

# Fotosíntese



**Carmen Cid Manzano**

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

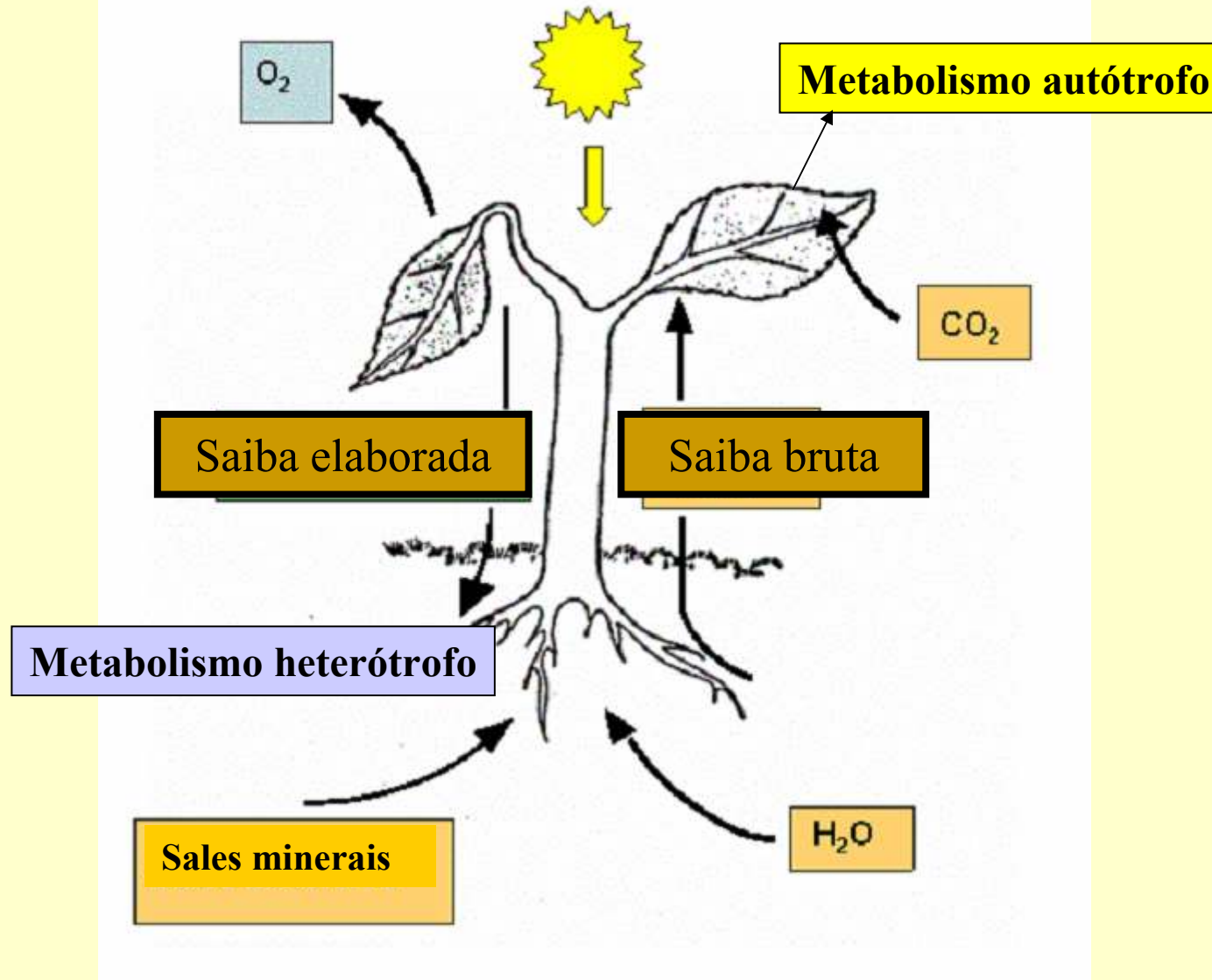
A fotosíntese é o proceso mediante o que as substancias inorgánicas ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , nitratos e sulfatos) combínanse para formar compostos orgánicos, utilizando a enerxía da luz.

Pódense diferenciar dúas modalidades de fotosíntese:

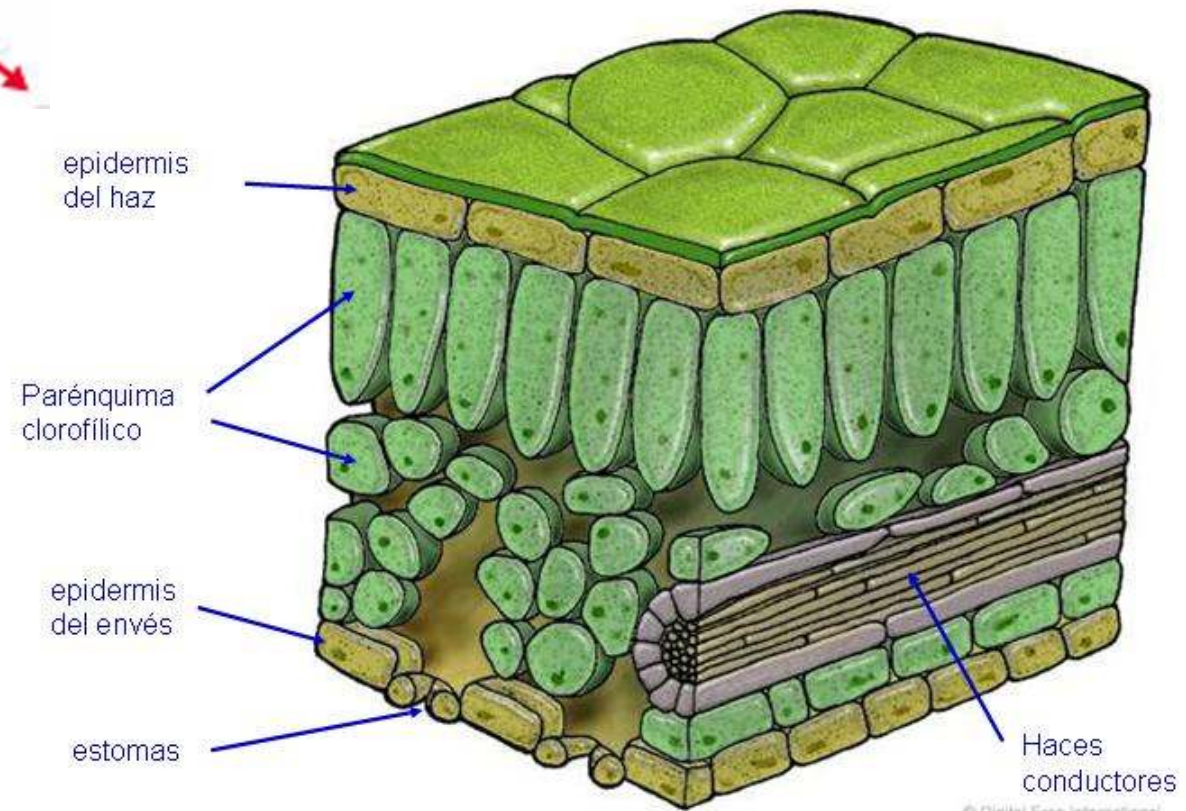
- **Fotosíntese anosixénica** Chamada así porque nela non se libera  $\text{O}_2$ , xa que a auga non intervén como dadora de electróns. A realizan algunhas bacterias.

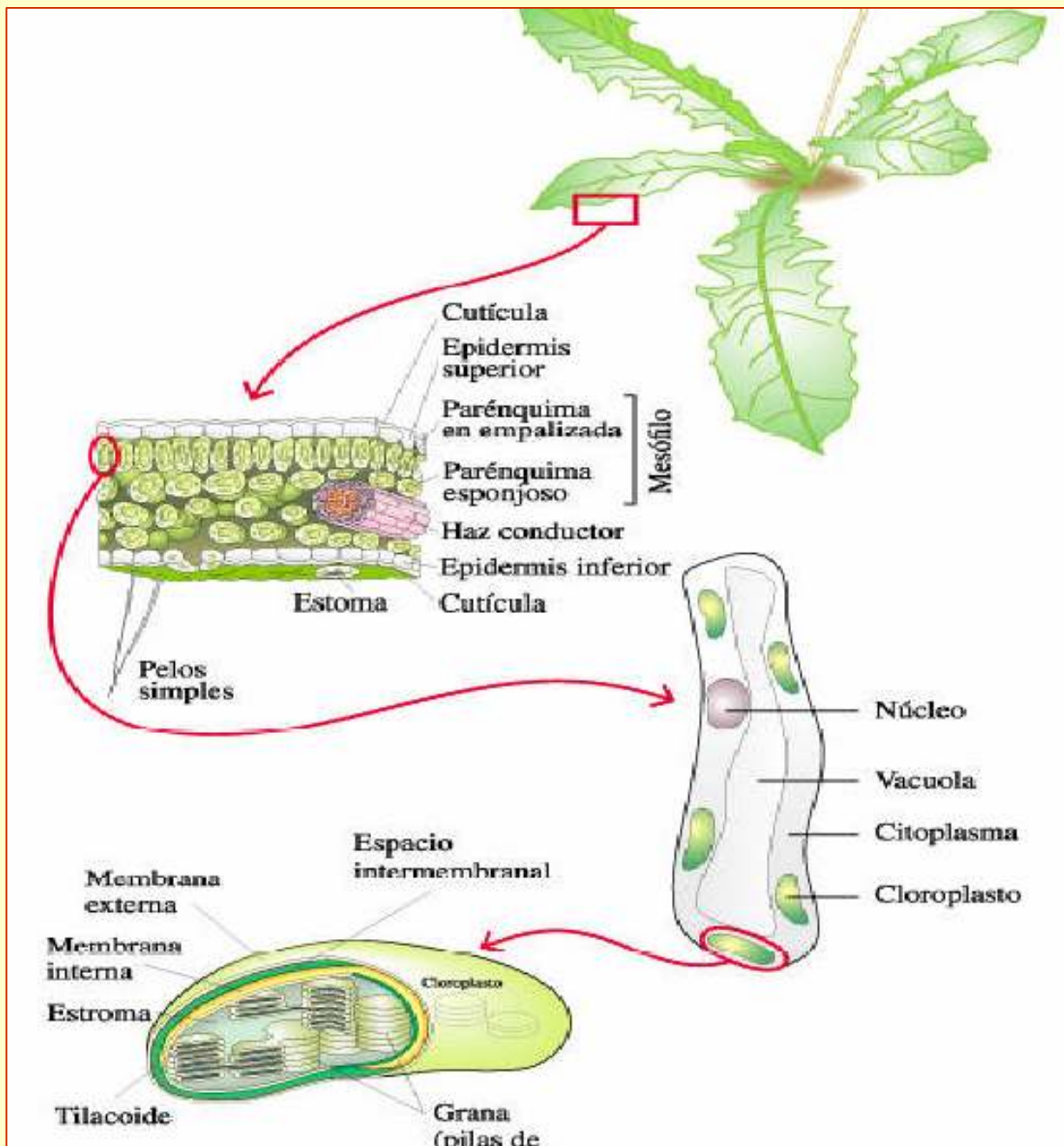
- **Fotosíntese osixénica**. Denomínase así porque nela se desprende  $\text{O}_2$  (a partir da  $\text{H}_2\text{O}$ ). É a que realizan as plantas, as algas e as cianobacterias.

# Fotosíntese osixénica

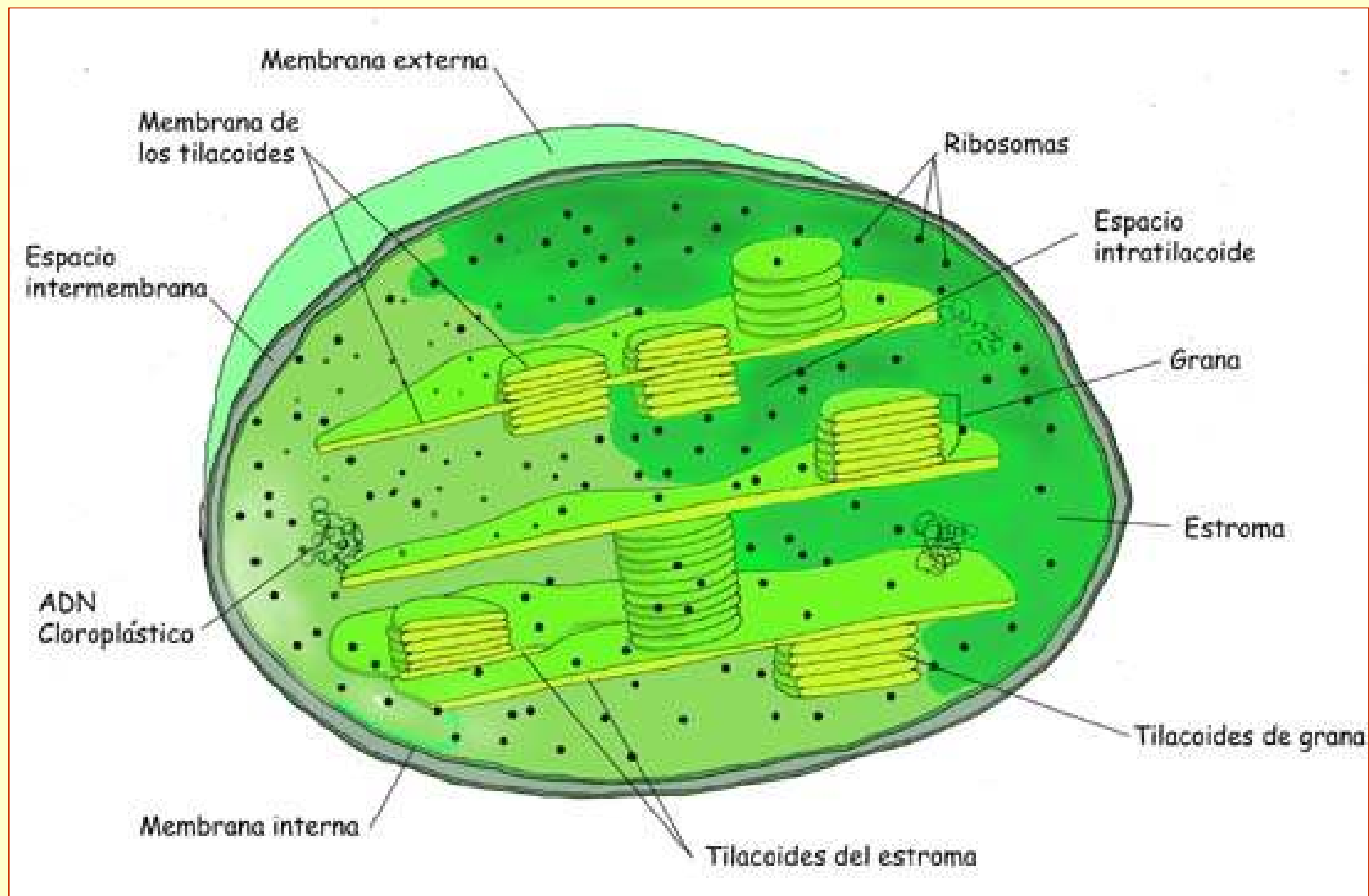


## A fotosíntese realiza-se no parénquima clorofílico das folhas



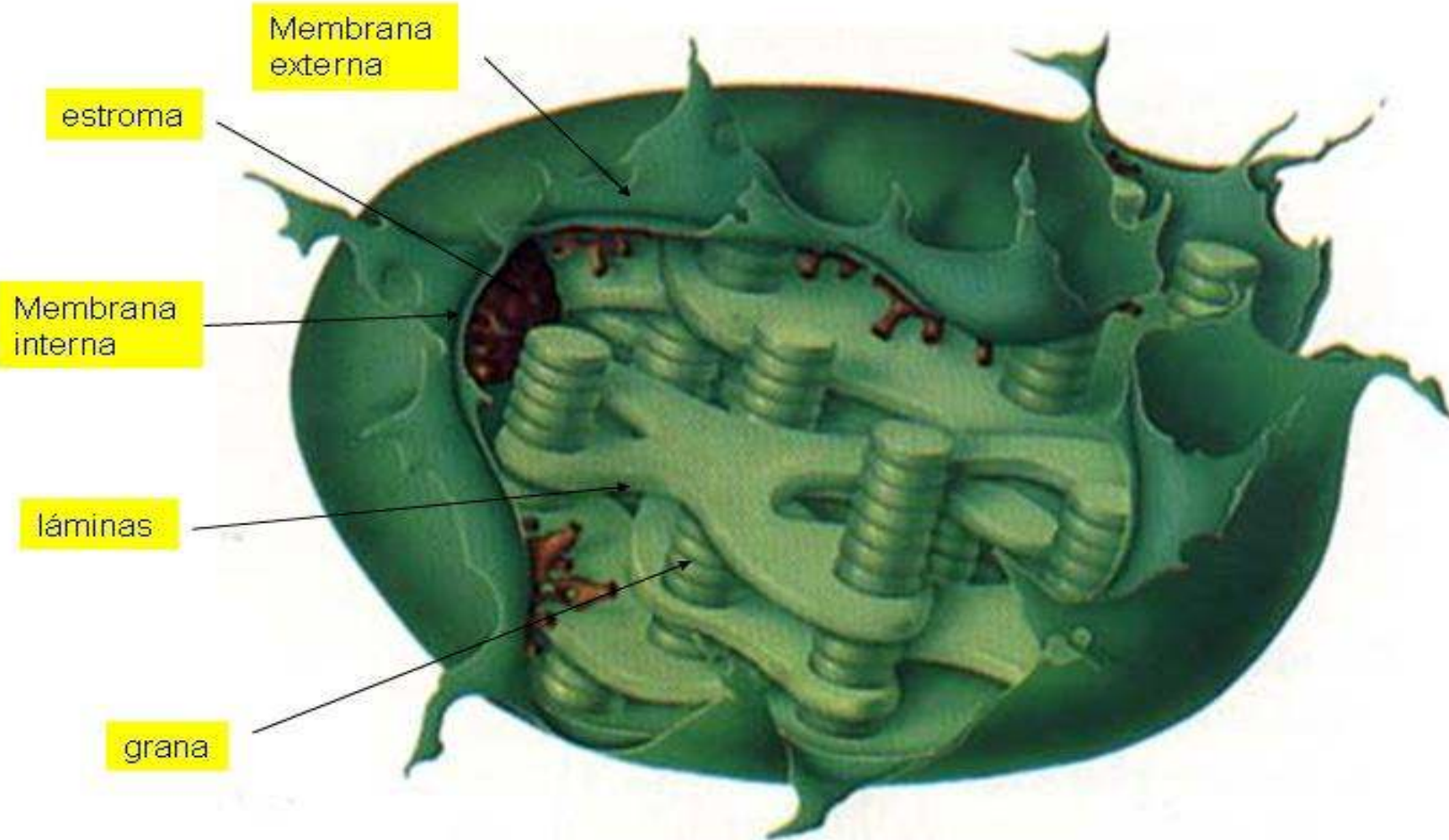


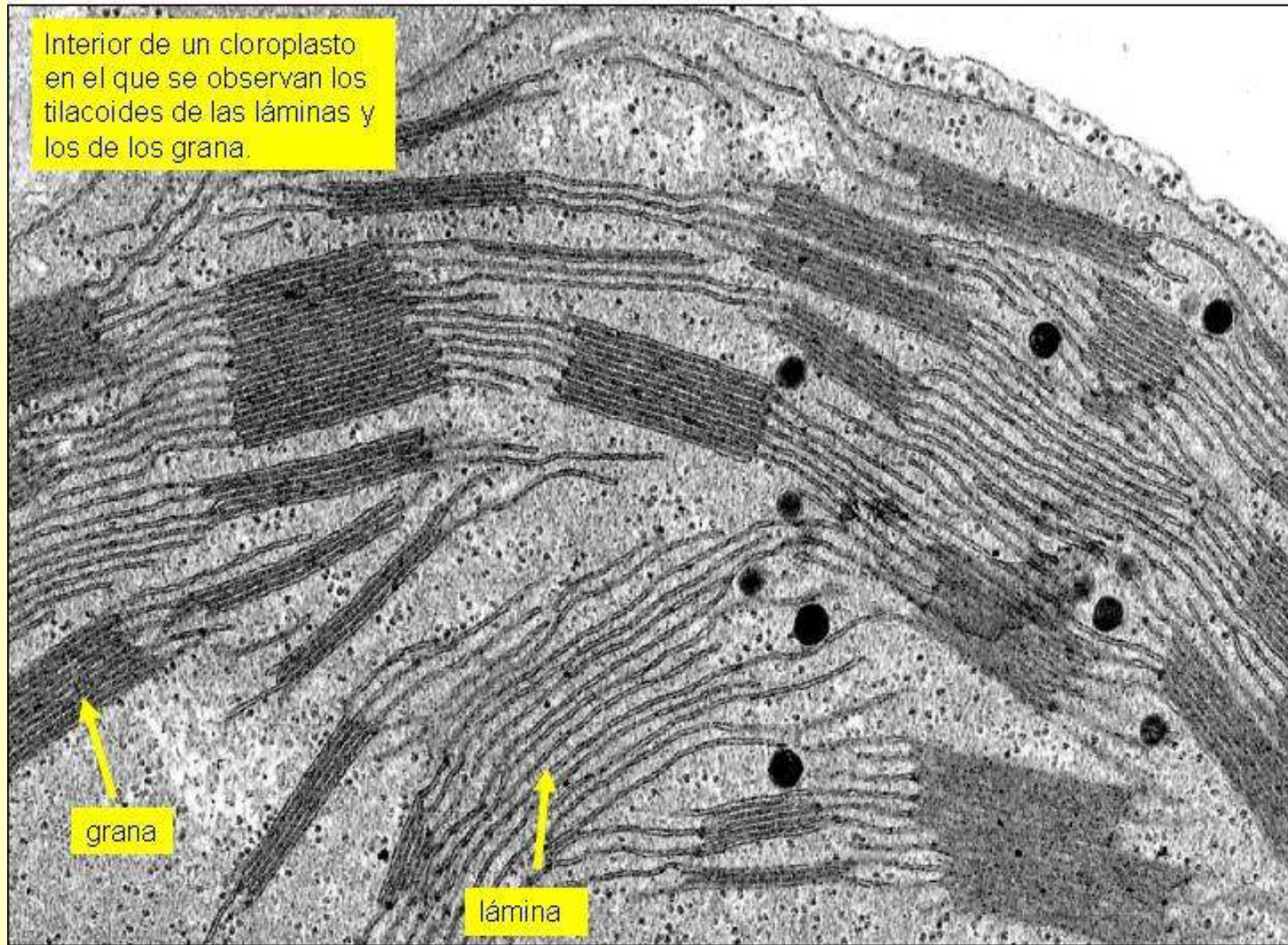
# La fotosíntese realizase nos cloroplastos



# Esquema 3D da ultraestrutura dun cloroplasto

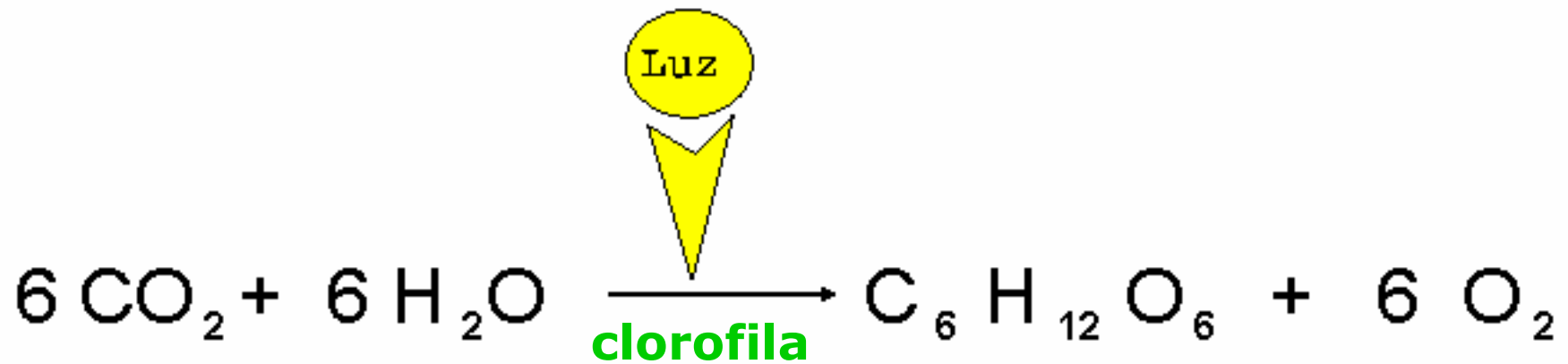
Esquema 3D de la ultraestructura de un cloroplasto





Fonte: [http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo\\_ov/](http://web.educastur.princast.es/proyectos/biogeo_ov/)

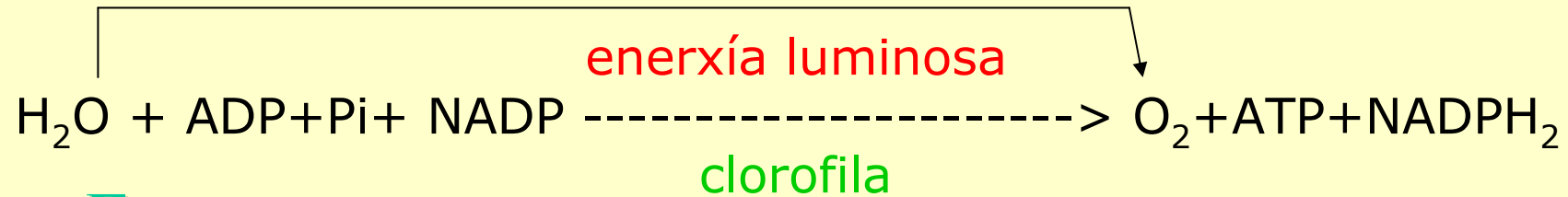
## ECUACIÓN GLOBAL DA FOTOSÍNTESE DO CARBONO



# Fases da fotosíntese

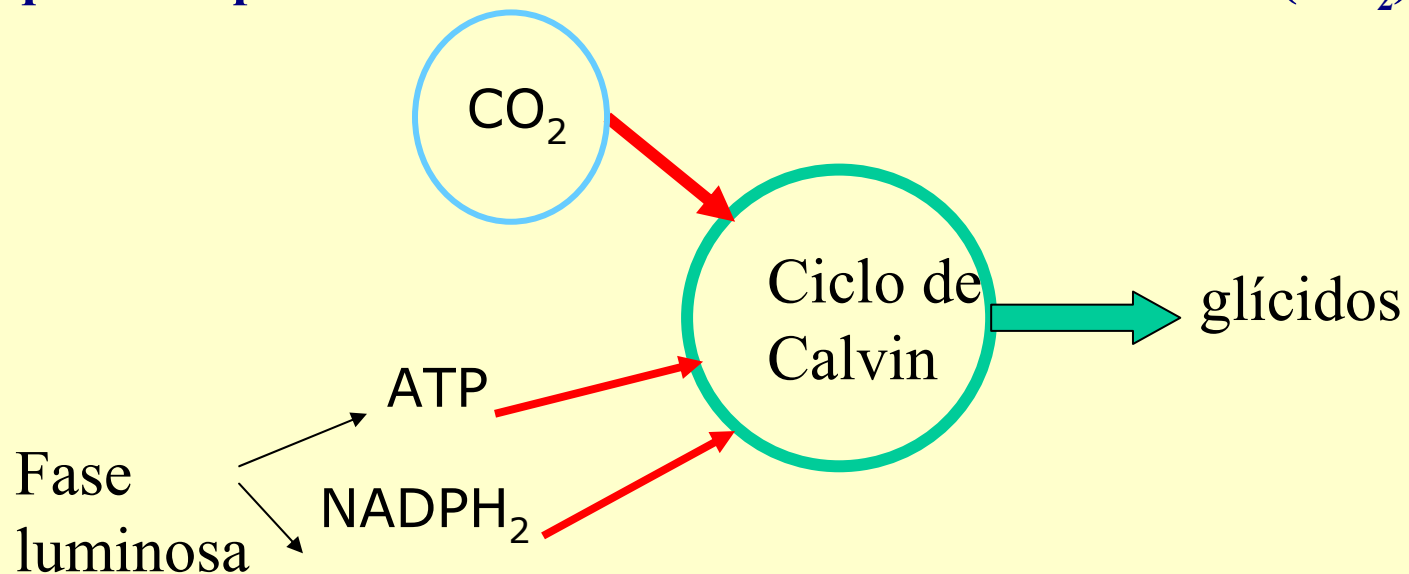
## a) Fase luminosa:

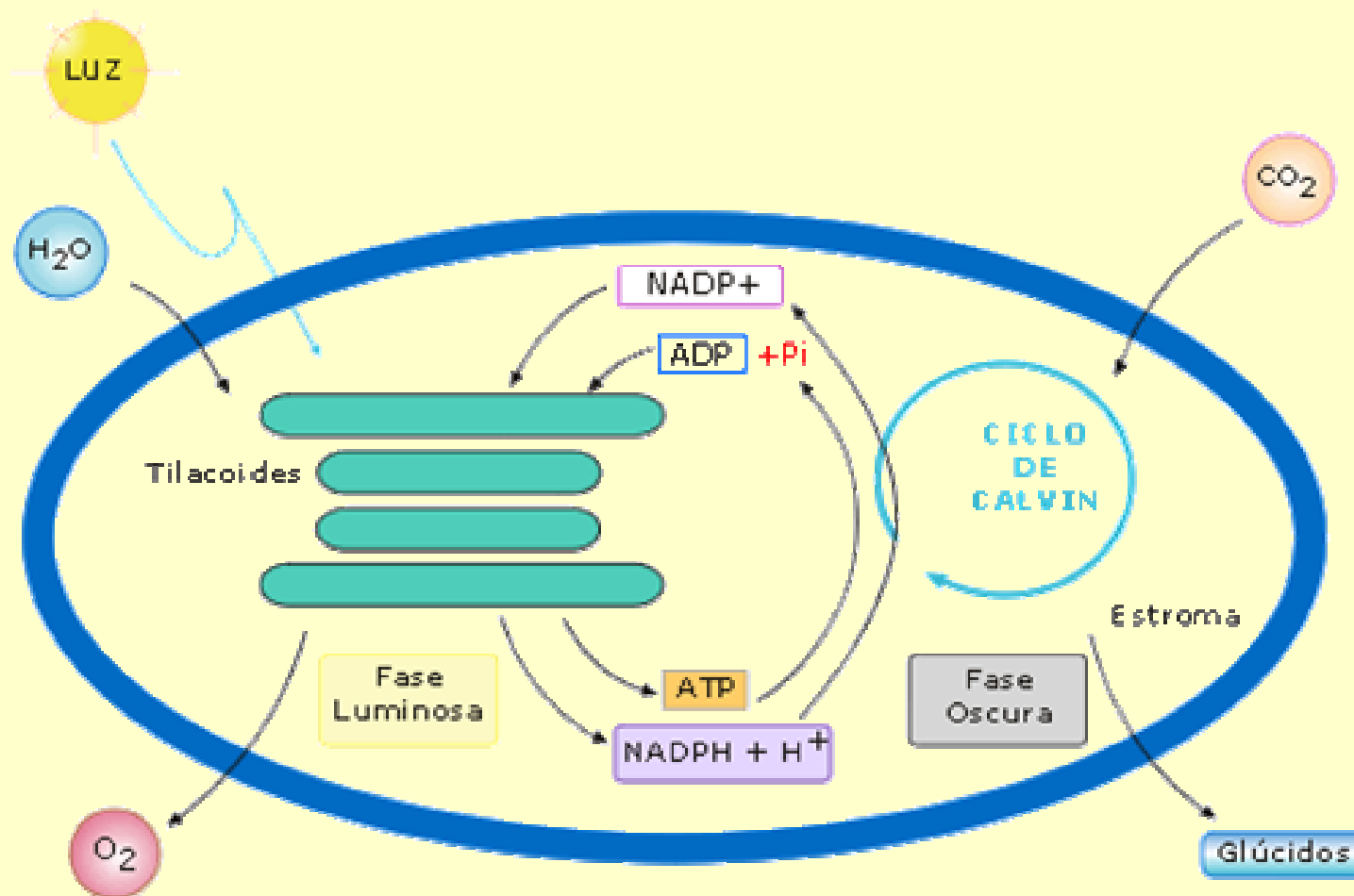
Ten lugar na membrana tilacoidal.



## b) Fase escura:

Ten lugar no estroma. A enerxía (ATP) e o poder reductor (NADPH<sub>2</sub>) producidos na fase luminosa emprégase para reducir e asimilar o carbono que se atopa na natureza nun estado altamente oxidado (CO<sub>2</sub>).



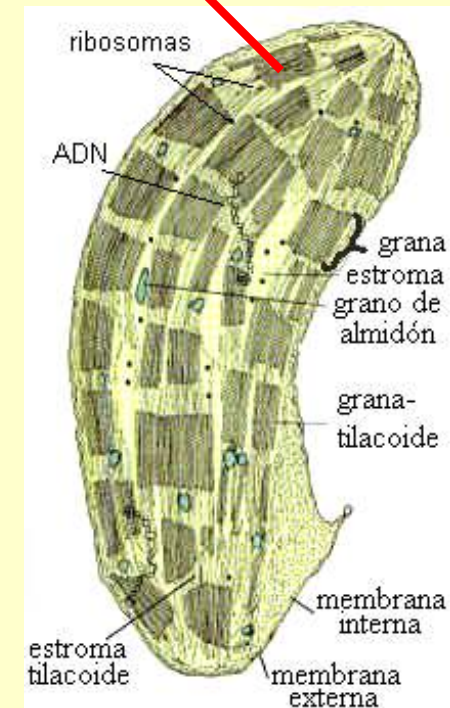
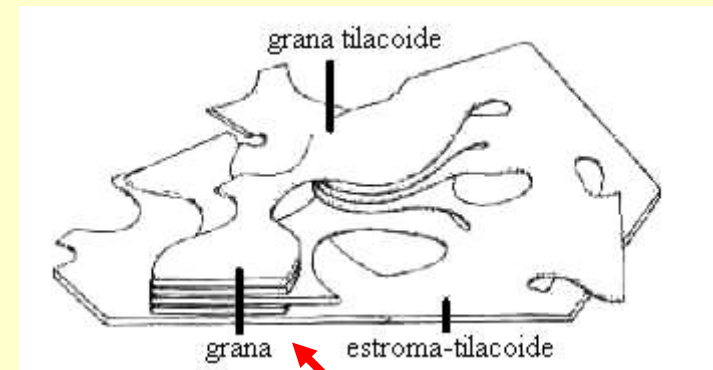


Fonte: <http://recursos.cnice.mec.es/biologia/>

## Fase luminosa

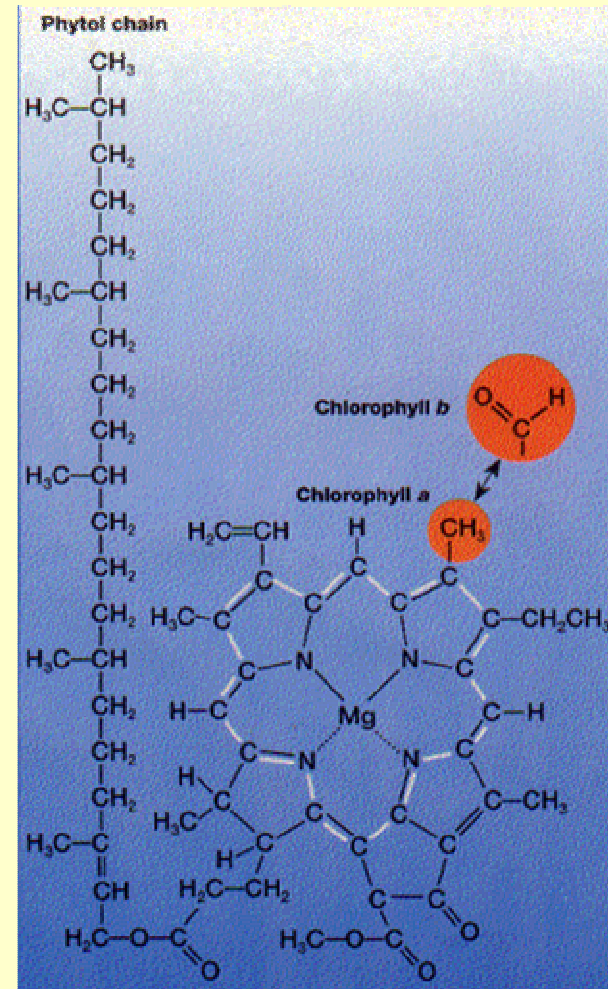
Na membrana tilacoidal atópanse tres tipos de componentes:

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



Cada **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:

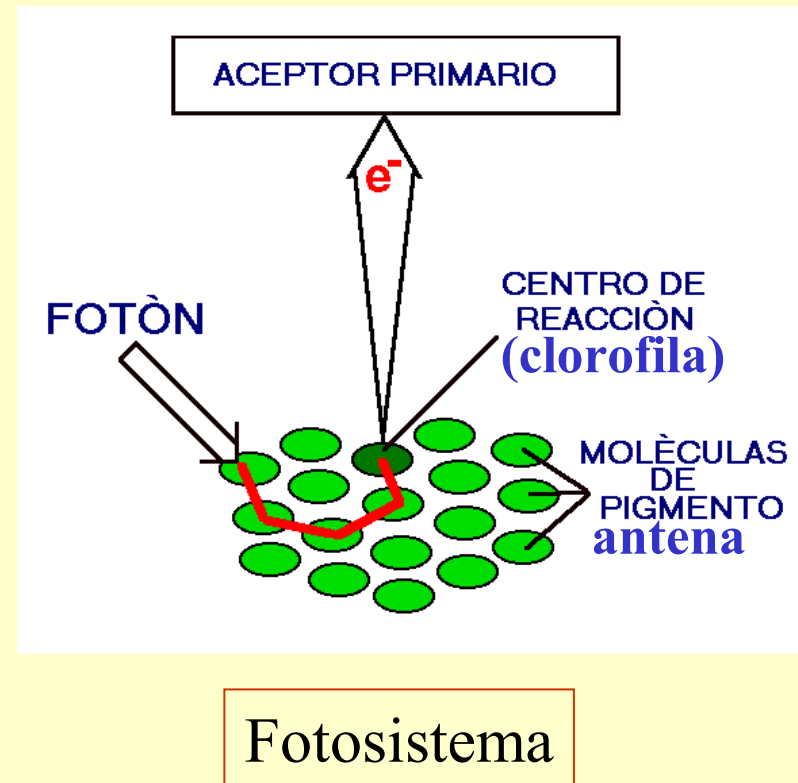
- Perdendo a enerxía extra en forma de luz e calor (fluorescencia).
- Mediante transferencia de enerxía por resonancia, na que a enerxía (pero non o electrón) pasa dun pigmento a outro.
- Mediante unha oxidación do pigmento, ó perder o electrón de alta enerxía, que será captado por un transportador de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

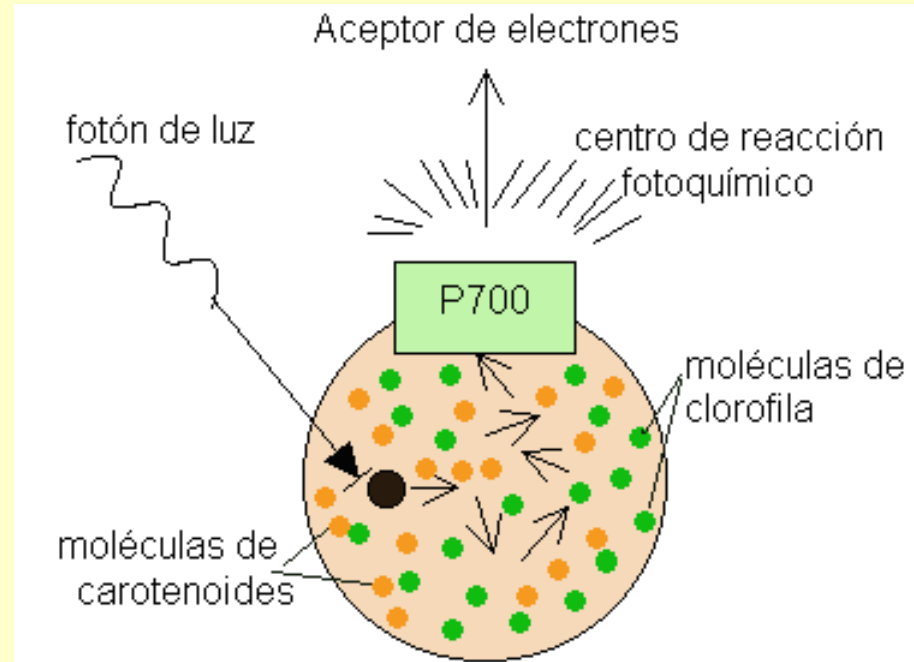
2) A clorofila do **centro de reacción**. A enerxía excita os electróns da clorofila e son transferidos a un aceptor de electróns.



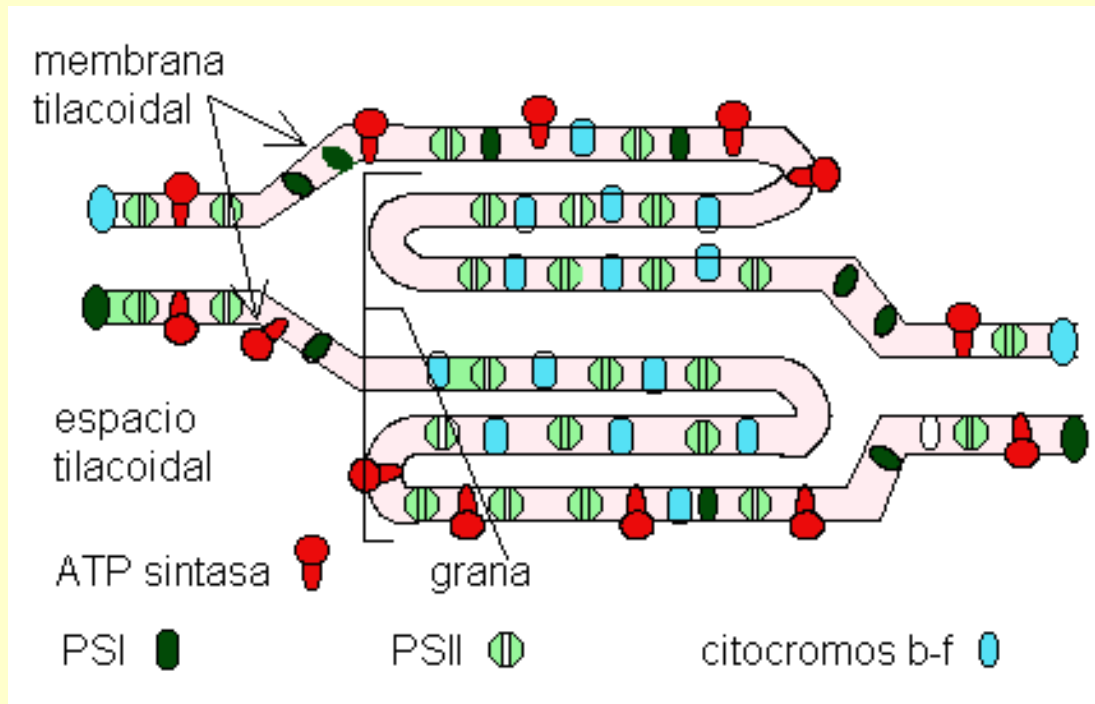
Nos vexetais existen dous tipos de fotosistemas.

O **fotosistema I** (PSI), está asociado a moléculas de clorofila que absorben a lonxitudes de ondas longas (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.

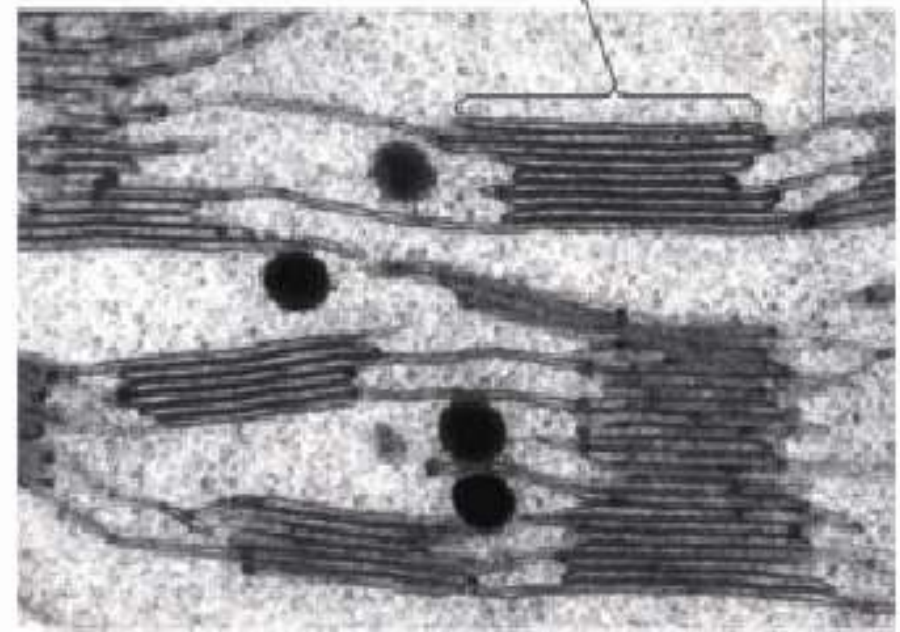
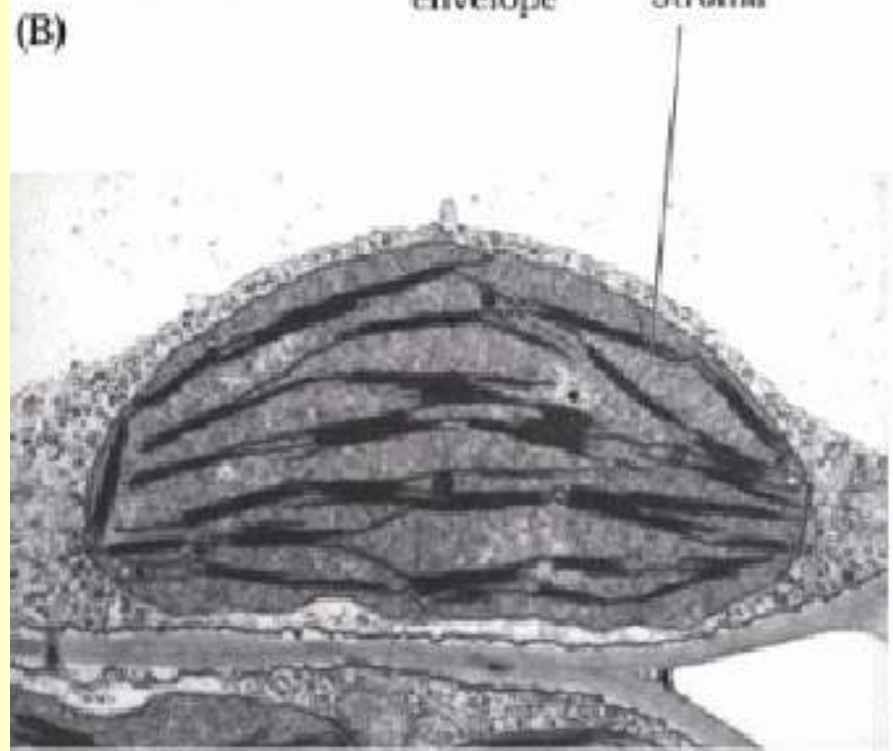
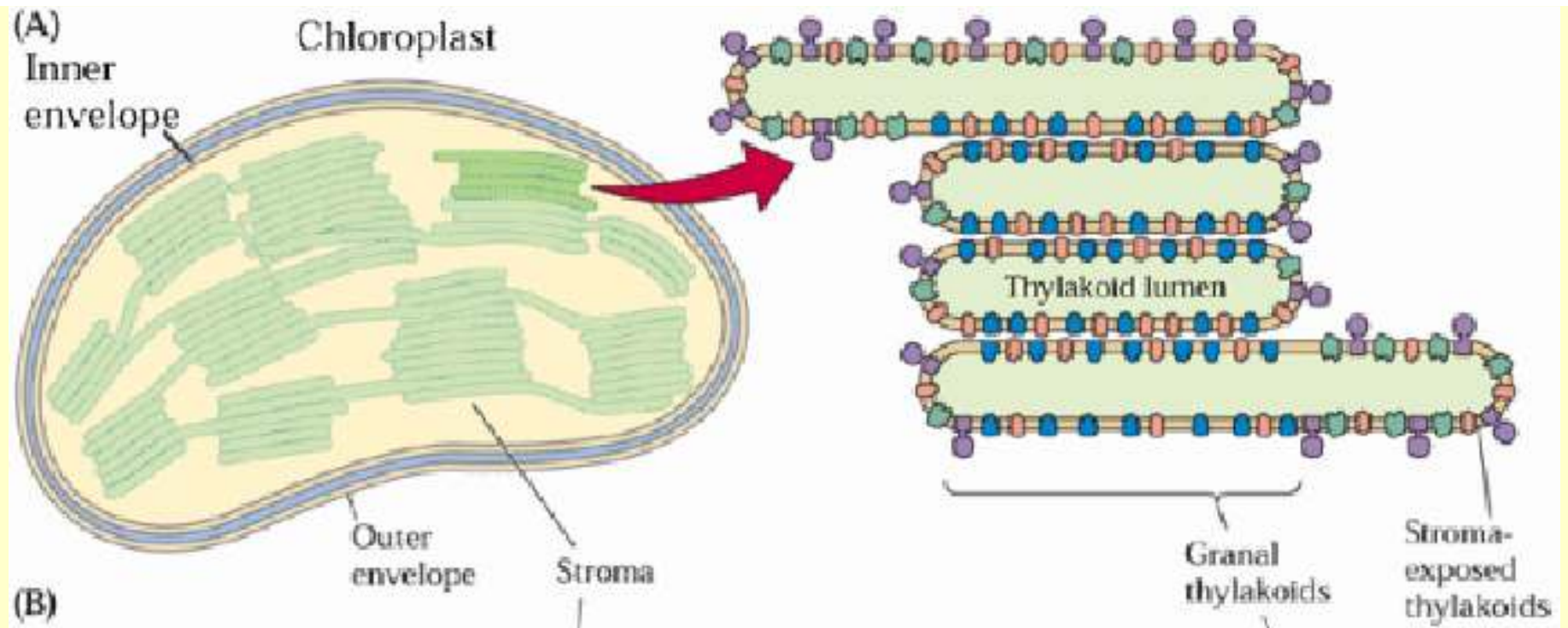


*Moitos organismos procariotas só teñen o fotosistema I (é o máis primitivo desde o punto de vista evolutivo).*



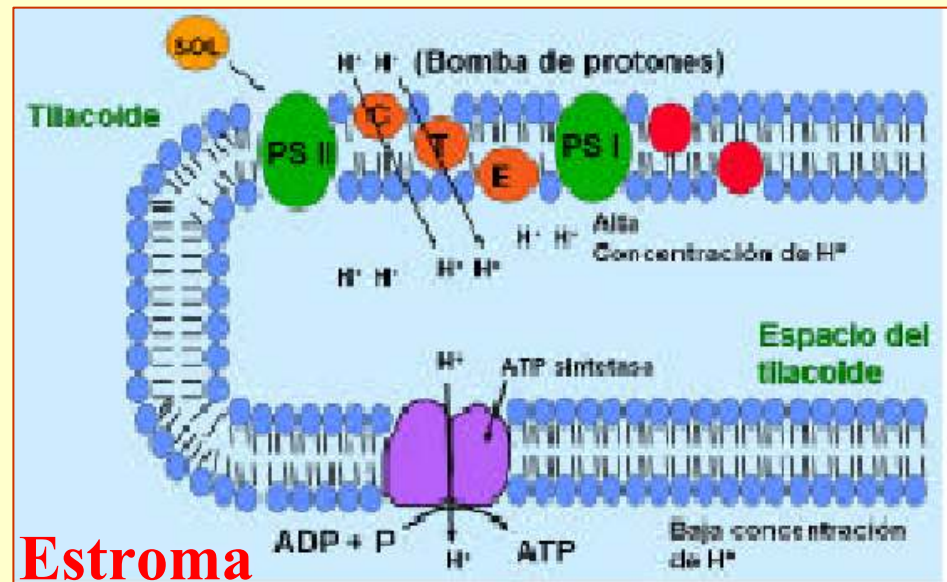
*A distribución dos fotosistemas na membrana tilacoidal*

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 intratilacoide ó estroma polos **complexos ATP-sintetasa** xera ATP, proceso que se denomina **fotofosforilación**.

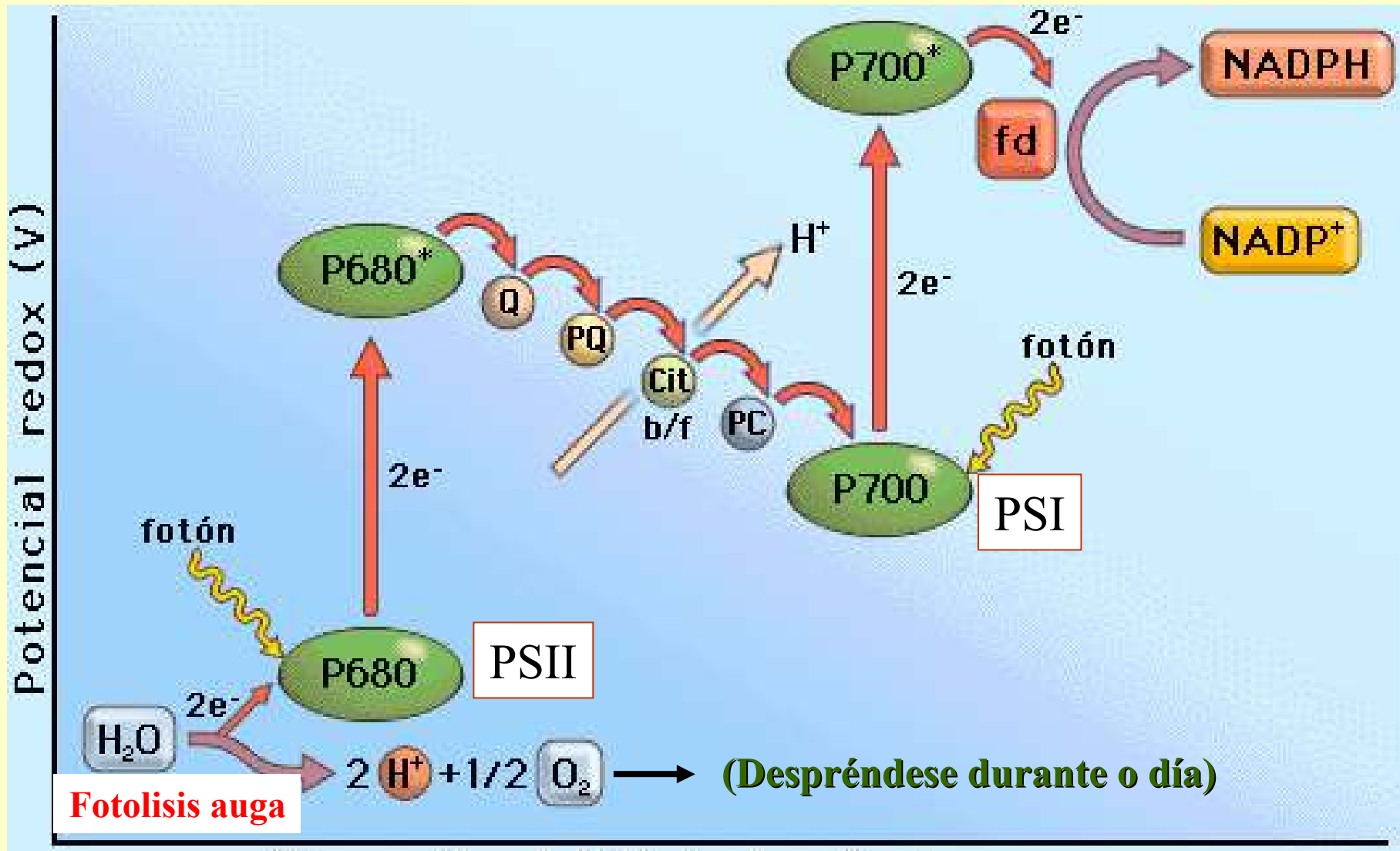


A **fase luminosa** pode presentarse en dúas modalidades:

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

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

# FOTOFOSFORILACIÓN NON CÍCLICA



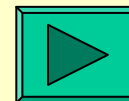
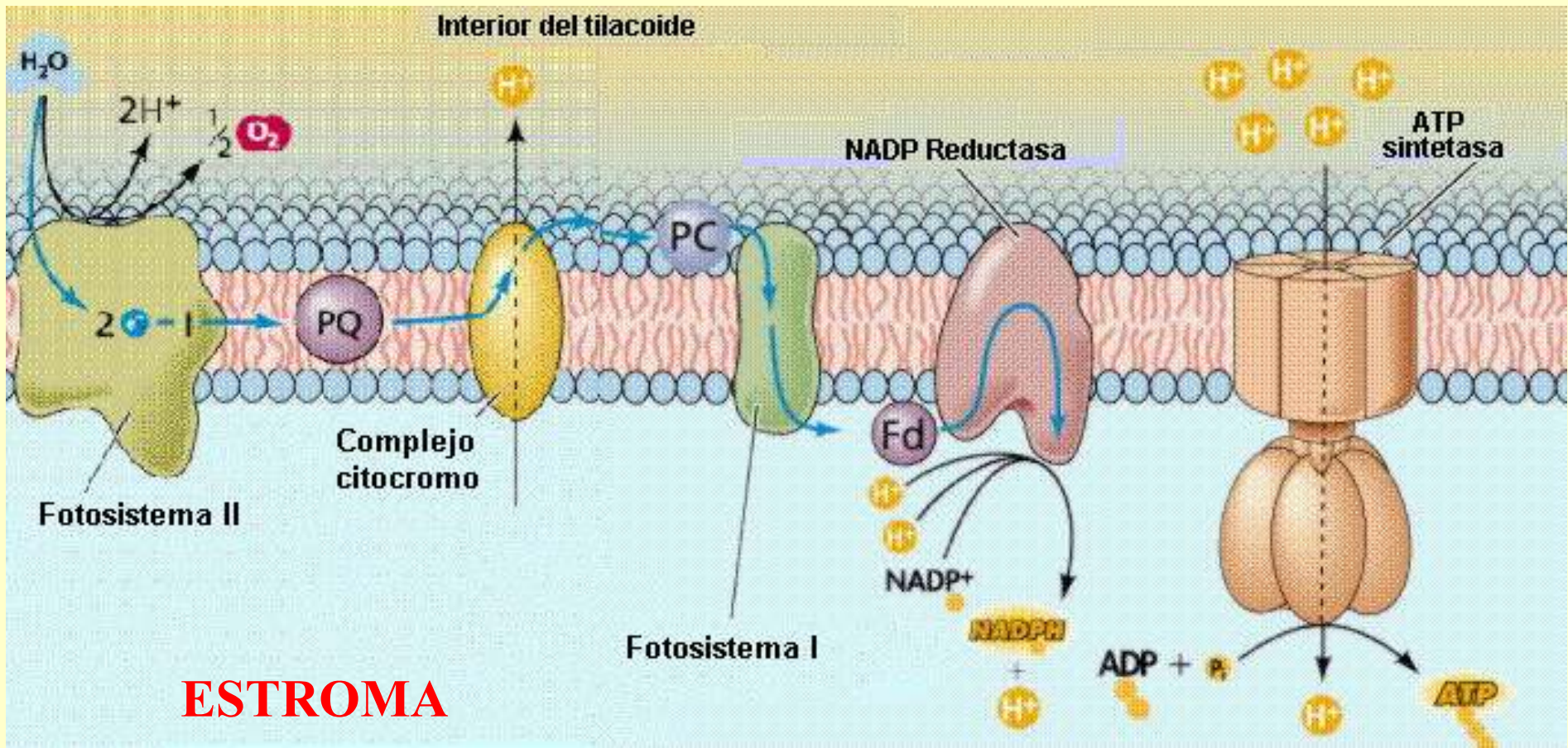
**Dirección do fluxo de electróns**

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).

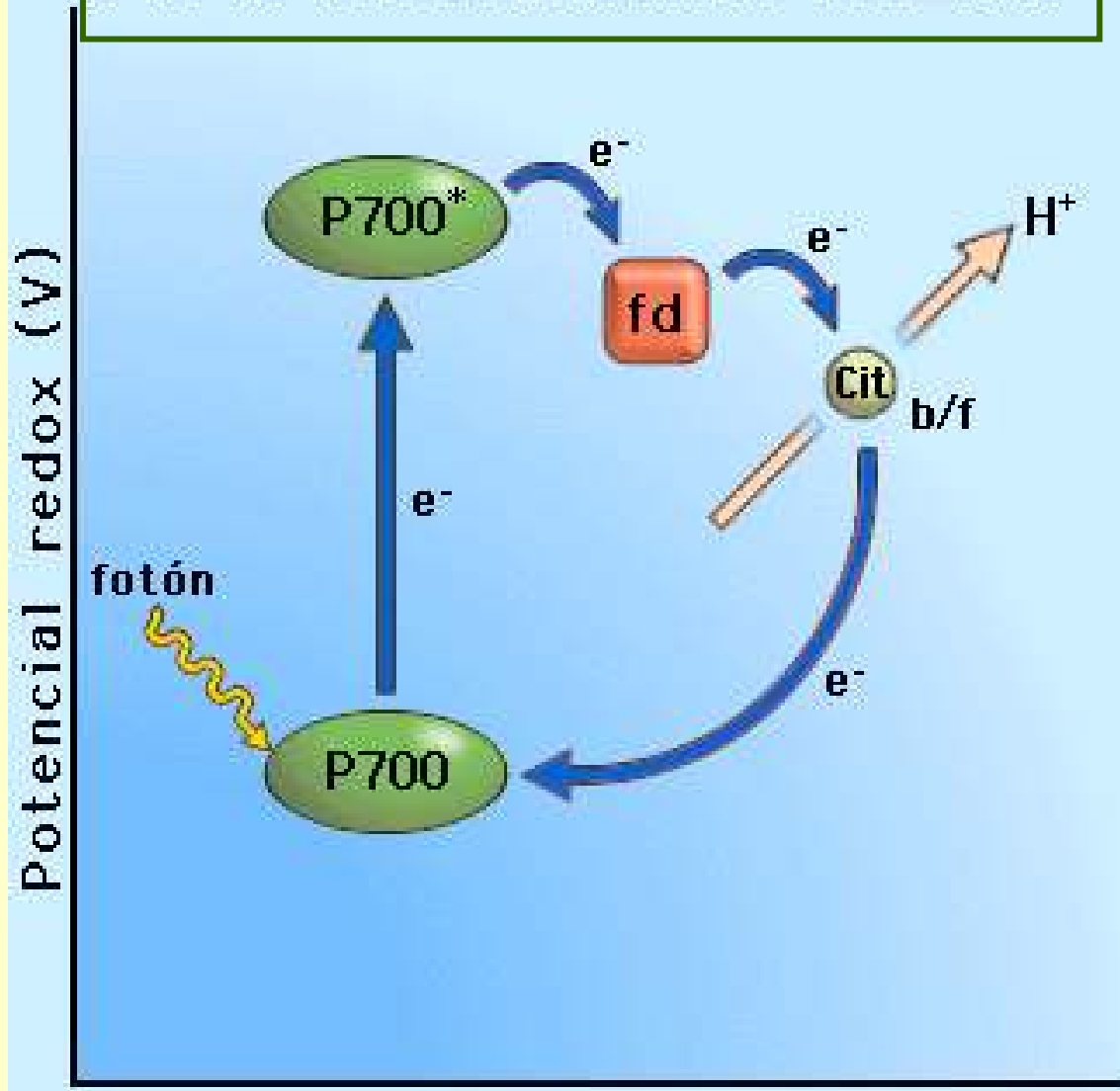
Nas reaccións de **oxidación-reducción** libérase enerxía, esta utilízase para **bombear protóns** desde o estroma ata o interior dos tilacoides, xerándose un **gradiente electroquímico de protóns**. Estes protóns volven ó estroma ó través das ATP-sintetasa sintetizando moléculas de ATP, **fotofosforilación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

Os electróns que perdeu o PSII lle son devoltos pola **fotólisis da H<sub>2</sub>O** 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<sup>+</sup> que é reducida a NADPH<sub>2</sub>, ó recibir dous electróns e dous H<sup>+</sup>.



## FOTOFOSFORILACIÓN CÍCLICA



[http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia\\_celular/contenidos3.htm](http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/contenidos3.htm)

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.

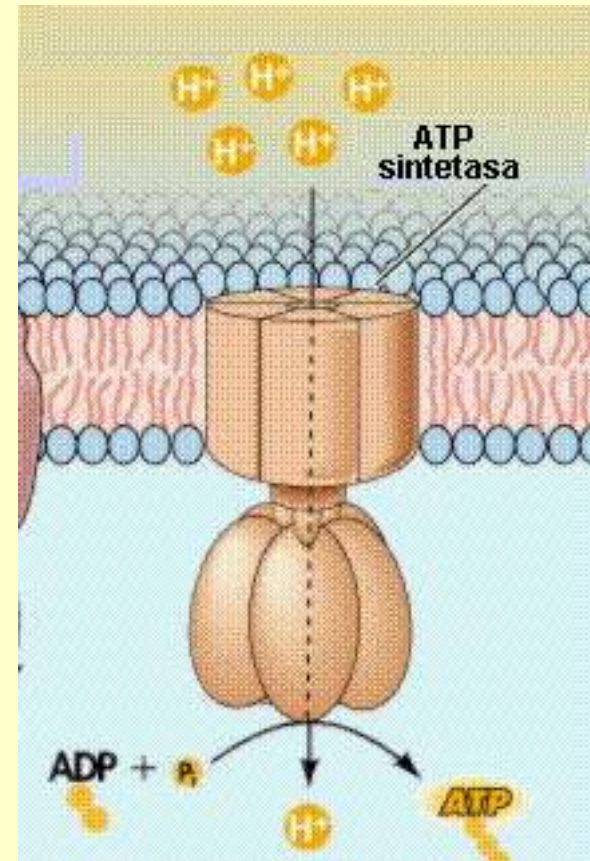
Non hai fotólise da auga e tampouco se xera  $\text{NADPH}_2$ , nin se desprende osíxeno.

**Dirección do fluxo de electróns**

## HIPÓTESE QUIMIOSMÓTICA

A **hipótese quimiosmótica** de Mitchell, que é a que goza de maior prestígio, explica a síntese de ATP tanto no cloroplasto como nas mitocôndrias. A energia liberada pelo transporte de electróns utilízase para **bombear protóns** desde o **estroma ó interior do tilacoide** (cloroplastos) ou desde a matriz ó espazo intermembrana (mitocôndrias). O bombeo de protóns realízase ó través de transportadores localizados en complexos encimáticos existentes na membrana (da membrana tilacooidal ou das cristas 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** .

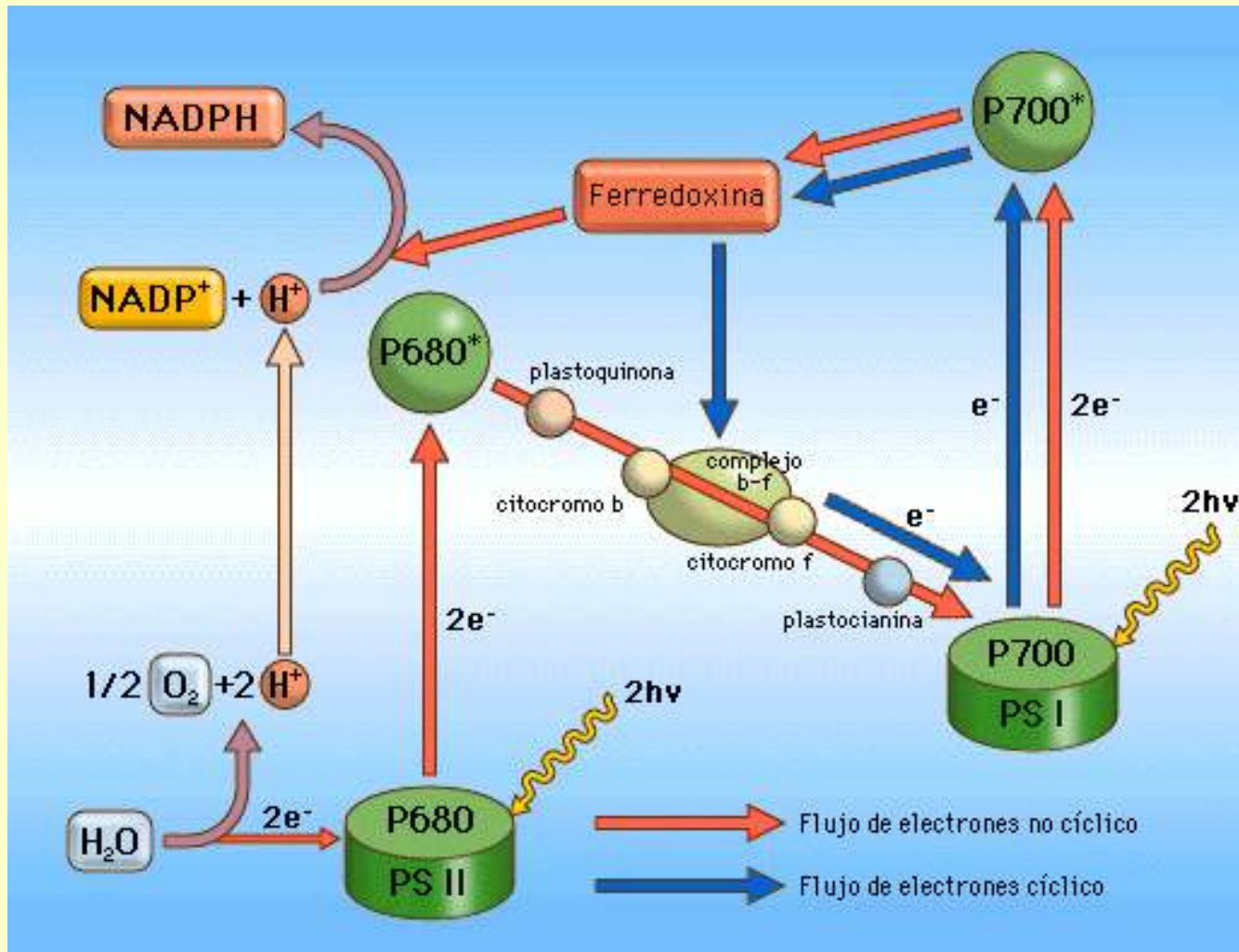


O proceso poderíse comparar con seguinte símil:

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<sup>+</sup>**), a presión (**forza protonmotriz**) pódese acoplar ás turbinas dun xerador eléctrico (**ATP sintetasa**) para producir electricidade (**ATP**).

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

[http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia\\_celular/contenidos3.htm](http://recursos.cnice.mec.es/biosfera/alumno/2bachillerato/Fisiologia_celular/contenidos3.htm)



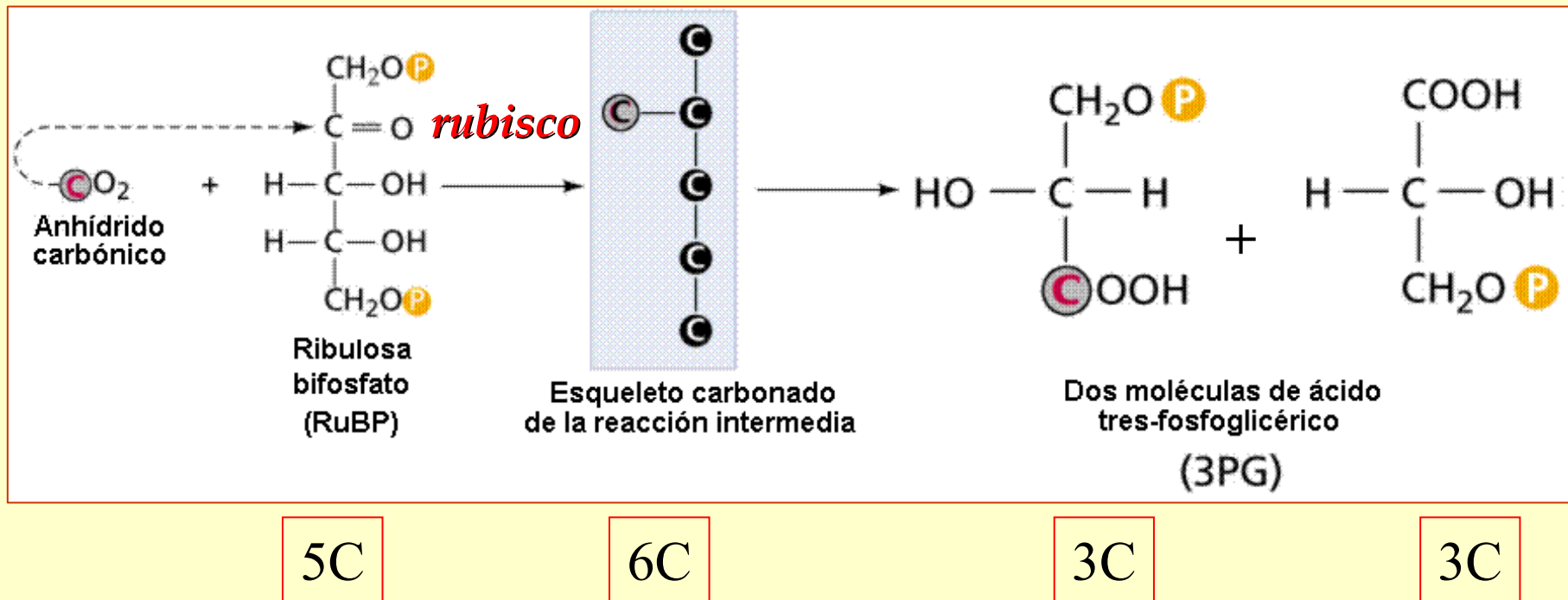
## **Fase escura da fotosíntese**

Na **fase biosintética** úsase a enerxía (ATP) e o poder reductor ( $\text{NADPH}_2$ ), obtidos na fase luminosa para sintetizar materia orgánica a partir de inorgánica ( $\text{CO}_2$ ).

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  $\text{CO}_2$  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**.

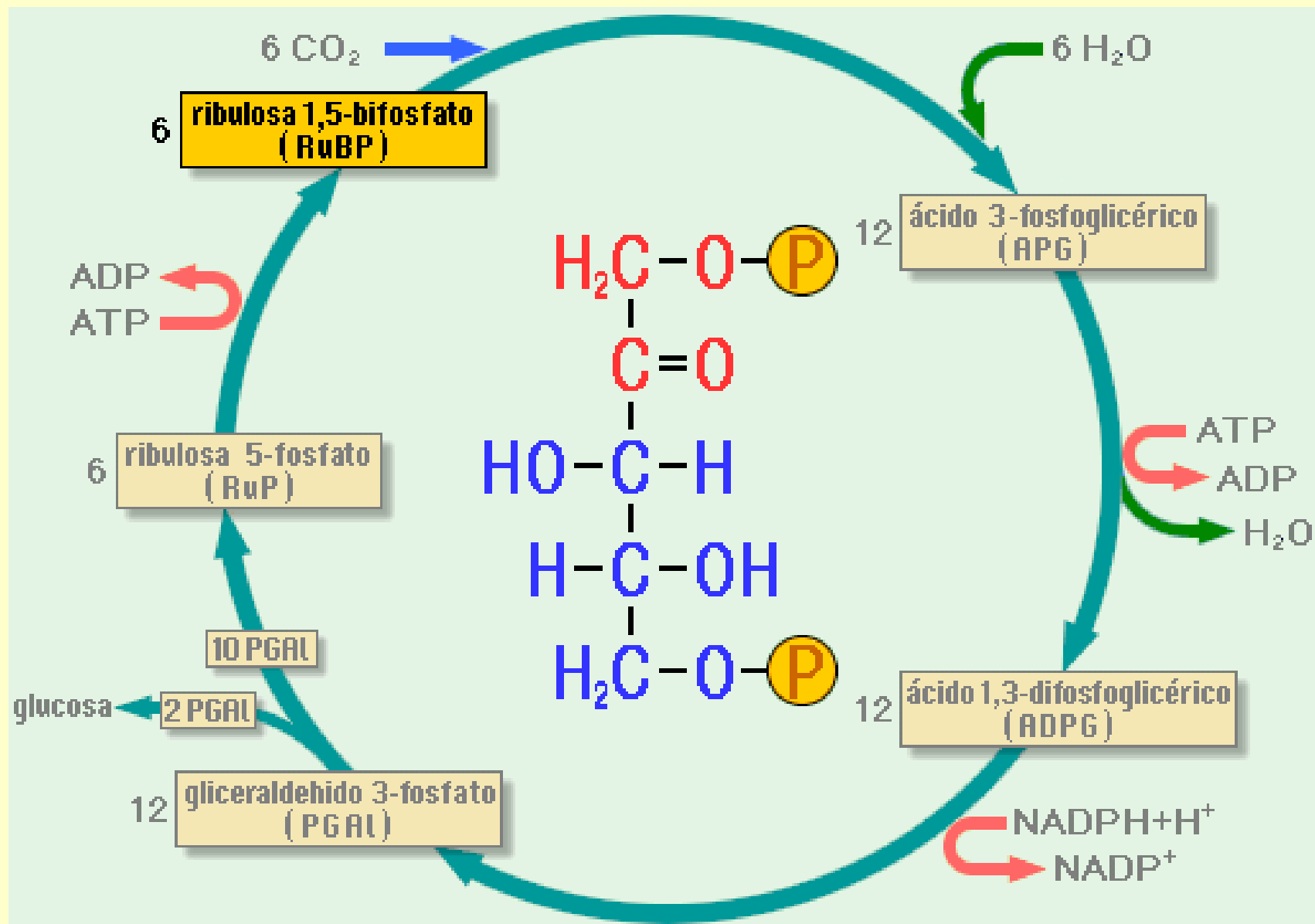


O ciclo de Calvin o podemos resumir en tres fases:

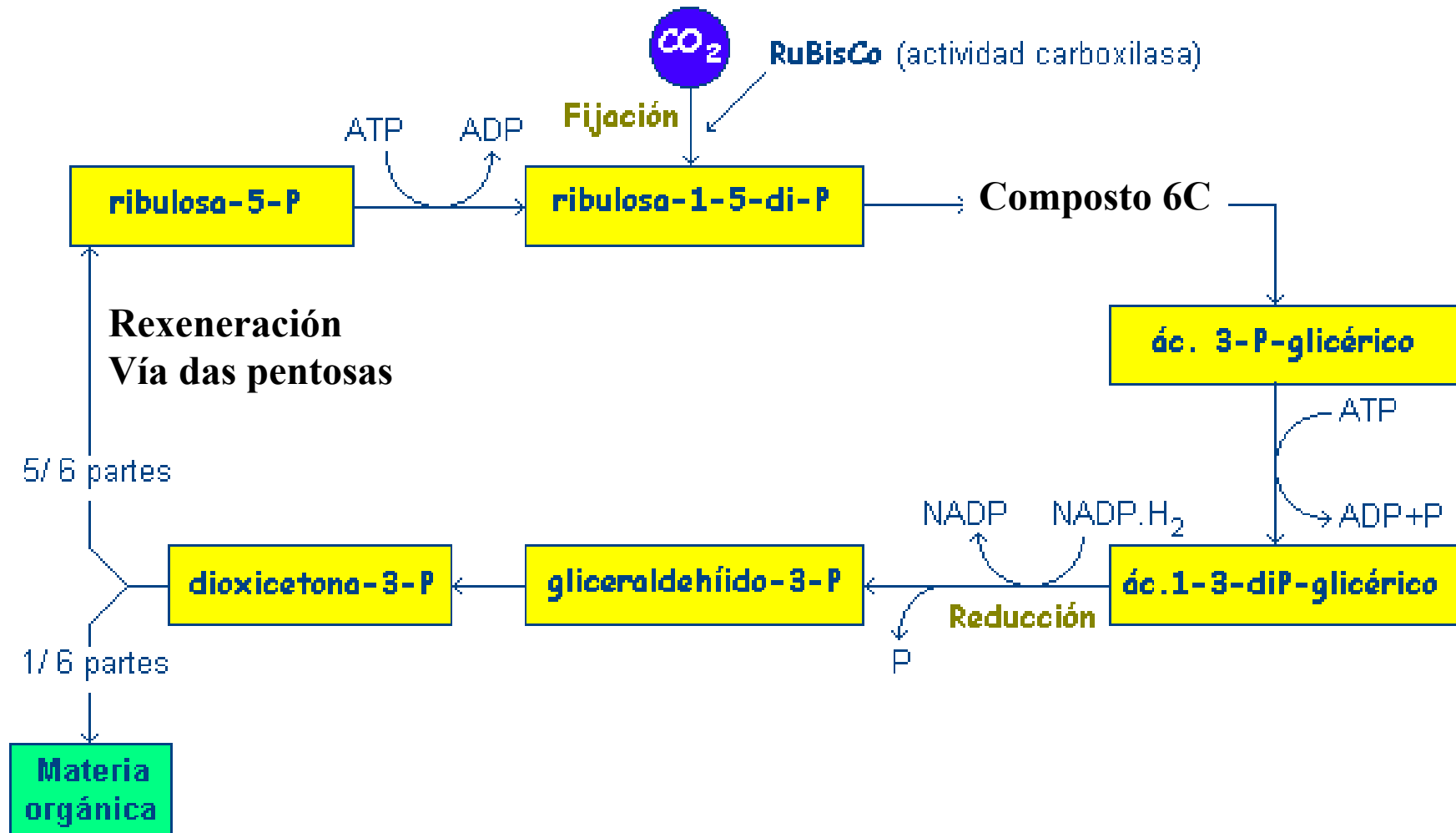
**1. Carboxilativa:** O  $\text{CO}_2$  fixase a unha molécula de 5C, a **ribulosa 1,5 difosfato**, formándose un composto inestable de 6C, que se divide en dous moléculas de **ácido 3 fosfoglicérico (PGA)**

**2. Reductiva:** O ácido 3 fosfoglicérico redúcese a **gliceraldehido 3 fosfato, (PGAL)**, utilizando ATP e  $\text{NADPH}_2$ .

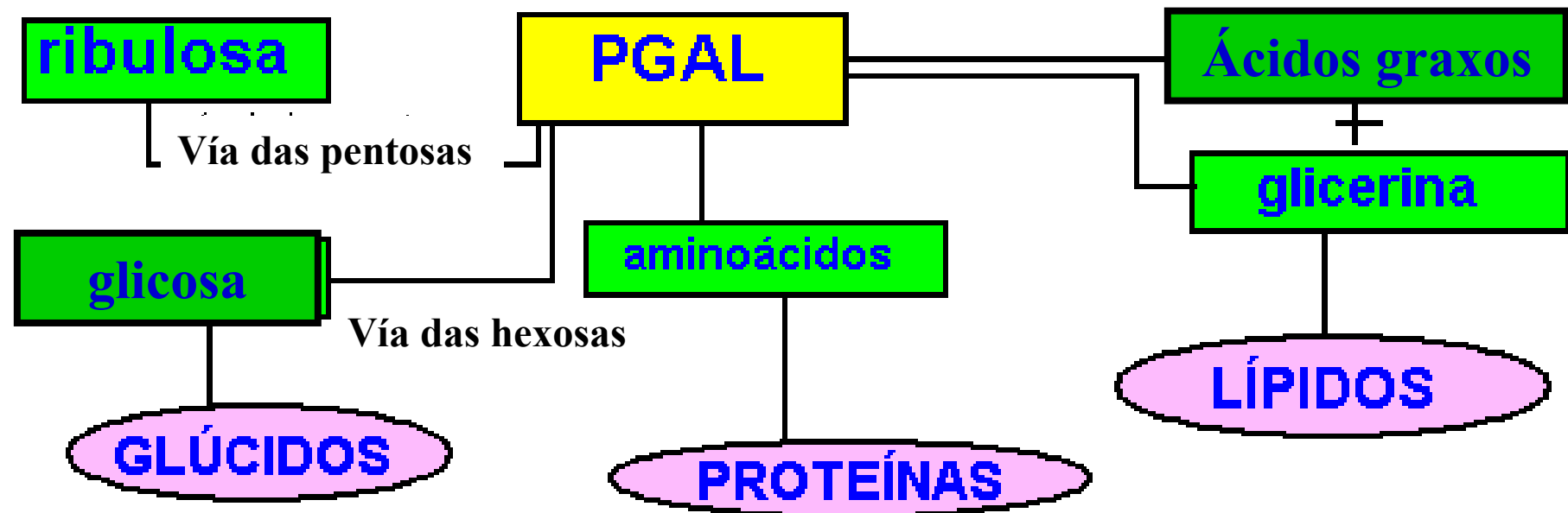
**3. Rexenerativa:** As moléculas de gliceraldehido 3 fosfato formadas seguen diversas rutas; de cada seis moléculas, cinco utilízanse para xerar a **ribulosa 1,5 difosfato** e facer que o **ciclo de Calvin** poda seguir, e unha será empregada para poder sintetizar moléculas de **glicosa, ácidos graxos,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

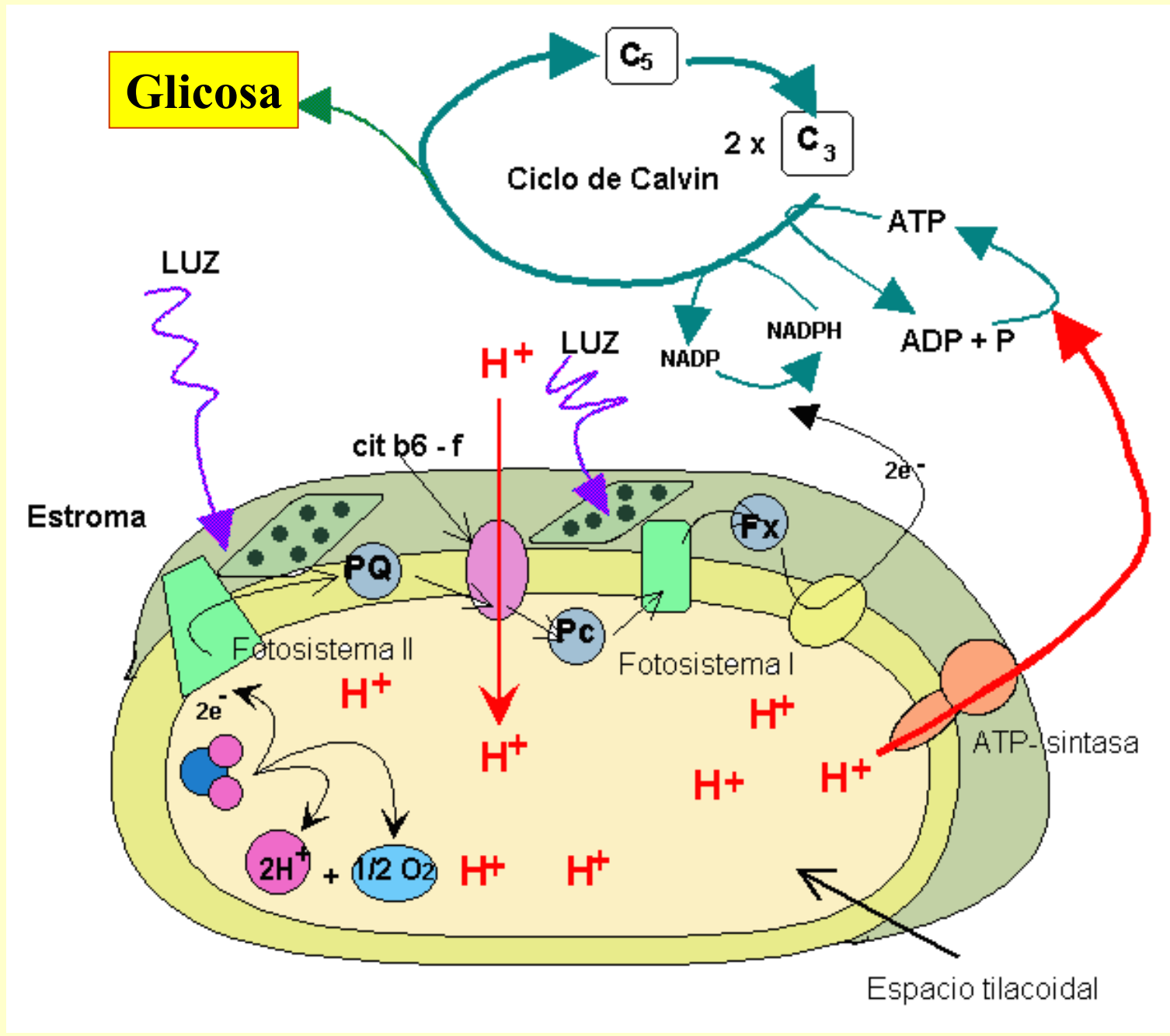


## Ciclo de Calvin-Benson

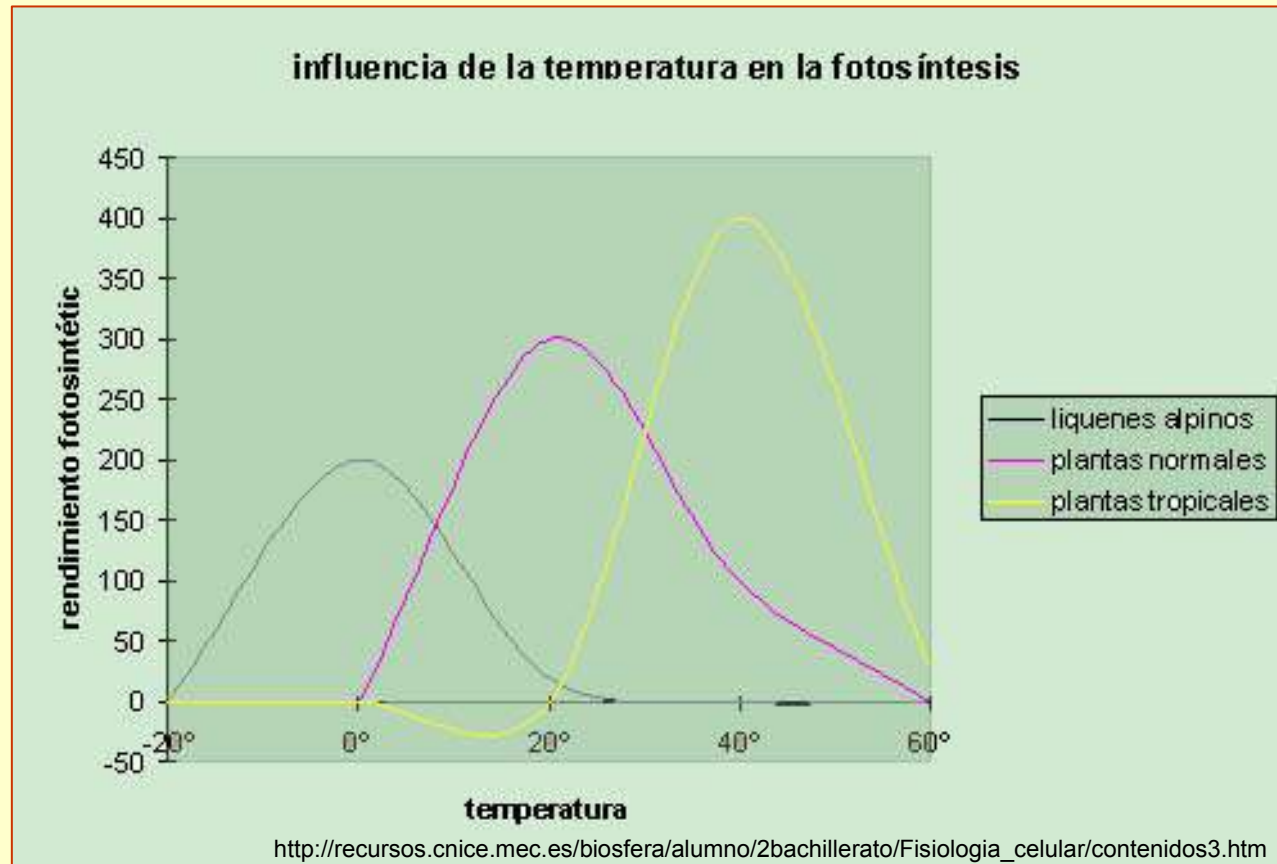


A partir do gliceraldeído-3-fosfato f3rmase, por rotas alternativas, toda a mat3ria org3nica que necessitam os vexetais.

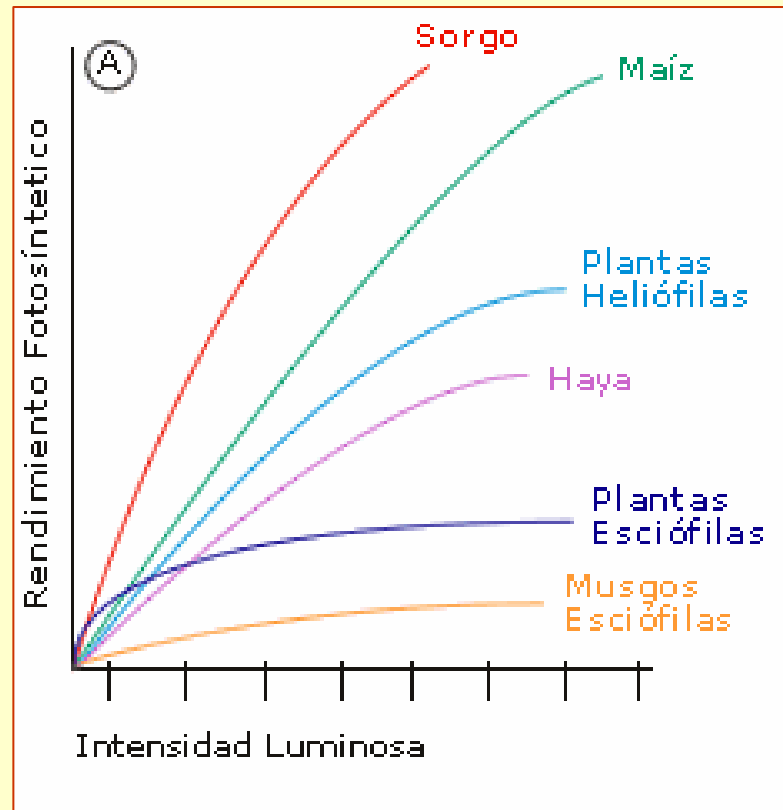




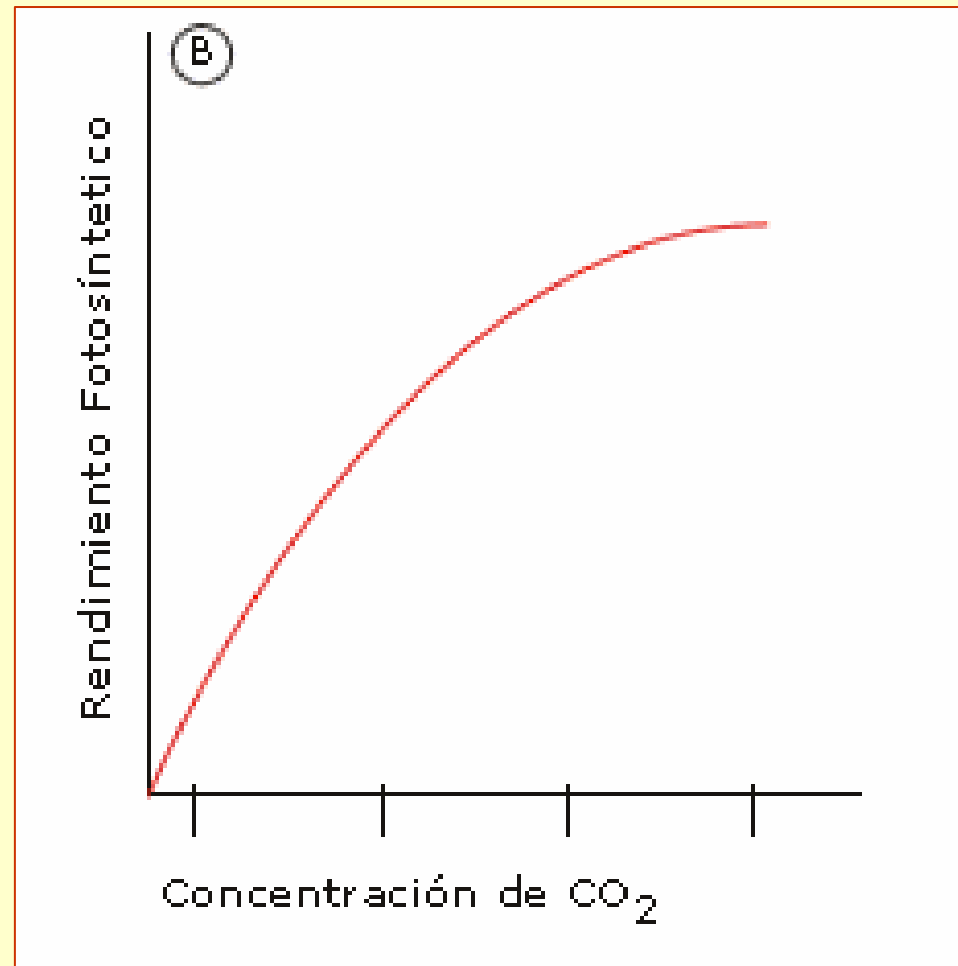
# Factores que influen na fotosíntese.



**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 CO<sub>2</sub>.** A maior concentración de CO<sub>2</sub> maior actividade fotosintética, ata que se chega a un punto no que se estabiliza. A encima rubisco presenta cinética de saturación polo substrato.



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