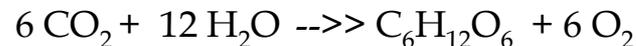


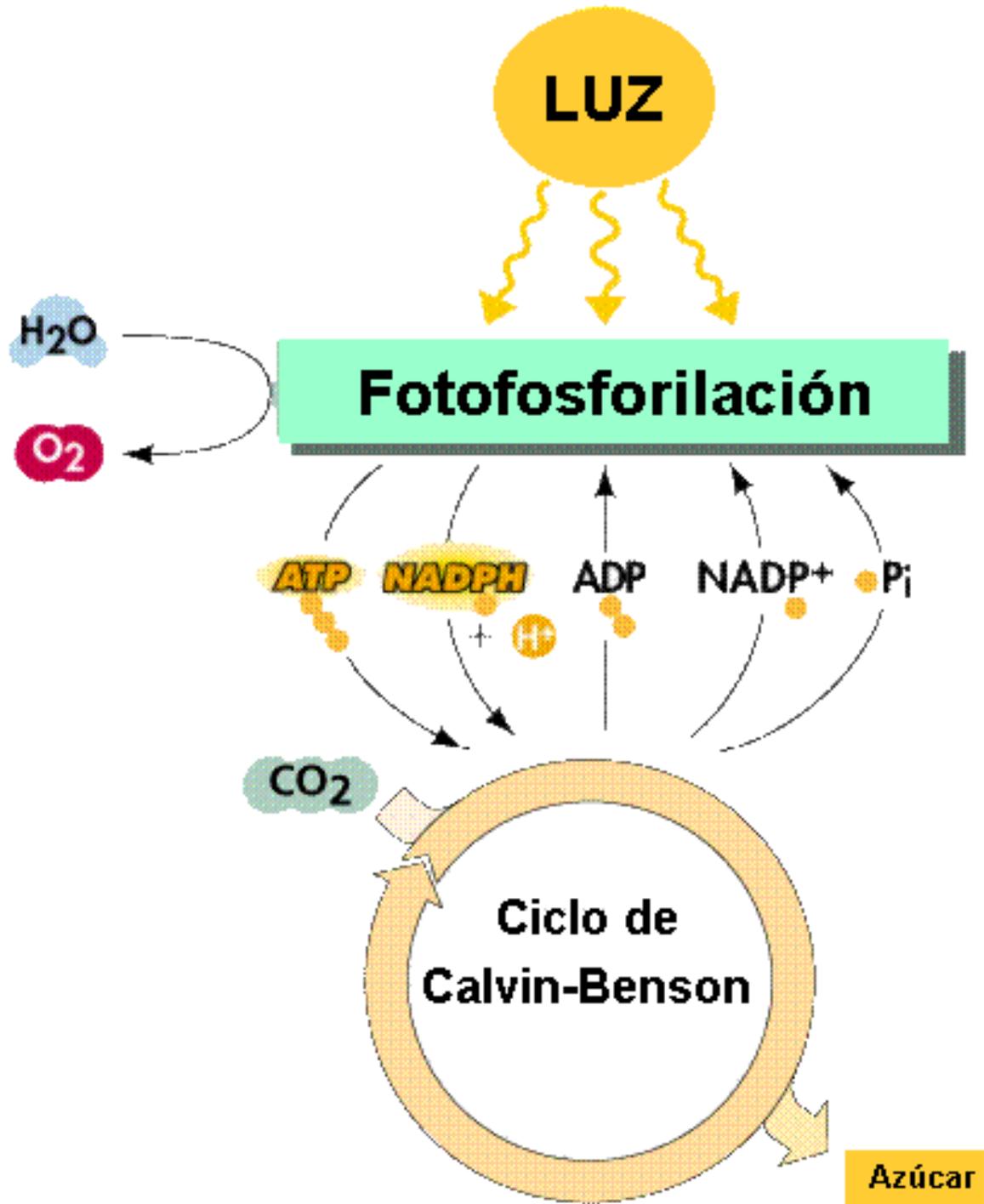
# *Anabolismo: la fotosíntesis*

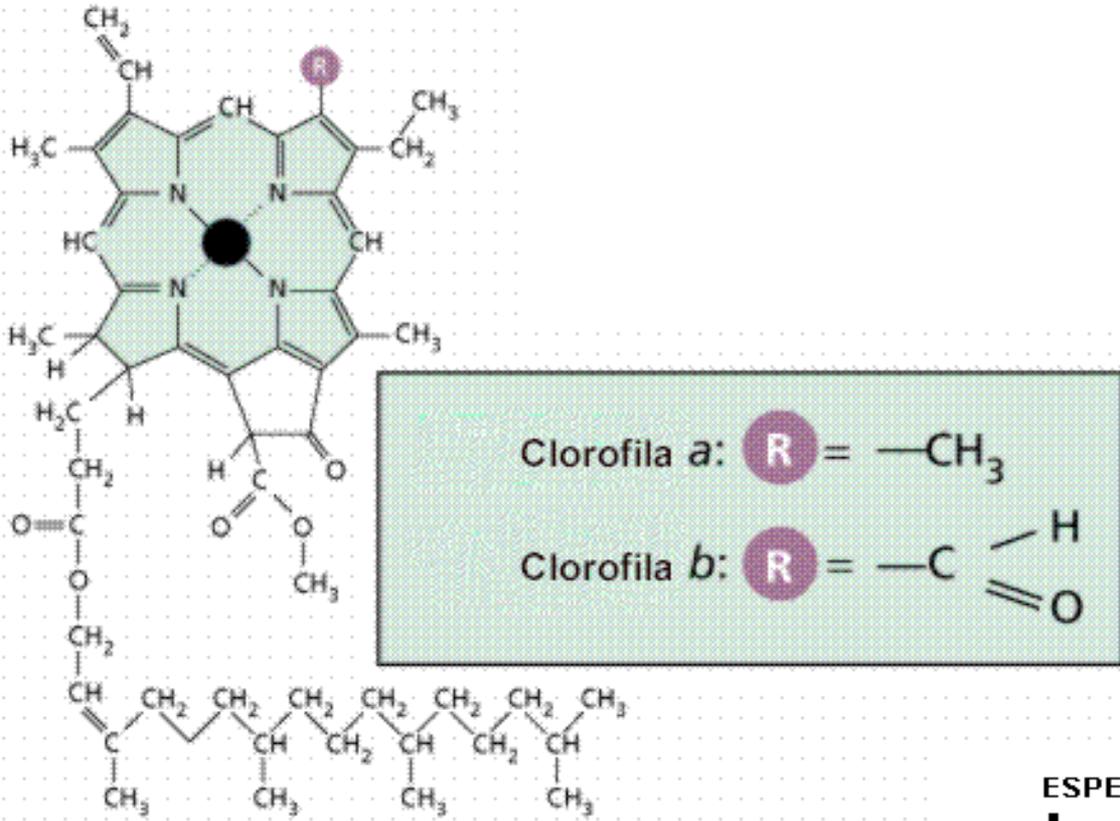
Presentación organizada por  
José Antonio Pascual Trillo

La **fotosíntesis** es un proceso que se desarrolla en dos etapas:

- **Reacciones lumínicas:** es un proceso dependiente de la luz (etapa clara), requiere de energía de la luz para fabricar ATP y moléculas portadoras de energía NADPH reducido, a usarse en la segunda etapa.
- **Ciclo de Calvin- Benson:** es la etapa independiente de la luz (etapa oscura), los productos de la primera etapa mas  $\text{CO}_2$  son utilizados para formar los enlaces C-C de los carbohidratos. Las reacciones de la etapa oscura usualmente ocurren en la oscuridad si los transportadores de energía provenientes de la etapa clara están presentes. Evidencias recientes sugieren que la enzima más importante de la etapa oscura esta estimulada indirectamente por la luz, de ser así el termino no sería correcto denominarla "etapa oscura". La etapa clara ocurre en la grana y la oscura en el estroma de los cloroplastos.

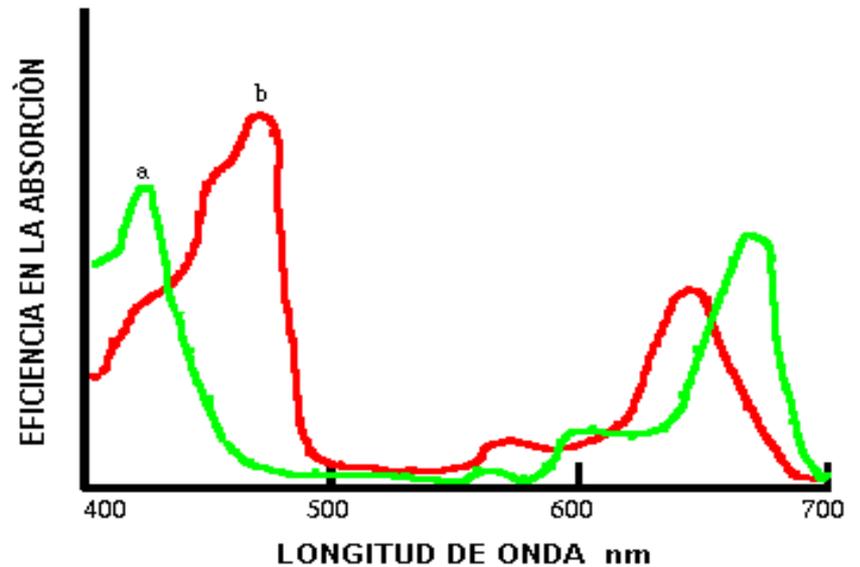




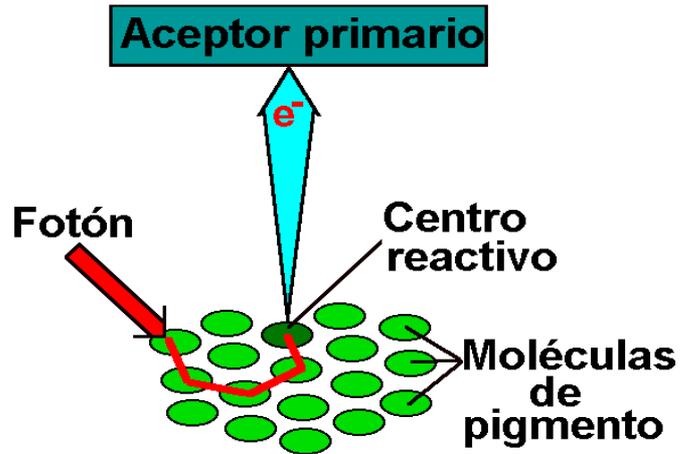


clorofilas

ESPECTRO DE ABSORCIÓN DE LA CLOROFILA A Y B



# Etapa luminosa



En la etapa clara la luz que "golpea" a la clorofila excita a un electrón a un nivel energético superior. En una serie de reacciones la energía se convierte (a lo largo de un proceso de transporte de electrones) en ATP y NADPH. El agua se descompone en el proceso liberando oxígeno como producto secundario de la reacción. El ATP y el NADPH se utilizan para fabricar los enlaces C-C en la etapa oscura.

Los **fotosistemas** son los conjuntos de moléculas de clorofila y otros pigmentos empaquetados en los tilacoides. En el "corazón" del fotosistema se encuentra la **clorofila** que absorbe la luz para convertirse en una forma "activada". La energía contenida en esta clorofila activada se utiliza para hacer funcionar la maquinaria química de la cual depende gran parte de la vida.

Muchos **procariontes** tienen un solo fotosistema: el fotosistema II (si bien fue el primero en la evolución, fue el segundo en descubrirse, de allí el II). Los **eucariotas** usan el fotosistema II más el fotosistema I.

El **Fotosistema I** usa la clorofila a en una forma denominada P700.

El **Fotosistema II** usa una forma de clorofila conocida como P680. Ambas formas "activas" de la clorofila a funcionan en la fotosíntesis debido a su relación con las proteínas de la membrana tilacoide.

La **fotofosforilación** es el proceso de conversión de la energía del electrón excitado por la luz, en un enlace pirofosfato de una molécula de ADP.

**Los organismos eucariotes poseen los Fotosistemas I y II.**  
**muchos procariotas sólo tienen el Fotosistema II**

El **fotosistema I** está asociado a las formas de clorofila a, que absorbe a longitudes de onda de 700 nm ( P700 ), mientras que el **fotosistema II** tiene un centro de reacción que absorbe a una longitud de onda de 680 nm ( P680 ).

Cada uno de estos fotosistemas se encuentra asociado a polipeptidos en la membrana del tilacoide y absorben energía luminosa independientemente.

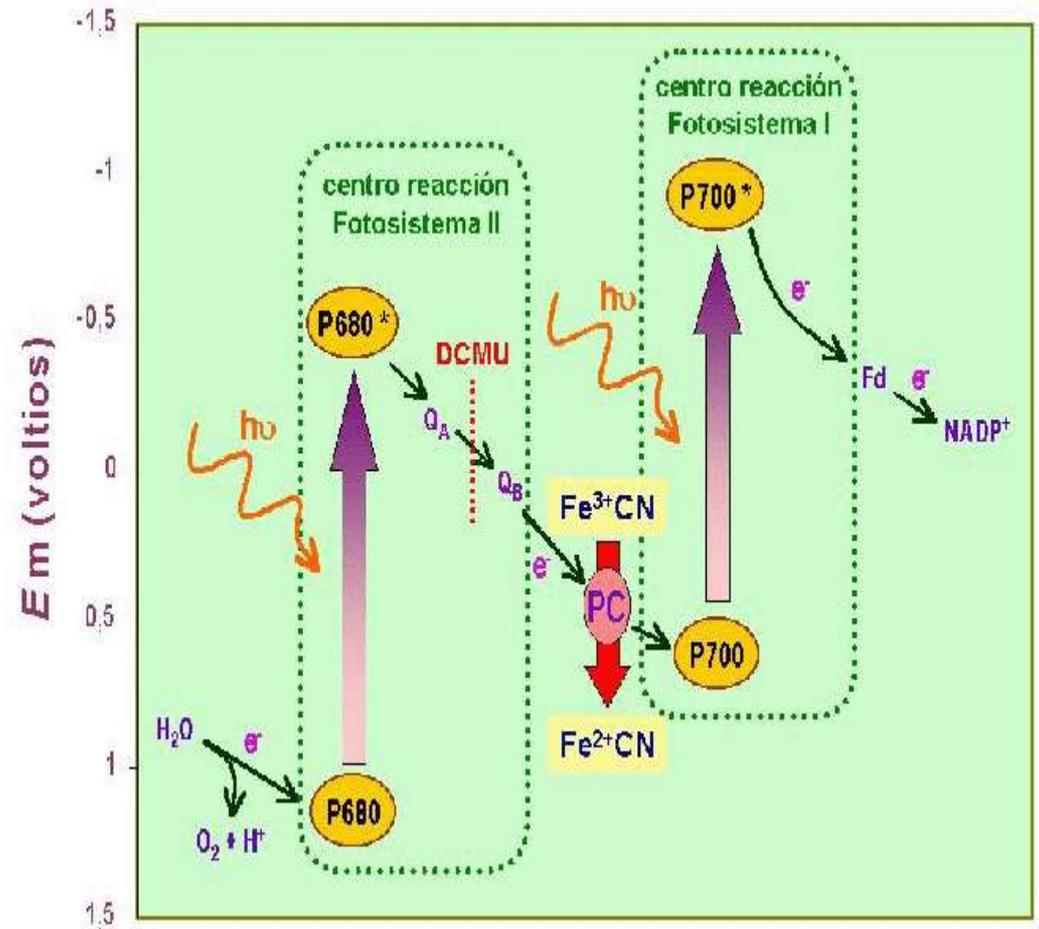
En el **fotosistema II**, se produce la **fotólisis del agua y la liberación de oxígeno**; sin embargo ambos fotosistemas operan en serie, **transportando electrones**, a través de una **cadena transportadora de electrones**.

En el **fotosistema I** se transfieren dos electrones a la molécula de NADP<sup>+</sup> y se forma NADPH, en el lado de la membrana del tilacoide que mira hacia el estroma (externa).

Existen dos tipos de fotosistemas, el **fotosistema I (FSI)**, está asociado a moléculas de clorofila que absorben a longitudes de ondas largas (700 nm) y se conoce como P700.

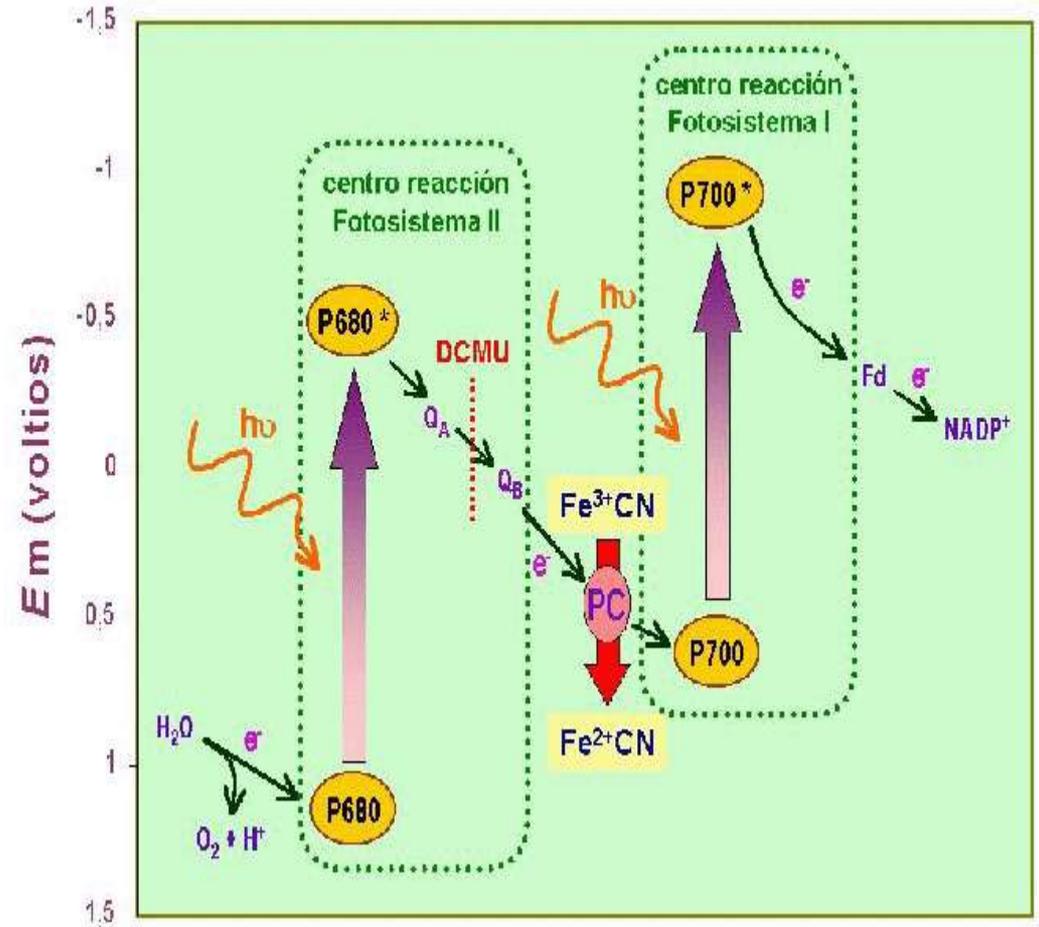
El **fotosistema II (FSII)**, está asociado a moléculas de clorofila que absorben a 680 nm. por eso se denomina P680.

La luz es recibida en el FSII por la clorofila P680 que se oxida al liberar un electrón que asciende a un nivel superior de energía; ese electrón es recogido por una sustancia aceptora de electrones que se reduce, la Plastoquinona (PQ) y desde ésta va pasando a lo largo de una cadena transportadora de electrones, entre los que están varios citocromos (cyt b/f) y así llega hasta la plastocianina (PC) que se los cederá a moléculas de clorofila del FSI.

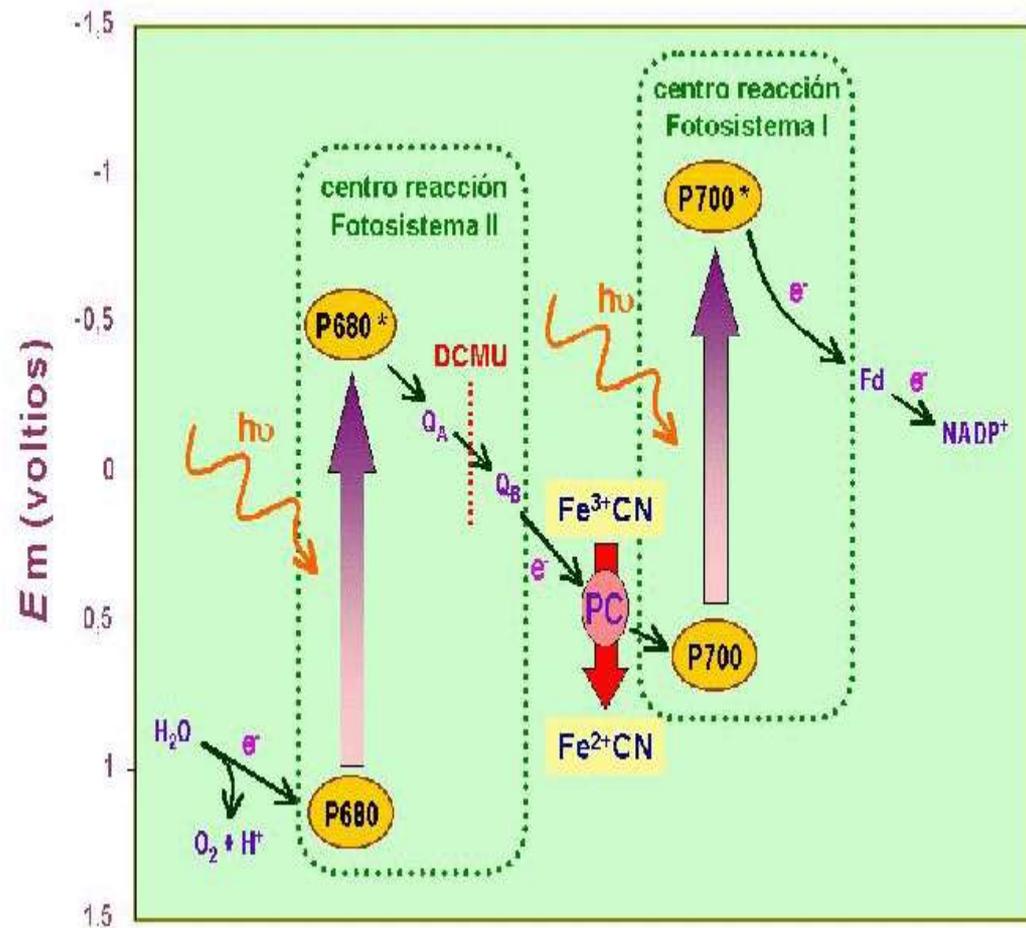


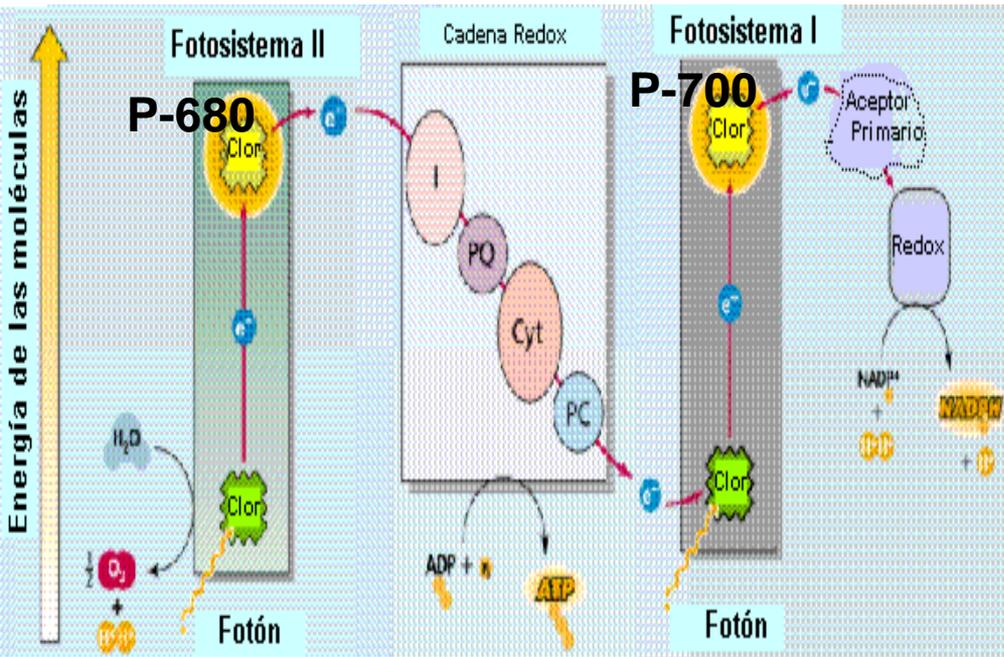
En el descenso por esta cadena, con oxidación y reducción en cada paso, el electrón va liberando la energía que tenía en exceso; energía que se utiliza para bombear protones de hidrógeno desde el estroma hasta el interior de los tilacoides, generando un **gradiente electroquímico de protones**. Estos protones vuelven al estroma a través de la ATP-asa y **se originan moléculas de ATP**.

El fotosistema II se reduce al recibir electrones procedentes de una molécula de H<sub>2</sub>O, que también por acción de la luz, se descompone en hidrógeno y oxígeno, en el proceso llamado fotólisis del H<sub>2</sub>O. De este modo se puede mantener un **flujo continuo de electrones desde el agua hacia el fotosistema II y de éste al fotosistema I**.

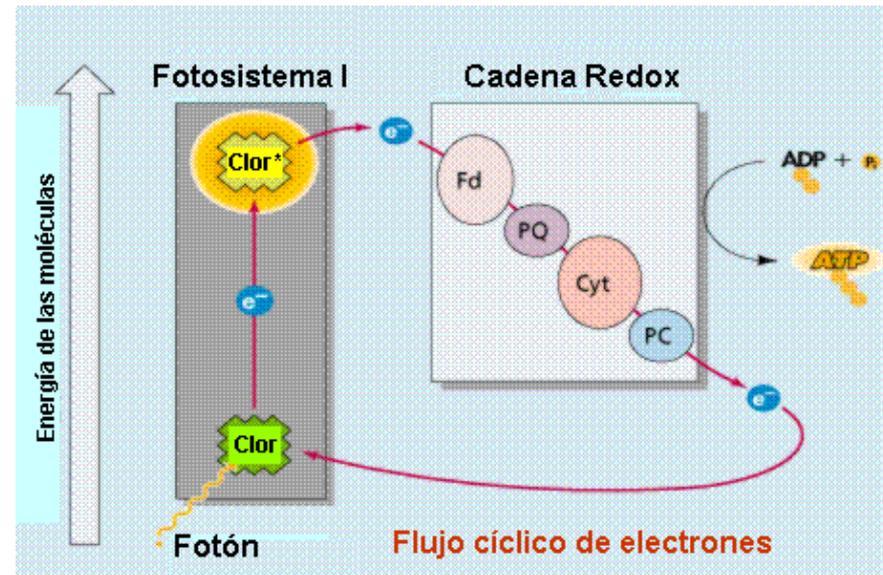


En el fotosistema I la luz produce el mismo efecto sobre la clorofila P700, de modo que algún electrón adquiere un nivel energético superior y abandona la molécula, es recogido por otro aceptor de electrones, la ferredoxina y pasa por una nueva cadena de transporte hasta llegar a una molécula de NADP+ que es reducida a NADPH, al recibir dos electrones y un protón H+ que también procede de la descomposición del H2O.





**Flujo no cíclico**

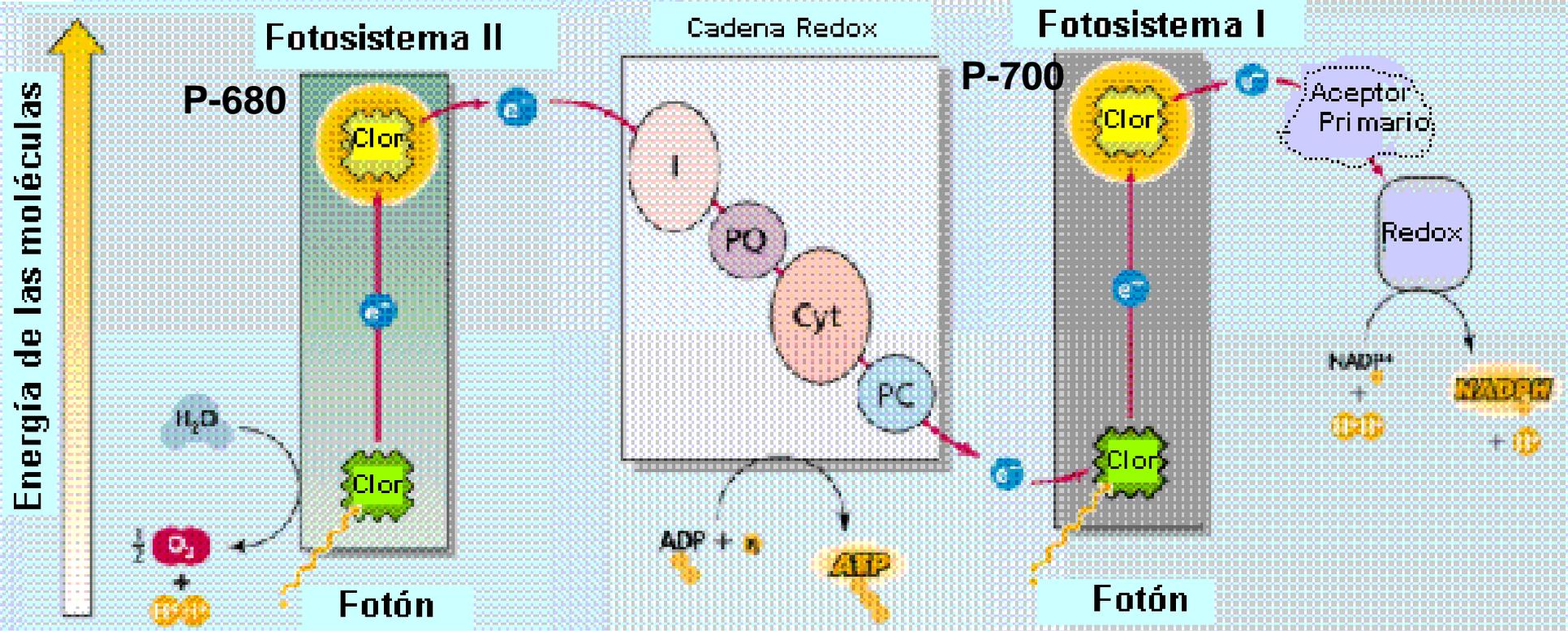


**Flujo cíclico de electrones**

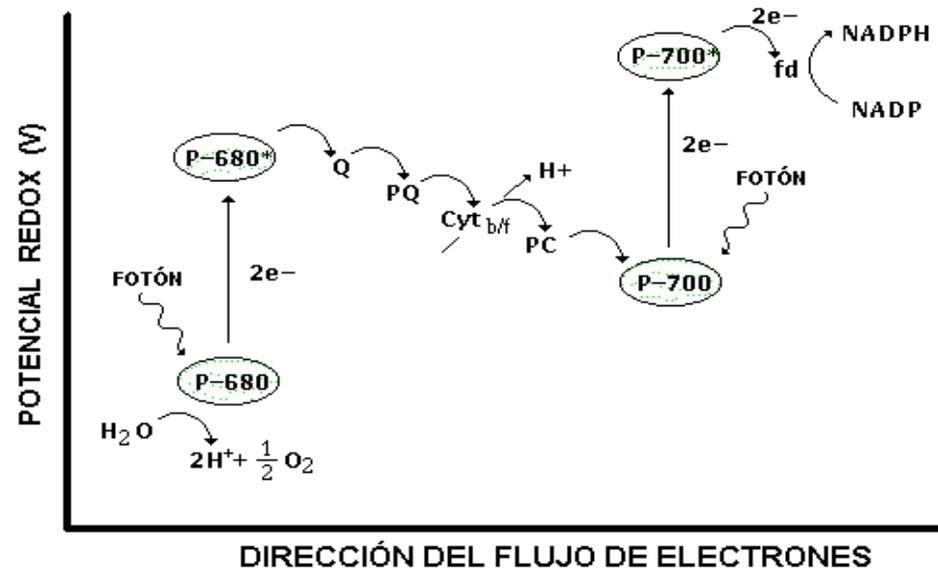
Los dos fotosistemas pueden actuar conjuntamente - proceso conocido como **esquema en Z**, para producir la **fotofosforilación** (obtención de ATP) o hacerlo solamente el fotosistema I;

se diferencia entonces entre **fotofosforilación no cíclica o acíclica** cuando actúan los dos, y **fotofosforilación cíclica**, cuando actúa el fotosistema I únicamente.

En la **fotofosforilación acíclica** se obtiene ATP y se reduce el  $\text{NADP}^+$  a  $\text{NADPH}$ , mientras que en la **fotofosforilación cíclica** únicamente se obtiene ATP y no se libera oxígeno.



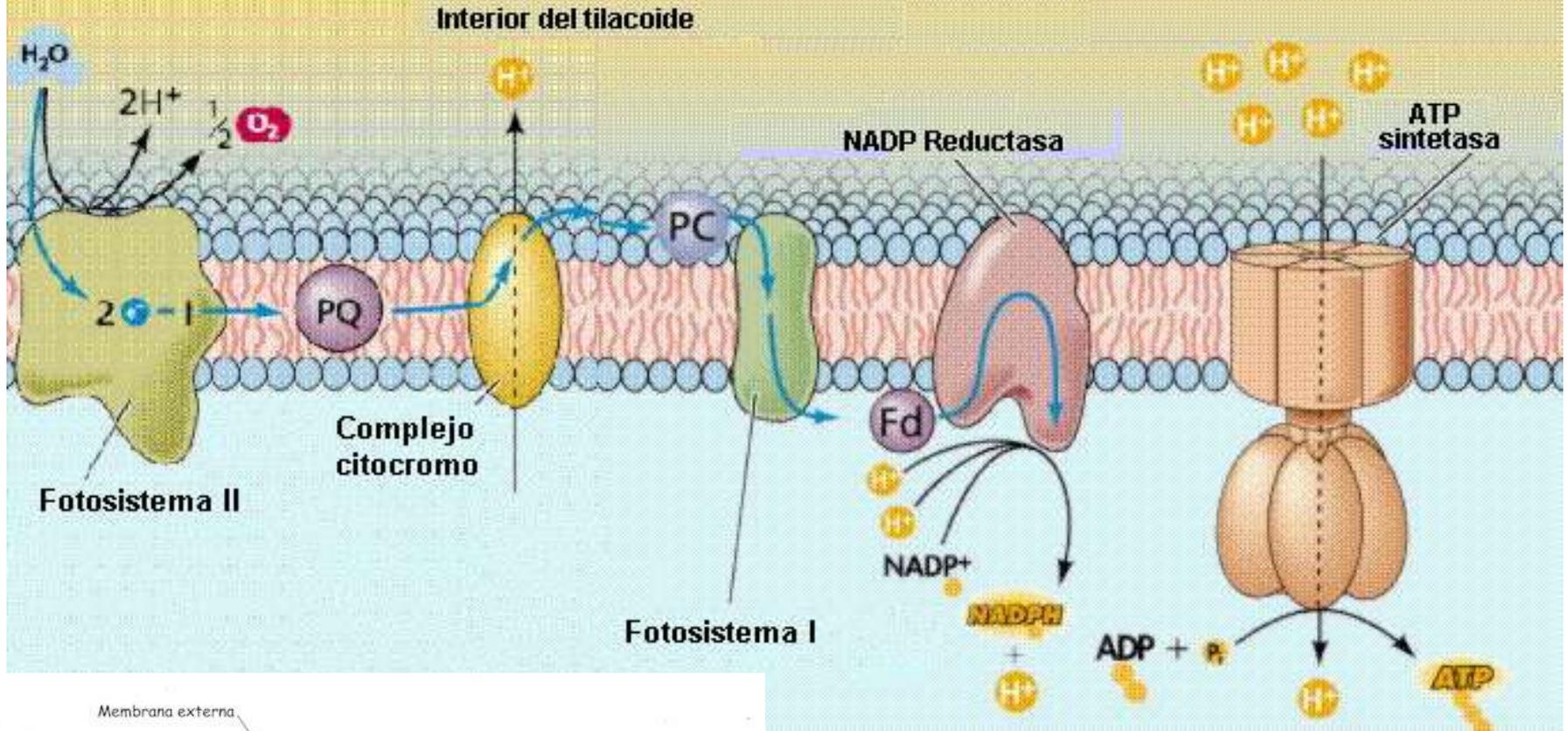
**FOTOFOSFORILACIÓN NO CÍCLICA**



**FOTOFOSFORILACION:**

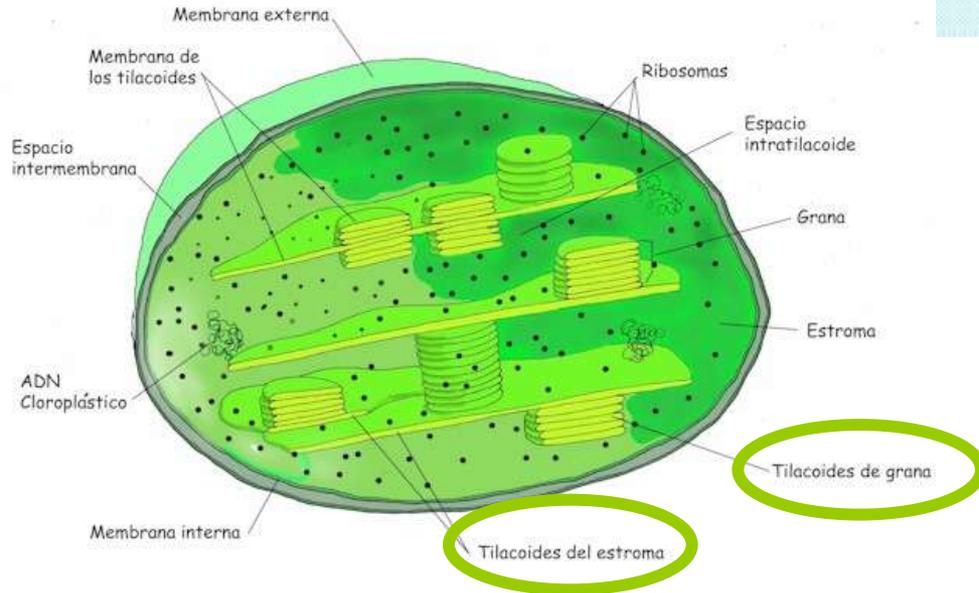
Proceso que ocurre en la **membrana del tilacoide** y esta asociado a la **síntesis del ATP**

**Flujo no cíclico:** Existe un continuo flujo de electrones (no cíclico) desde el agua al NADPH, el cual es usado para la fijación del carbono.

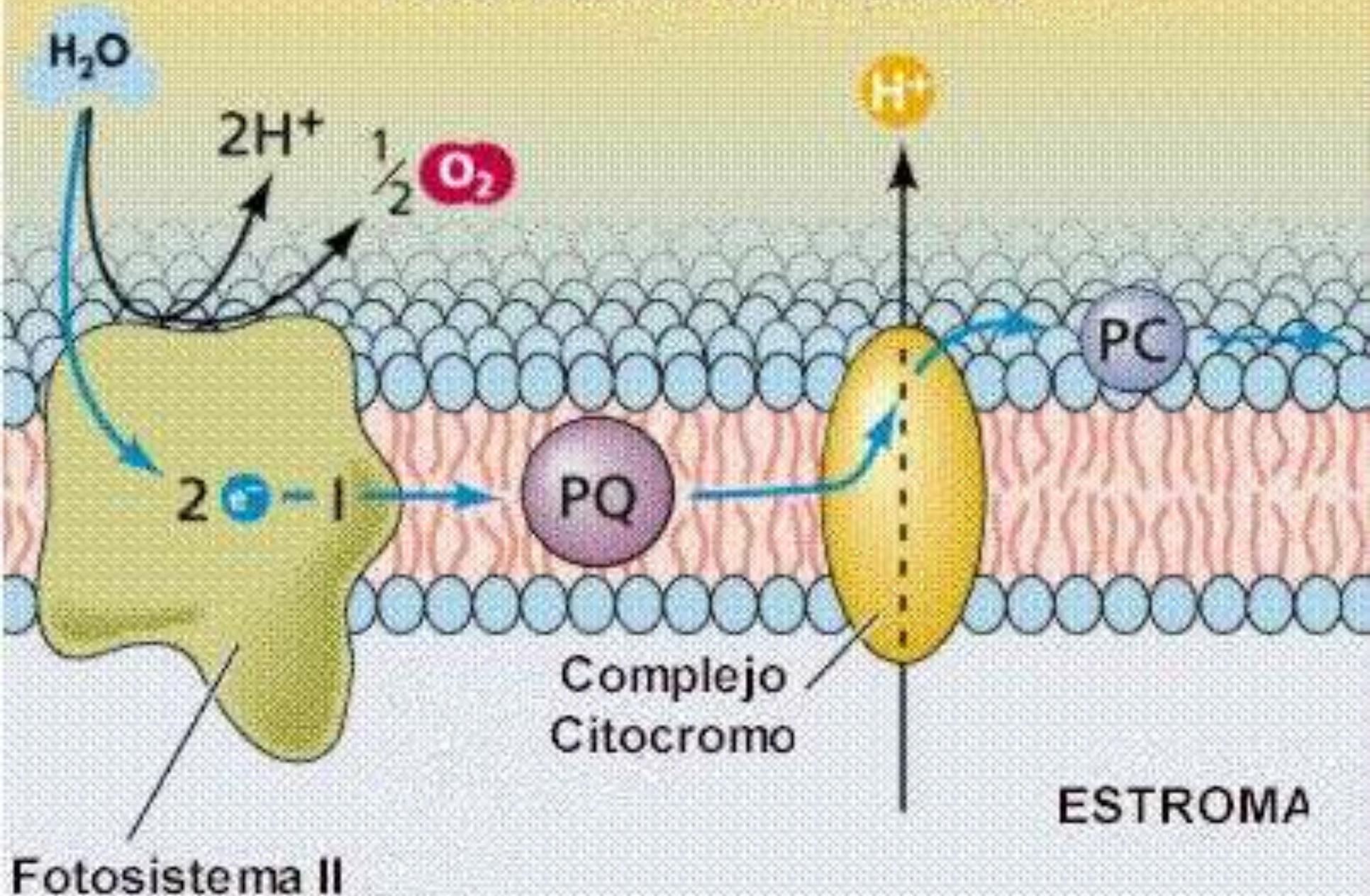


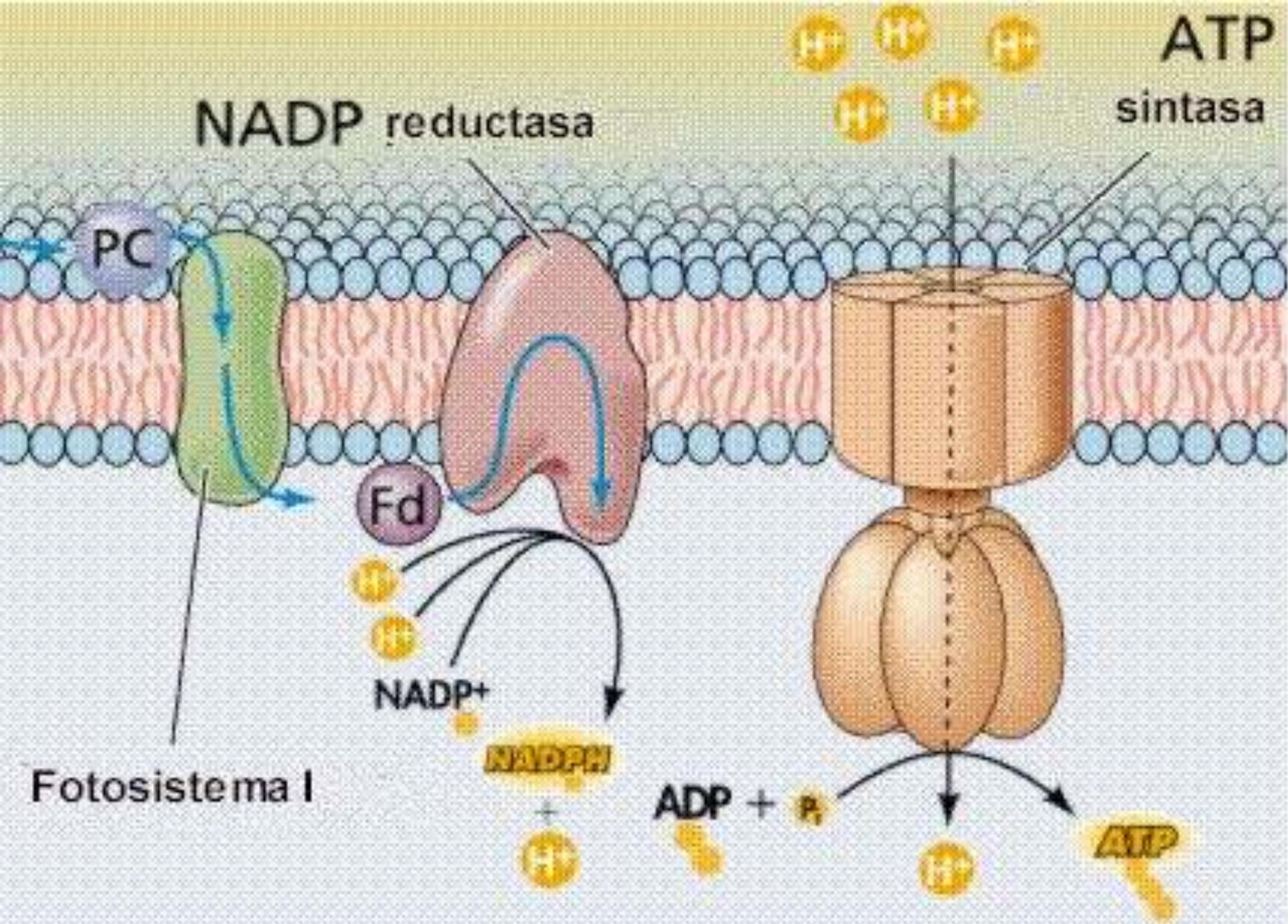
## Fase luminosa: FOTOFOSFORILACION

(Ocurre en la membrana del tilacoide)

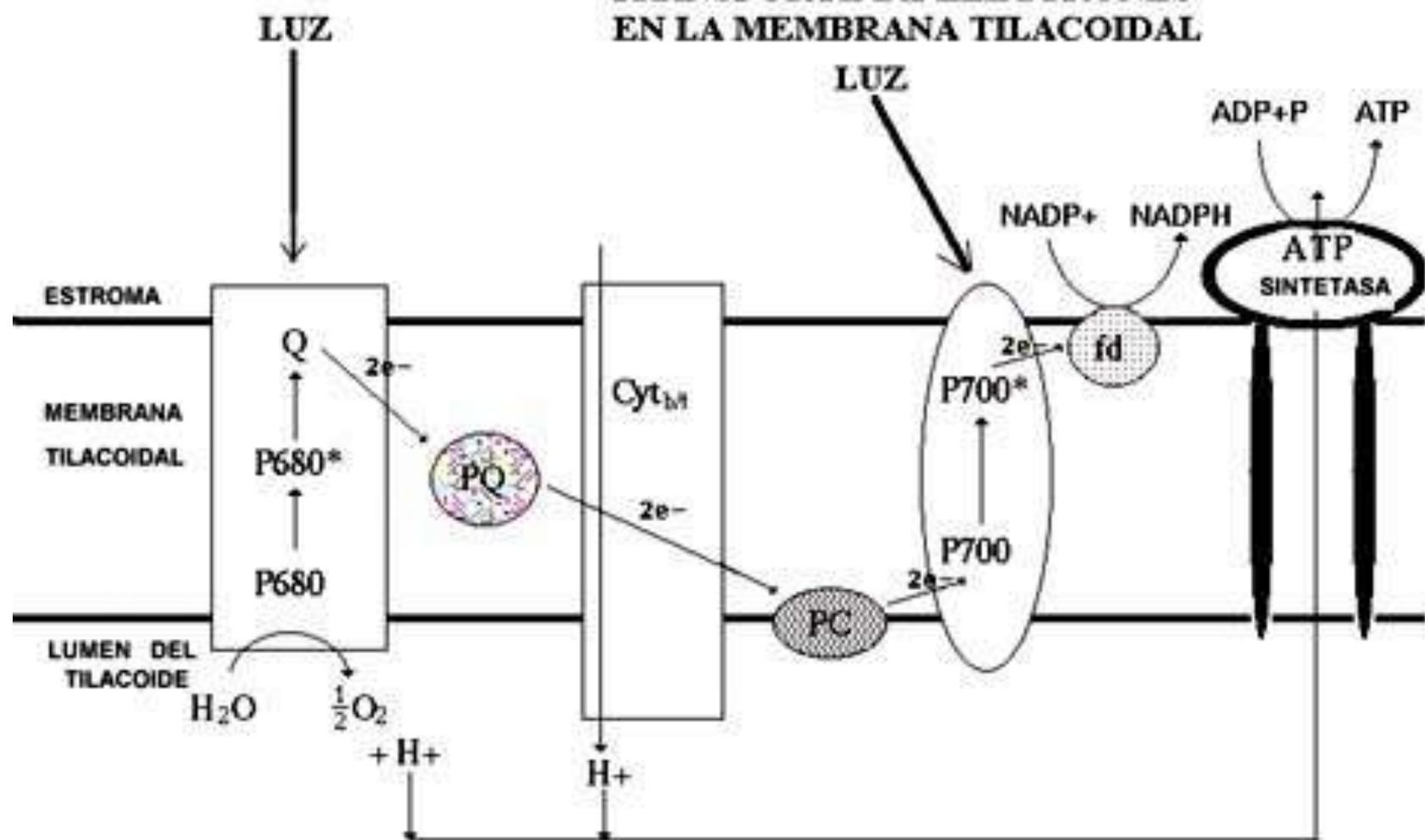


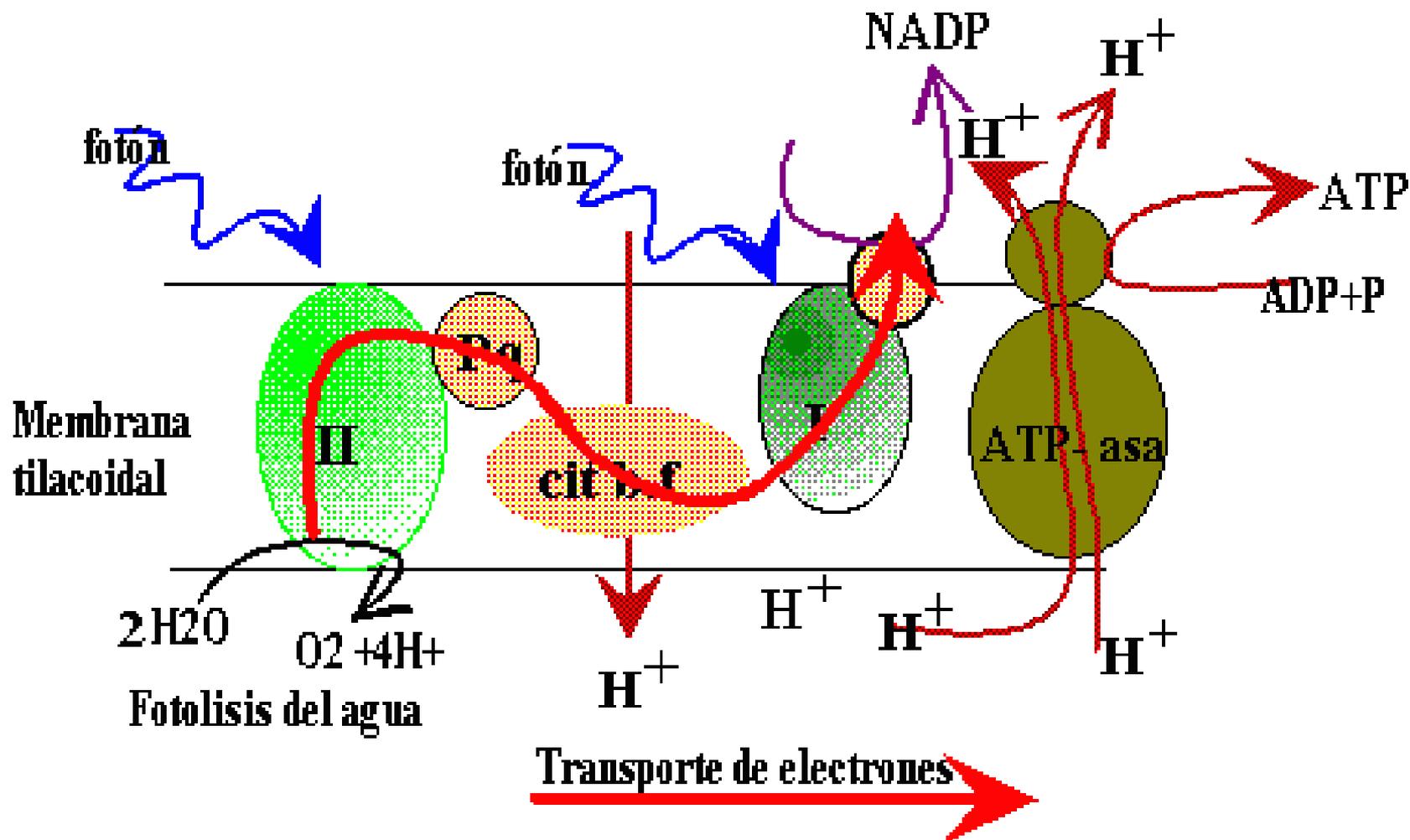
## Parte Interior del Tilakoide

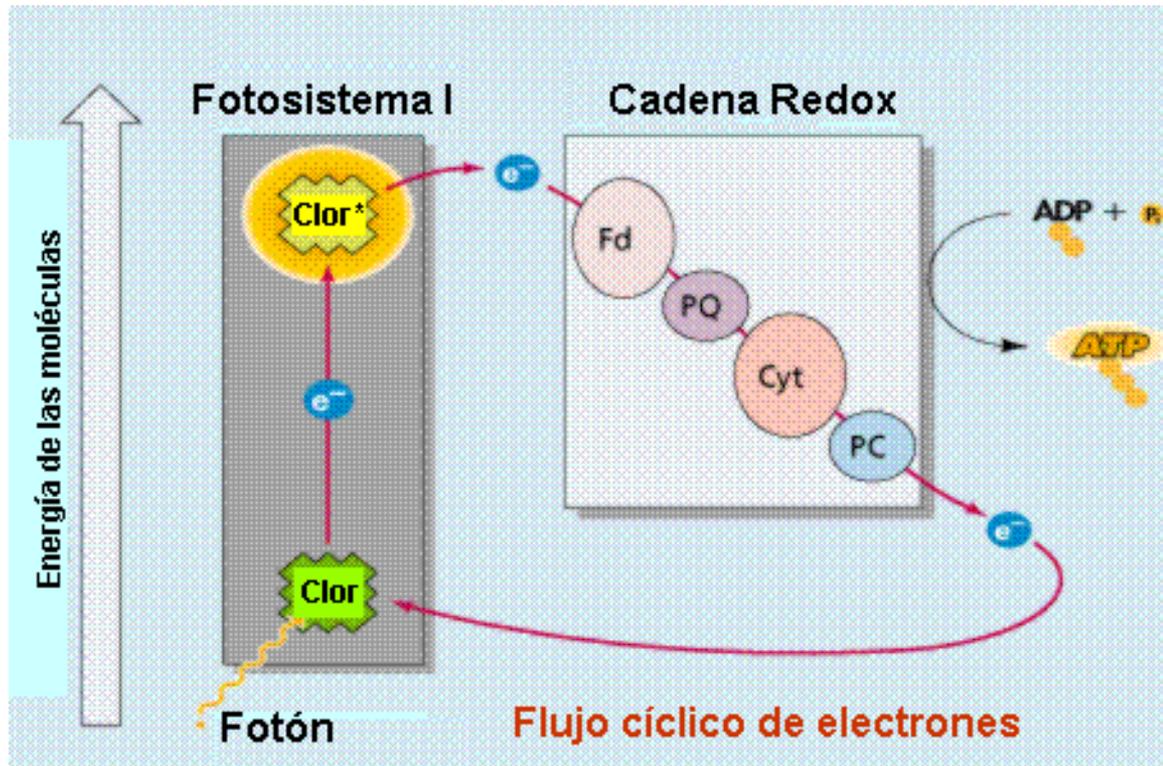




## TRANSPORTE DE ELECTRONES EN LA MEMBRANA TILACOIDAL







## FOTOFOSFORILACION NO CÍCLICA

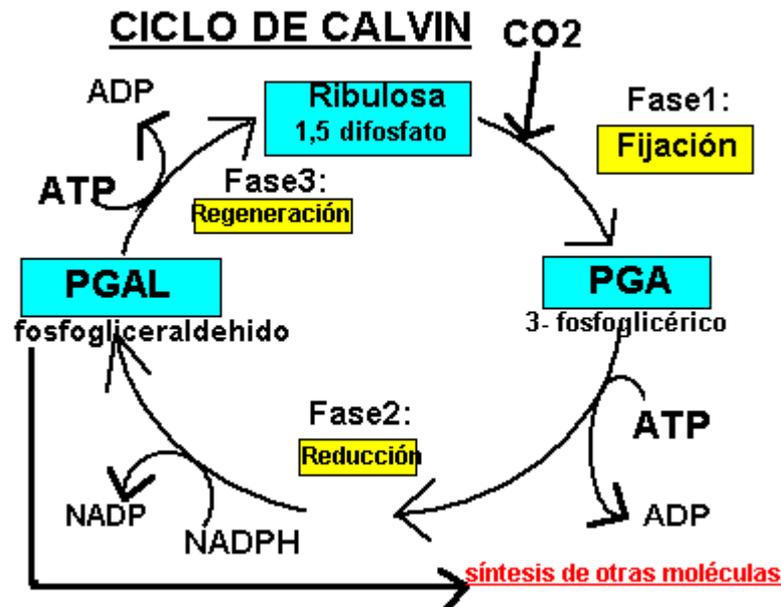
El flujo cíclico de electrones ocurre en algunos eucariotas y en bacterias fotosintéticas.

No se produce NADPH, solo ATP. Esto también ocurre cuando la célula requiere ATP adicional, o cuando no hay  $\text{NADP}^+$  para reducirlo a NADPH.

## Fase OSCURA

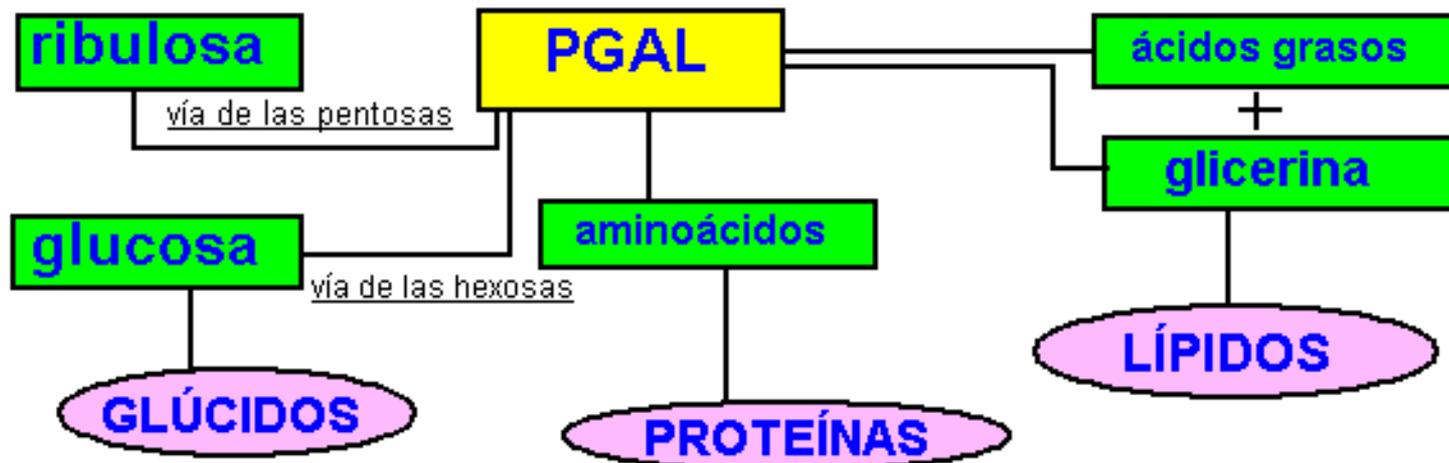
En esta fase, se va a utilizar la energía química obtenida en la fase luminosa, en reducir CO<sub>2</sub>, Nitratos y Sulfatos y asimilar los bioelementos C, H, y S, con el fin de sintetizar glúcidos, aminoácidos y otras sustancias.

Las plantas obtiene el CO<sub>2</sub> del aire a través de los **estomas** de sus hojas. El proceso de reducción del carbono es cíclico y se conoce como **Ciclo de Calvin.**, en honor de su descubridor M. Calvin.



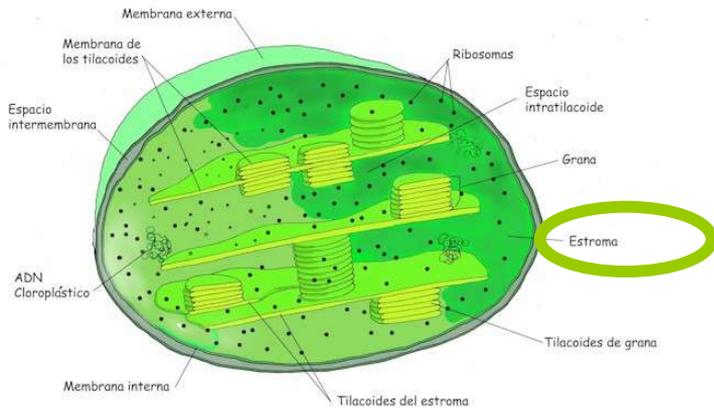
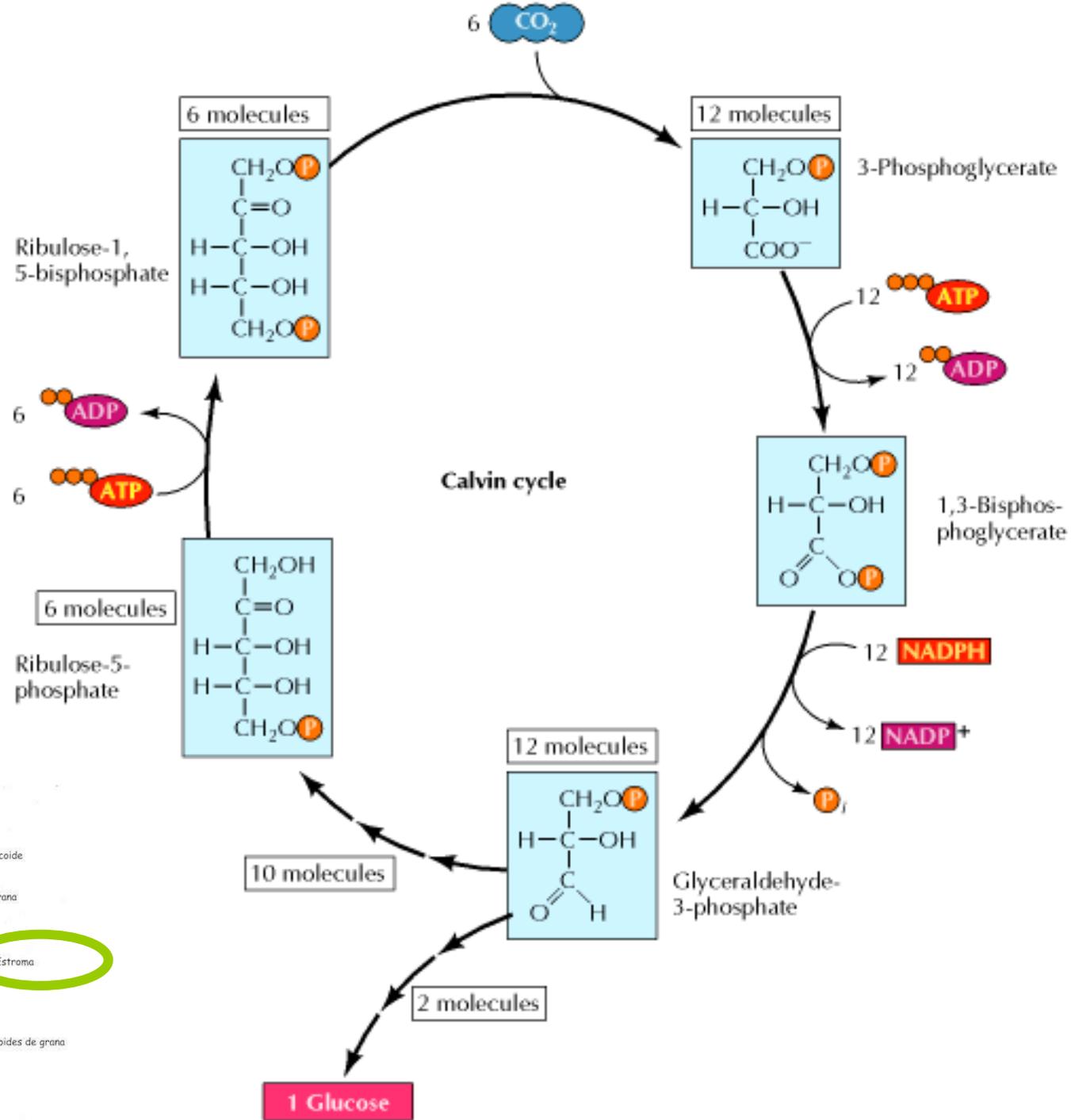
La **fijación del CO<sub>2</sub>** se produce en tres fases:

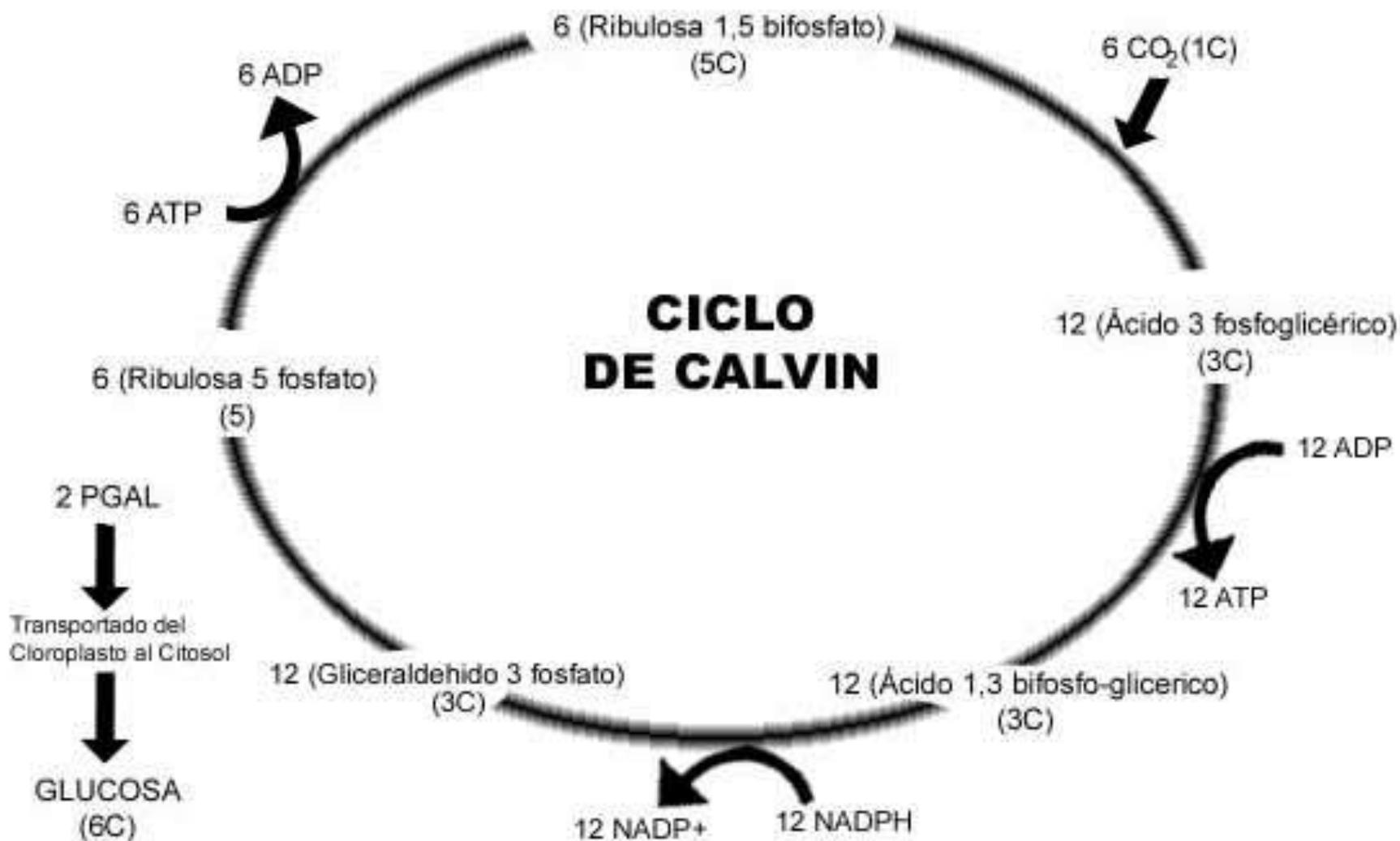
- **Carboxilativa**: El CO<sub>2</sub> se fija a una molécula de 5C, la **ribulosa 1,5 difosfato**, formándose un compuesto inestable de 6C, que se divide en dos moléculas de **ácido 3 fosfoglicérico** conocido también con las siglas de PGA
- **Reductiva**: El ácido 3 fosfoglicérico se reduce a **gliceraldehido 3 fosfato**, también conocido como PGAL, utilizándose ATP Y NADPH.
- **Regenerativa/Sintética**: Las moléculas de gliceraldehido 3 fosfato formadas siguen diversas rutas; de cada seis moléculas, cinco se utilizan para regenerar la **ribulosa 1,5 difosfato** y hacer que el **ciclo de calvin** pueda seguir, y una será empleada para poder sintetizar moléculas de **glucosa** (vía de las hexosas), **ácidos grasos**, **aminoácidos...** etc; y en general todas las moléculas que necesita la célula.



# Fase OSCURA

(Se desarrolla en estroma de los cloroplastos)





## **FOTOSINTESIS ANIMADA**

<http://www.biologia.edu.ar/plantas/fotosint2.htm>

# Fotosíntesis

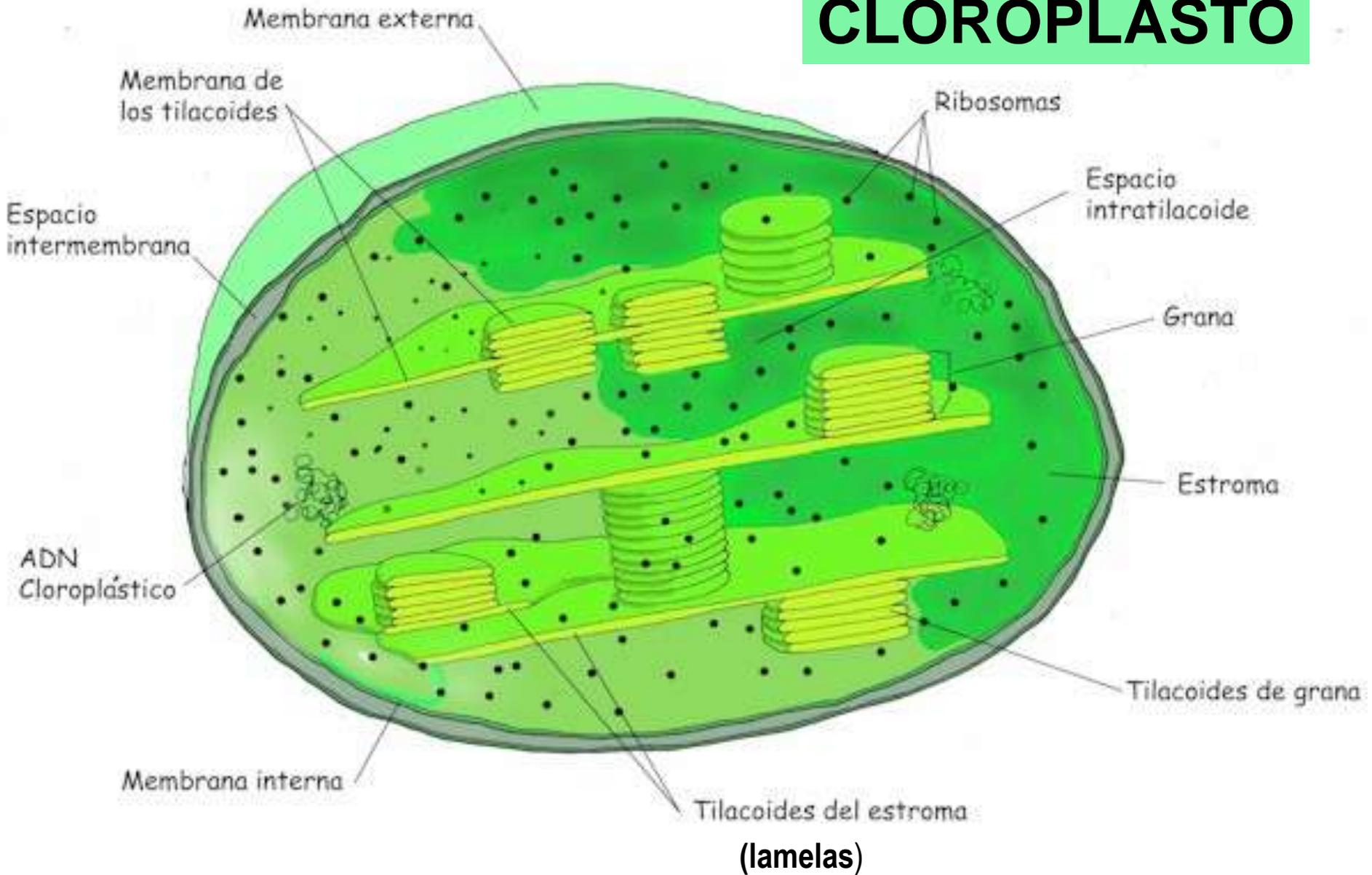
(presentación 2ª)

# COLOROPLASTOS

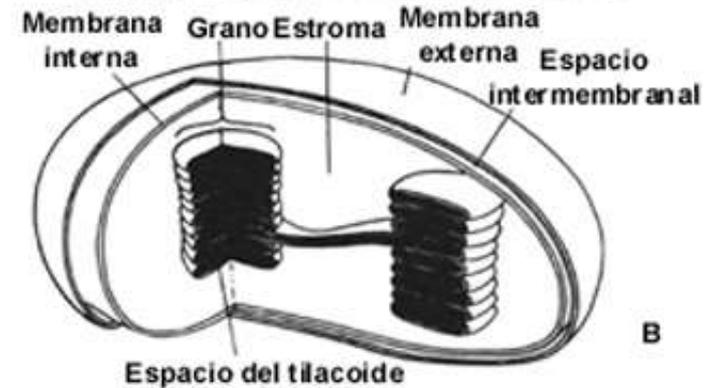
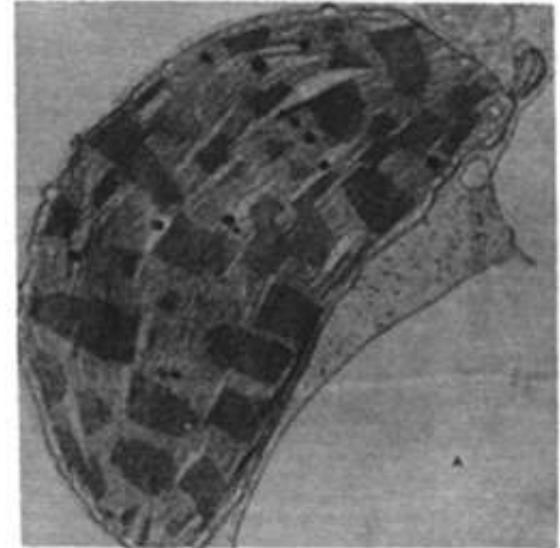
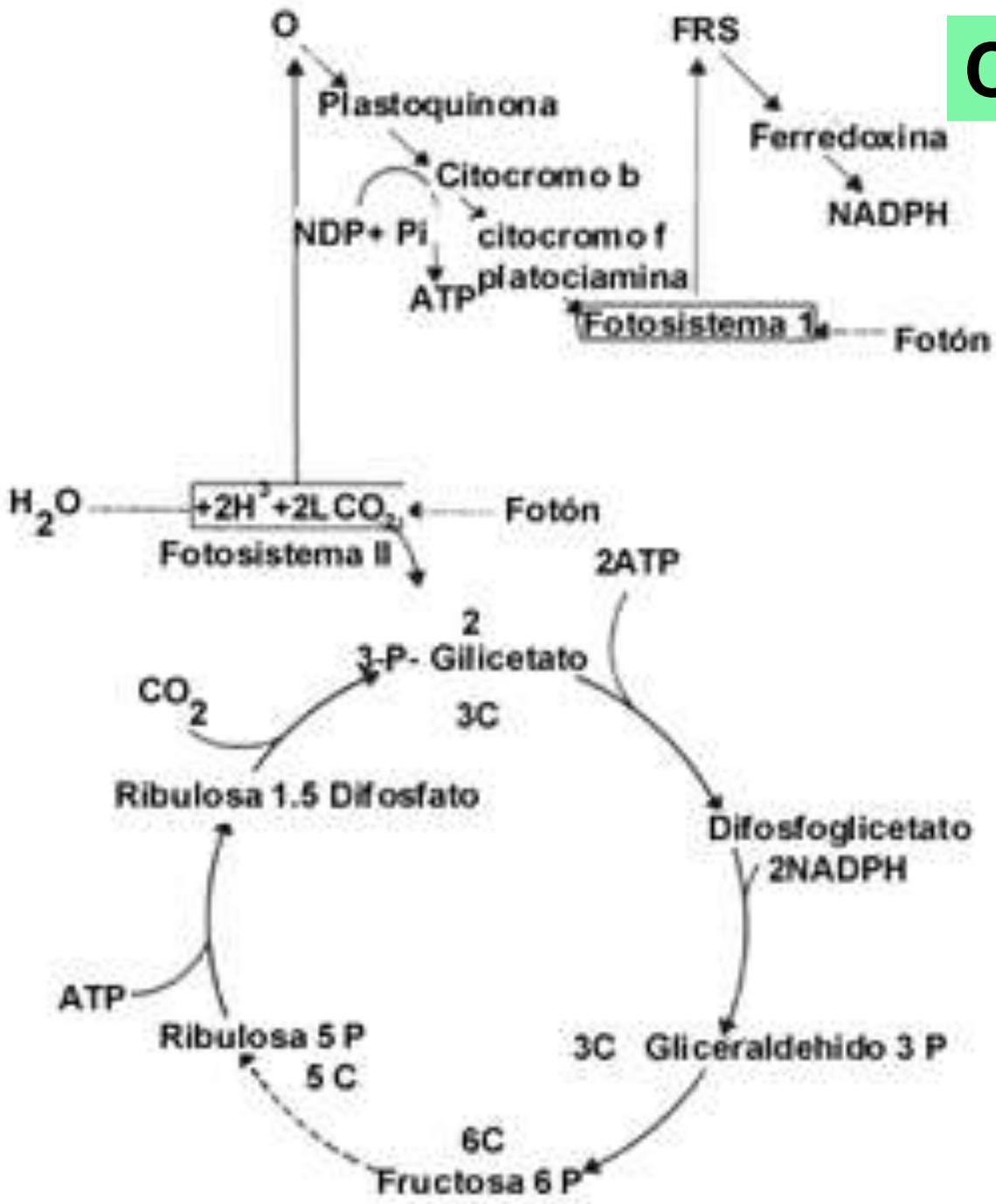
## Funciones de los cloroplastos:

- Fotosíntesis (materia inorgánica + luz → materia orgánica)

# COROPLASTO



# CLOROPLASTOS



B

# F. luminosa

Los hechos que ocurren en la fase luminosa de la fotosíntesis se pueden resumir en estos puntos:

1. Síntesis de ATP o **fotofosforilación** que puede ser:

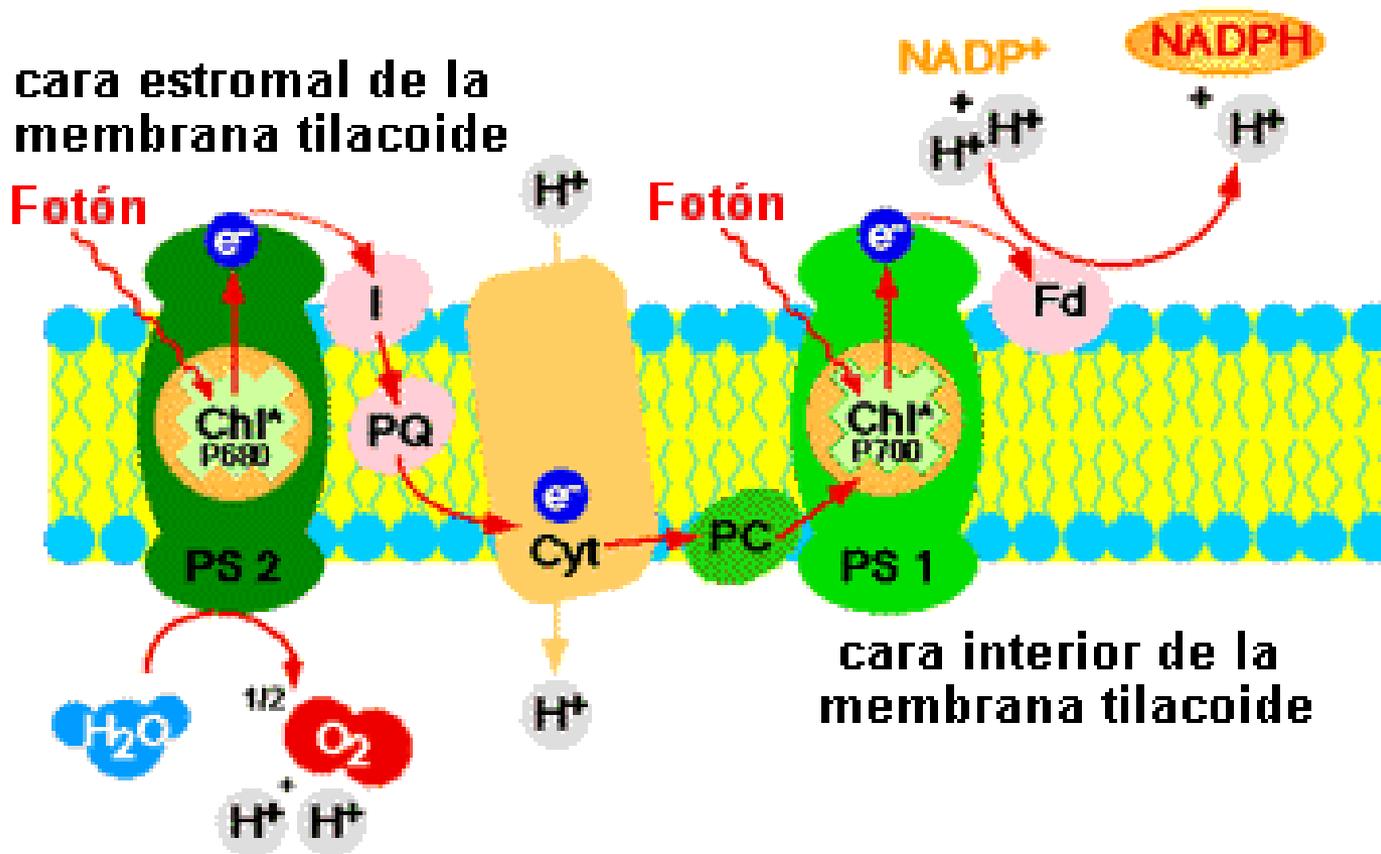
- acíclica o abierta
- cíclica o cerrada

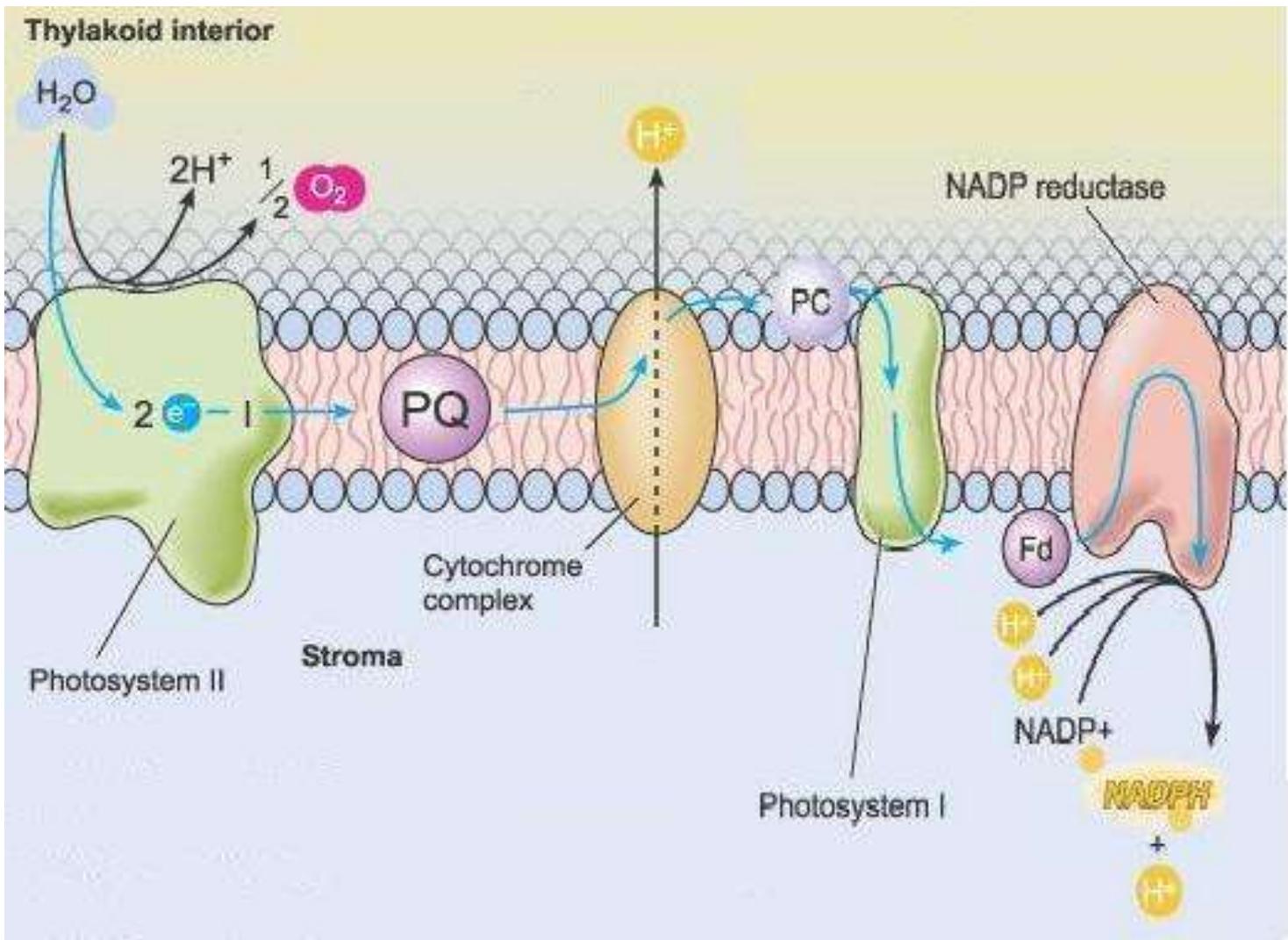
2. Síntesis de **poder reductor** (NADPH)

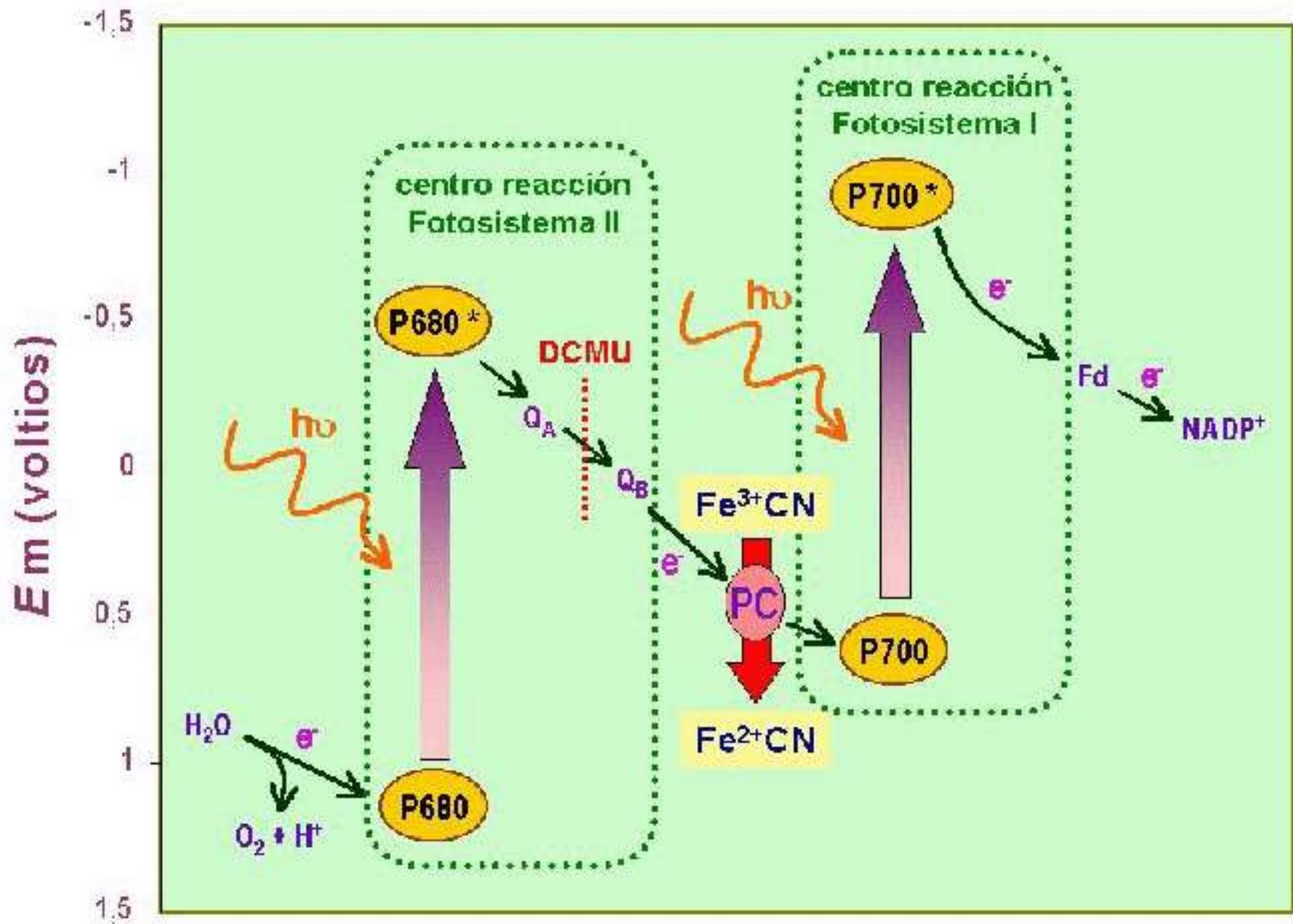
3. **Fotolisis** del agua

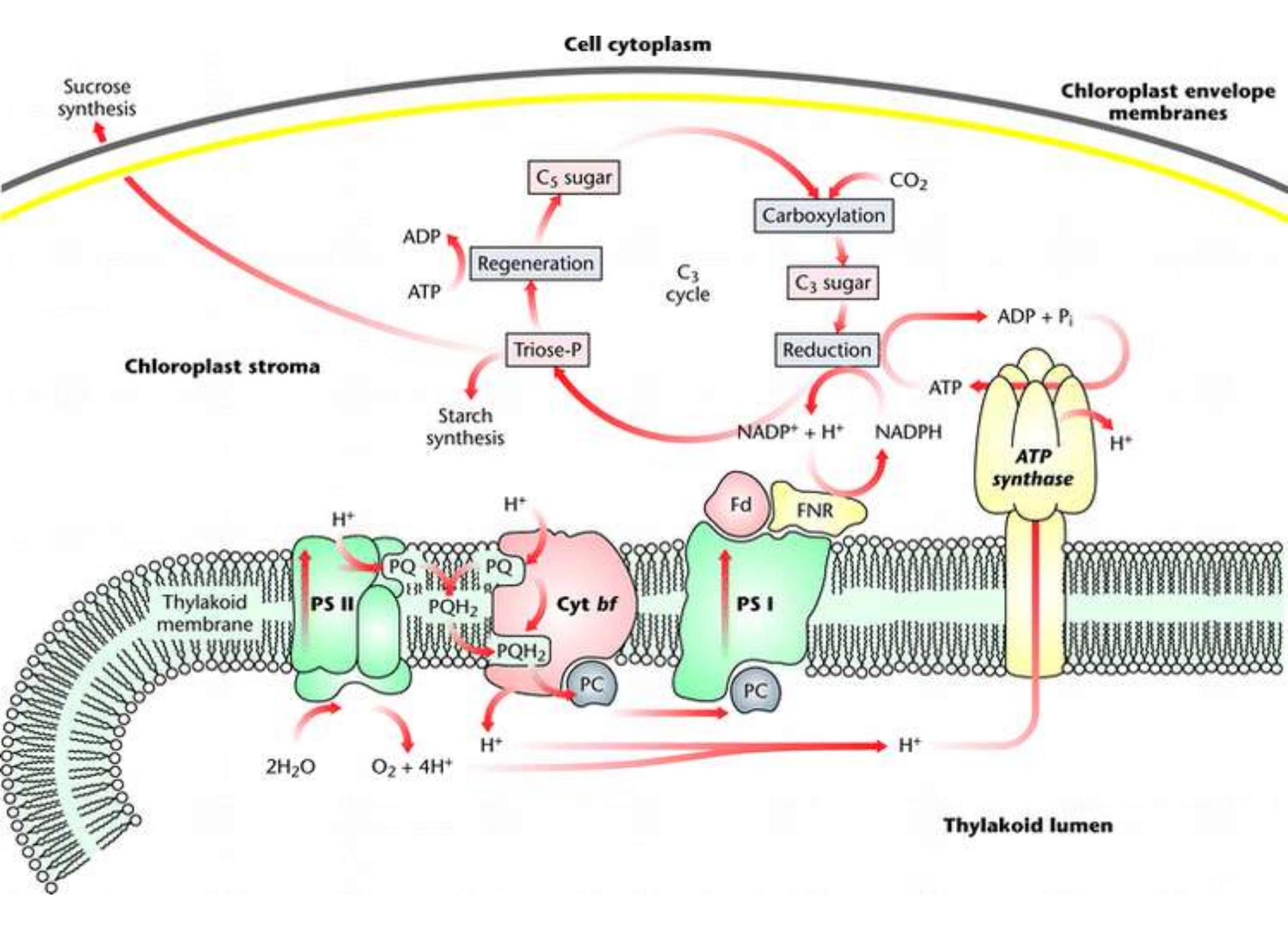
# COLOROPLASTOS

## Cadena de transporte electrónico fotosintético





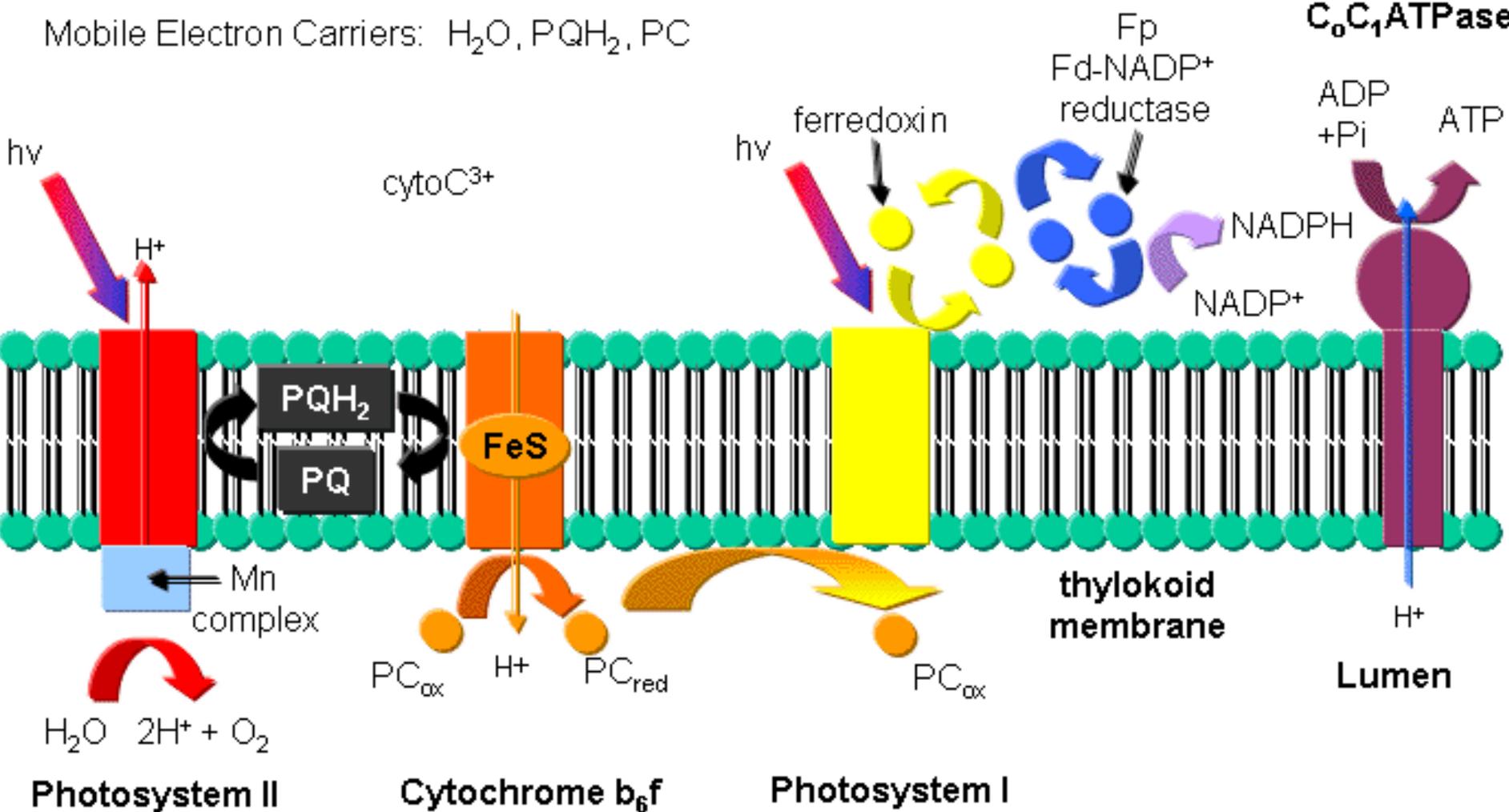




Stroma

### PHOTOSYNTHESIS: Z SCHEME

Mobile Electron Carriers:  $H_2O$ ,  $PQH_2$ , PC



Photosystem II

Cytochrome  $b_6f$

Photosystem I

Lumen

