotosistema I (PSI)**: pigment diana que capta llum a ≤ 700 nm, **clorofil·la P700**.
- **Fotosistema II (PSII)**: pigment diana que capta llum a ≤ 680 nm, **clorofil·la P680**. És capaç d'obtenir els e^- perduts a partir del **trencament de molècules d' H_2O** .

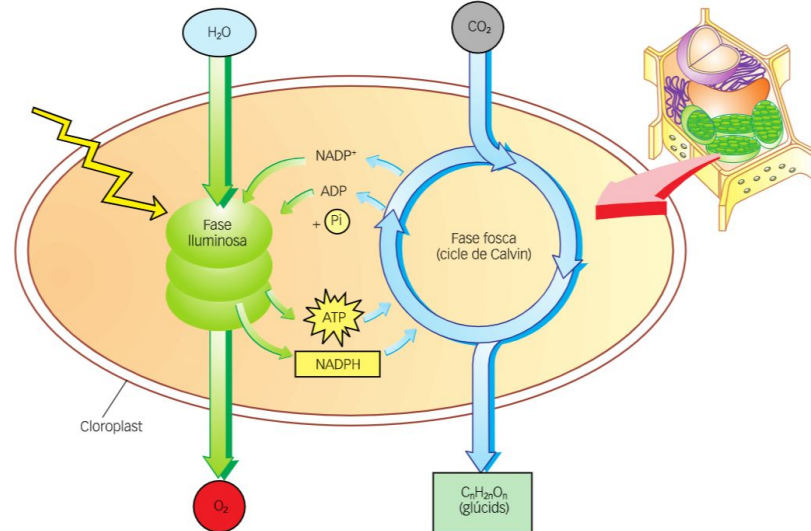


2.1. Fotosíntesi dels compostos de carboni



Procés que es realitza en 2 fases:

- **Fase Il·luminosa** o **fotoquímica**: fase inicial on es **capta energia lumínica** i s'**obté energia** i **poder reductor**. Pot ser **acíclica** o **cíclica**.
- **Cicle de Calvin** o **fase fosca** o **biosintètica**: fase posterior on es **sintetitza matèria orgànica** a partir d'inorgànica. No necessita llum però **consumeix energia** i **poder reductor** produïts a la fase Il·luminosa.

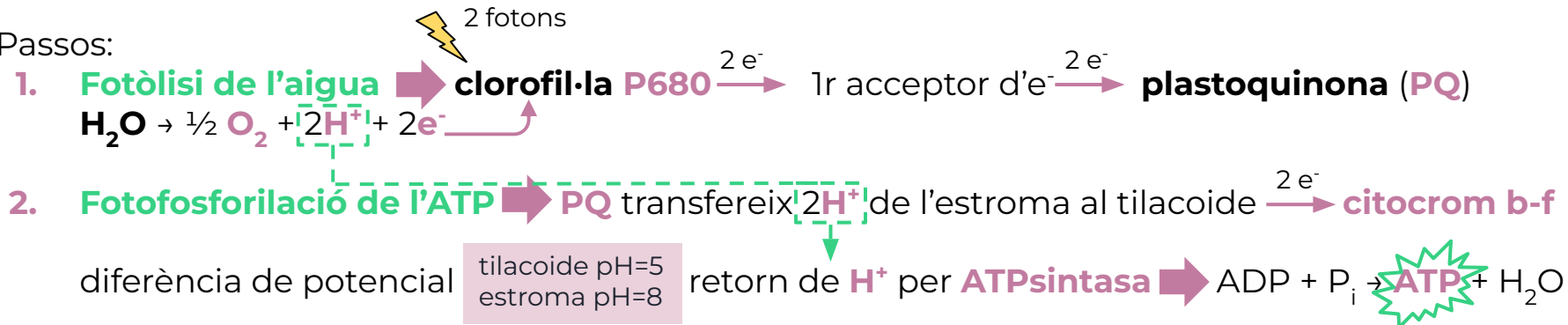




Fase lluminosa acíclica

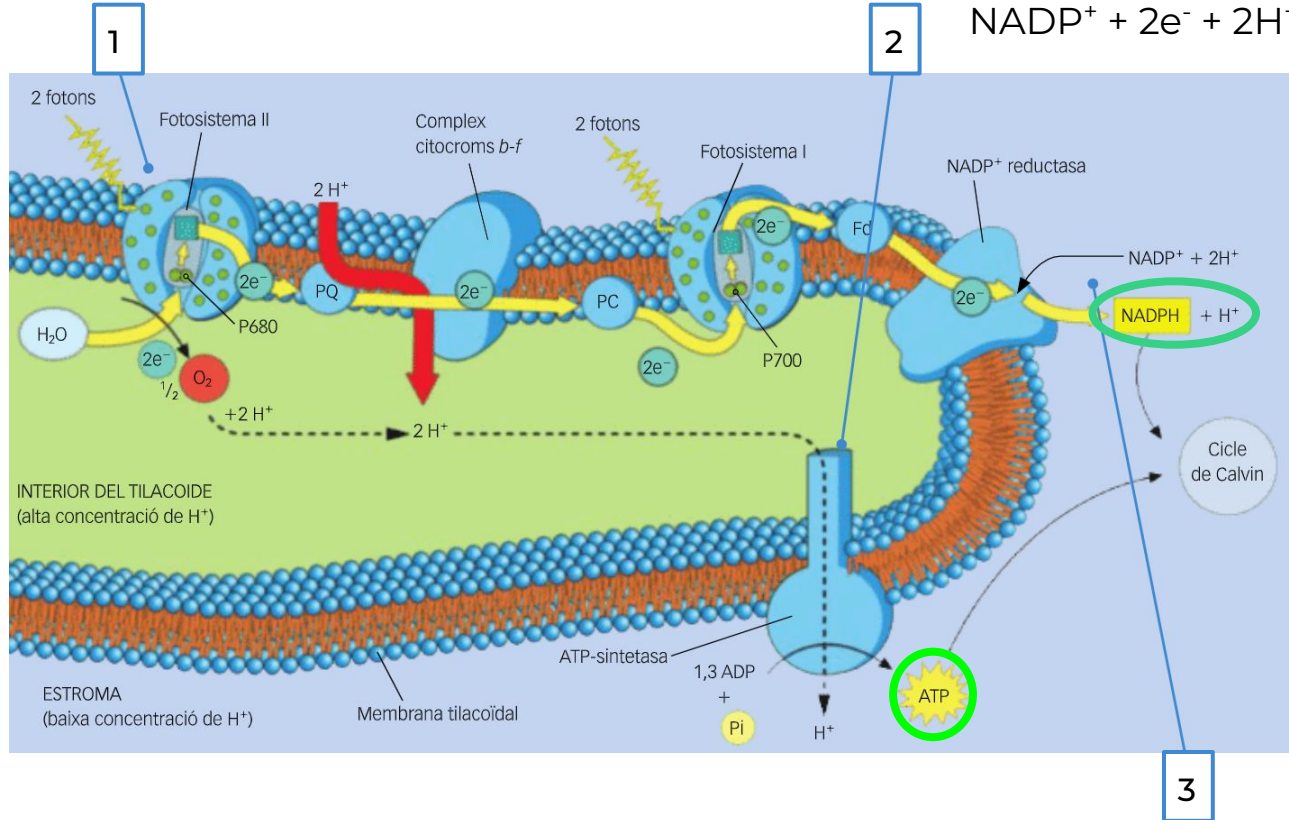
- Captació de **llum** i **trencament d'aigua** per produir **ATP** i **poder reductor**.
- **e⁻ excitats amb llum són transferits** de manera semblant a la cadena transportadora d'e⁻
- Participen els **fotosistemes PSII** i **PSI** i l'**ATP sintasa**
- Fotofosforilació per cada 4 fotons: **1,3 ATP**
- Fotoreducció per cada 4 fotons: **1 NADPH** i **1 H⁺**

Passos:





3. **Fotoreducció del NADP⁺** → **clorofil·la P700** → 1r acceptor d'e⁻ → **ferredoxina (Fd)** → **NADP-reductasa**
 $\text{NADP}^+ + 2\text{e}^- + 2\text{H}^+ \rightarrow \text{NADPH} + \text{H}^+$
- citocrom b-f** → **plastocianina (PC)** → **clorofil·la P700**



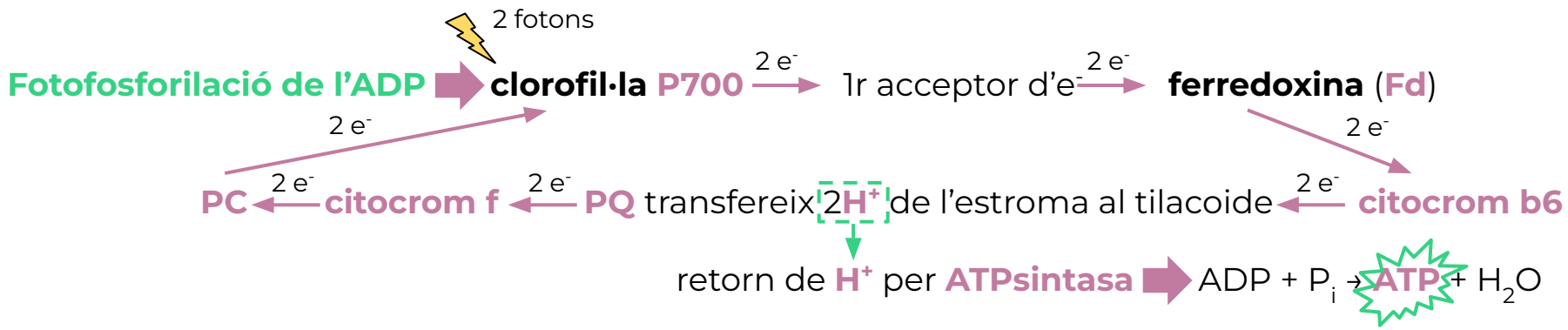
Fase lluminosa cíclica

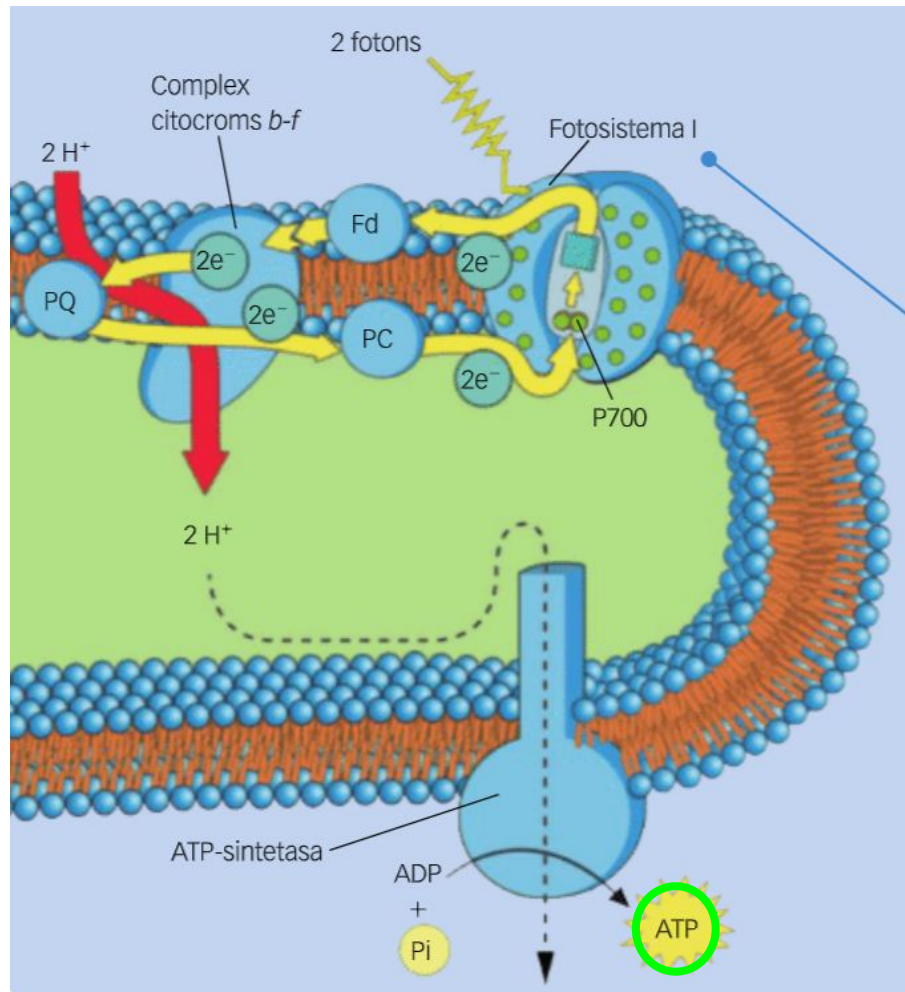
A la fase cíclica amb cada $\text{NADPH} + \text{H}^+$ generats es produeix 1,3 ATP, mentre que a la fase fosca per cada $\text{NADPH} + \text{H}^+$ consumit es necessiten 1,5 ATP. En la fase lluminosa acíclica hi ha un **dèficit d'ATP**.

e autòtrof
et i Bertran



- Captació de **llum** per produir **ATP**.
- **e^- excitats amb llum són transferits** com en la cadena transportadora d' e^-
- Participen el **fotosistema PSI** i l'**ATP sintasa**
- Fotofosforilació: **ATP extra**
- Fotoreducció: **RES**





Tema 3. Anabolisme autòtrof

Jaume Benet i Bertran



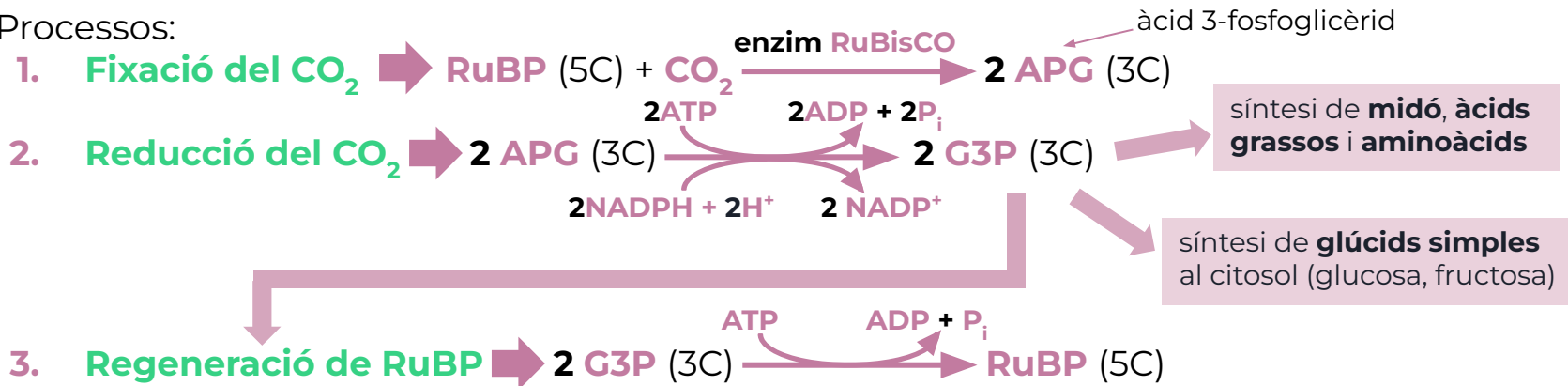


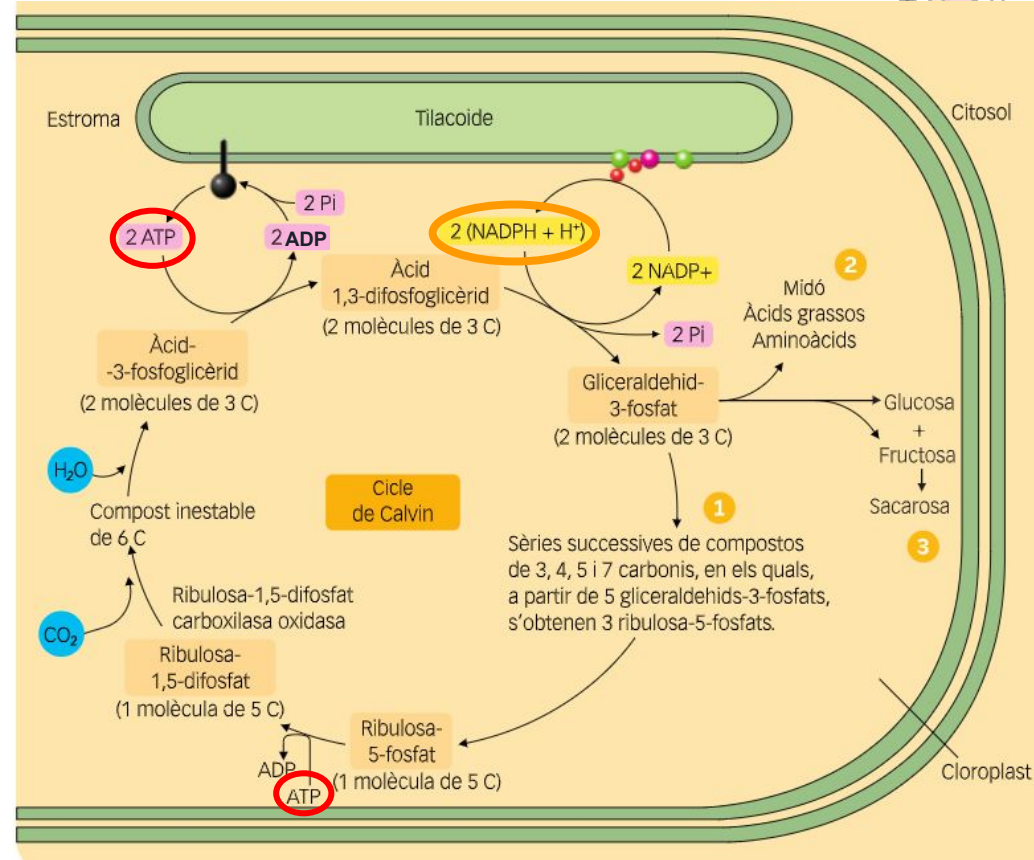
Cicle de Calvin o fase fosca

- Síntesi de **2 molècules de gliceraldehid-3-fosfat (G3P: $C_3H_7O_6P$)** a partir d'**1 molècula de CO_2** i **1 molècula de ribulosa-1,5-bisfosfat (RuBP: $C_5H_{12}O_{11}P_2$)**
- Es produeix a l'**estroma dels cloroplasts** o al **citoplasma dels procariotes**
- Es consumeixen **3 ATP** i **2 NADPH** i **2 H^+** de la fase lluminosa per **cada CO_2**

plantes C3

Processos:





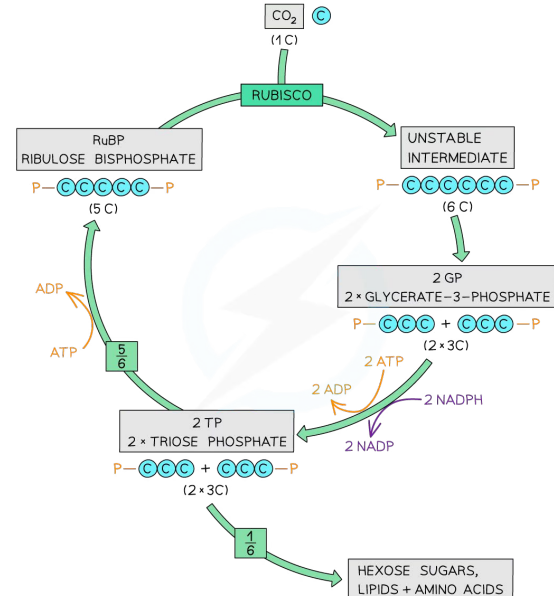
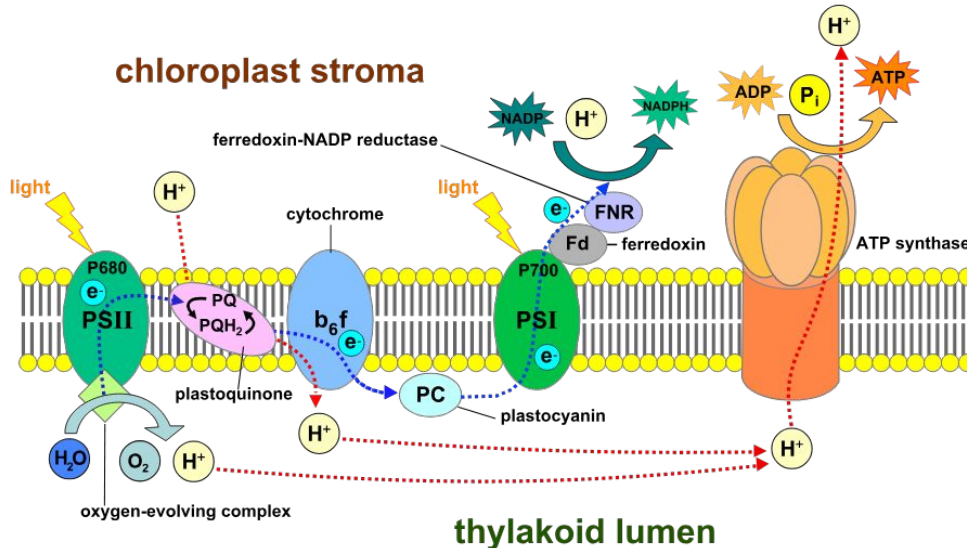
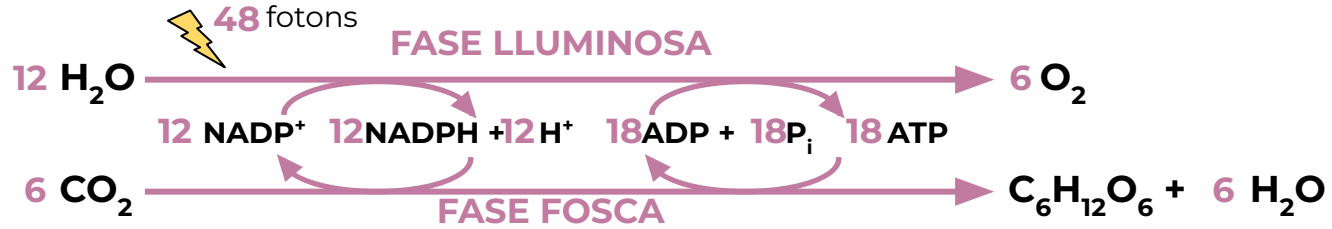
1 Regeneració RuBP

2 Síntesi midó, àc. grassos i aa

3 Síntesi glúcids

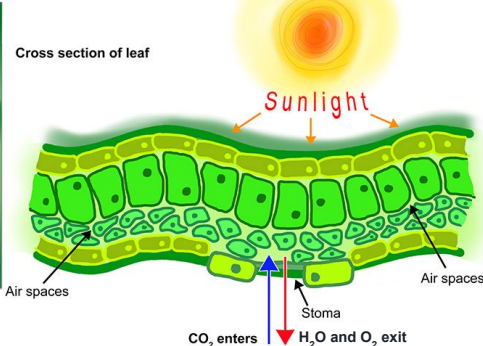
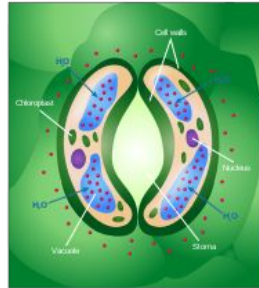


Balanç final de la fotosíntesi de glucosa



La fotorespiració i la ruta C4

Fotorespiració:



estoma

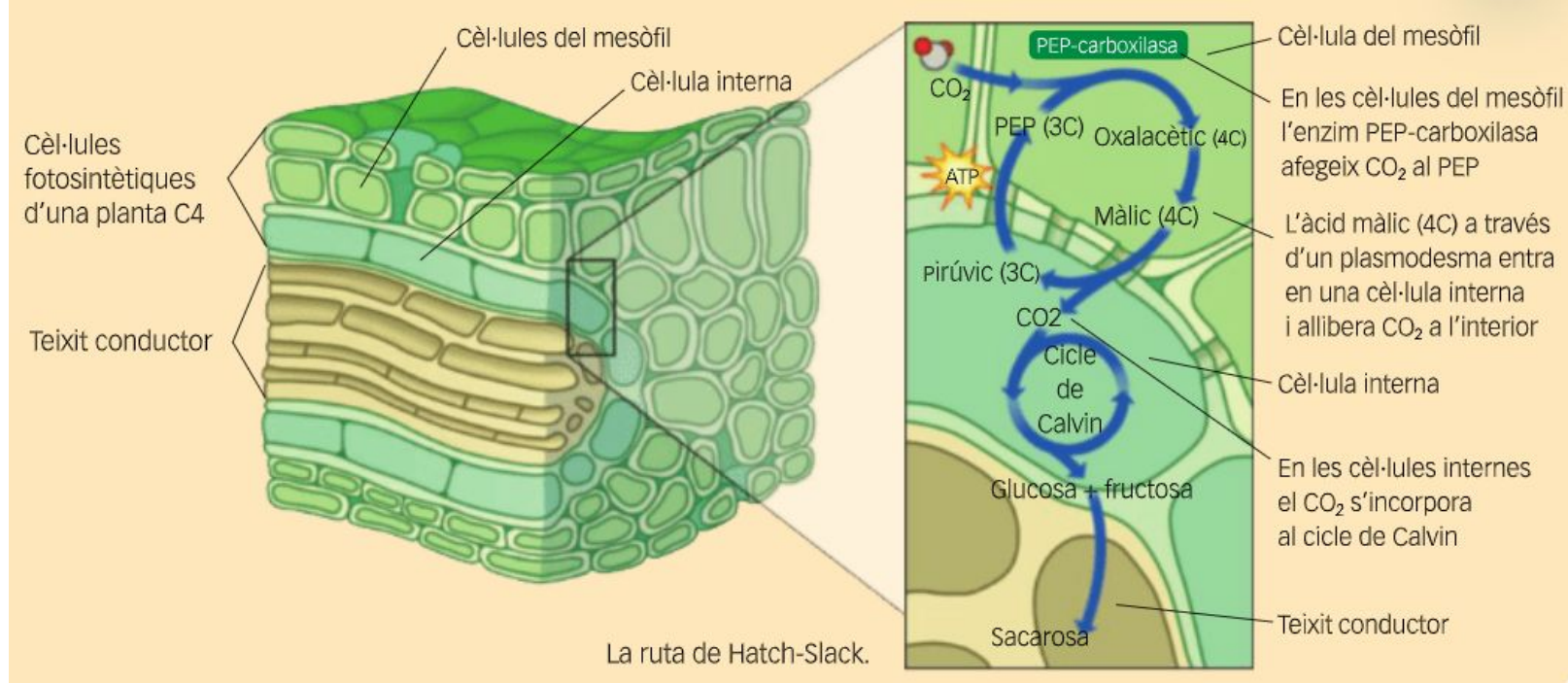
- En ambient **càlid i sec** les fulles **tanquen els estomes** per evitar la **pèrdua d'H₂O**



es desaprofita RuBP que es podria utilitzar per fixar CO_2 , la **fotorespiració és perjudicial**, la planta perd fins un 25% de CO_2

Ruta C4 o de Hatch-Slack:

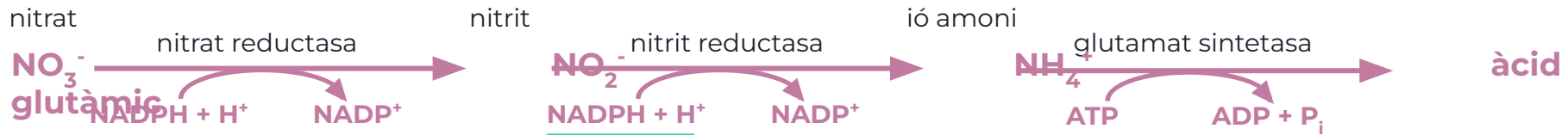
- Plantes tropicals** combaten la fotorespiració **acumulant CO_2** al voltant de RuBisCO
- Síntesi d'**àcid oxalacètic** ($\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_5$) a partir de CO_2 i **fosfoenolpiruvat (PEP: $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_6\text{P}$)**
- Consum d'**1 ATP** i producció d'**àcid màlic** ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_5$) ➡ als cloroplasts de les cèl·lules internes per **alliberar CO_2 al voltant de RuBisCO** per realitzar el cicle de Calvin





2.2. Fotosíntesi dels compostos nitrogenats

- Es transformen **ions nitrat (NO_3^-)** en **àcid glutàmic** ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{COOH})_2\text{-NH}_2$)
- Es consumeixen **1 ATP** i **2 NADPH** i **2 H^+** de la fase lluminosa per **cada NO_3^-**

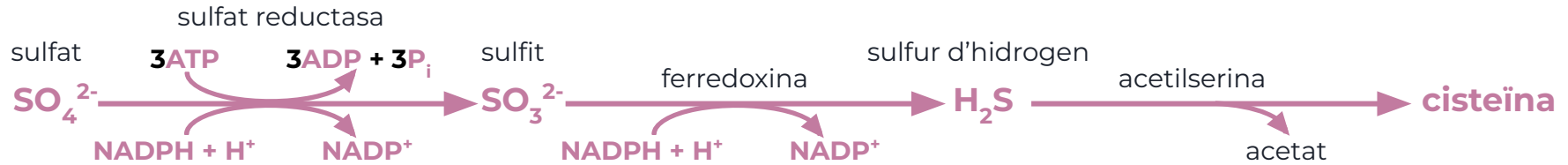


Realment els e^- no són cedits per NADPH, sinó pel complex proteic **ferredoxina**, així que **es perd el NADPH** que es produiria a la fase lluminosa



2.3. Fotosíntesi dels compostos amb sofre

- Es transformen **ions sulfat (SO_4^{2-})** en **cisteïna** ($\text{HS-C}_2\text{H}_3\text{-NH}_2\text{-COOH}$)
- Es consumeixen **3 ATP** i **2 NADPH** i **2 H^+** de la fase lluminosa per **cada SO_4^{2-}**



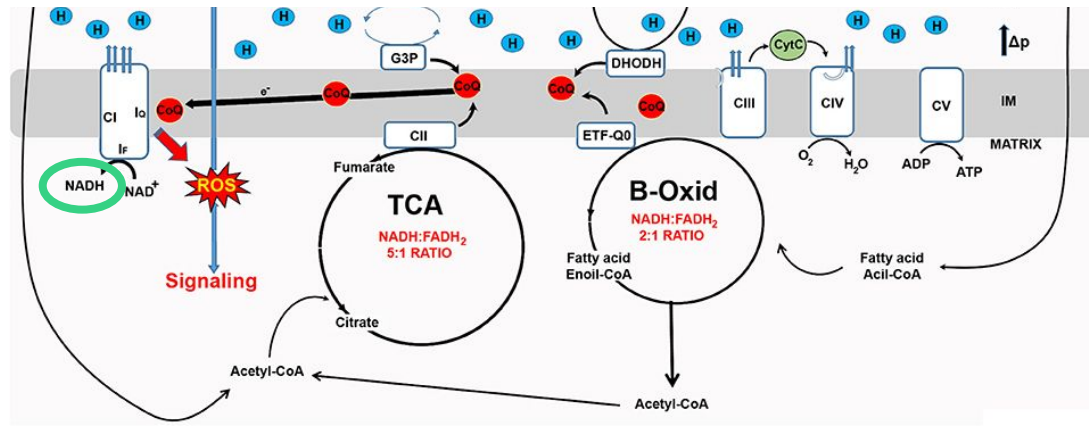
Realment els e^- no són cedits per NADPH, sinó pel complex proteic **ferredoxina**, així que **es perd el NADPH** que es produiria a la fase lluminosa



3. Quimiosíntesi

- Energia química c. inorgànics $\longrightarrow$ Energia química c. orgànics
- Procés que es realitza en 2 fases:
 - **Oxidació de substàncies inorgàniques**: fase inicial on s'obté energia (cadena de transport d'e⁻) i poder reductor (transport invers d'electrons).
 - **Biosíntesi**: pràcticament les mateixes que en la **fase fosca** de la fotosíntesi

Transport invers d'electrons

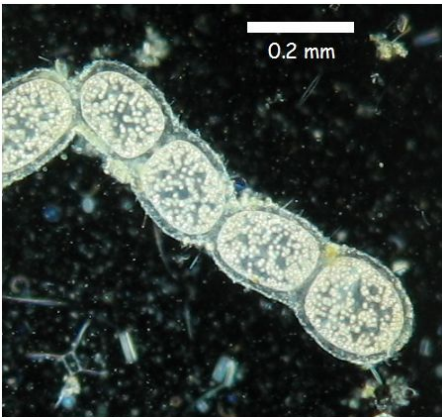
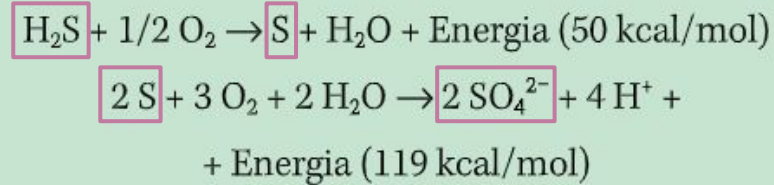




3.1. Bacteris incolors del sofre

- **Oxiden compostos de sofre** (S , H_2S ...) ➔
- **Aerobis obligats**, necessiten O_2 per a l'oxidació

utilitzen productes de
la **descomposició de
matèria orgànica**



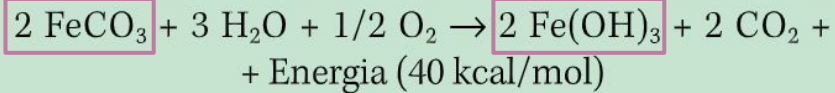
Thiomargarita namibiensis



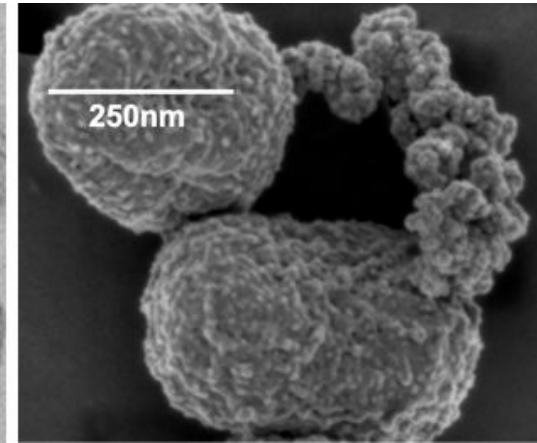
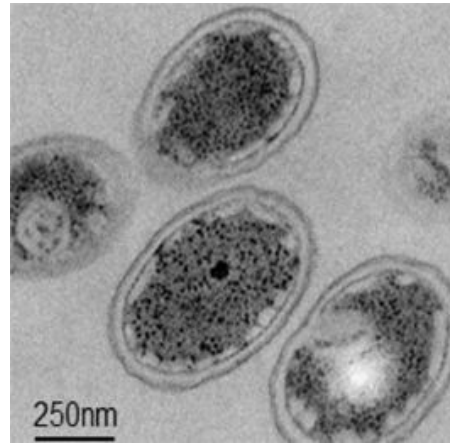
3.2. Bacteris del ferro

- Oxiden compostos amb **ió ferrós** (Fe^{2+}) a **ió fèrric** (Fe^{3+})
- **Aerobis obligats** i en **medis àcids** ➡ a pH neutre $\text{Fe}^{2+} + \text{O}_2 \rightarrow \text{Fe}^{3+} + \text{H}_2\text{O}$

es queden **sense substrat**



Chlorobium phaeoferrooxidans

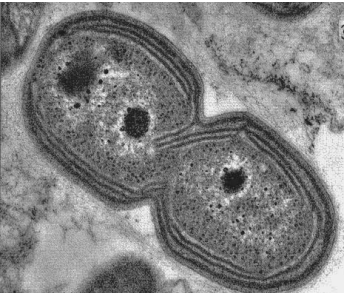




3.3. Bacteris del nitrogen

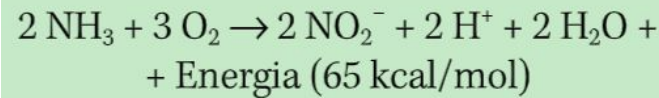
- Oxiden compostos **nitrogenats reduïts** a **ió nitrat** (NO_3^-)
- Aerobis obligats

pot ser **assimilat pels vegetals** per formar compostos nitrogenats



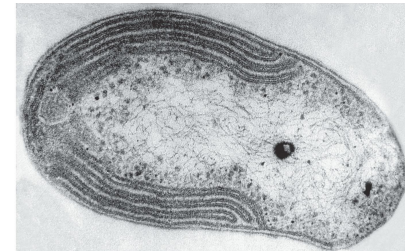
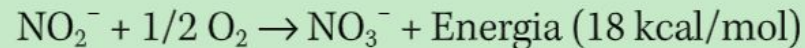
Nitrosomonas communis

- **Bacteris nitrosificants** (gènere *Nitrosomonas*): transformen **amoníac** (NH_3) en **ió nitrit** (NO_2^-) que acabaran transformant a **ió nitrat** (NO_3^-)



prové de la **descomposició de cadàvers i restes vegetals**, de l'expulsió animal de **substàncies de rebuig**

- **Bacteris nitrificants** (gènere *Nitrobacter*): transformen **ió nitrit** (NO_2^-) en **ió nitrat** (NO_3^-)

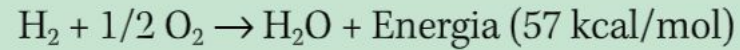


Nitrobacter winogradskyi

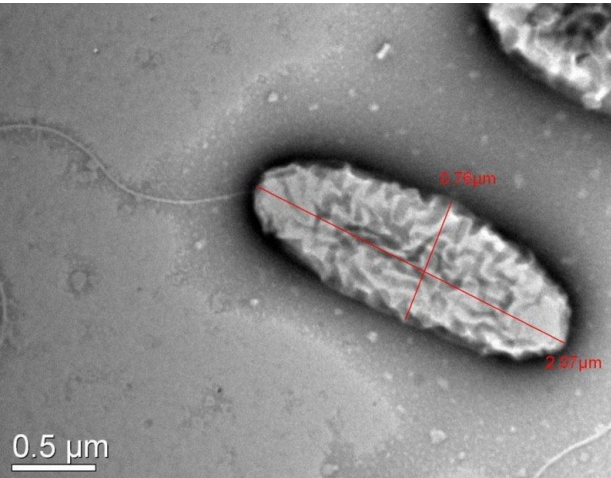


3.4. Bacteris de l'hidrogen

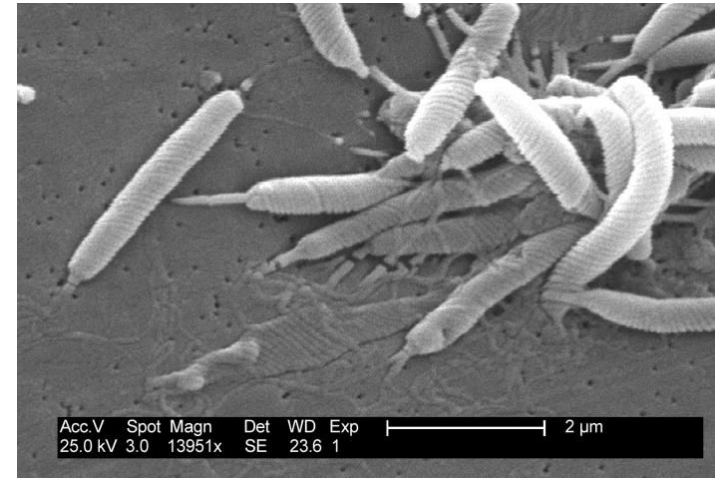
- **Oxigen hidrogen molecular (H_2)** a **aigua (H_2O)**
- **Aerobis obligats**, però l'excés d' O_2 bloqueja l'activitat enzimàtica



Acidovorax facilis



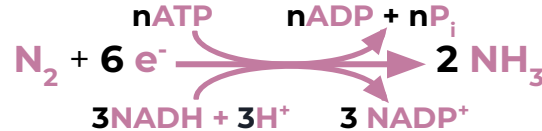
Helicobacter pylori



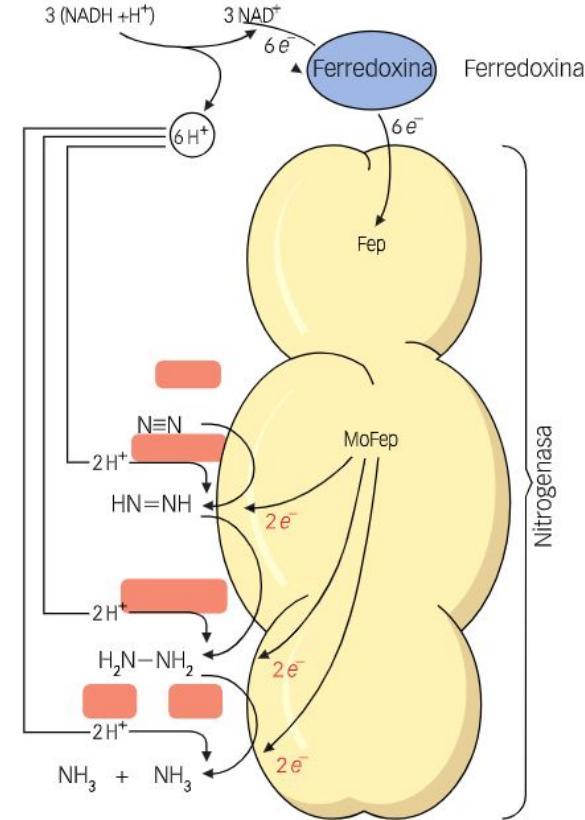


4. Organismes fixadors de nitrogen

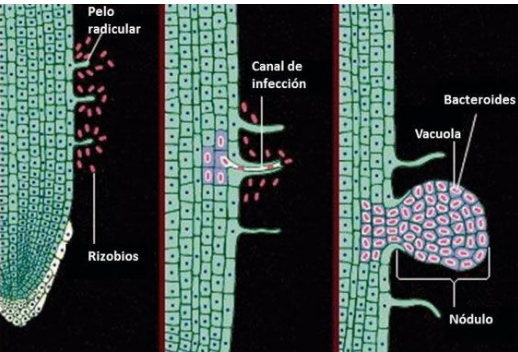
- **Cianobacteris** i **altres bacteris** capaços de **fixar nitrogen atmosfèric** (N_2)
- **Enzim nitrogenasa** ➡ **Redueix N_2 a amoníac** (NH_3)
- Es consumeixen **varis ATP** i **3 NADPH** i **3 H^+** per **cada N_2**



Les **plantes lleguminoses** formen simbiosi amb **bacteris *Rhizobium*** que s'introdueixen a les seves arrels i **fixen N_2 per proporcionar NH_3 (NH_4^+)** a la planta per **sintetitzar aminoàcids**. A canvi, els bacteris **reben glúcids procedents de la fotosíntesi** de la lleguminosa.

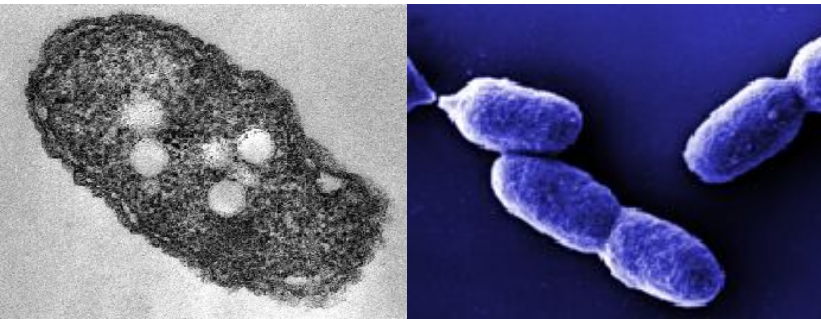


Simbiosi lleguminosa-*Rhizobium*

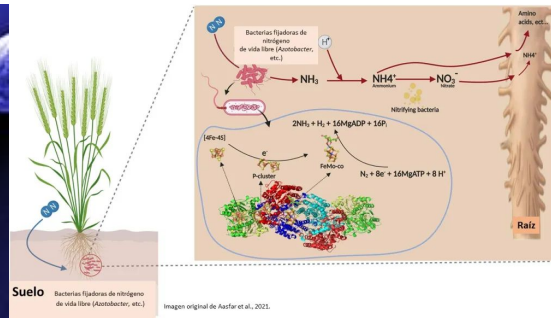




Rhizobium leguminosarum (bacteri simbiонт)



Azobacter vinelandii (bacteri lliure)



Prochlorococcus marinus (cianobacteri)

