

Fotosíntese



Carmen Cid Manzano
I.E.S. Otero Pedrayo. Ourense. Departamento Bioloxía e Xeoloxía.

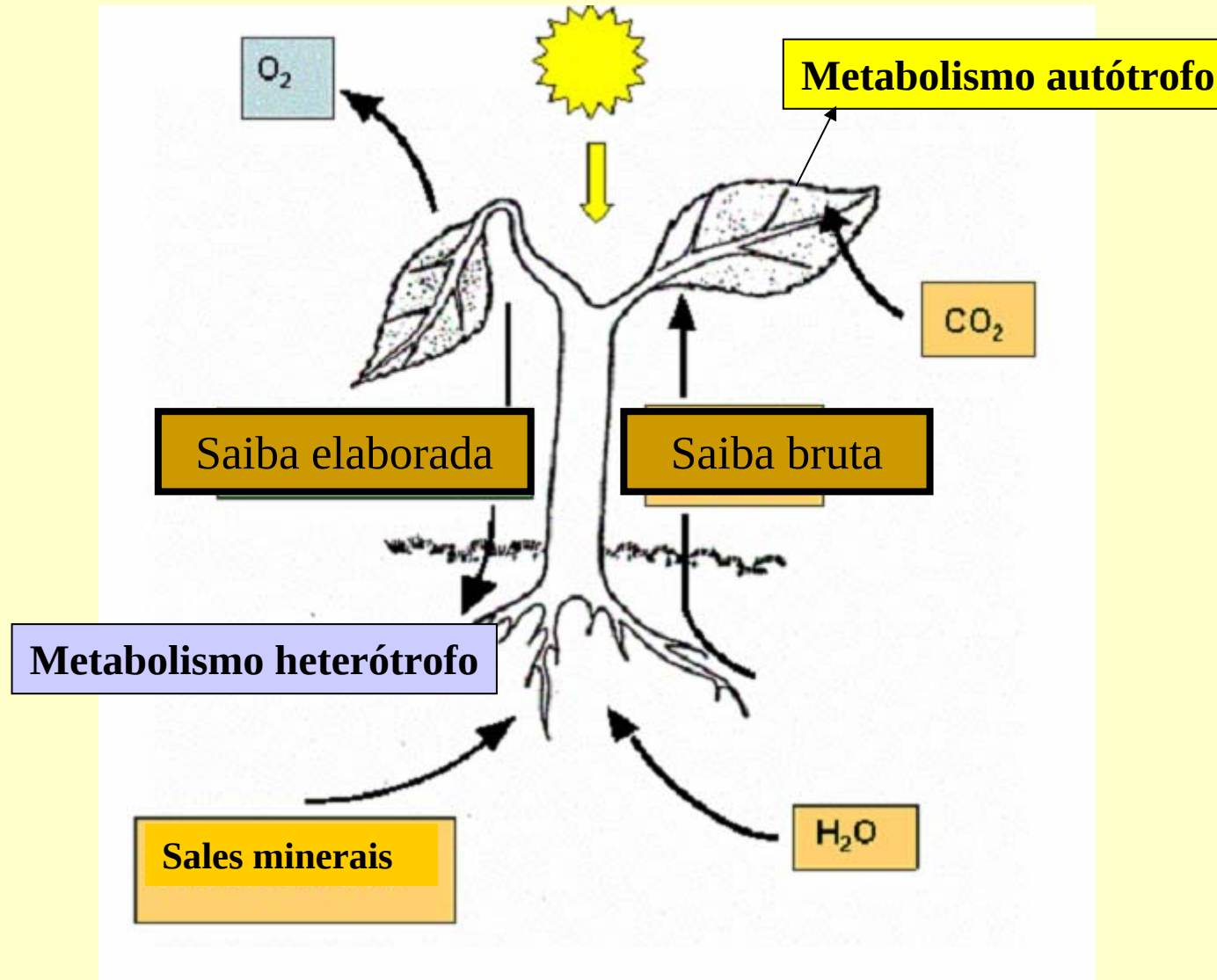
A fotosíntese é o proceso mediante o que as substancias inorgánicas (CO_2 , H_2O , nitratos e sulfatos) combínanse para formar compostos orgánicos, utilizando a enerxía da luz.

Pódense diferenciar dúas modalidades de fotosíntese:

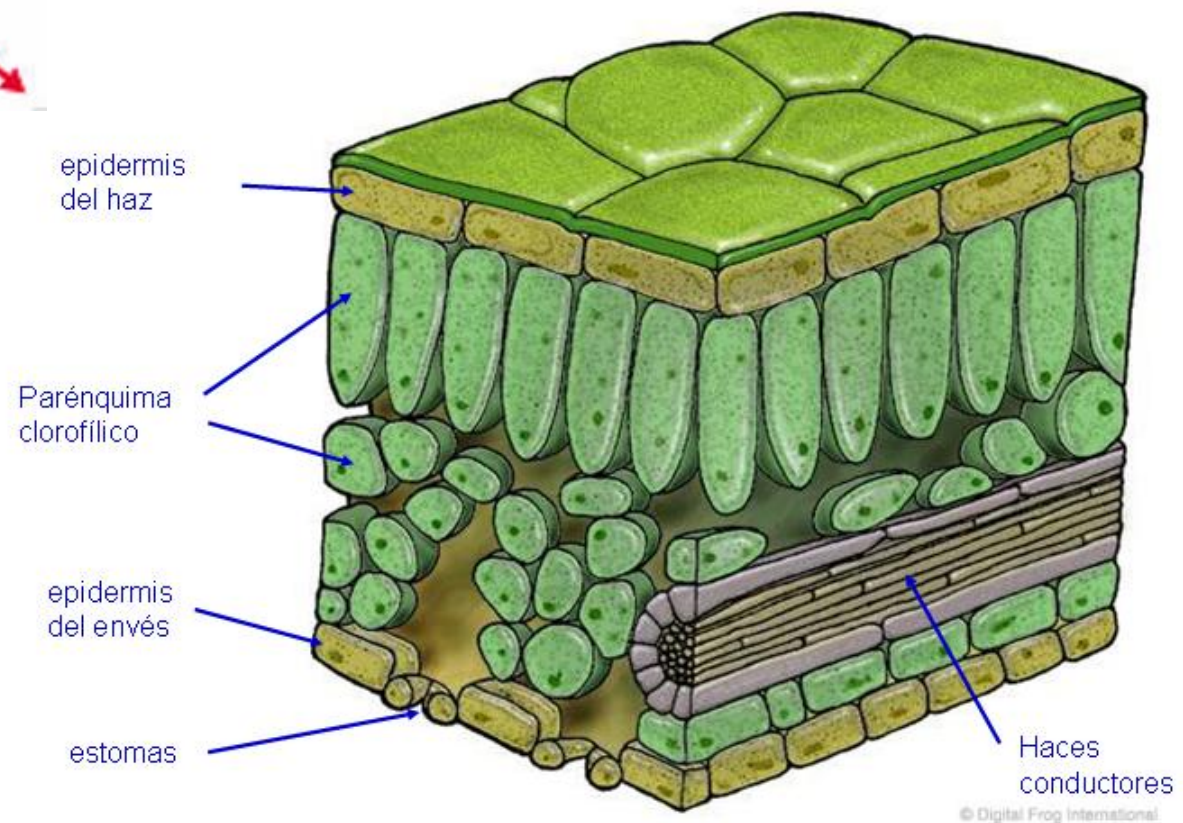
-Fotosíntese anosixénica Chamada así porque nela non se libera O_2 , xa que a auga non intervén como dadora de electróns. A realizan algunhas bacterias.

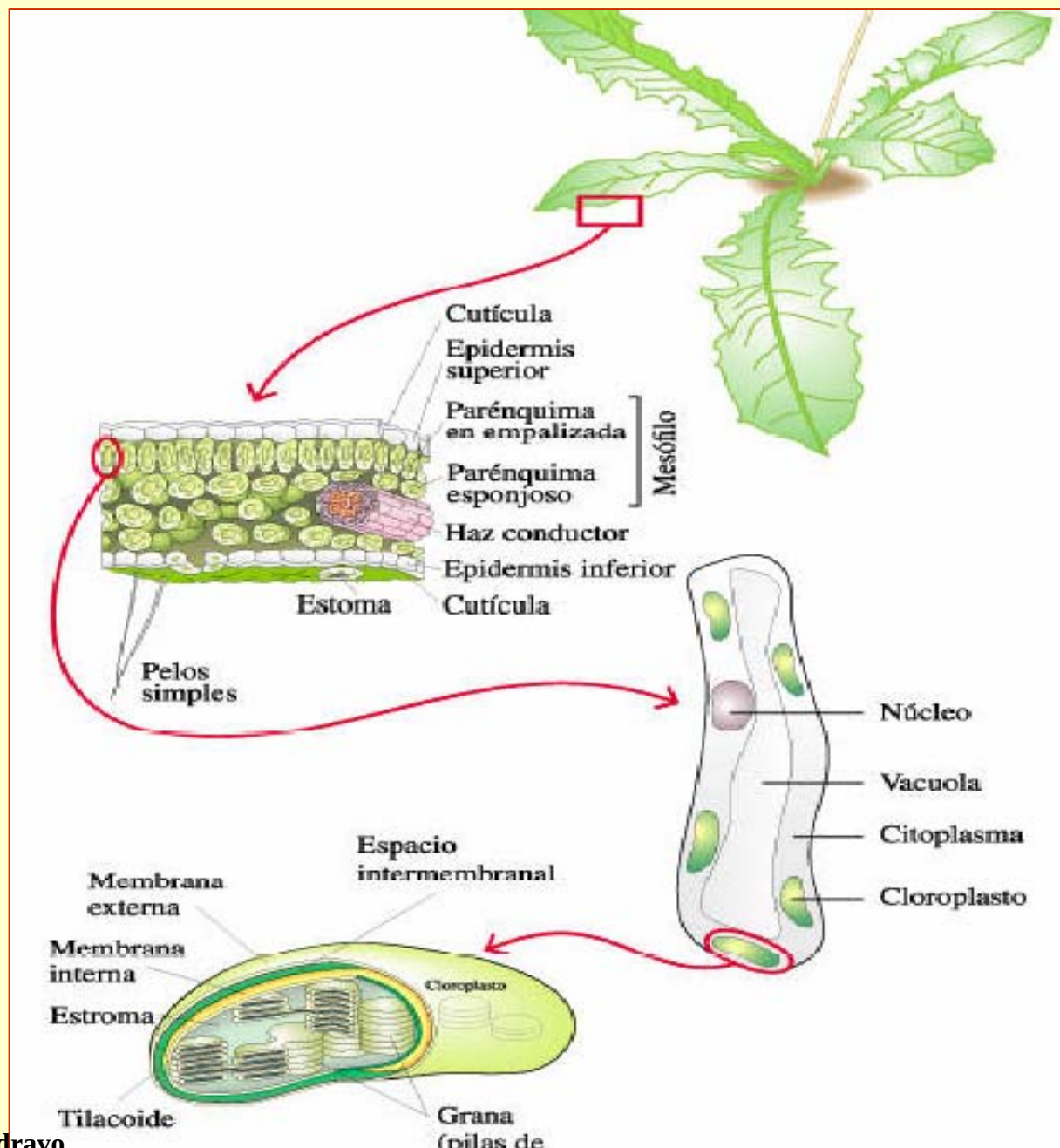
- Fotosíntese osixénica. Denomínase así porque nela se desprende O_2 (a partir da H_2O). É a que realizan as plantas, as algas e as cianobacterias.

Fotosíntese osixénica

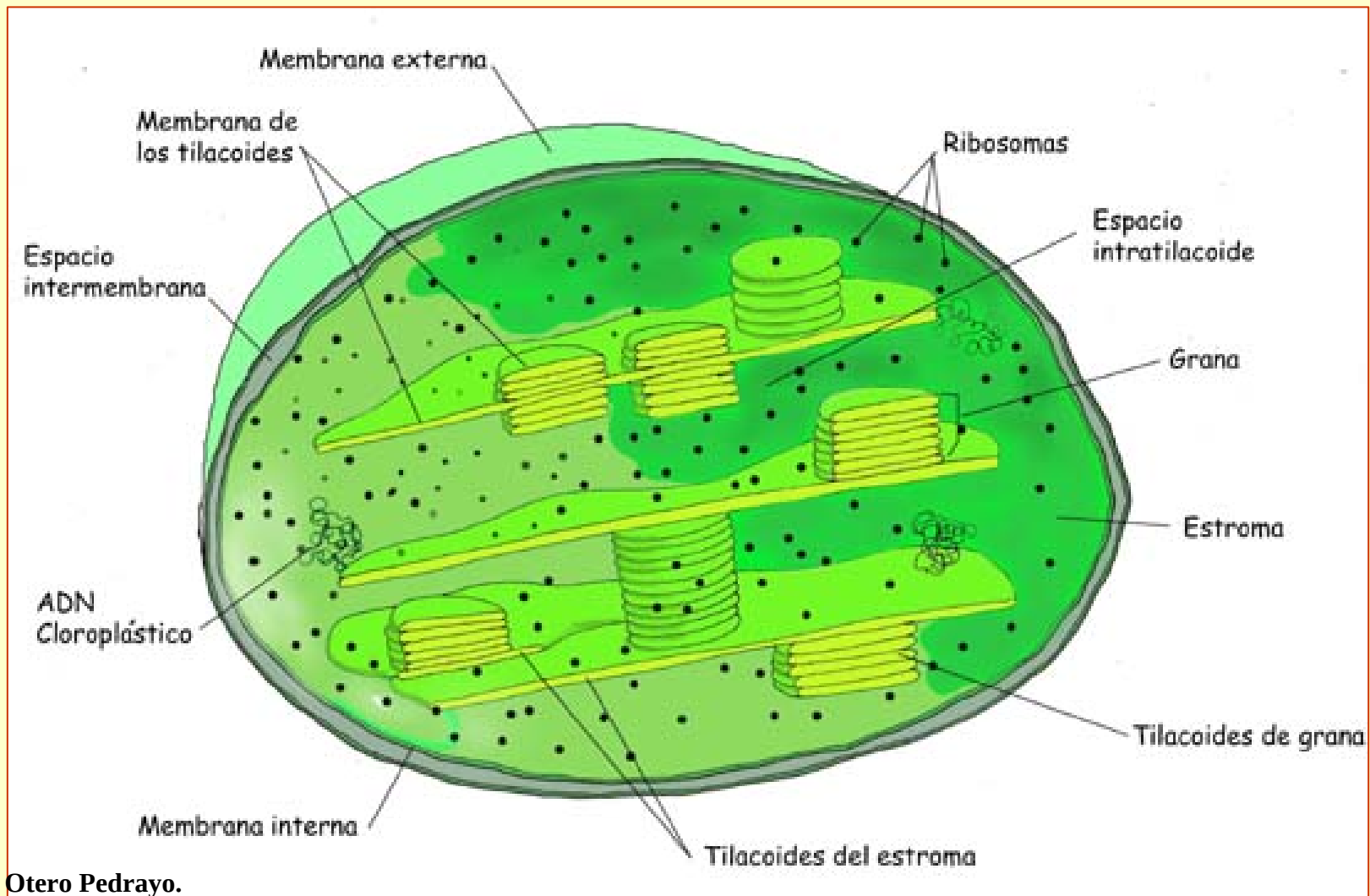


A fotosíntese realízase no parénquima clorofílico das follas

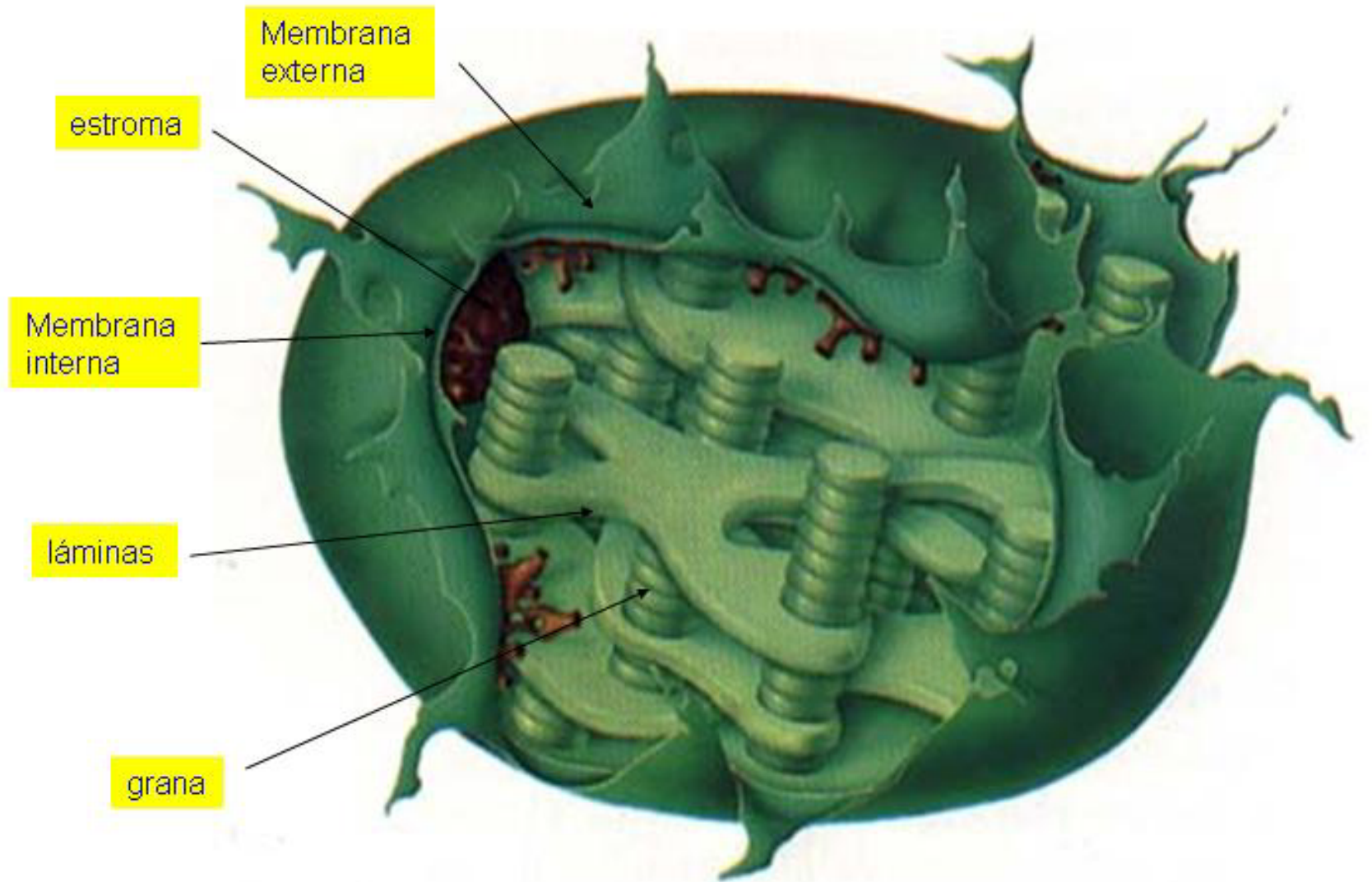


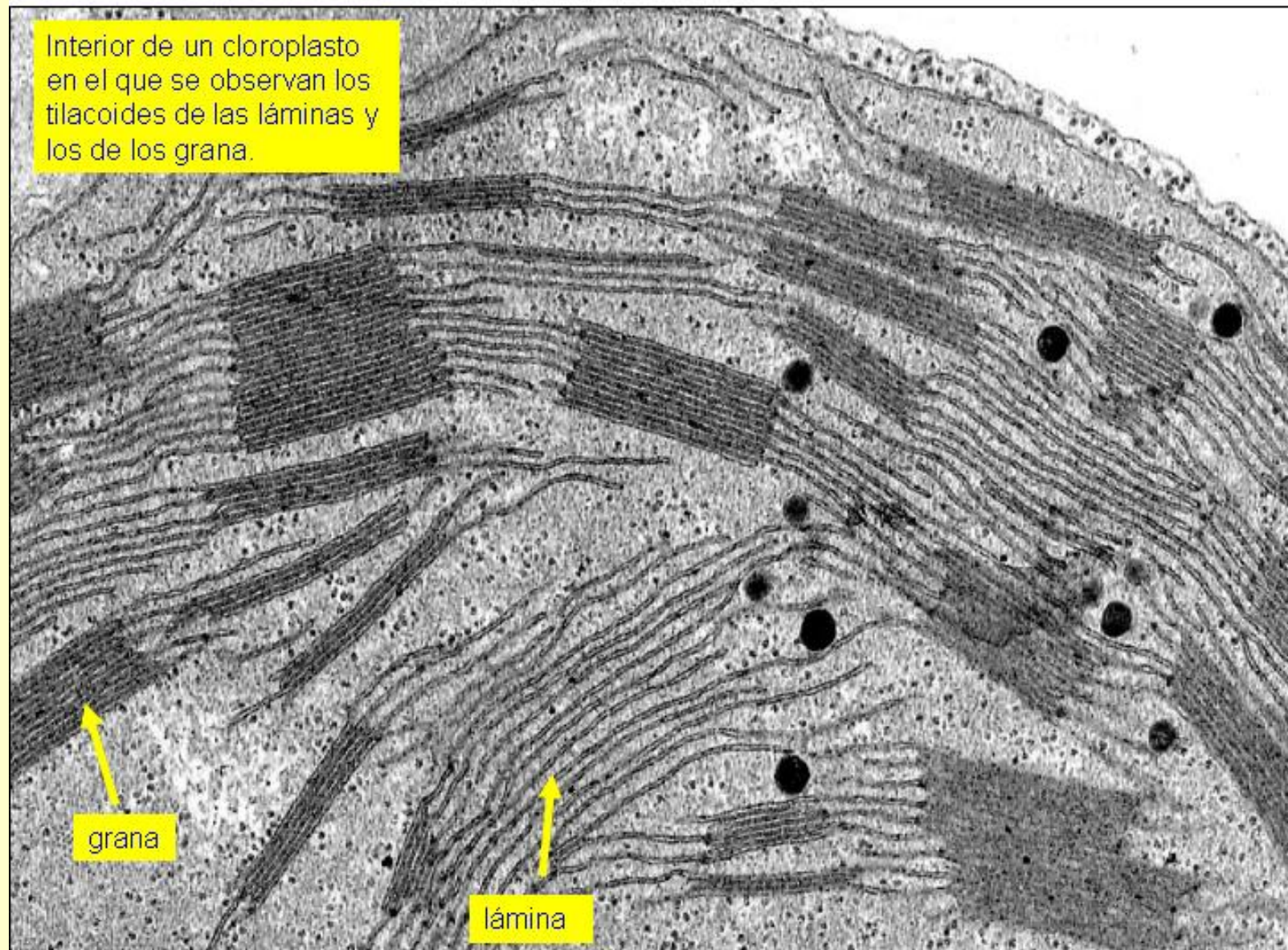


La fotosíntese realízase nos cloroplastos



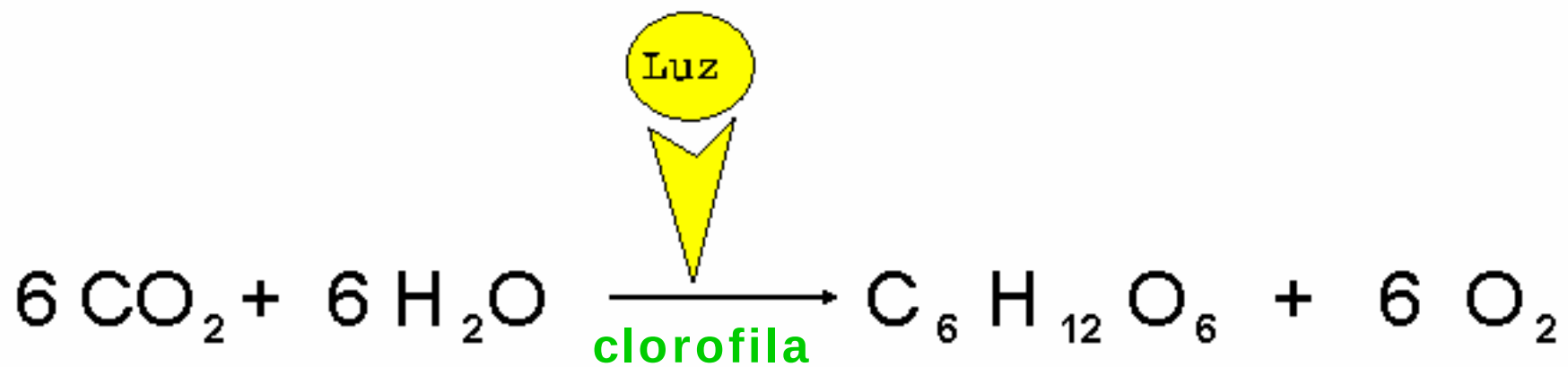
Esquema 3D da ultraestrutura dun cloroplasto





Fonte: http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/

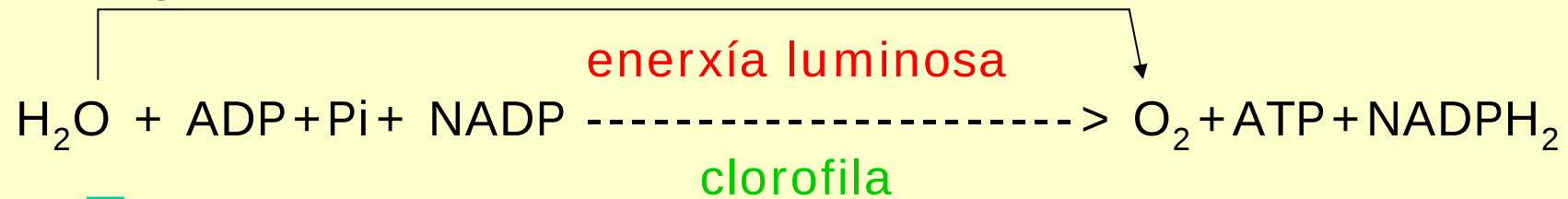
ECUACIÓN GLOBAL DA FOTOSÍNTESE DO CARBONO



Fases da fotosíntese

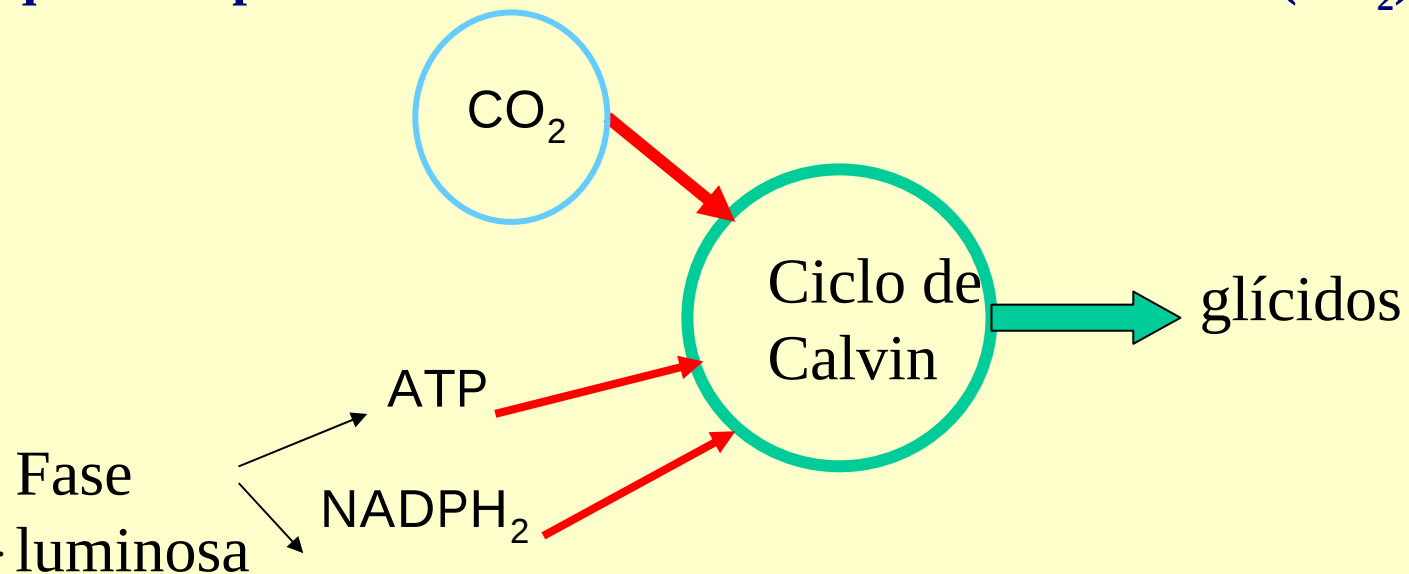
a) Fase luminosa:

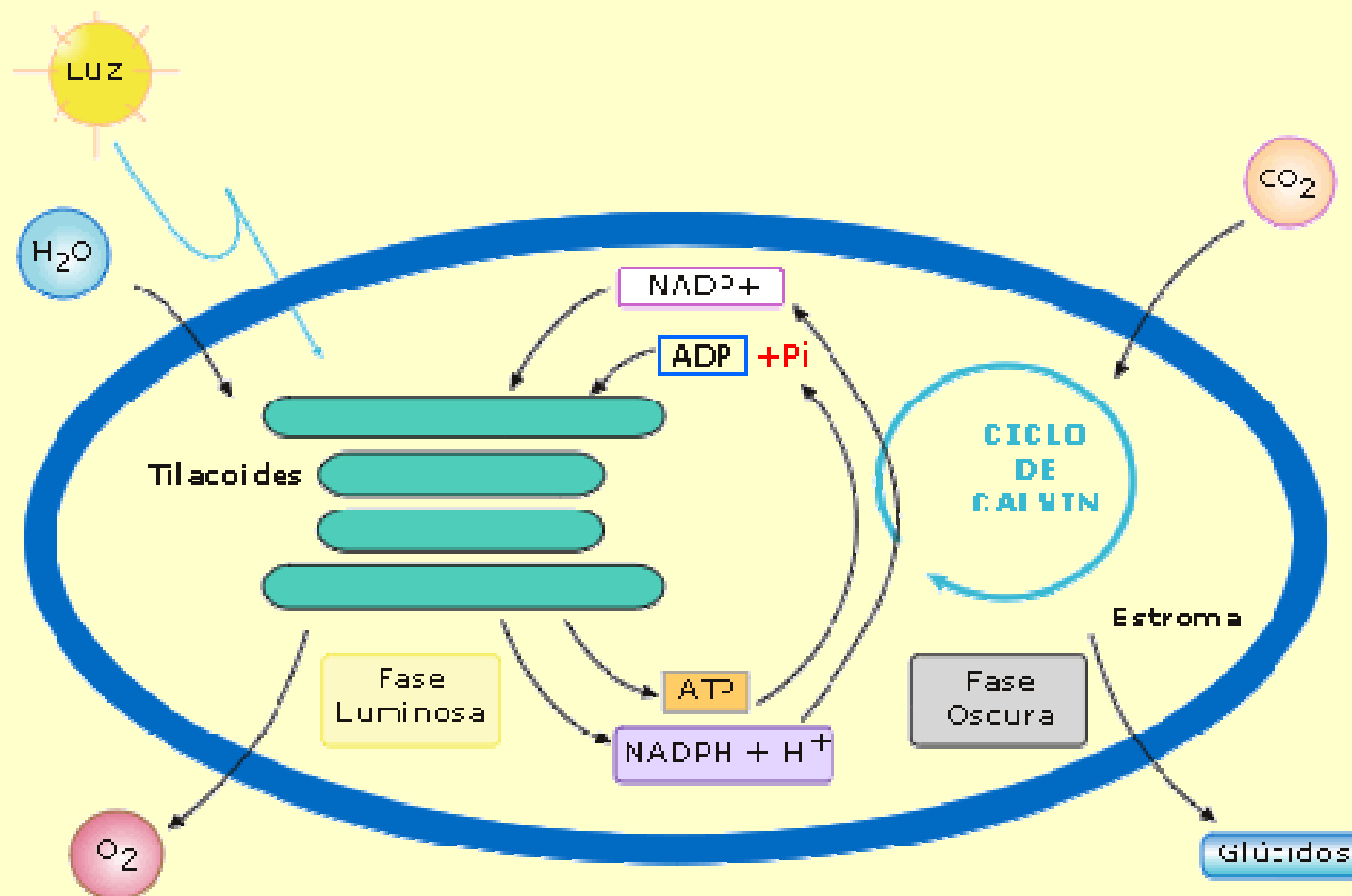
Ten lugar na membrana tilacoidal.



b) Fase escura:

Ten lugar no estroma. A enerxía (ATP) e o poder reductor (NADPH₂) producidos na fase luminosa emprégase para reducir e asimilar o carbono que se atopa na natureza nun estado altamente oxidado (CO₂).

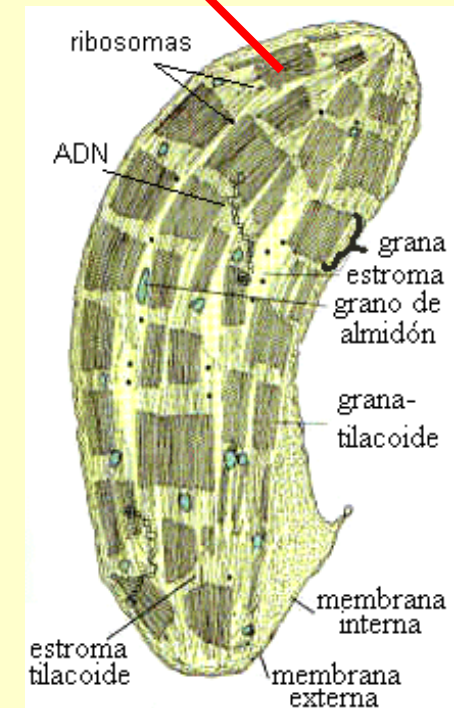
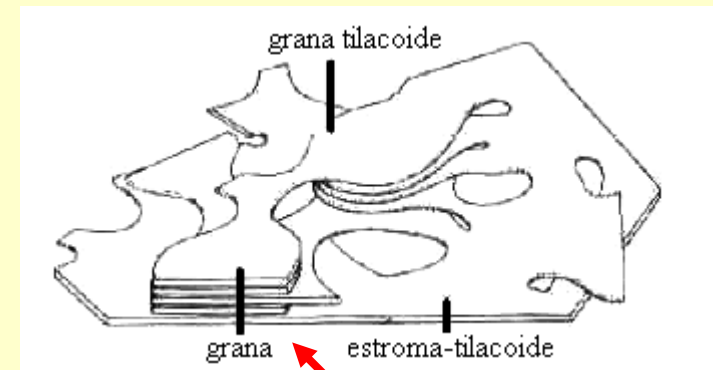




Fase luminosa

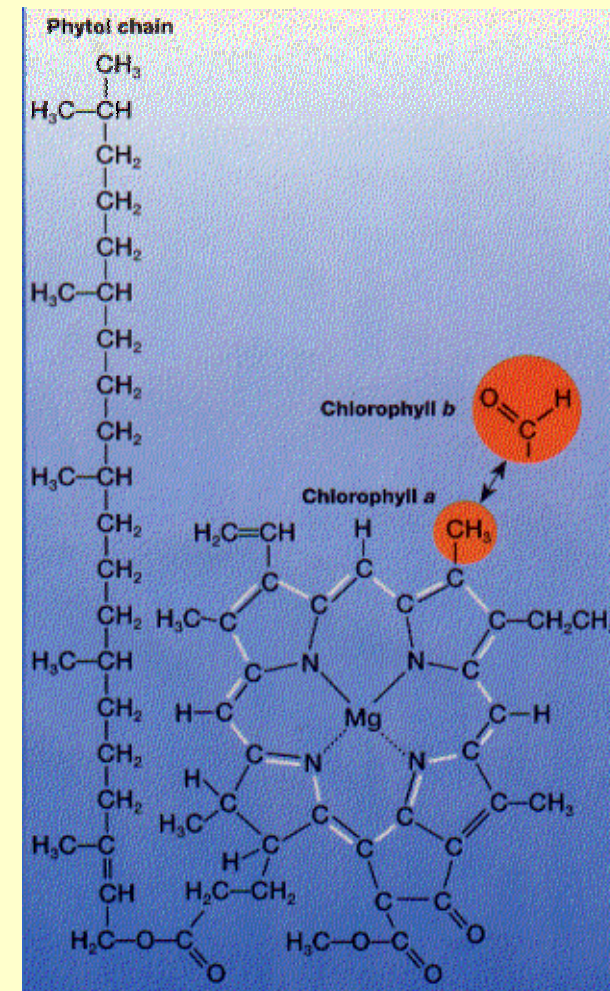
Na membrana tilacoidal atópanse tres tipos de compoñentes:

- Bicapa de lípidos.
- Os fotosistemas (PSI e PSII).
- A cadea transportadora de electróns.
- Os complexos ATP-sintetasa.



Un **fotosistema** é un conxunto molecular moi complexo formado por un grupo de varios tipos de pigmentos, que está unido á membrana tilacoidal ó través de proteínas.

Para que a enerxía da luz sirva para algo nos vexetais, debe ser capturada por moléculas que sexan capaces de absorbelas. Estas substancias que capturan a luz chámanse **pigmentos**.



Ó incidir un fotón sobre un pigmento fotosintético (*estado fundamental*), despraza un electrón ata un nivel de maior enerxía (*estado excitado*).

O pigmento excitado pode volver o seu estado orixinal de tres formas:

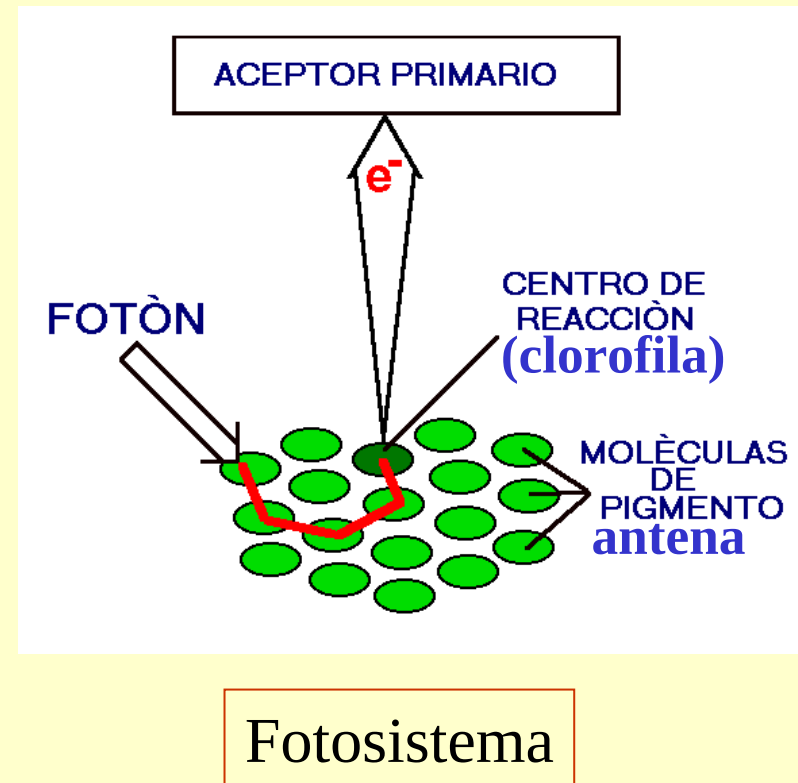
- Perdendo a enerxía extra en forma de luz e calor (fluorescencia).
- Mediante transferencia de enerxía por resonancia, na que a enerxía (pero non o electrón) pasa dun pigmento a outro.
- Mediante unha oxidación do pigmento, ó perder o electrón de alta enerxía, que será captado por un transportador de electróns.

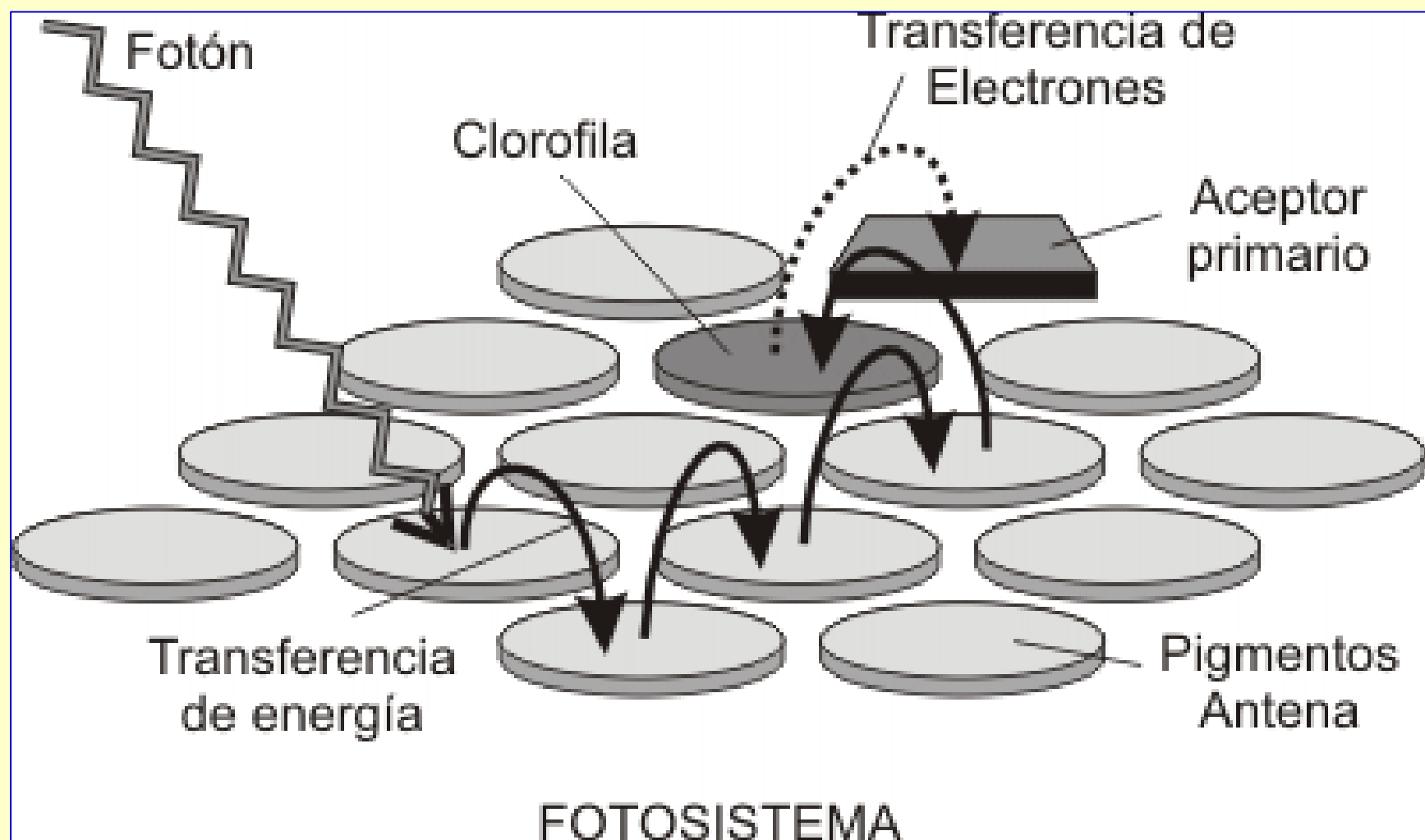
O pigmento fotosintético máis importante é a **clorofila**, que absorbe a cor violeta, azul e roxo, e reflexa a cor verde. Ademais existen outros pigmentos accesorios, como os **carotenoides**, que uns reflexan vermello, outros a laranxa e outros a amarela.

Cada **fotosistema** está composto de:

1) As **moléculas antena**. Carotenoides: carotenos e xantofilas encargados de absorber cuantos de luz. O complexo antena funciona así: cando unha das súas moléculas se excita ó captar un **fotón** (unidade de enerxía luminosa) transfírela a outra molécula próxima por un proceso de **resonancia** e, nunha reacción en cadea, esa enerxía chega ata a clorofila do centro de acción.

2) A clorofila do **centro de reacción**. A enerxía excita os electróns da clorofila e son transferidos a un aceptor de electróns.

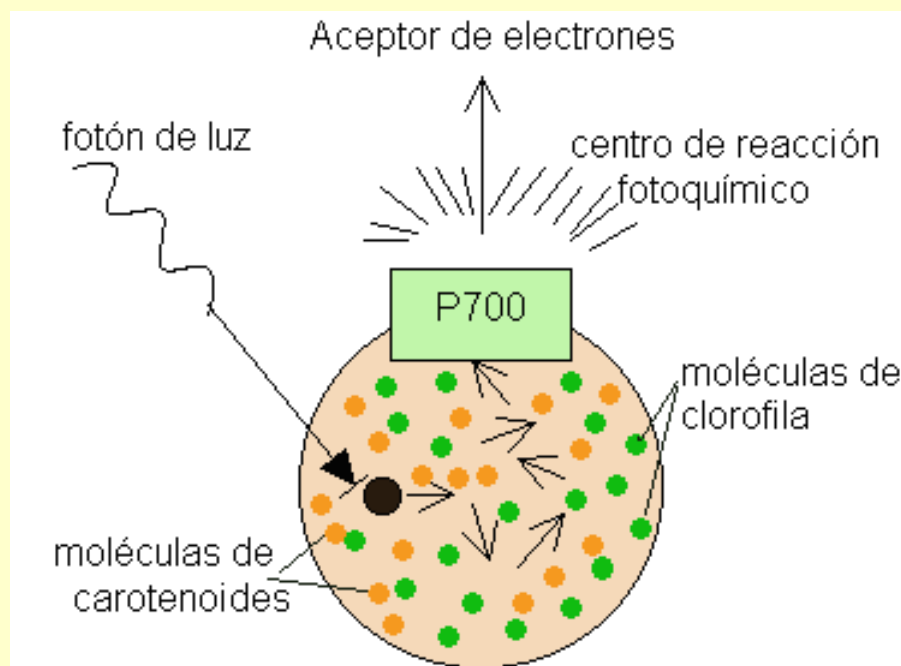




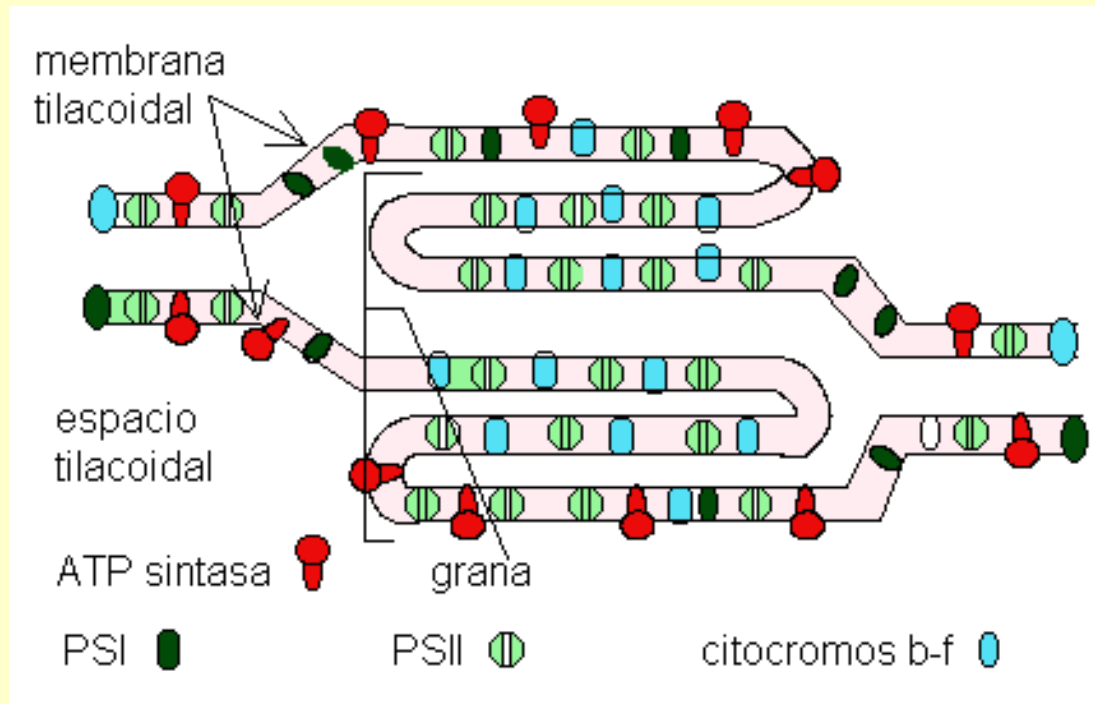
Nos vexetais existen dous tipos de fotosistemas.

O **fotosistema I** (PSI), está asociado a moléculas de clorofila que absorben a lonxitudes de ondas longas de 700 nm e coñécese como P700.

O **fotosistema II** (PSII), está asociado a moléculas de clorofila que absorben a 680 nm, por iso denomínase P680.

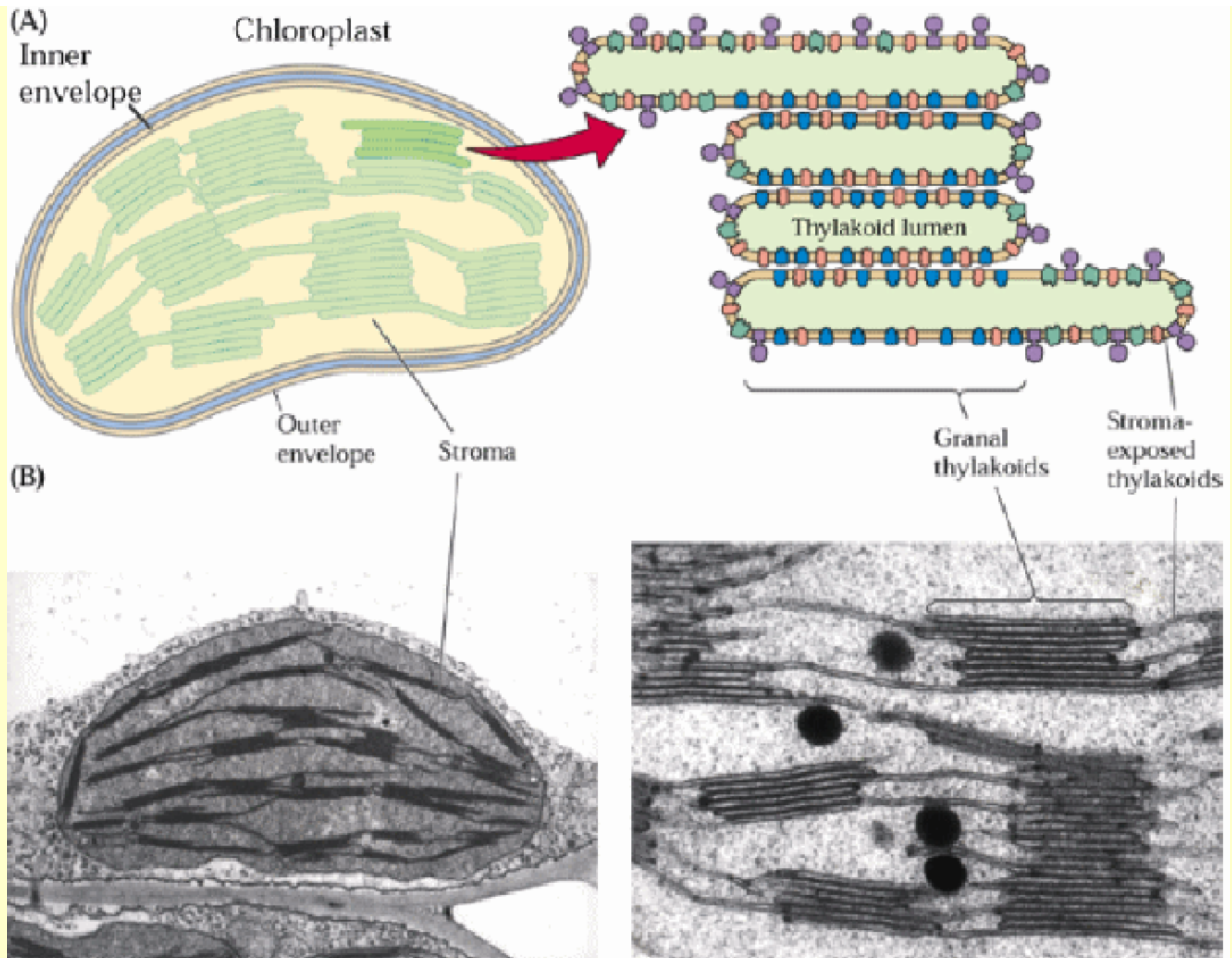


Moitos organismos procariotas só teñen o fotosistema I (é o máis primitivo desde o punto de vista evolutivo).



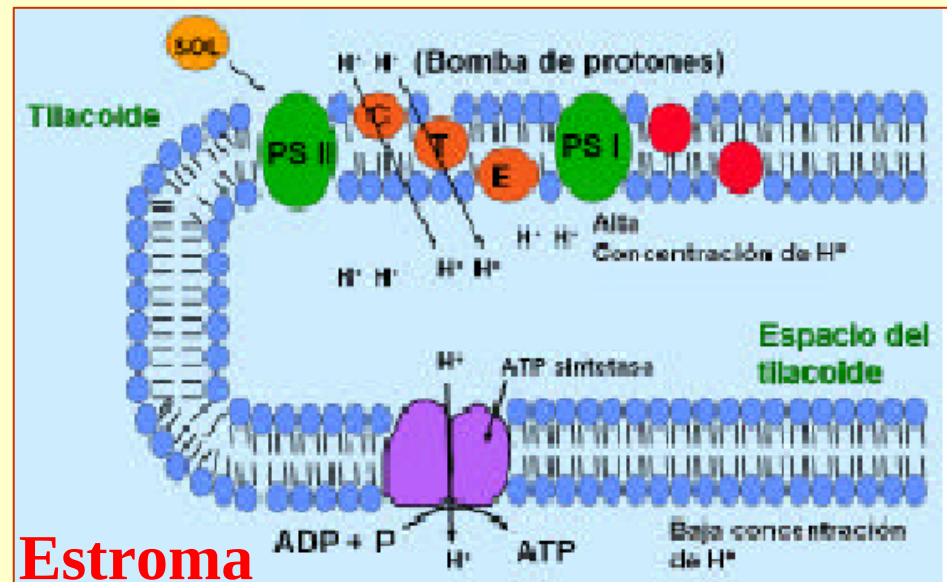
A distribución dos fotosistemas na membrana tilacoidal

O **fotosistema II (PSII)** localízase principalmente na grana, mentres que o **fotosistema I (PSI)** o fai en contacto co estroma ó igual que o complexo ATP-sintetasa.



Os electróns que libera a clorofila do fotosistema son transferidos á cadea de transporte electrónico onde se leva a cabo un conxunto de reaccións redox encadeadas en serie que fan posible o fluxo de e^-/H^+ duns transportadores a outros ata alcanzar o $NADP^+$

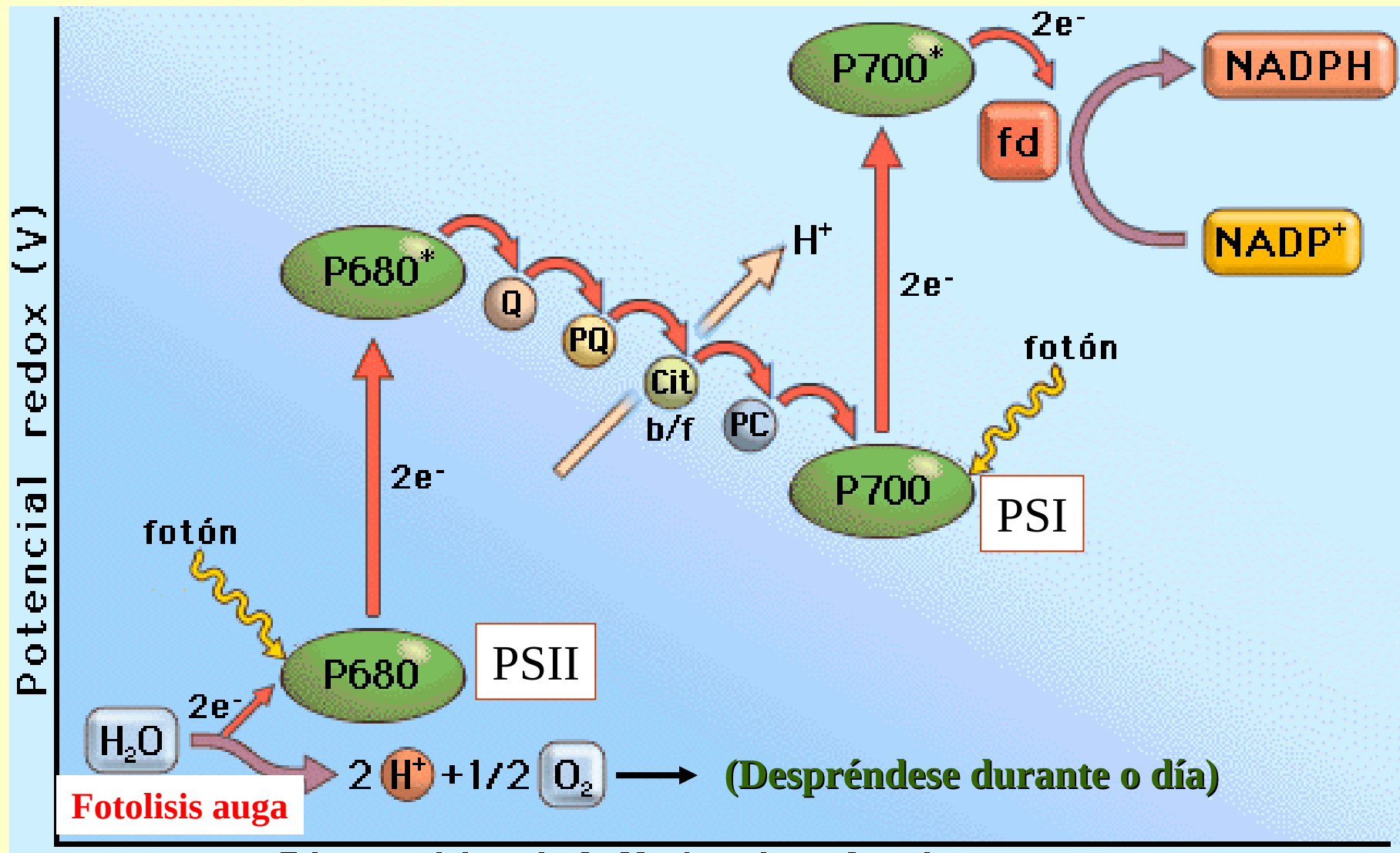
A saída de H^+ desde o espacio intratilaçoide ó estroma polos **complexos ATP-sintetasa** xera ATP, proceso que se denomina **fotofosforilación**.



A **fase luminosa** pode presentarse en dúas modalidades:

- **Transporte acíclico** de electróns ou fotofosforilación acíclica.
- **Transporte cíclico** de electróns ou fotofosforilación cíclica.

FOTOFOSFORILACIÓN NON CÍCLICA



Dirección do fluxo de electróns

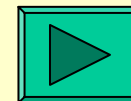
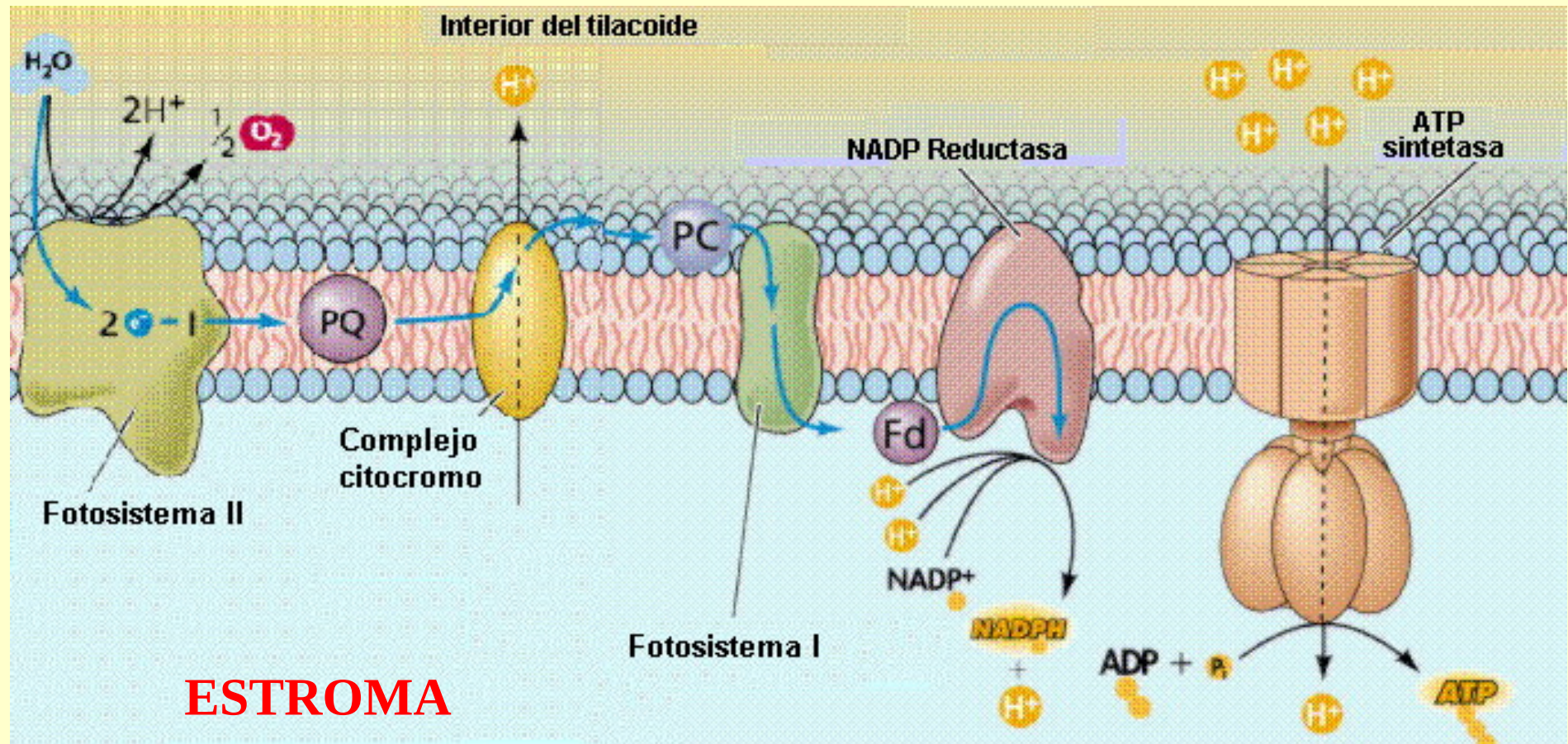
A clorofila do P680 (PSII) pola acción da luz **oxídase ó liberar un electrón**; o electrón é recollido por un aceptor que se reduce, a **Plastoquinona** (PQ) e desde ésta vai pasando ó longo dunha cadea transportadora de electróns, entre os que están varios **citocromos** (cyt b/f) e chega ata a **plastocianina** (PC) que os cede ás moléculas de clorofila do **PSI** (que tamén está oxidada porque perdeu un electrón por acción da luz).

Nas reaccións de **oxidación-reducción** libérase enerxía, esta utilízase para **bombear protóns** desde o estroma ata o interior dos tilacoides, xerándose un **gradiente electroquímico de protóns**. Estes protóns volven ó estroma ó través das ATP-sintetasa sintetizando moléculas de ATP, **fotofosforilación (hipótese quimiosmótica de Mitchell)**.

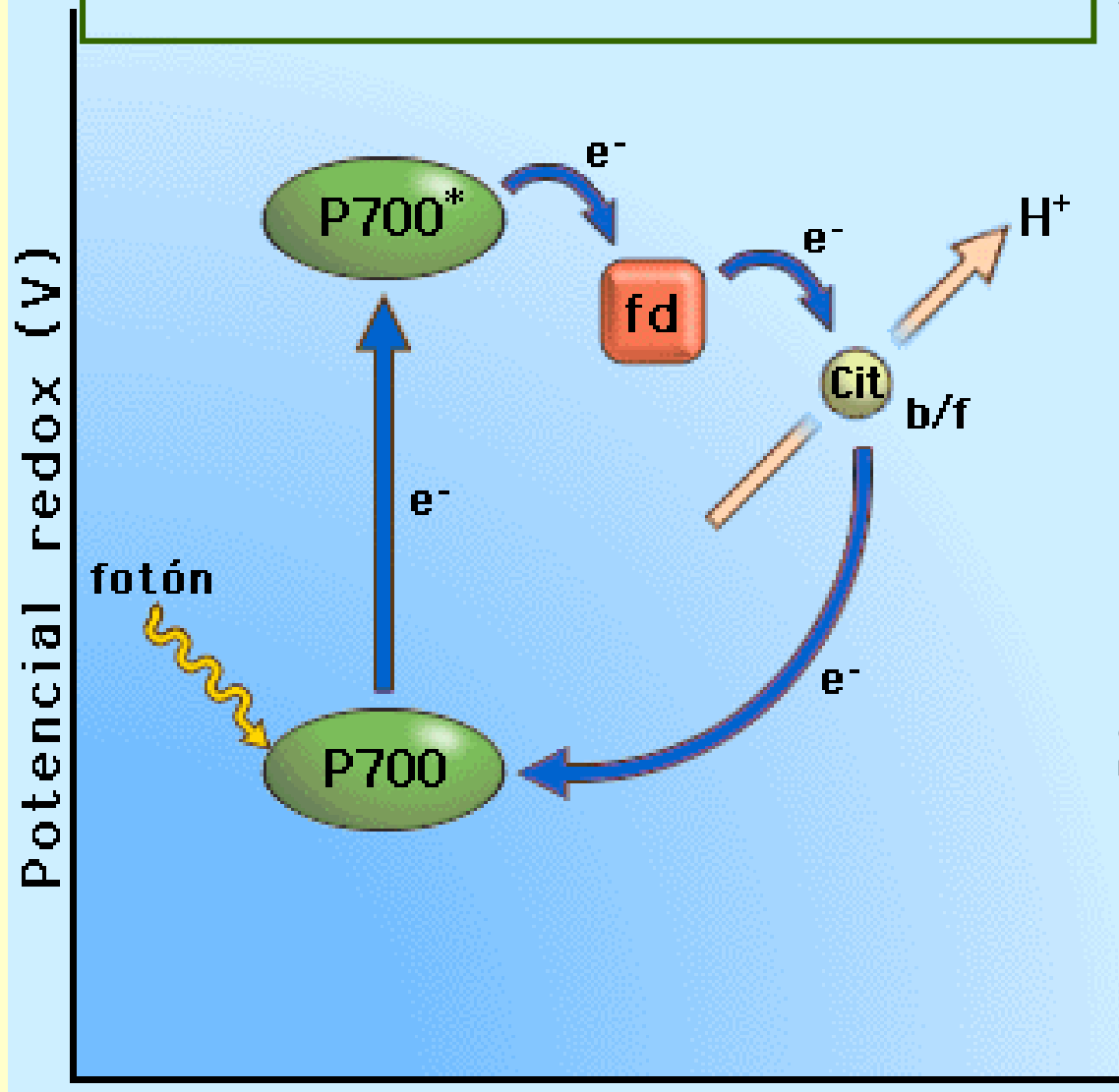
Os electróns que perdeu o PSII sonlle devoltos pola **fotólisis da H_2O** que por acción da luz descomponse en electróns, protóns e osíxeno (que se desprende á atmosfera). Deste xeito pódese manter un **fluxo continuo de electróns desde a auga ata o fotosistema II e deste ó fotosistema I.**

Os electróns que perde o PSI pola acción da luz son recollidos por outro aceptor de electróns, a **ferredoxina** e pasa por unha nova cadea de transporte ata chegar a unha molécula de NADP^+ que é reducida a NADPH_2 , ó recibir dous electróns e dous H^+ .

FOTOFOSFORILACIÓN NON CÍCLICA



FOTOFOSFORILACIÓN CÍCLICA



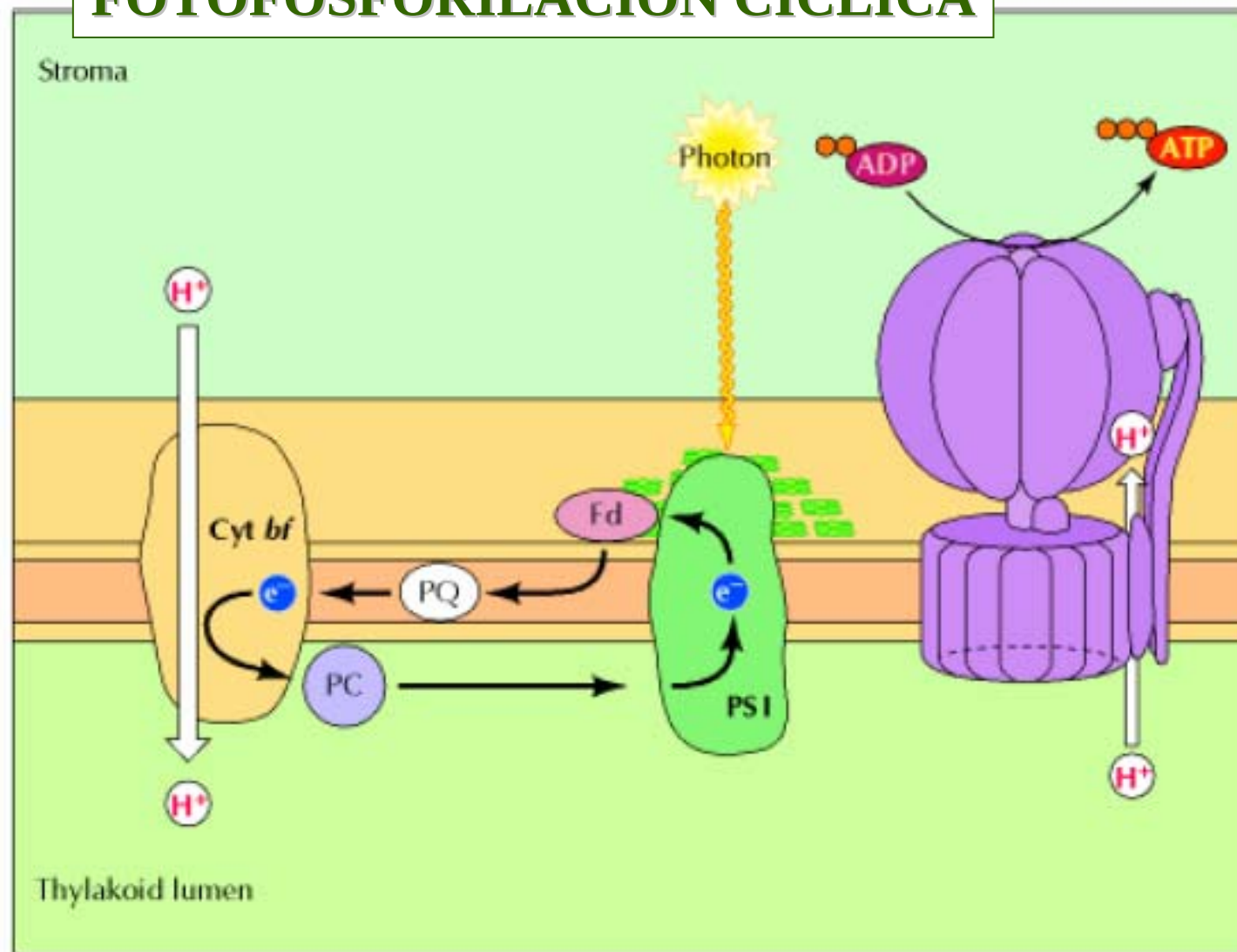
http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/contenidos3.htm

Dirección do fluxo de electróns

Na **fase luminosa cíclica** só intervén o PSI, creándose un fluxo ou ciclo de electróns que, en cada volta, da lugar a síntese de ATP.

Non hai fotólise da auga e tampouco se xera $NADPH_2$, nin se desprende osíxeno.

FOTOFOSFORILACIÓN CÍCLICA

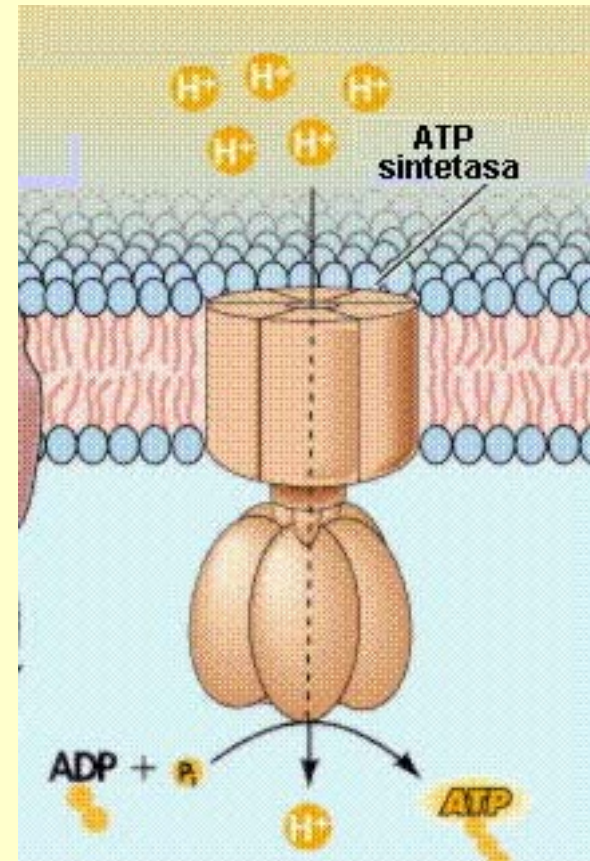


Fuente: COOPER, G. M. 2000 The Cell - A Molecular Approach Second Edition, ASM Press, Washington, D.C. & Sinauer Associates, Inc., Sunderland, Massachusetts.

HIPÓTESE QUIMIOSMÓTICA

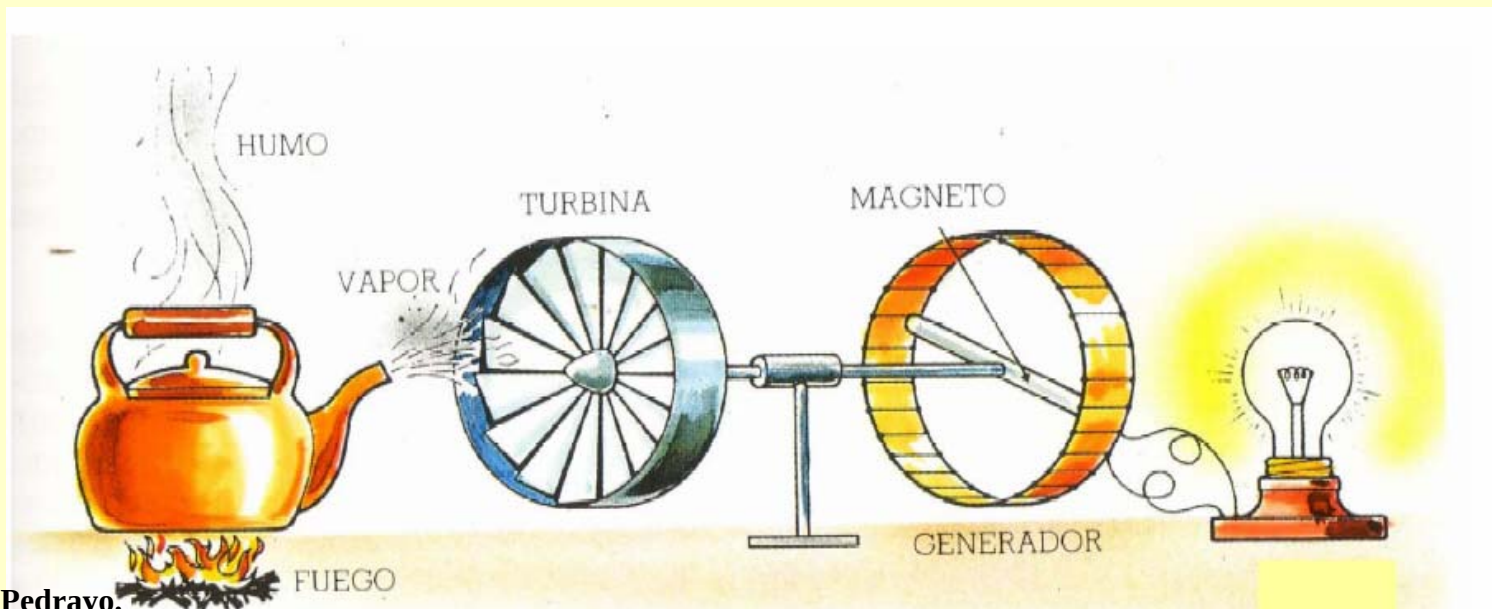
A **hipótese quimiosmótica** de Mitchell, que é a que goza de maior prestixio, explica a síntese de ATP tanto no cloroplastos coma nas mitocondrias. A enerxía liberada polo transporte de electróns utilízase para **bombear protóns** desde o **estroma ó interior do tilacoide** (cloroplastos) ou desde a matriz ó espacio intermembrana (mitocondrias). O bombeo de protóns realízanse ó través de transportadores localizados en complexos encimáticos existentes na membrana (da membrana tilacoidal ou das crestas mitocondriais, segundo o caso).

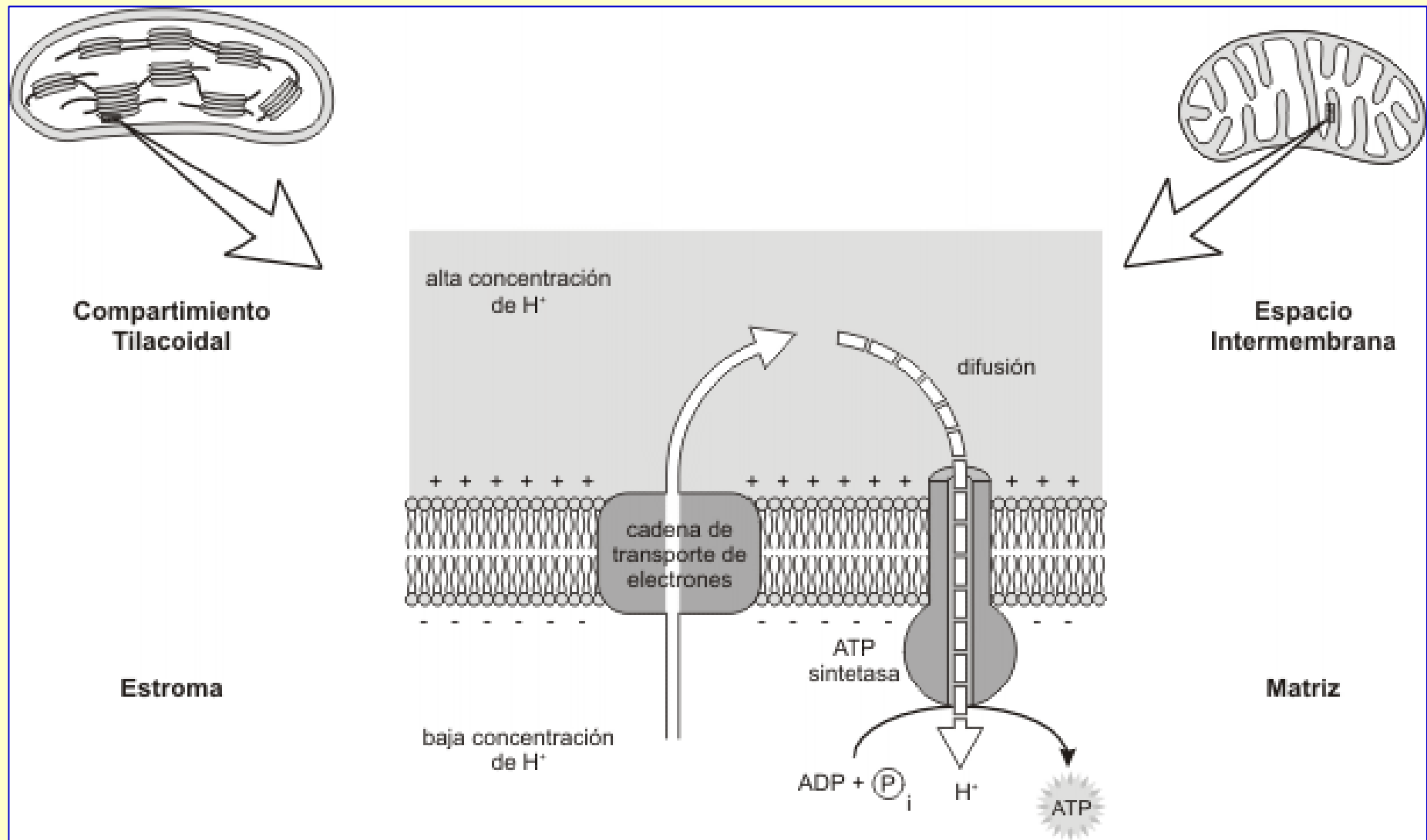
Desta maneira xerase un ***gradiente electroquímico*** de **protóns** que exerce o que se coñece como **forza protonmotriz**, xa que cando os protóns atravesan de novo a **membrana interna** (tilacoidal ou mitocondrial) a favor do gradiente, faino ó través do **sistema ATP-sintetasa**, que se atopa en ditas membranas, onde a enerxía protonmotriz transfórmase en enerxía de enlace en moléculas de **ATP**.



O proceso poderíase comparar con seguinte símil:

O **fluxo de protóns** cumpre o papel de *transductor de enerxía*, do mesmo modo que o vapor que subministra unha caldeira pode utilizarse para xerar enerxía eléctrica: a calor aplicada á caldeira (**fluxo de electróns**) quenta a auga e forma vapor de auga (**gradiente electroquímico de H^+**), a presión (**forza protonmotriz**) pódese acoplar ás turbinas dun xerador eléctrico (**ATP sintetasa**) para producir electricidade (**ATP**).

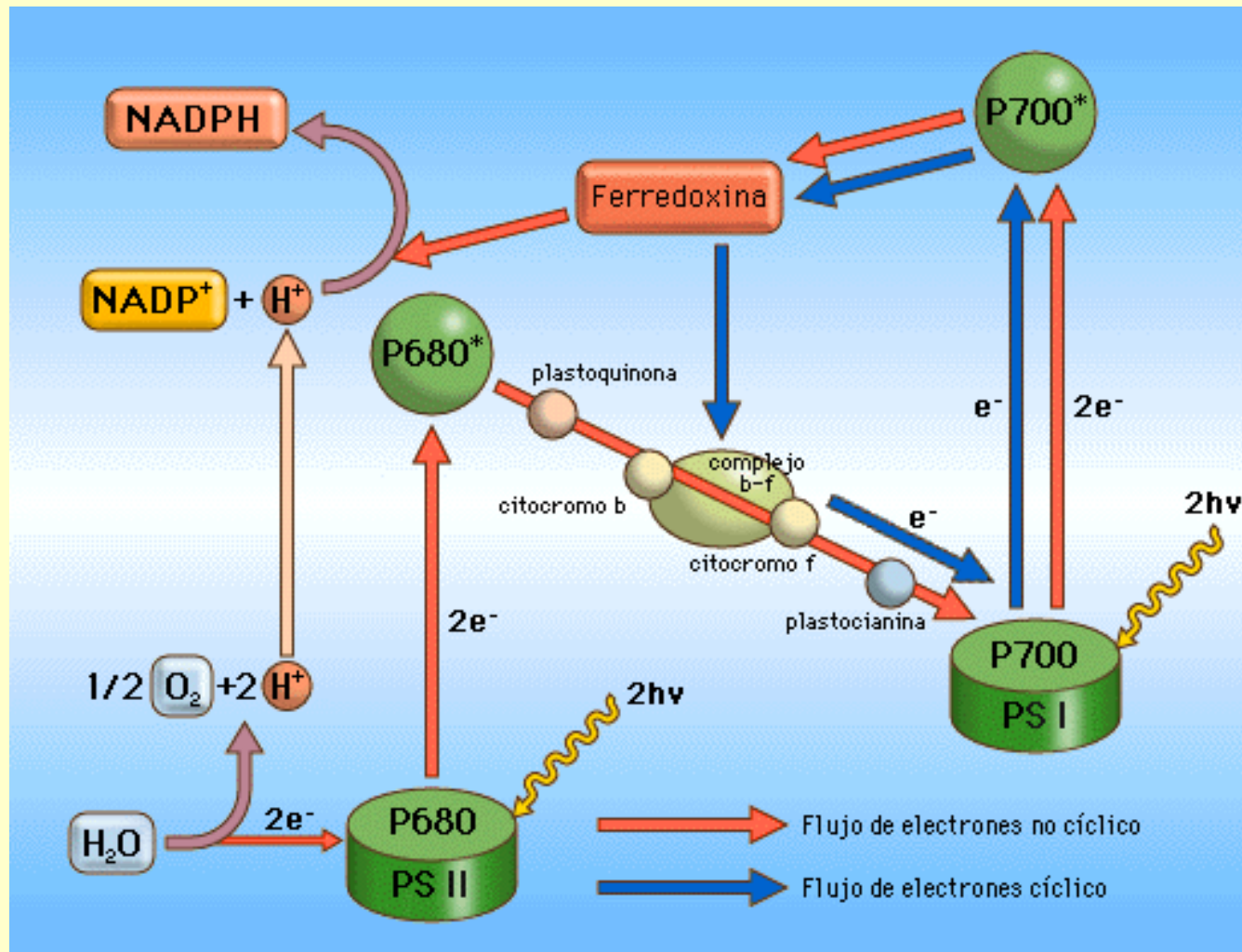




Esquema comparativo da quimiósmose na mitocondria e no cloroplasto.

<http://genomasur.com/lecturas/Guia08.htm>

TRANSPORTE DE ELECTRÓN ACÍCLICO E TRANSPORTE DE ELECTRÓN CÍCLICO (ESQUEMA Z)



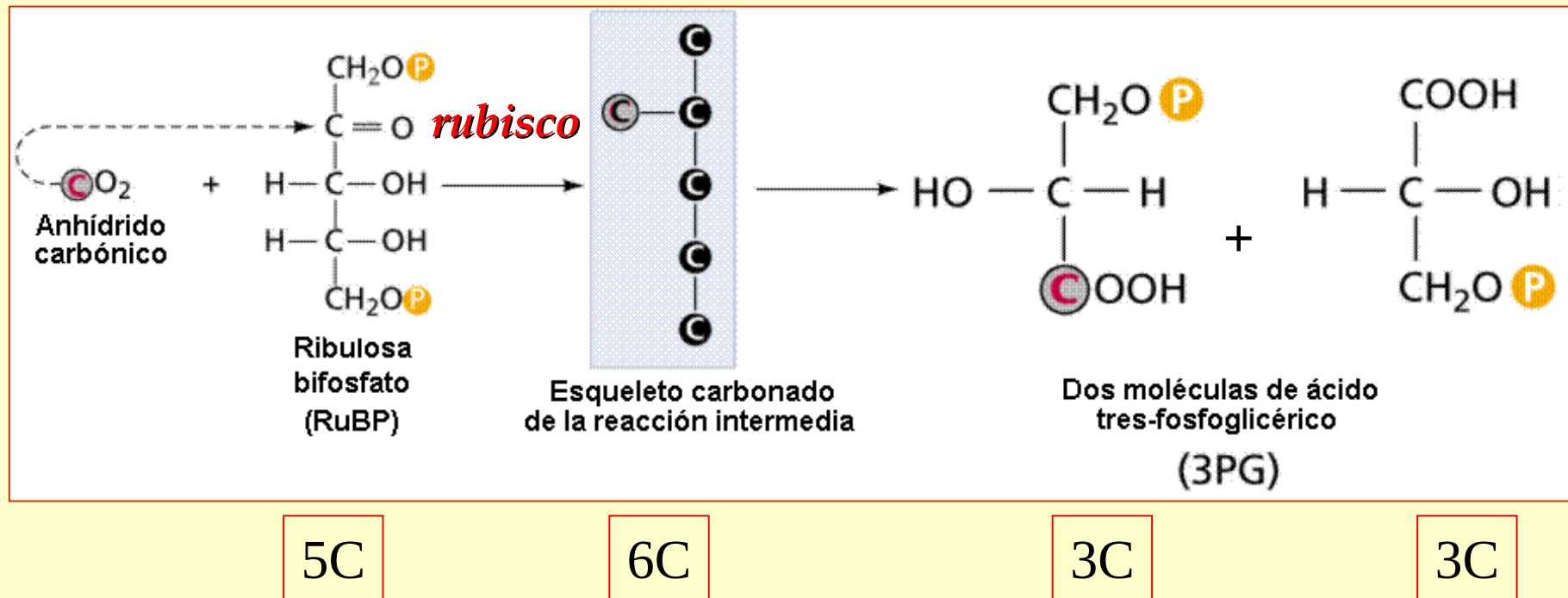
Fase escura da fotosíntese

Na **fase biosintética** úsase a enerxía (ATP) e o poder reductor (NADPH_2), obtidos na fase luminosa para sintetizar materia orgánica a partir de inorgánica (CO_2).

O proceso de síntese de compostos de carbono foi descuberta por Melvin Calvin e chámase **ciclo de Calvin**.

O **Ciclo de Calvin** desenvólvese no estroma dos cloroplastos. O CO_2 é fixado pola molécula ribulosa 1,5 bifosfato (RuBP).

A **enzima** que cataliza esta reacción é a Ribulosa bifosfato carboxilasa (**Rubisco**), **posiblemente a proteína máis abundante do mundo.**

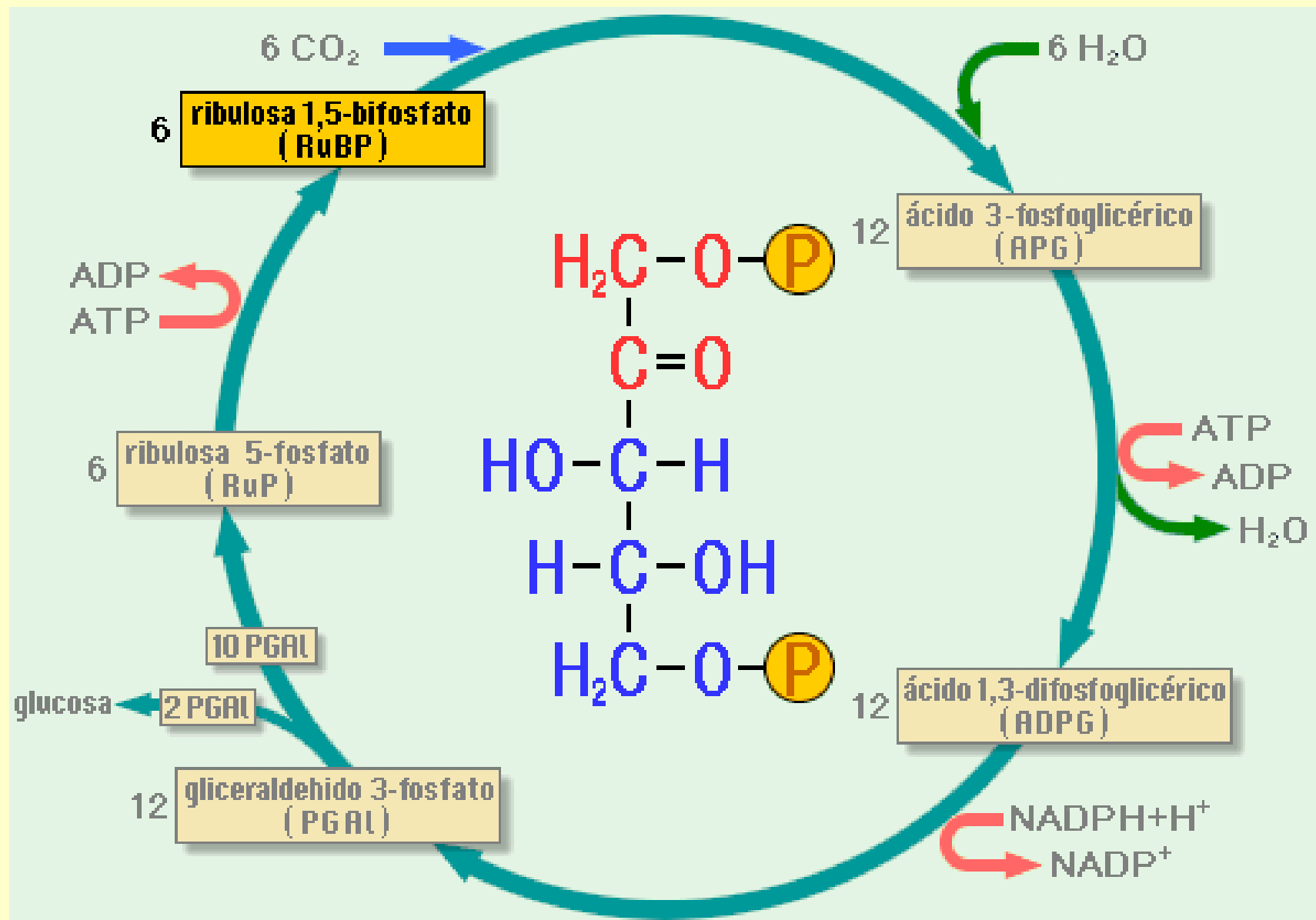


O ciclo de Calvin o podemos resumir en tres fases:

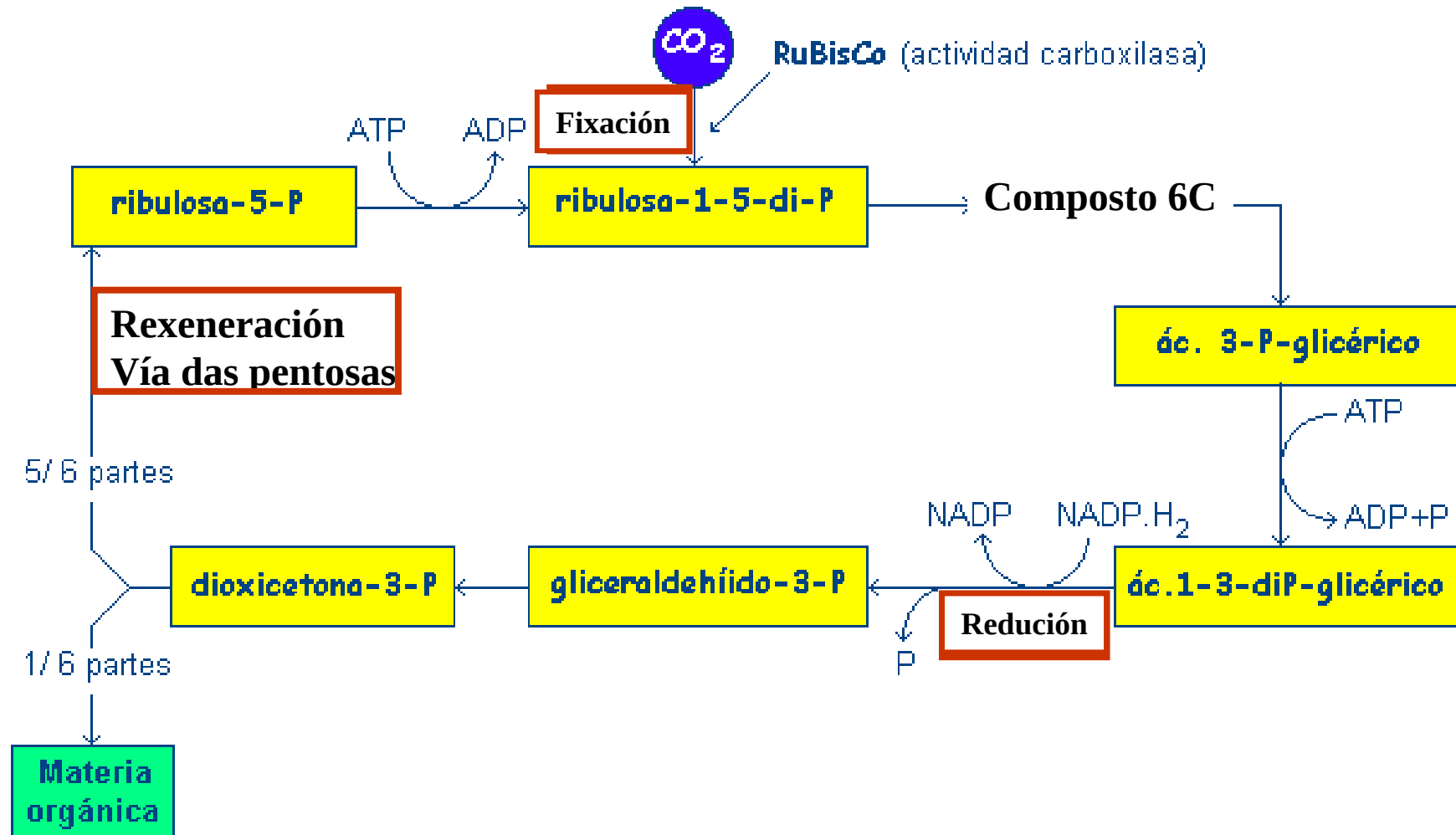
1. Carboxilativa: O CO_2 fixase a unha molécula de 5C, a **ribulosa 1,5 bifosfato**, formándose un composto inestable de 6C, que se divide en dous moléculas de **ácido 3 fosfoglicérico (PGA)**

2. Reductiva: O ácido 3 fosfoglicérico redúcese a **gliceraldehido 3 fosfato, (PGAL)**, utilizando ATP e NADPH_2 .

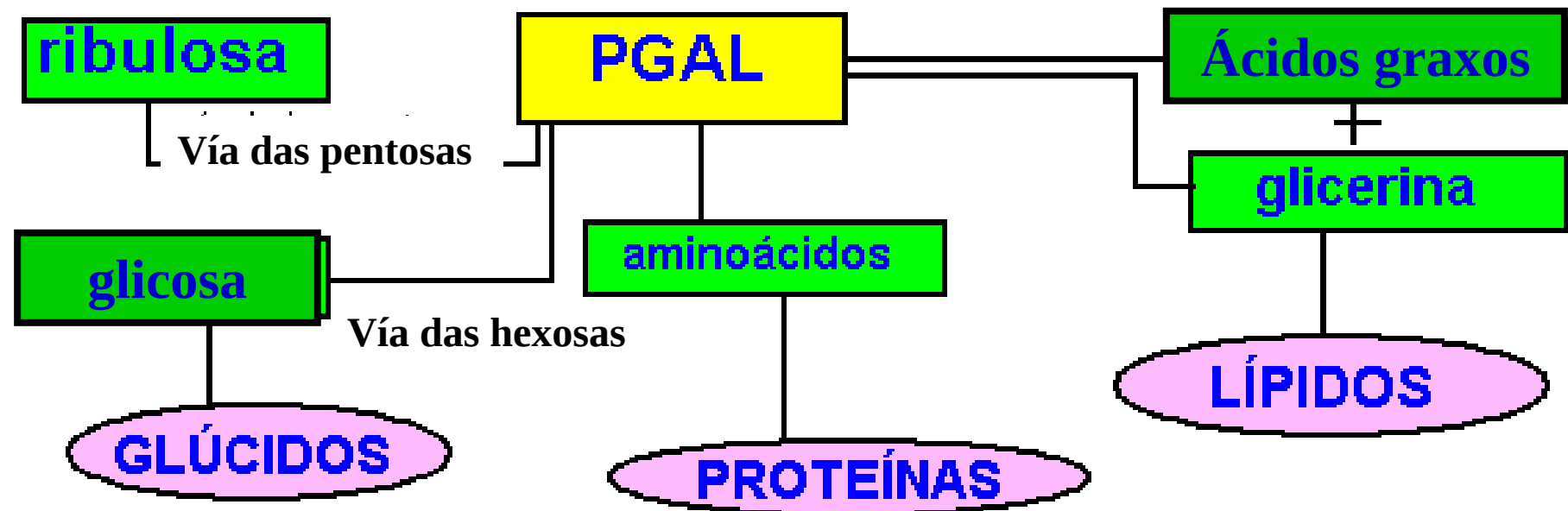
3. Rexenerativa: As moléculas de gliceraldehido 3 fosfato formadas seguen diversas rutas; de cada seis moléculas, cinco utilízanse para xerar a **ribulosa 1,5 bifosfato** e facer que o **ciclo de Calvin** poda seguir, e unha será empregada para poder sintetizar moléculas de **glicosa, ácidos graxos, aminoácidos** e, en xeral, todas as moléculas que necesita a célula.

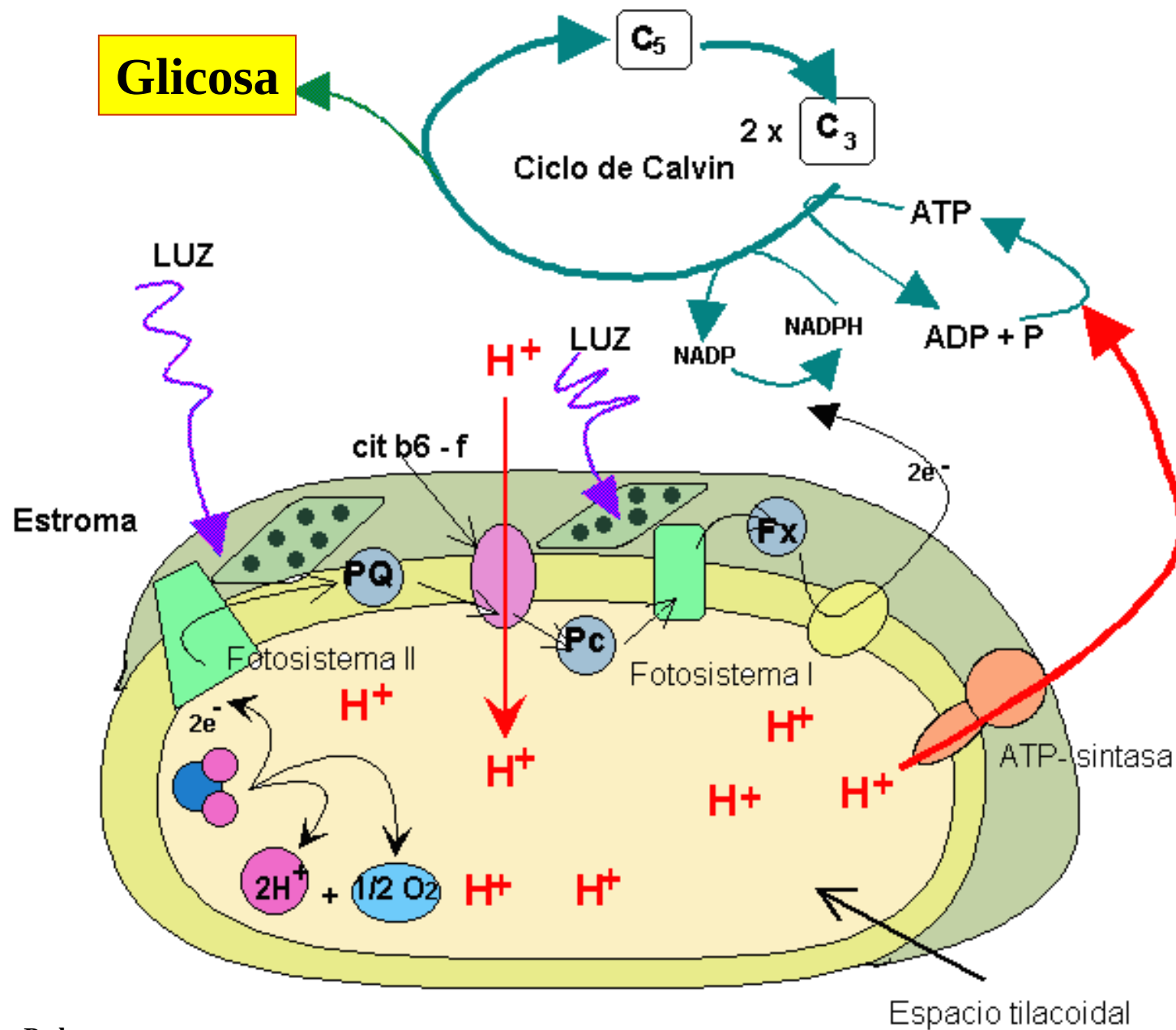


Ciclo de Calvin-Benson

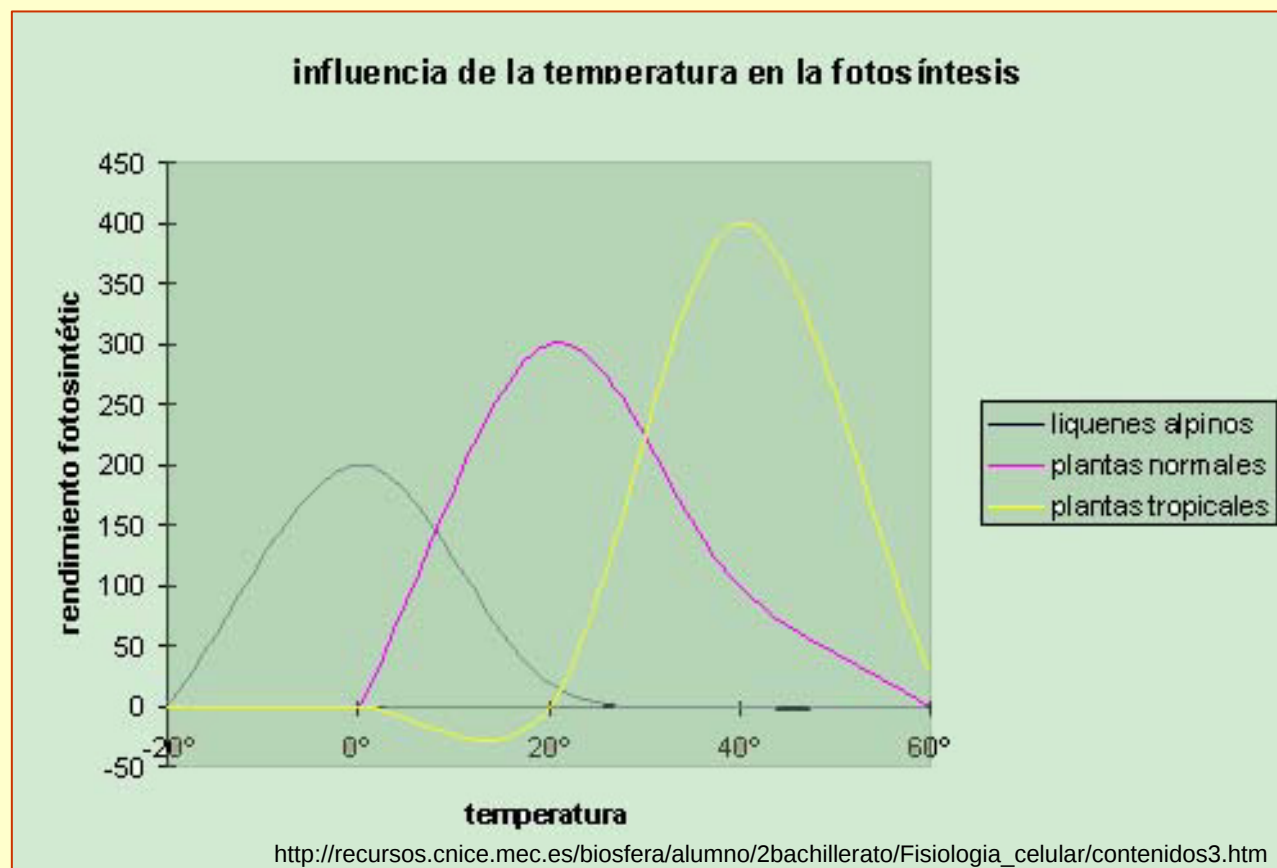


A partir do gliceraldehído-3-fosfato fórmase, por rutas alternativas, toda a materia orgánica que necesitan os vexetais.

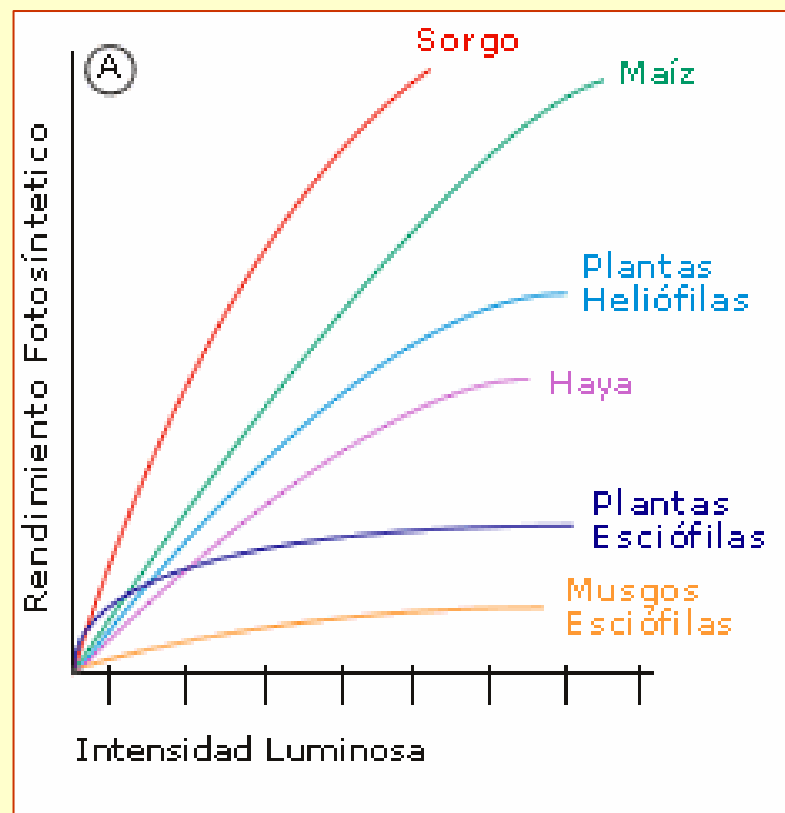




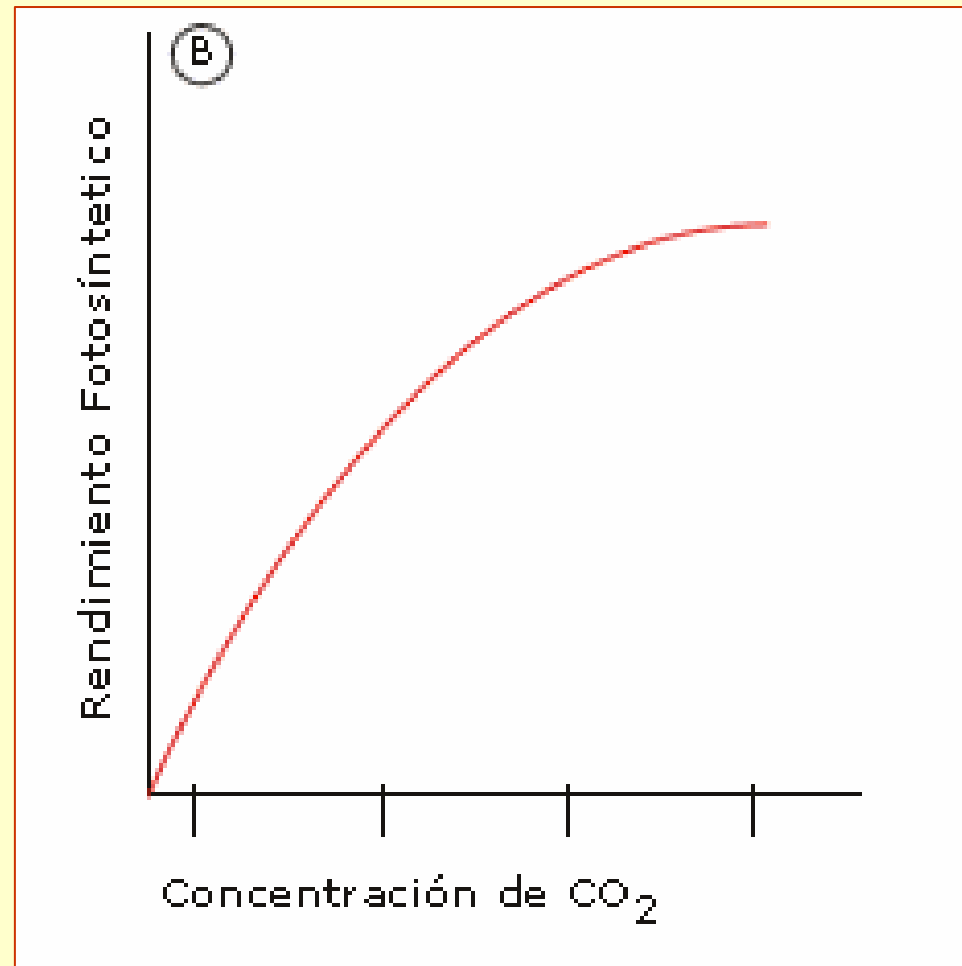
Factores que inflúen na fotosíntese.



Temperatura. Como norma xeral, a maior temperatura, maior actividade enzimática e maior actividade fotosintética. A temperatura óptima variará dunhas especies a outras.



Intensidade luminosa. En xeral, a maior intensidade luminosa, maior actividade fotosintética. Pero, cada especie está adaptada a uns niveis de iluminación óptima, de intensidade variable. Si se superan eses niveis, chégase á saturación luminosa e, mesmo, poderían deteriorarse os pigmentos fotosintéticos. Por outro lado, tamén inflúe a cor da luz: o mellor é o que absorbe (e non reflexa) a clorofila.



Concentración de CO₂. A maior concentración de CO₂ maior actividade fotosintética, ata que se chega a un punto no que se estabiliza. A encima rubisco presenta cinética de saturación polo substrato.

Fotorrespiración

A encima RuBisCo é unha encima bifuncional:

- **Actividade carboxilasa:** cataliza a combinación da ribulosa-1-5-bifosfato co CO_2 .
- **Actividade osixenasa:** cataliza a combinación da ribulosa-1-5-bifosfato co O_2 .

O O_2 é un inhibidor competitivo do CO_2 . Cando a ribulosa-1,5-bisfosfato se une o osíxeno se forma un intermediario inestable que mediante un proceso no que interveñen tres orgánulos (o cloroplasto, o peroxisoma e a mitocondria) producindo CO_2 como na respiración, de ahí o nome de fotorrespiración.

A fotorrespiración é unha vía metabólica que se produce ao mesmo tempo que a fotosíntese, cando o ambiente é cálido e seco (os estomas das follas péchanse para evitar a perda de agua por transpiración). A diferenza da respiración na fotorrespiración consúmese enerxía.



*Departamento Bioloxía e Xeoloxía
I.E.S. Otero Pedrayo. Ourense.*