

C5- metabolismo

a- fotosíntesis

© J. L. Sánchez Guillén

IES Pando - Oviedo – Departamento de Biología y Geología



ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



h- Quimiosíntesis



i - Fin



ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



h- Quimiosíntesis



i - Fin

a-Concepto y generalidades

Concepto:

La fotosíntesis puede definirse como un proceso anabólico que se produce en los cloroplastos y en el que la energía luminosa es transformada en energía química que posteriormente será empleada para la fabricación de sustancias orgánicas a partir de sustancias inorgánicas.

CONSECUENCIAS DE LA FOTOSÍNTESIS:

Las consecuencias de la fotosíntesis son de gran importancia para los seres vivos. Así:

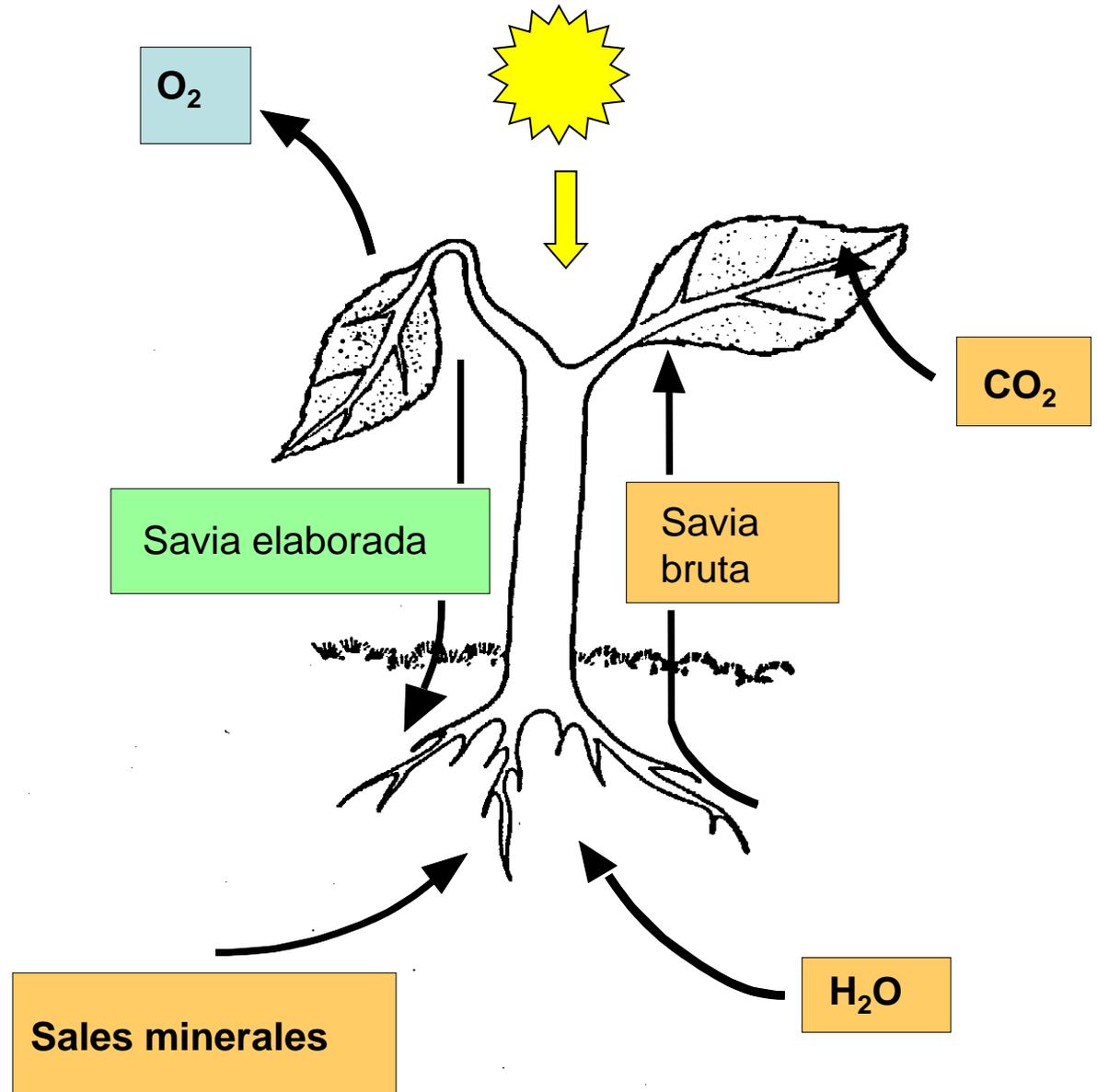
1ª) Todos o casi todos los seres vivos dependen, directa o indirectamente, de la fotosíntesis para la obtención de sustancias orgánicas y energía.

2ª) A partir de la fotosíntesis se obtiene O_2 . Este oxígeno, formado por los seres vivos, transformó la primitiva atmósfera de la Tierra e hizo posible la existencia de los organismos heterótrofos aeróbicos.

Las plantas son organismos autótrofos fotosintéticos. Durante el día absorben **agua** y **sales minerales** por las raíces (**savia bruta**) y **dióxido de carbono** por las hojas.

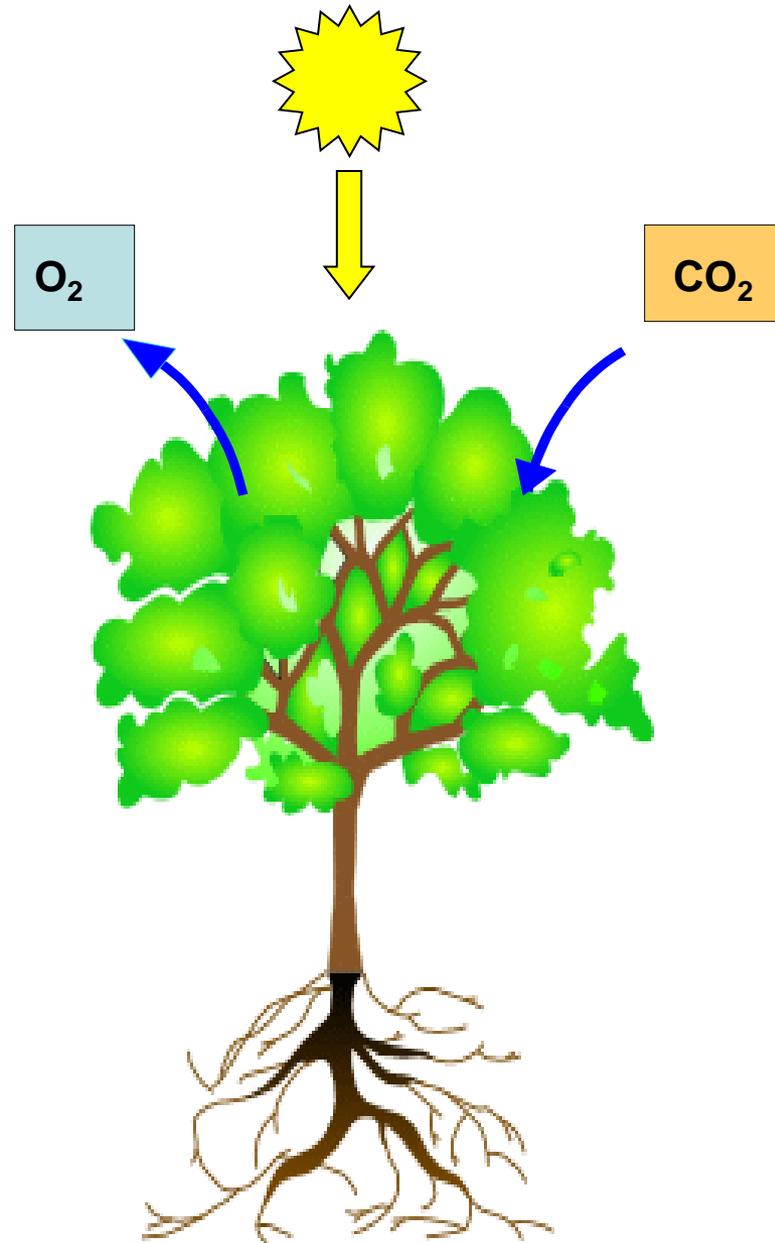
Con estas sustancias, y usando como fuente de energía la luz solar, fabrican **compuestos orgánicos** que se distribuyen por el resto de la planta como **savia elaborada**.

Como subproducto se genera **oxígeno**.



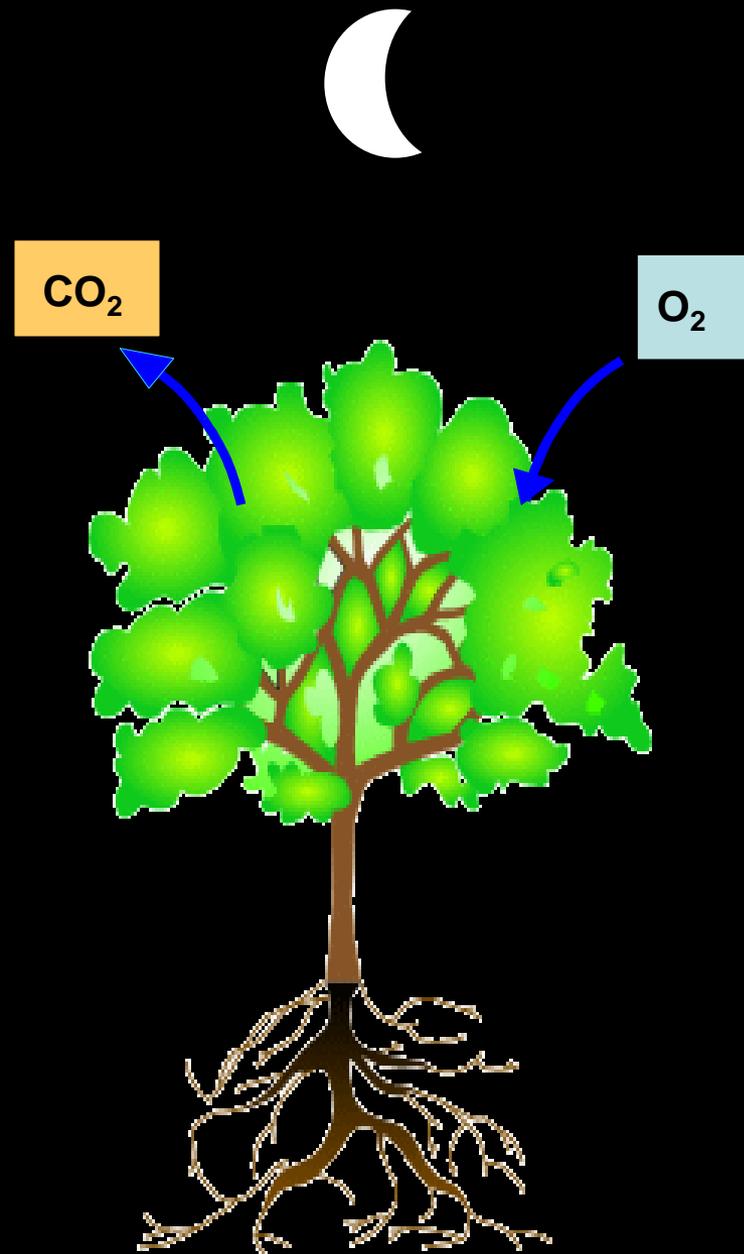
Intercambio de gases:

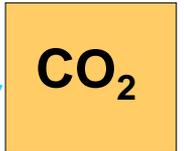
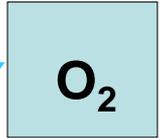
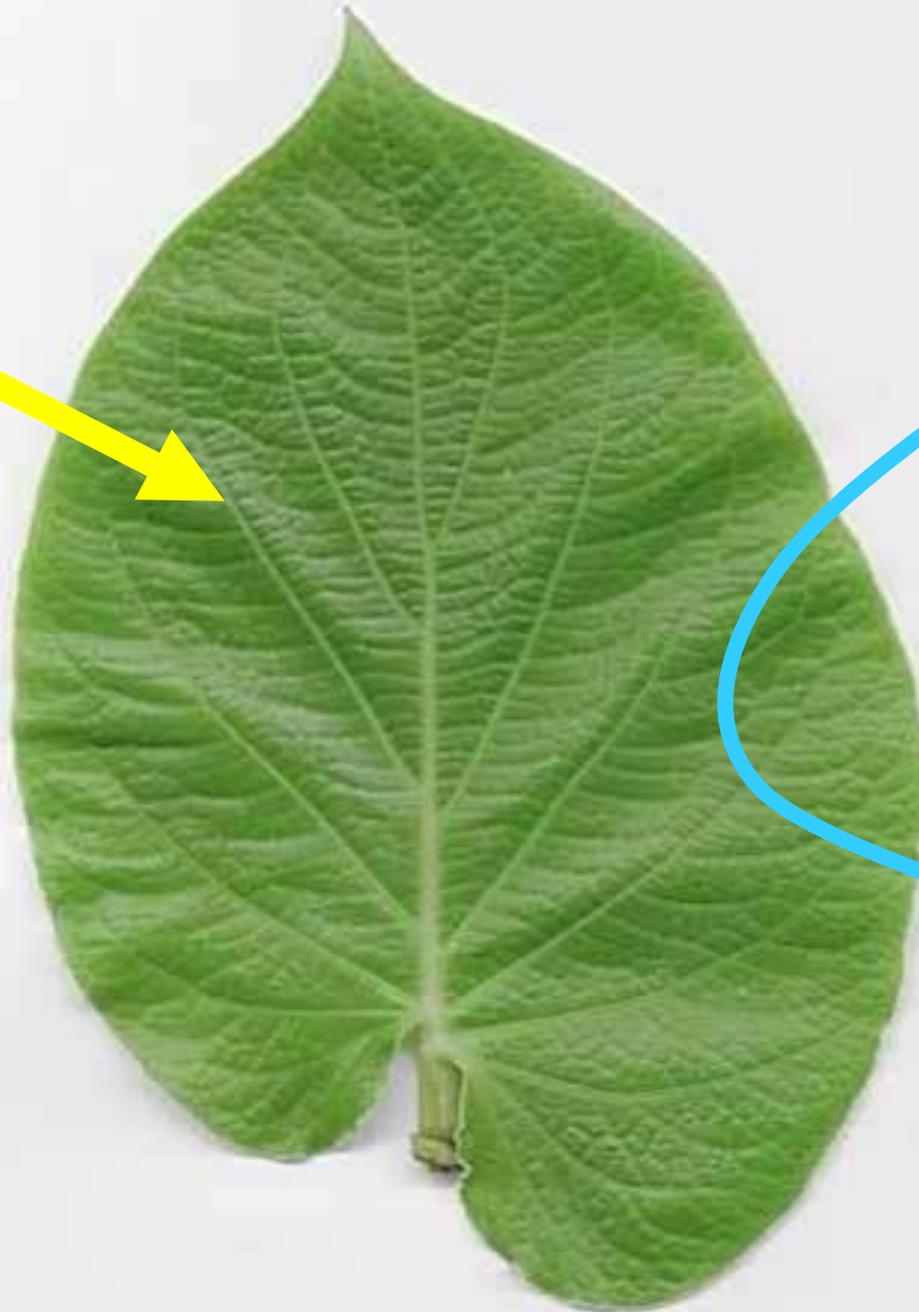
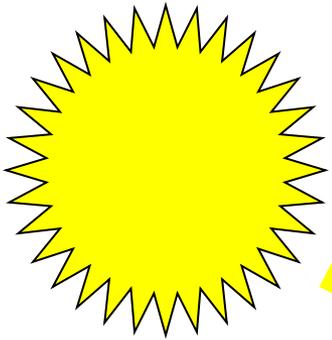
Durante el día las plantas absorben CO_2 y desprenden O_2 .



Intercambio de gases:

Durante la noche las plantas absorben O_2 y desprenden CO_2 .





Intercambio de gases
a través de la hoja
durante el día.

Este proceso es
consecuencia de la
fotosíntesis.



ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



h- Quimiosíntesis



i - Fin

b) Los plastos

Son orgánulos característicos de la célula vegetal que se originan a partir de unas estructuras llamadas **proplastos**.

CLASES DE PLASTOS

■ **Cloroplastos**. Plastos verdes ya que contiene, entre otros pigmentos fotosintéticos, clorofila. En ellos se realiza la fotosíntesis.

■ **Cromoplastos** plastos de color amarillo, rojo o anaranjado por acumulación de carotenoides, como los del tomate o la zanahoria.

■ **Leucoplastos** plastos de color blanco. Se encuentran en las partes no verdes de la planta. Así, por ejemplo, en las células de la patata encontramos un tipo de leucoplastos, los **amiloplastos**, llamados así por contener almidón.

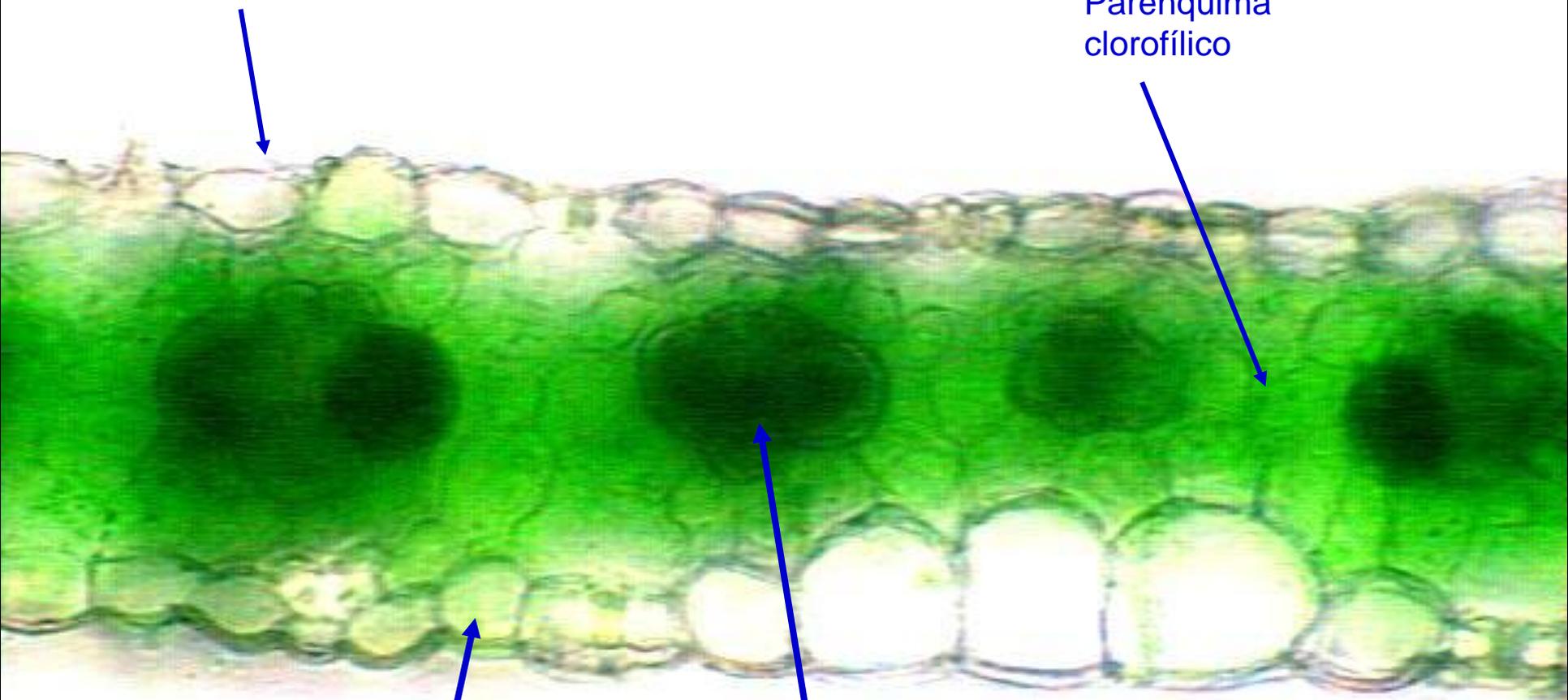
Corte transversal de una hoja (MO X 400)

epidermis del haz

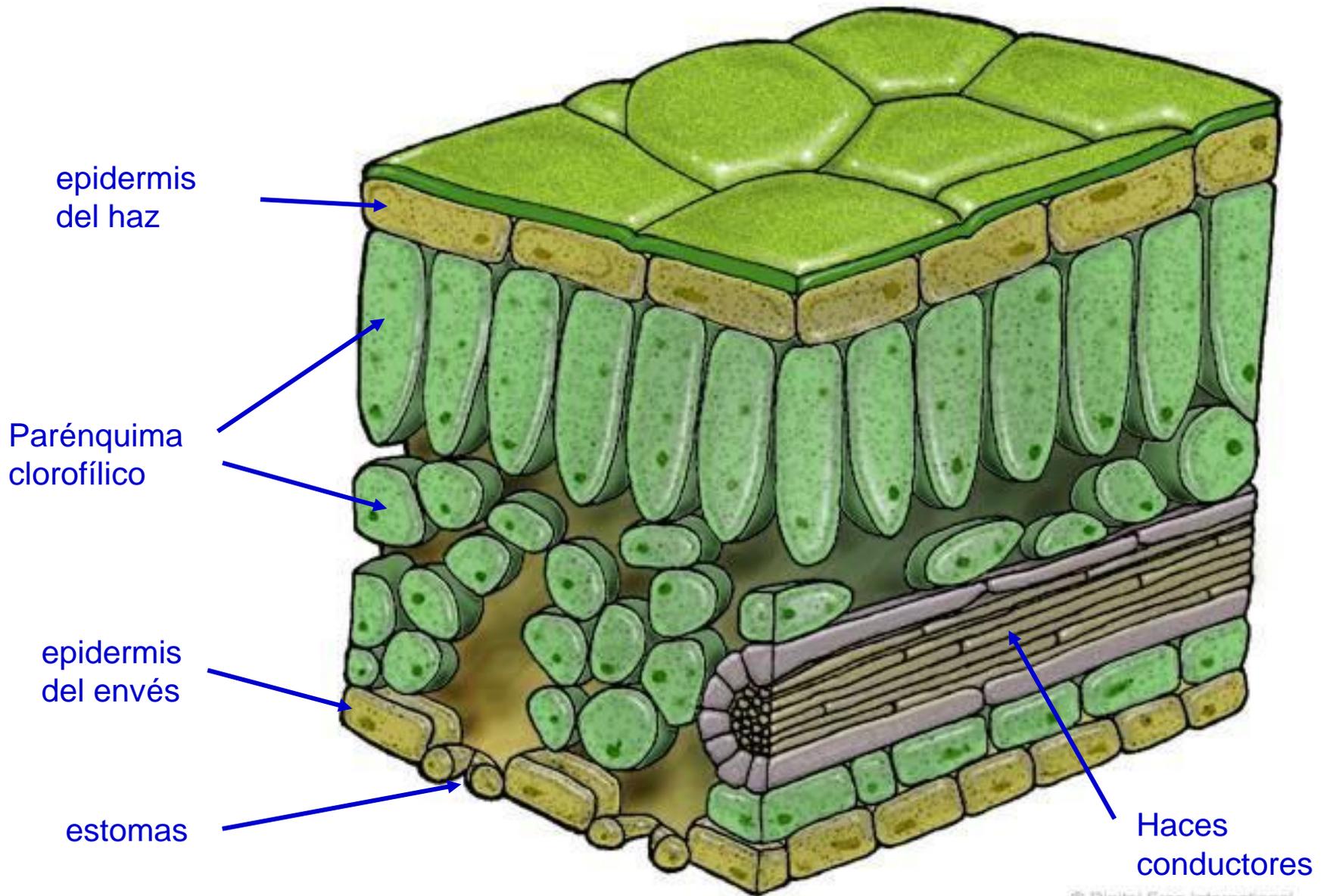
Parénquima
clorofílico

epidermis del envés

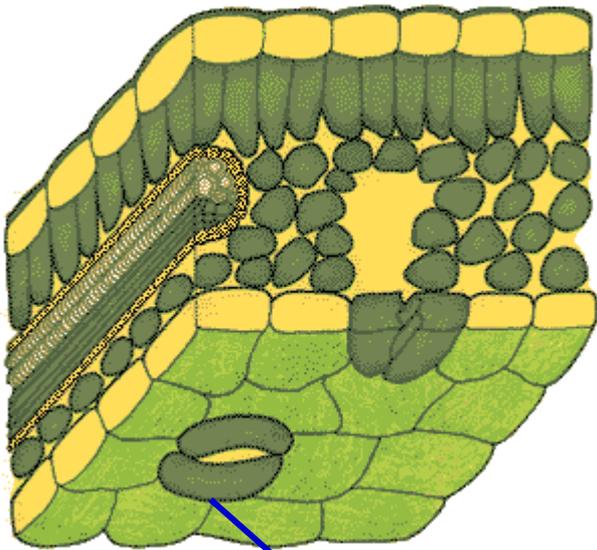
Haces de vasos
conductores de savia



Esquema 3D de una hoja (MO X 400)

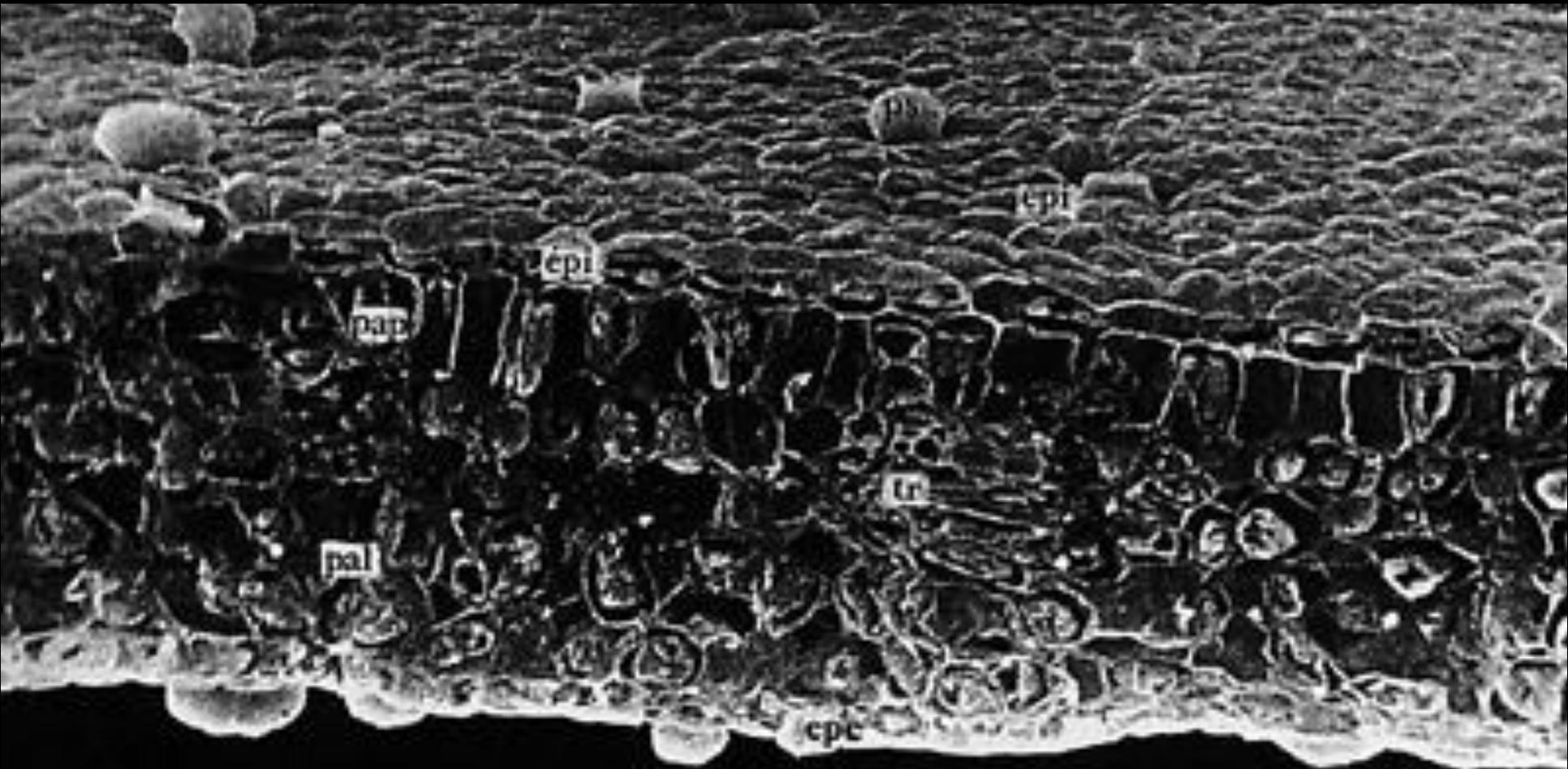


A través de los estomas se realizan los intercambios de gases entre la hoja y el medio.

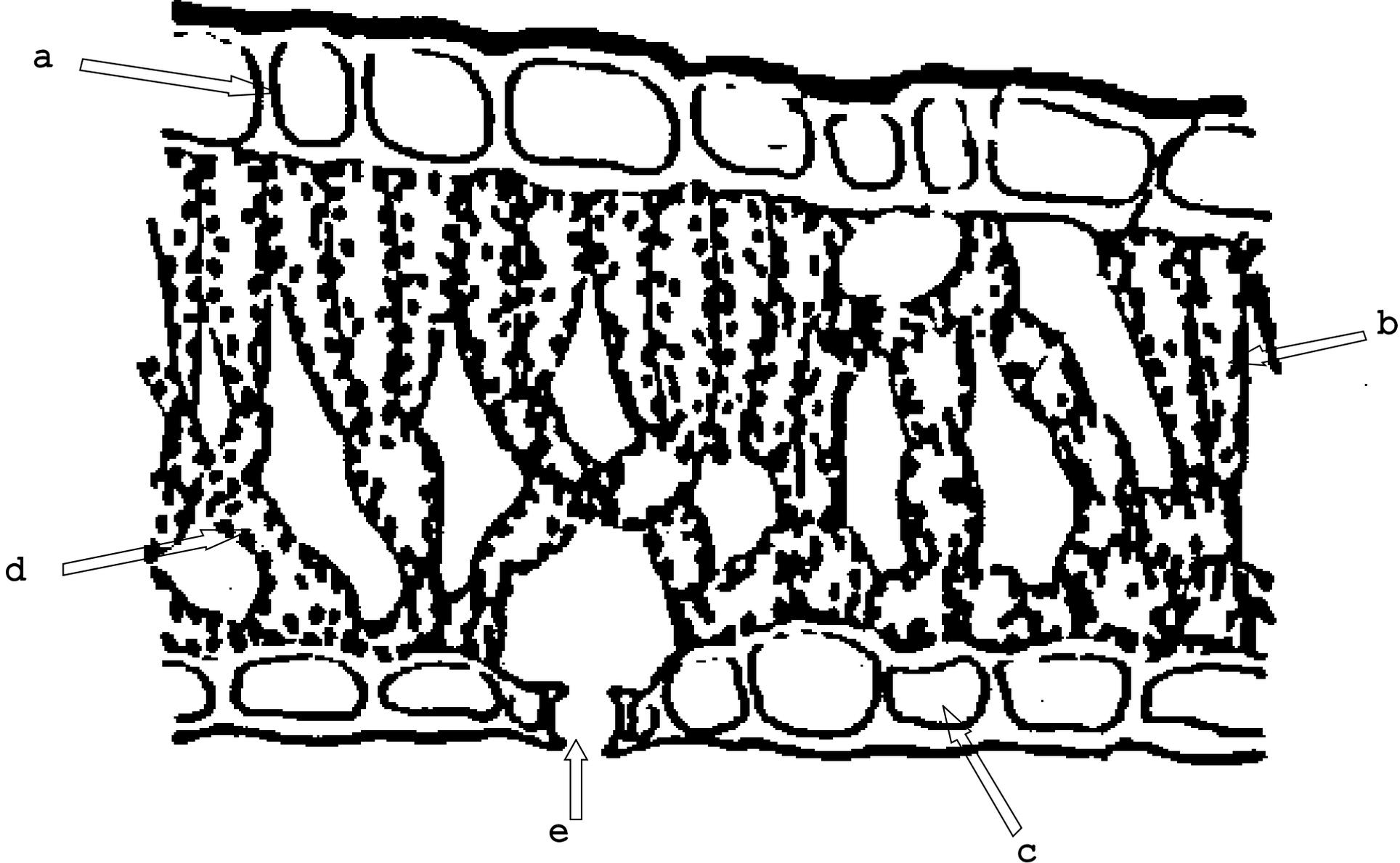


Estoma

Corte transversal de una hoja

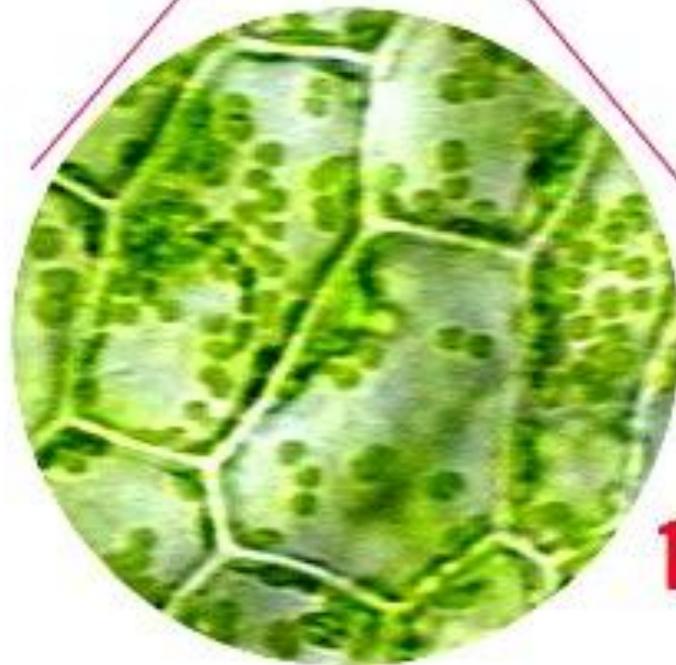


Corte transversal de una hoja mostrando las diferentes capas de células.





Elodea



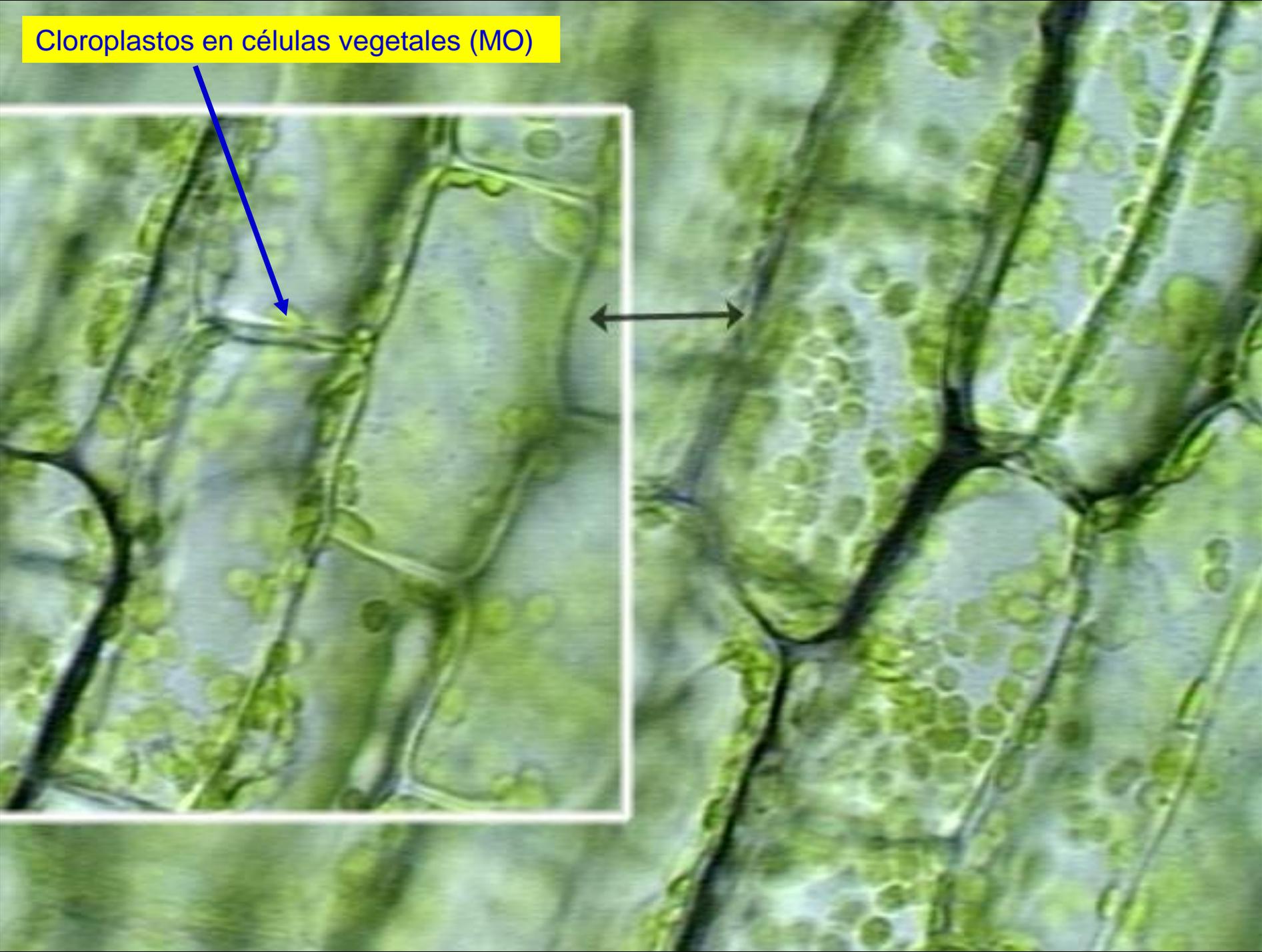
100x

Cloroplastos en células vegetales de elodea (MO)



100x

Cloroplastos en células vegetales (MO)

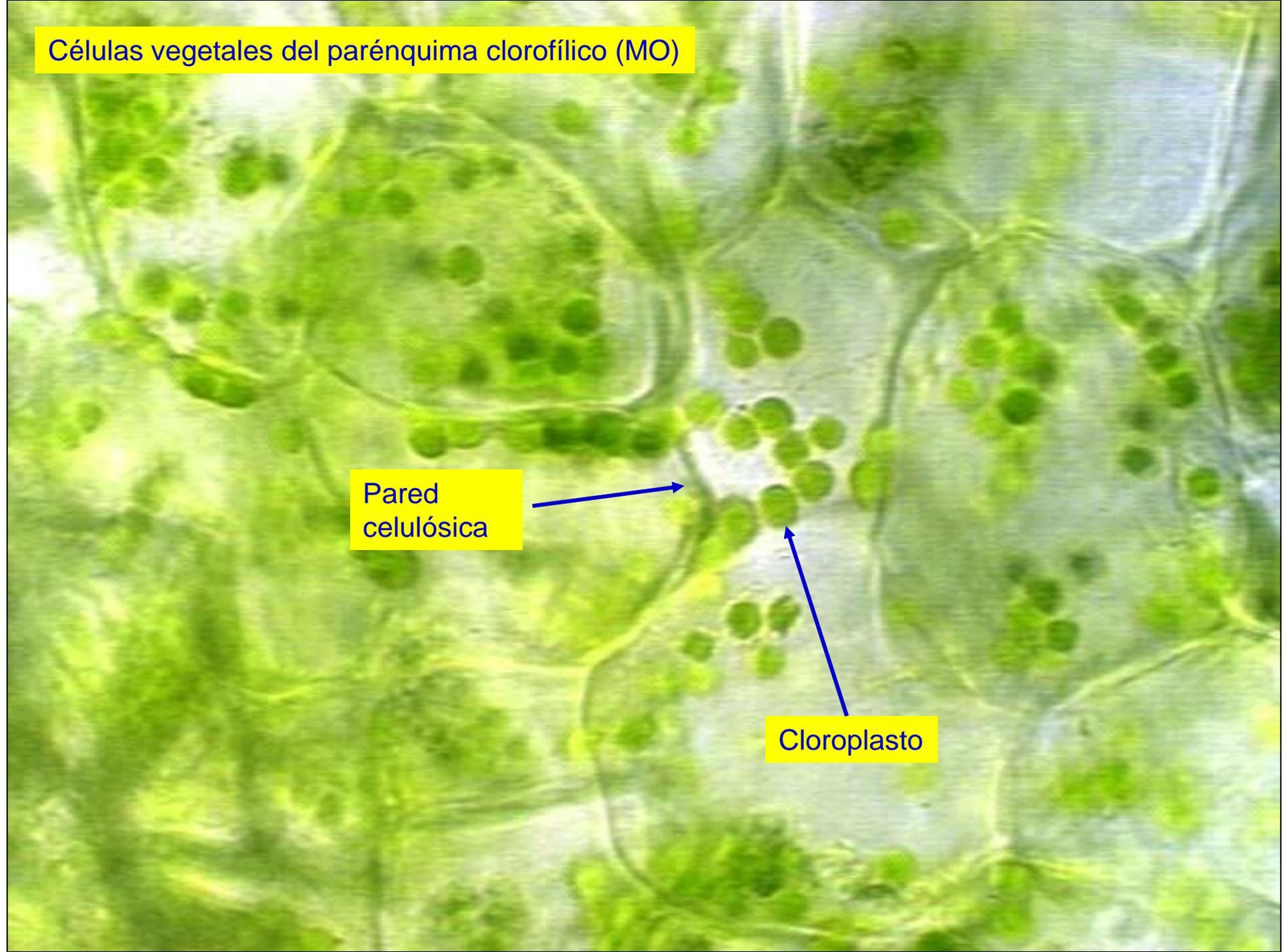


Células vegetales del parénquima clorofílico (MO)

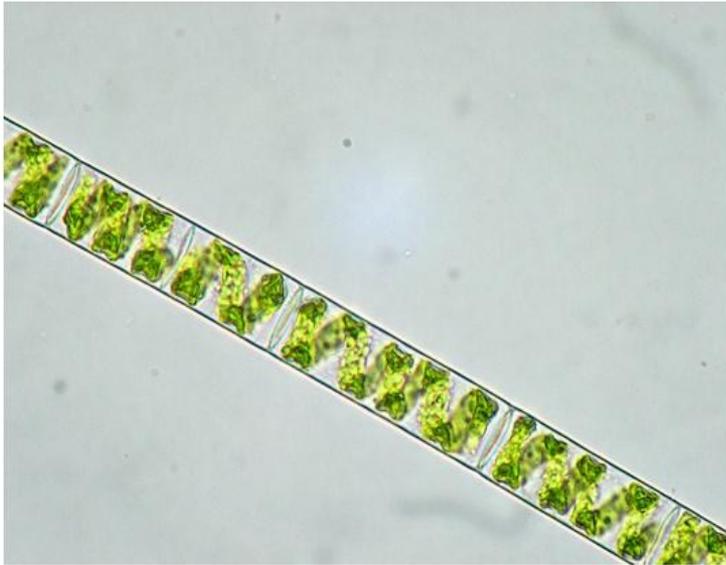
Pared
celulósica



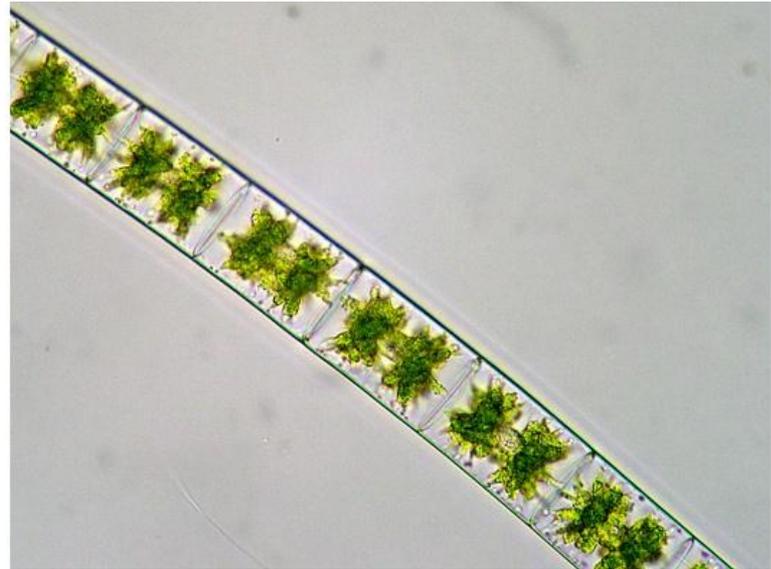
Cloroplasto



La forma más característica de los cloroplastos es elíptica (como una lenteja) pero en ciertos casos pueden tener formas diferentes.



Cloroplasto en hélice de la
Spyrogira, un alga filamentosa.



Cloroplastos estrellados en
Zygnema, un alga filamentosa.

http://www.telefonica.net/web2/ninosantamaria/subalbum_2.html

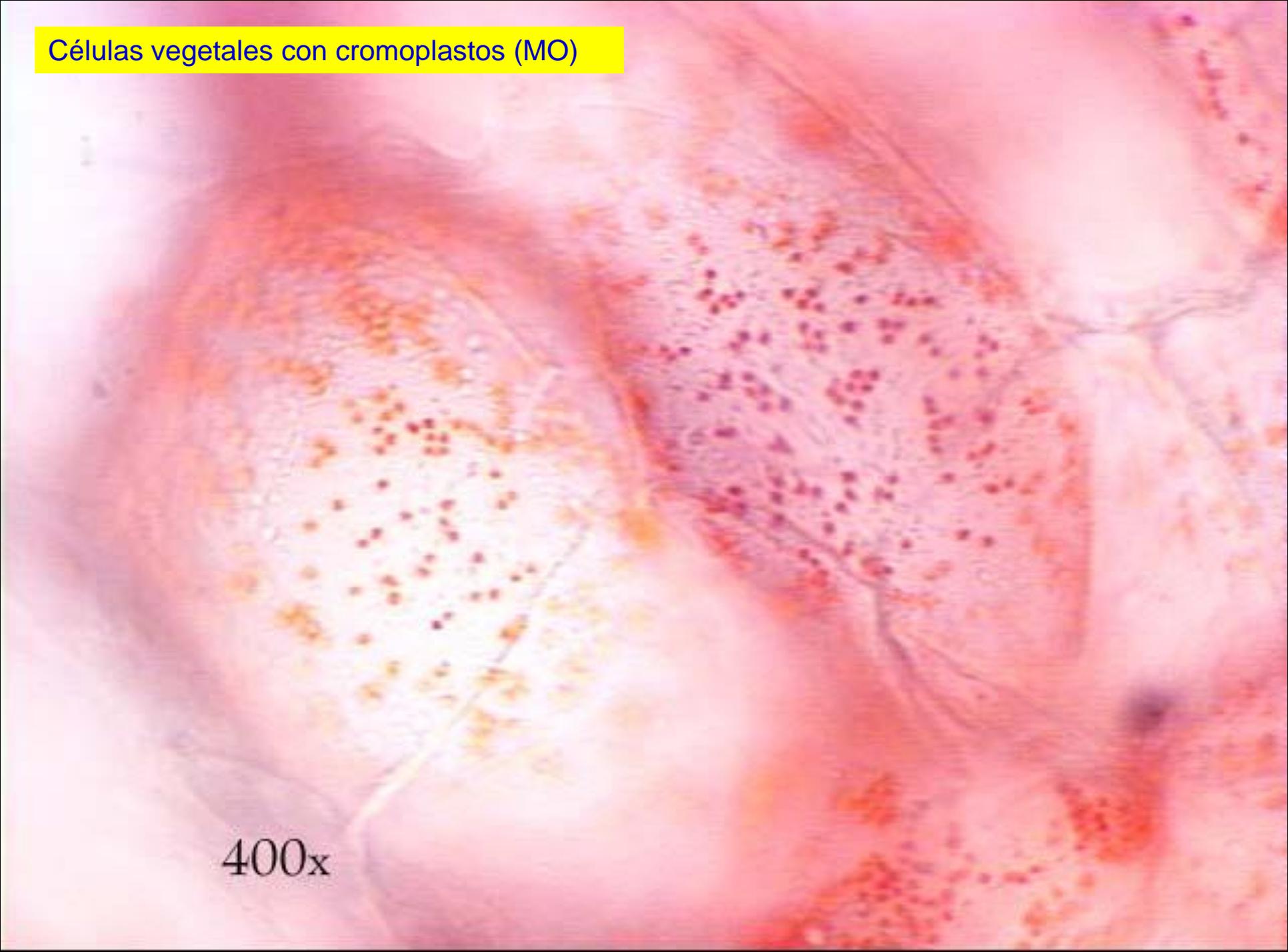
Células vegetales con cromoplastos (MO)



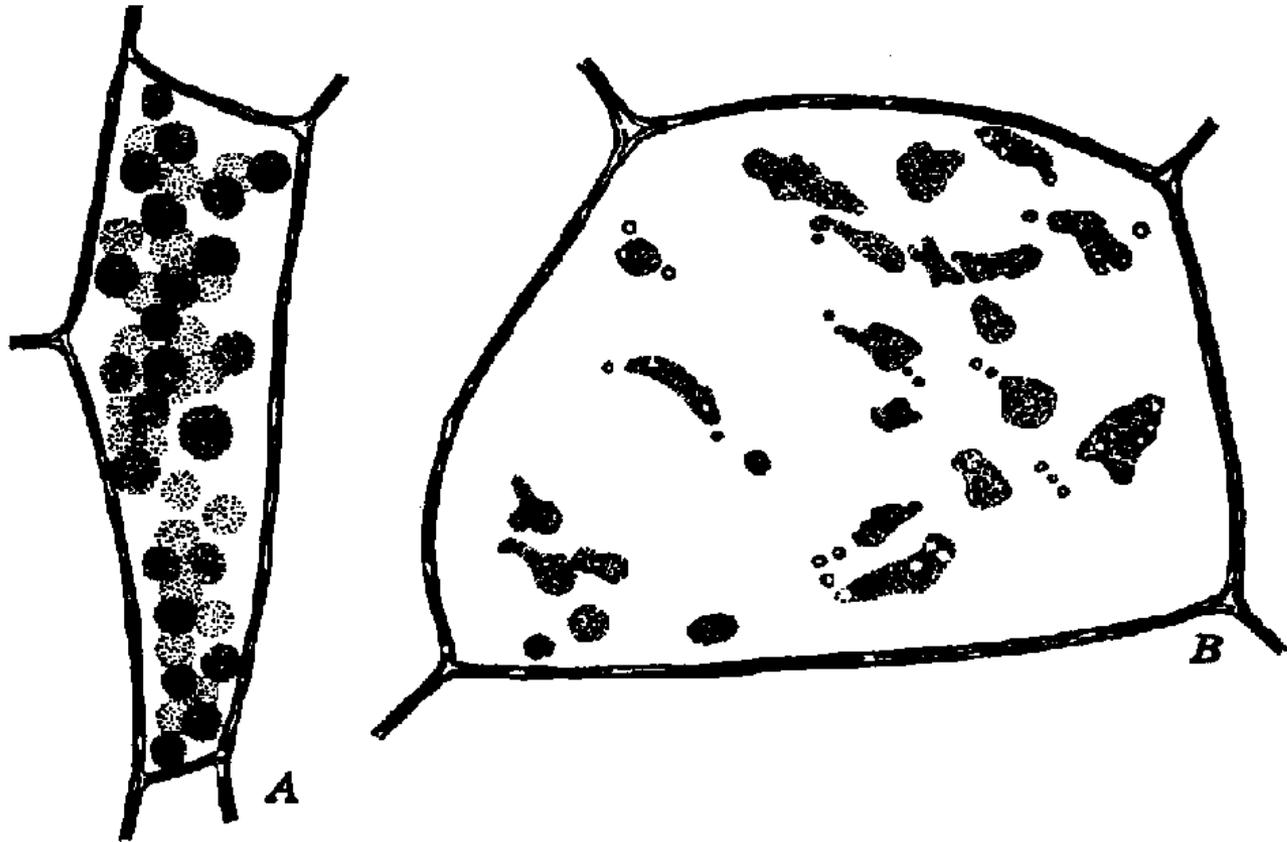
400x

Células vegetales con cromoplastos (MO)

400x

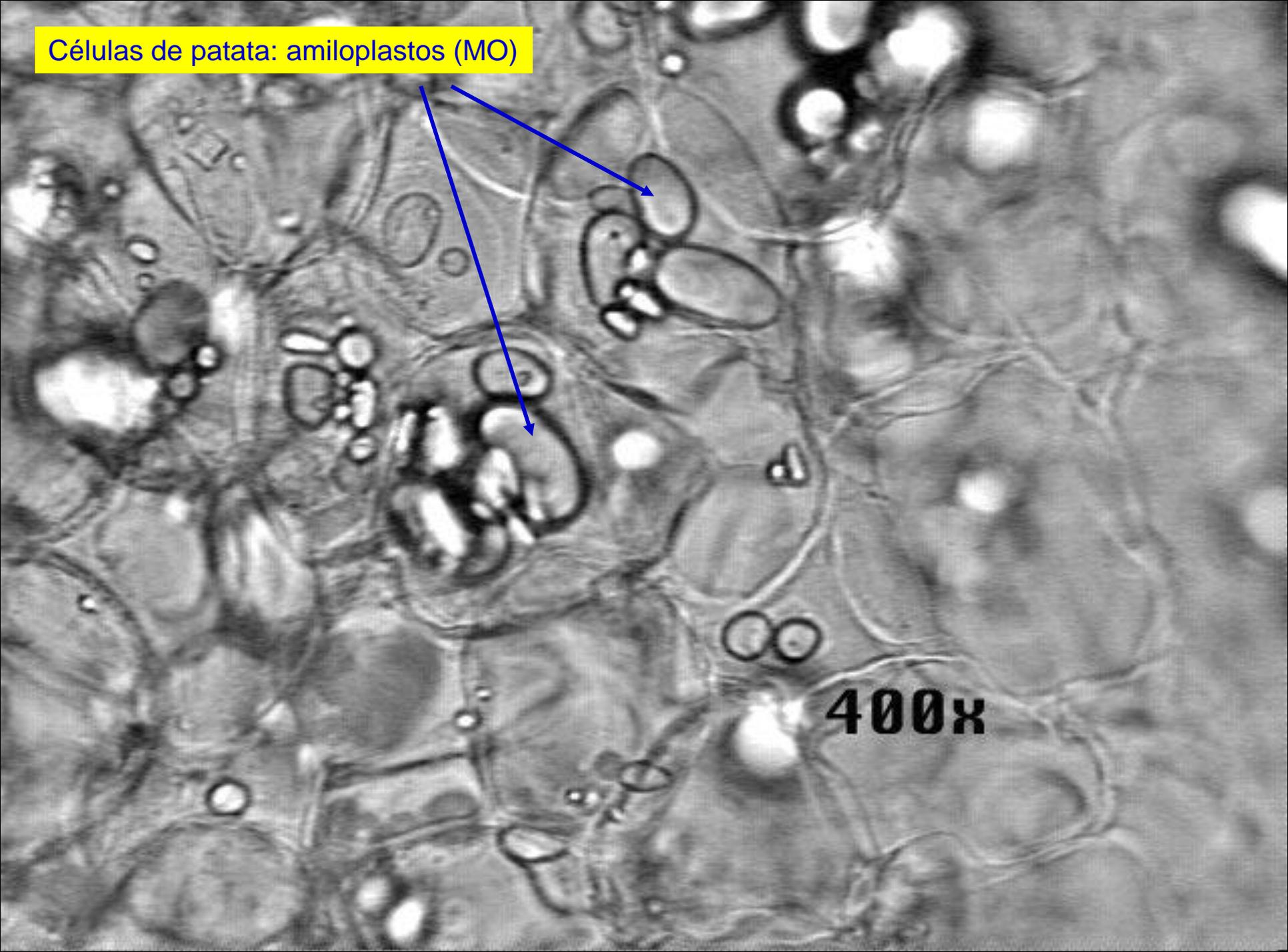


Esquemas de cromoplastos en células vegetales



Cromoplastos. A, en caléndula; B, del fruto de *Pyracantha*
(según Katherine Esau)

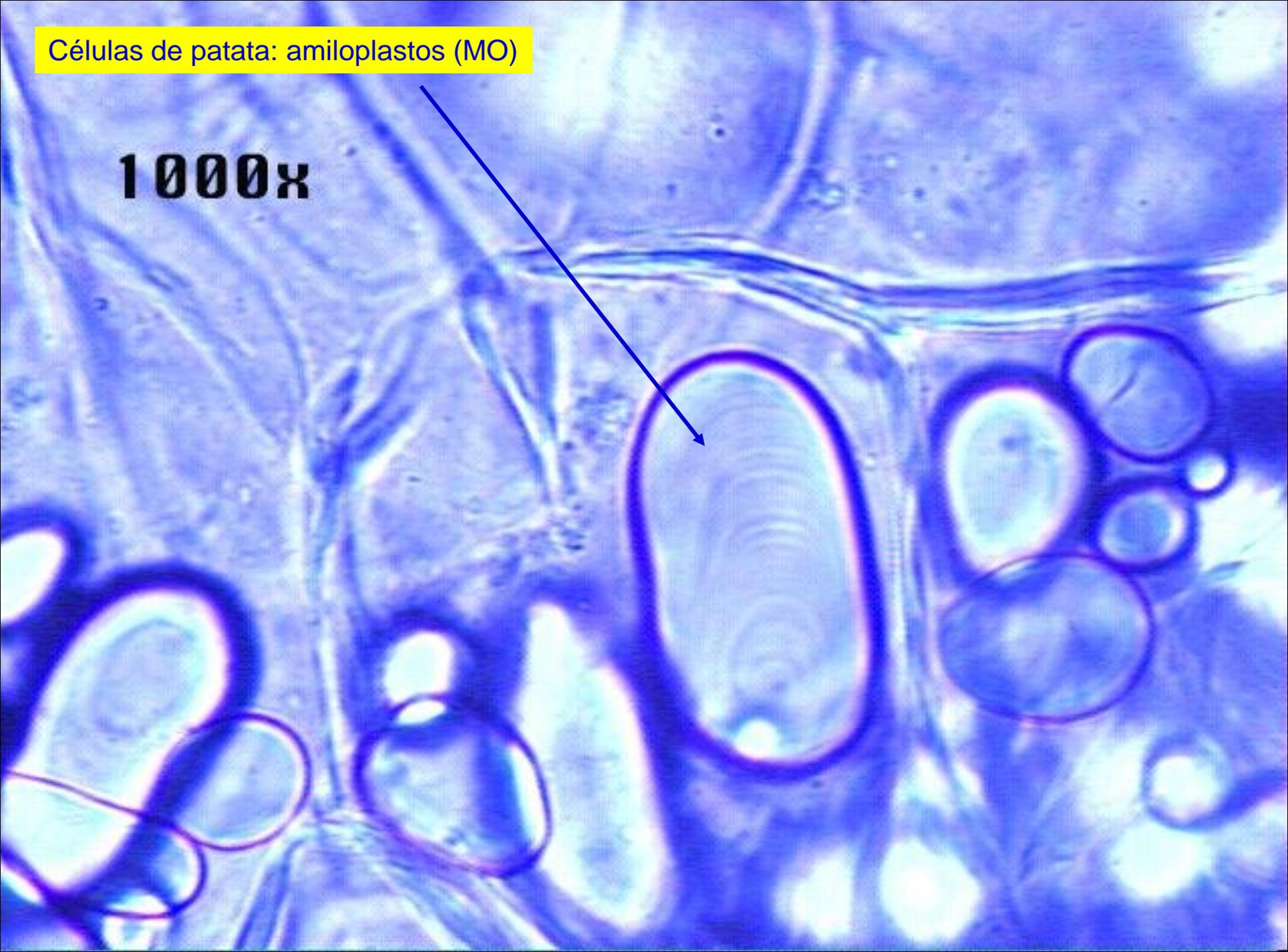
Células de patata: amiloplastos (MO)



400x

Células de patata: amiloplastos (MO)

1000x





ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



h- Quimiosíntesis



i - Fin

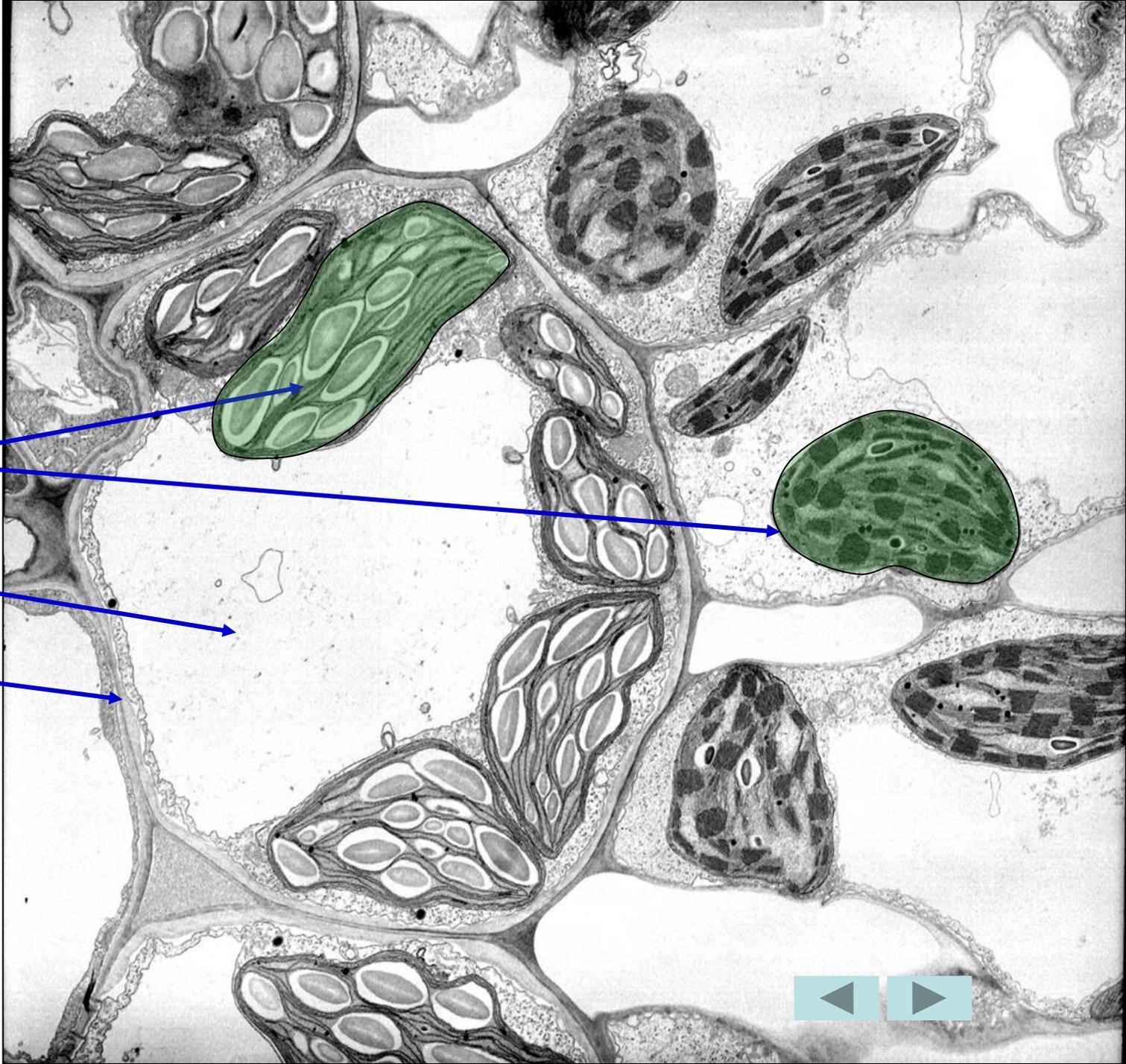
c) ultraestructura de los cloroplastos

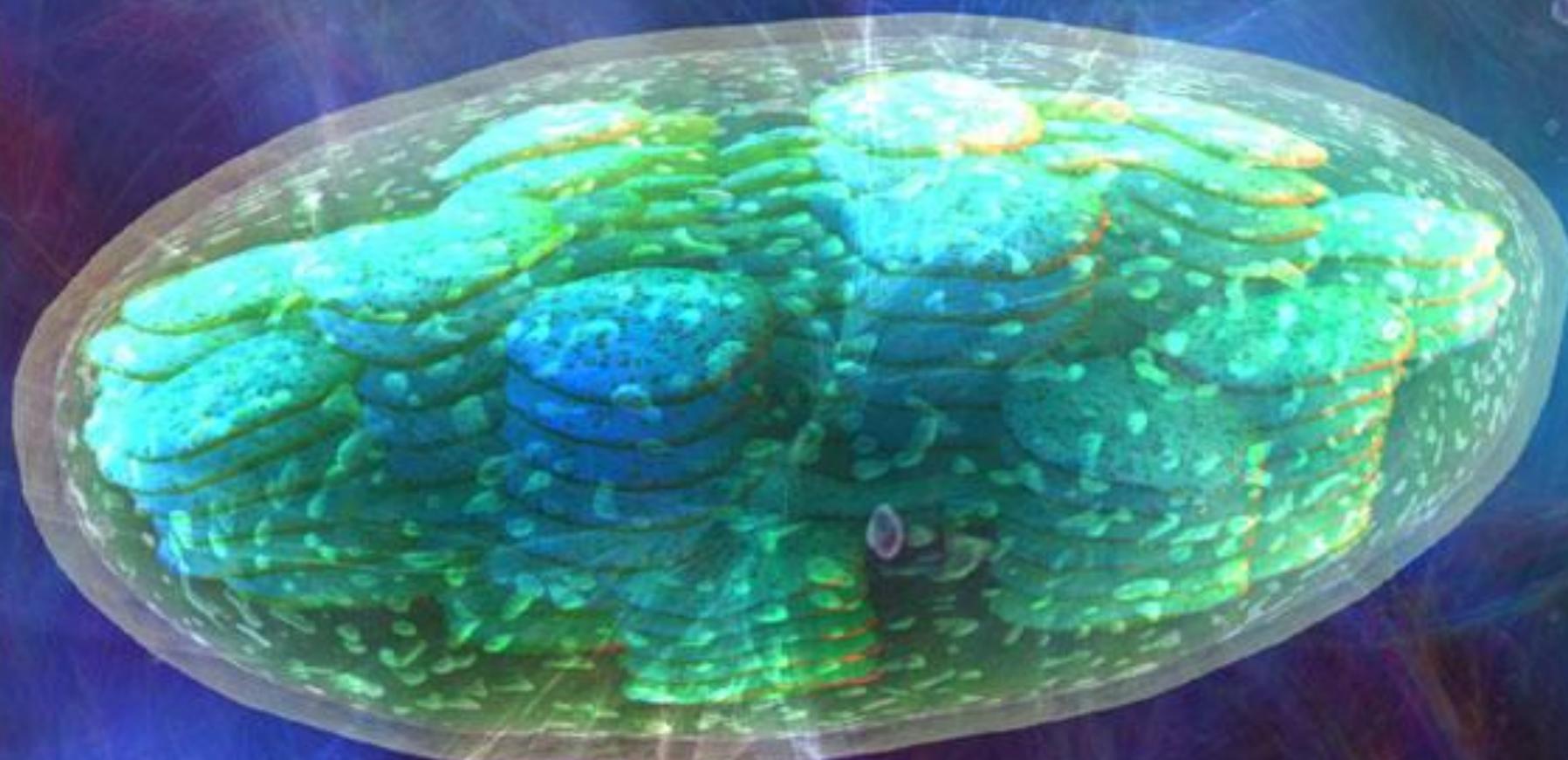
**Células
vegetales
vistas al MET
en las que
pueden
observarse
numerosos
cloroplastos**

Cloroplastos

Vacuola

Pared celular





hybrid

hybrid

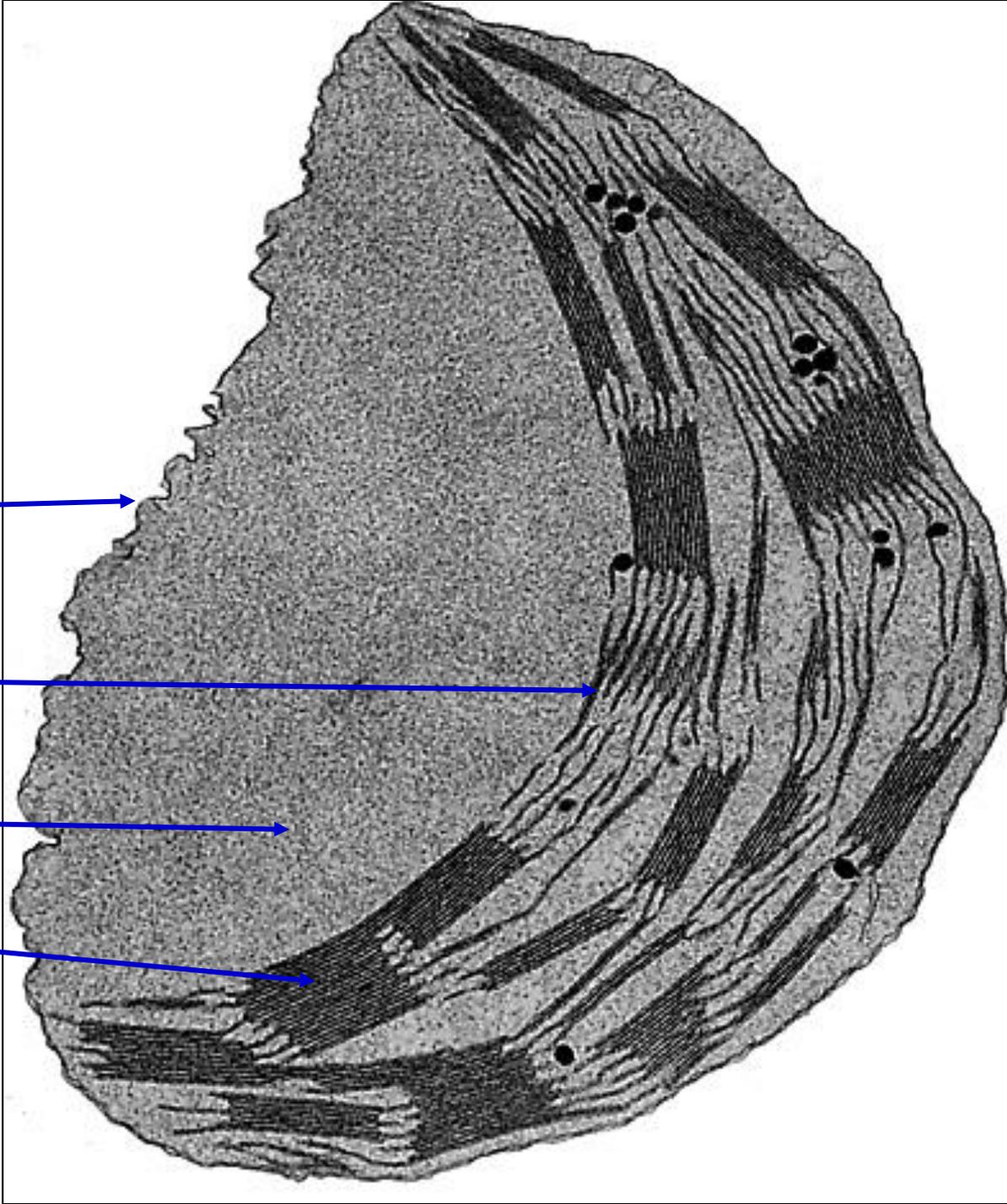
Cloroplasto visto al MET a gran aumento

membrana externa

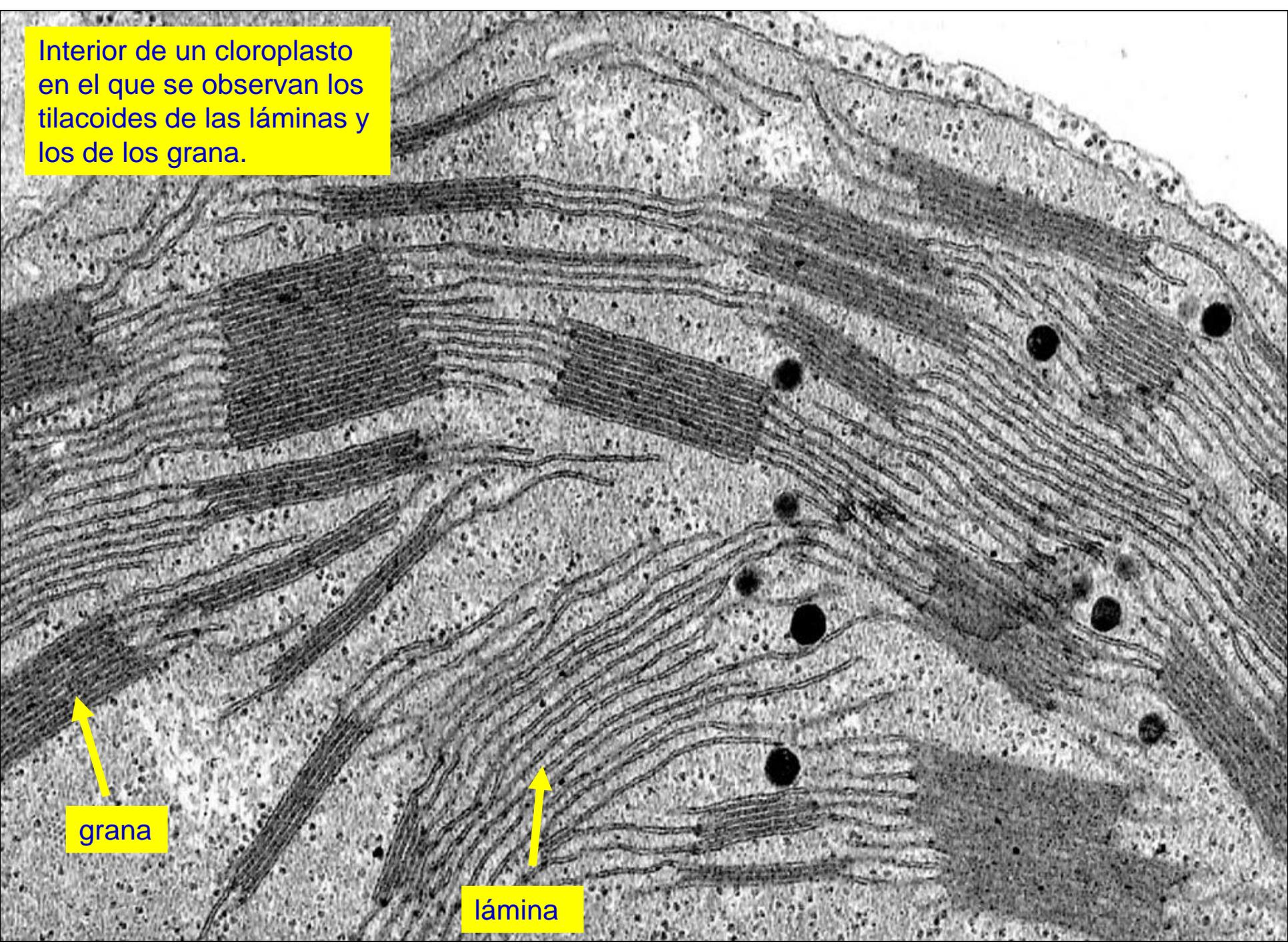
láminas

estroma

grana



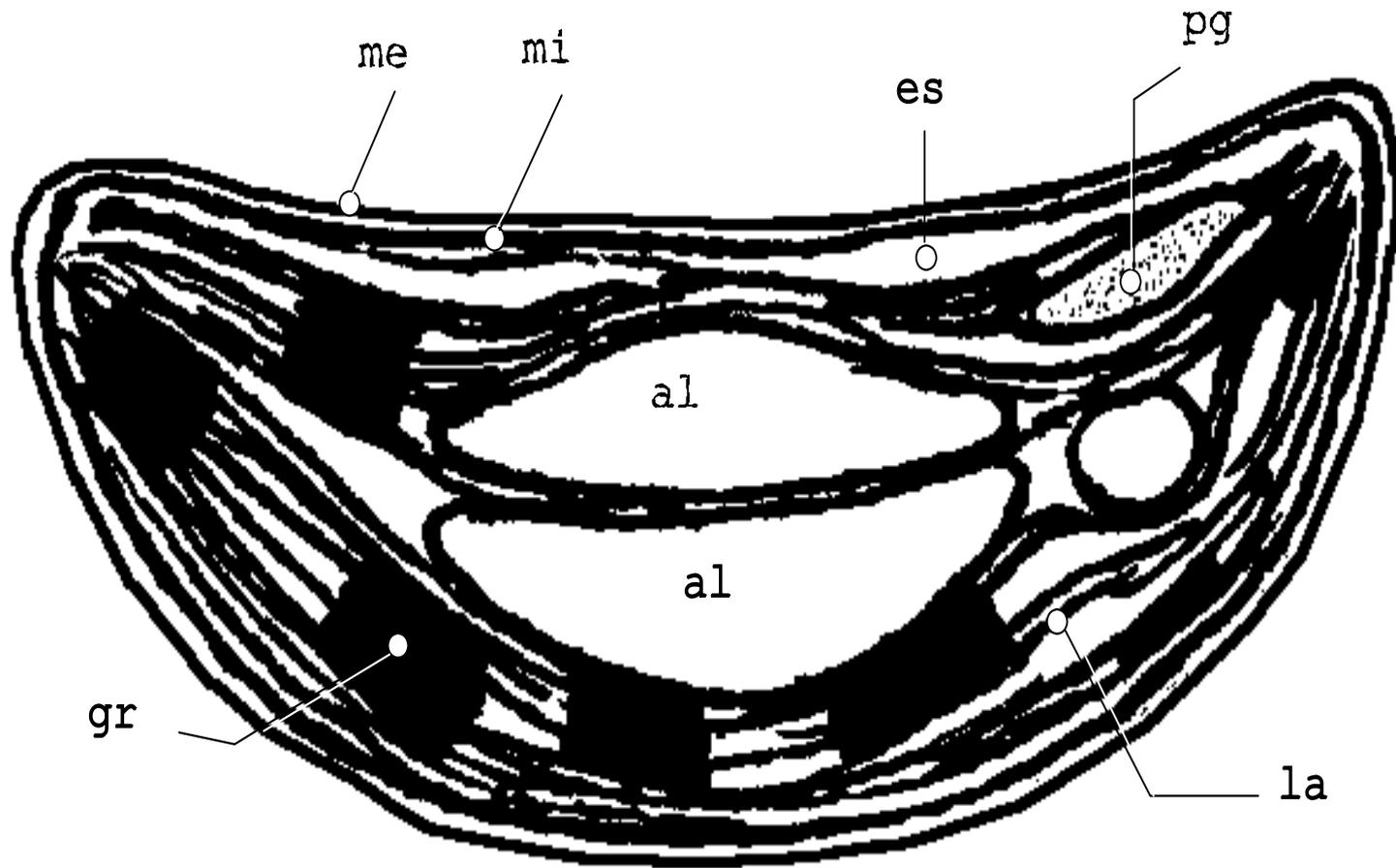
Interior de un cloroplasto
en el que se observan los
tilacoides de las láminas y
los de los grana.



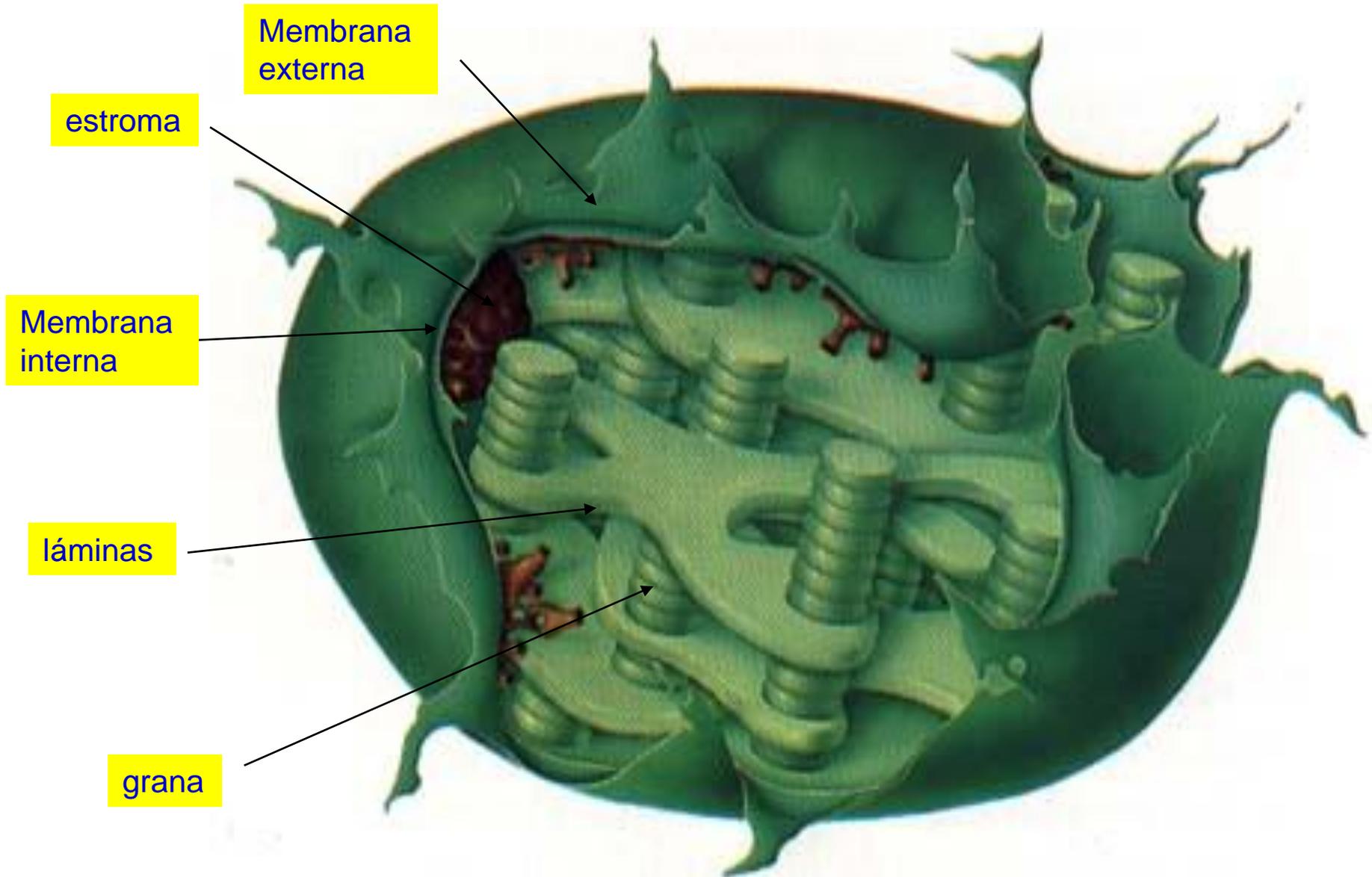
grana

lámina

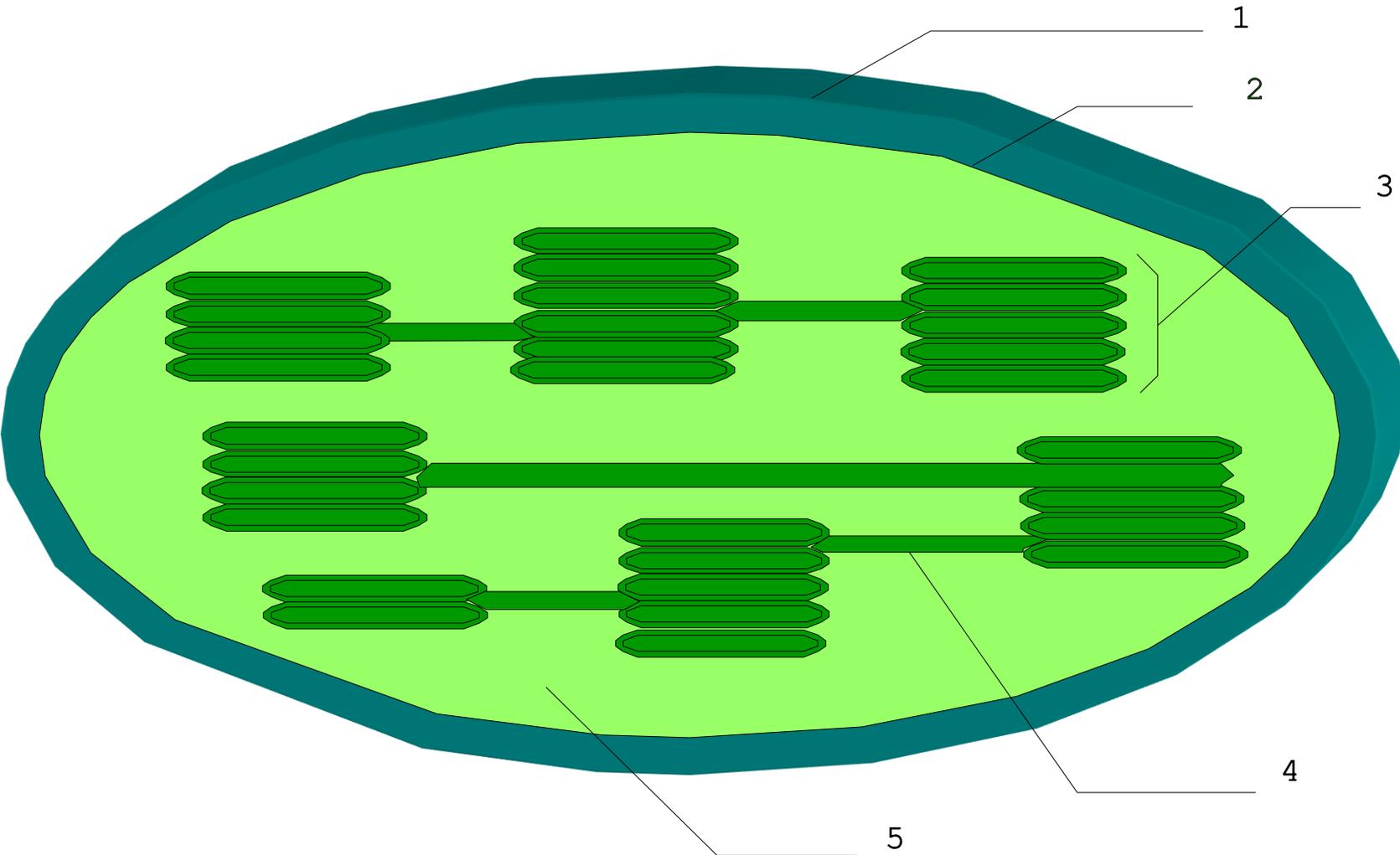
Corte de un cloroplasto.



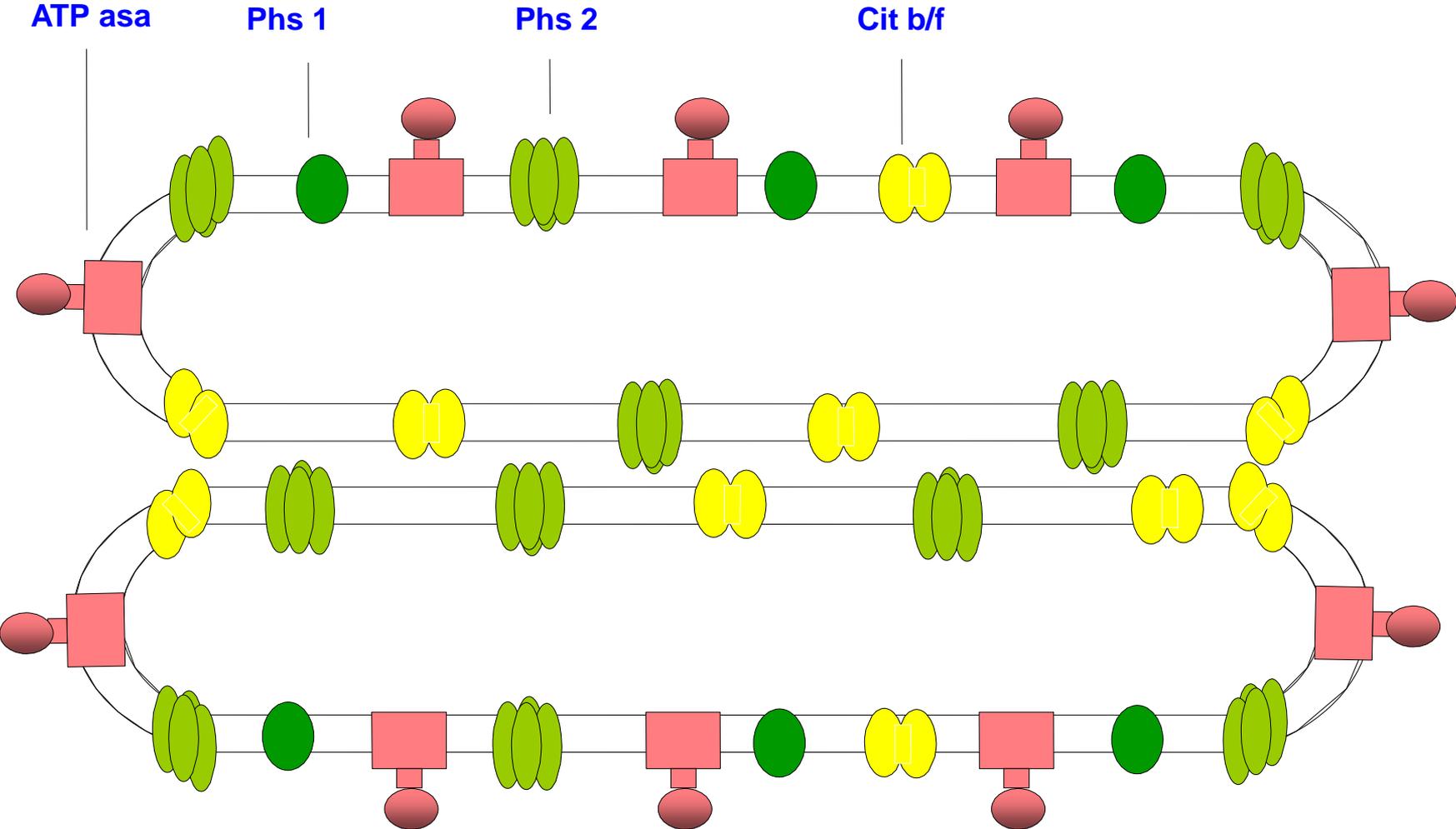
Esquema 3D de la ultraestructura de un cloroplasto

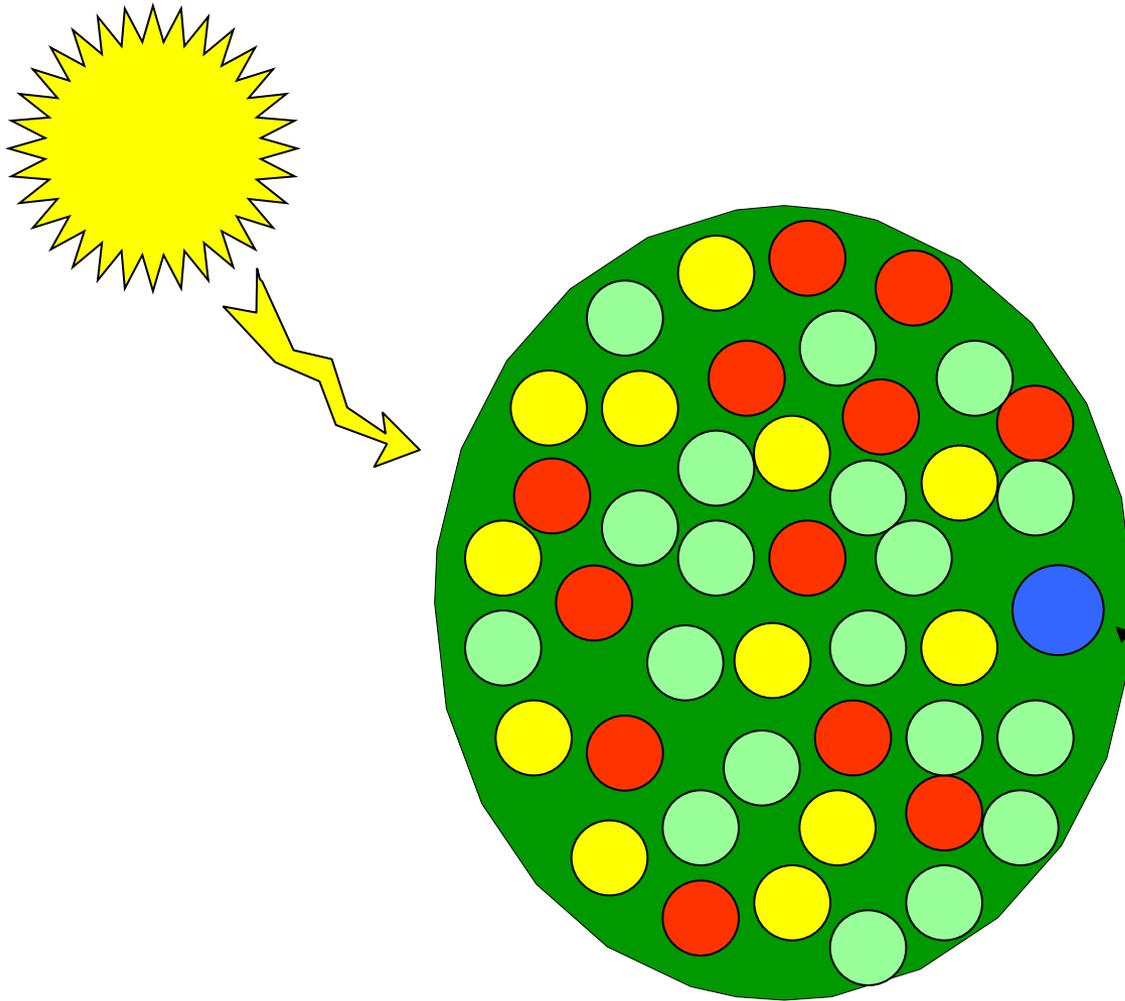


Esquema de la estructura de un cloroplasto: 1) membrana externa; 2) membrana interna; 3) grana; 4) láminas; 5) estroma.



Estructura y componentes de los tilacoides de los grana.



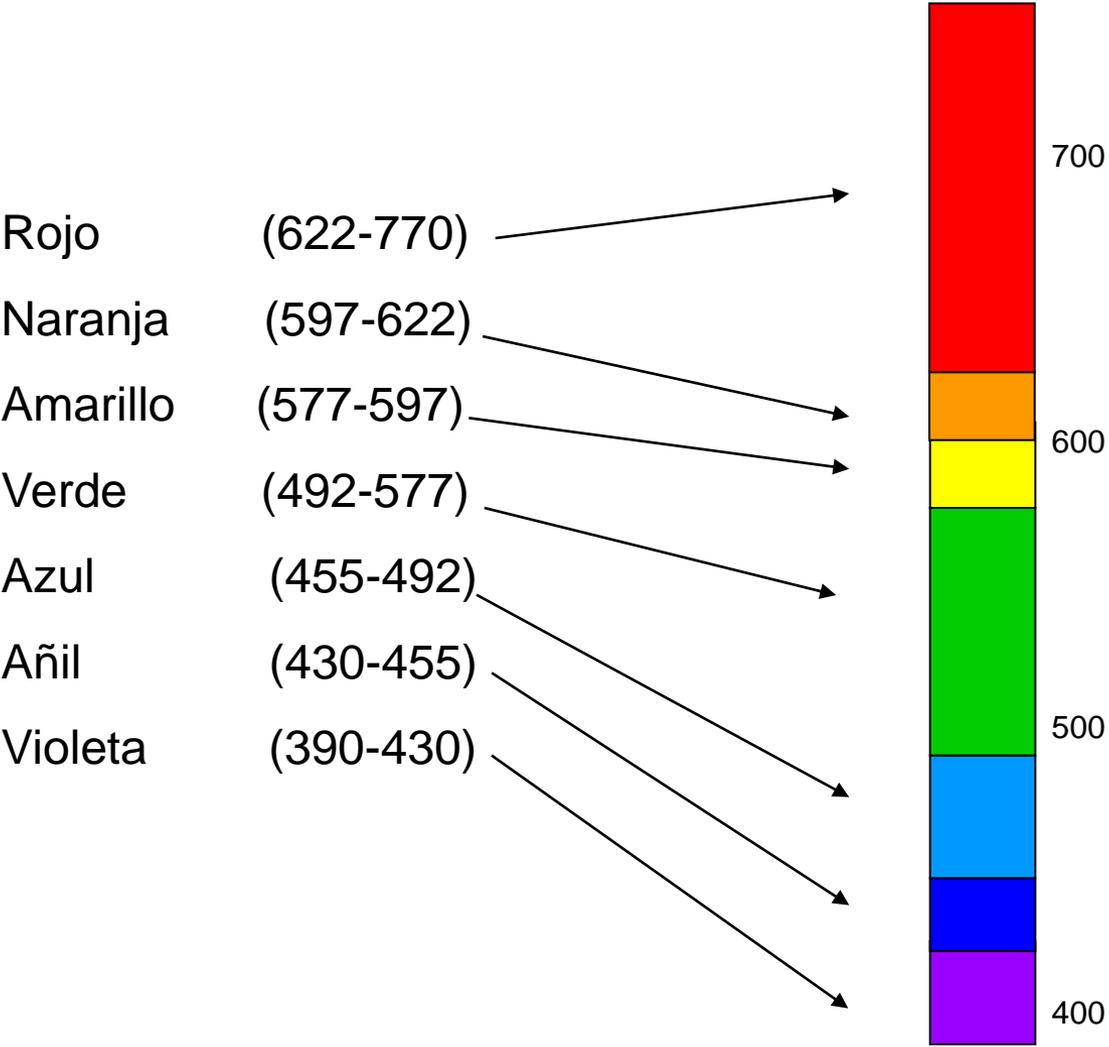


Fotosistema

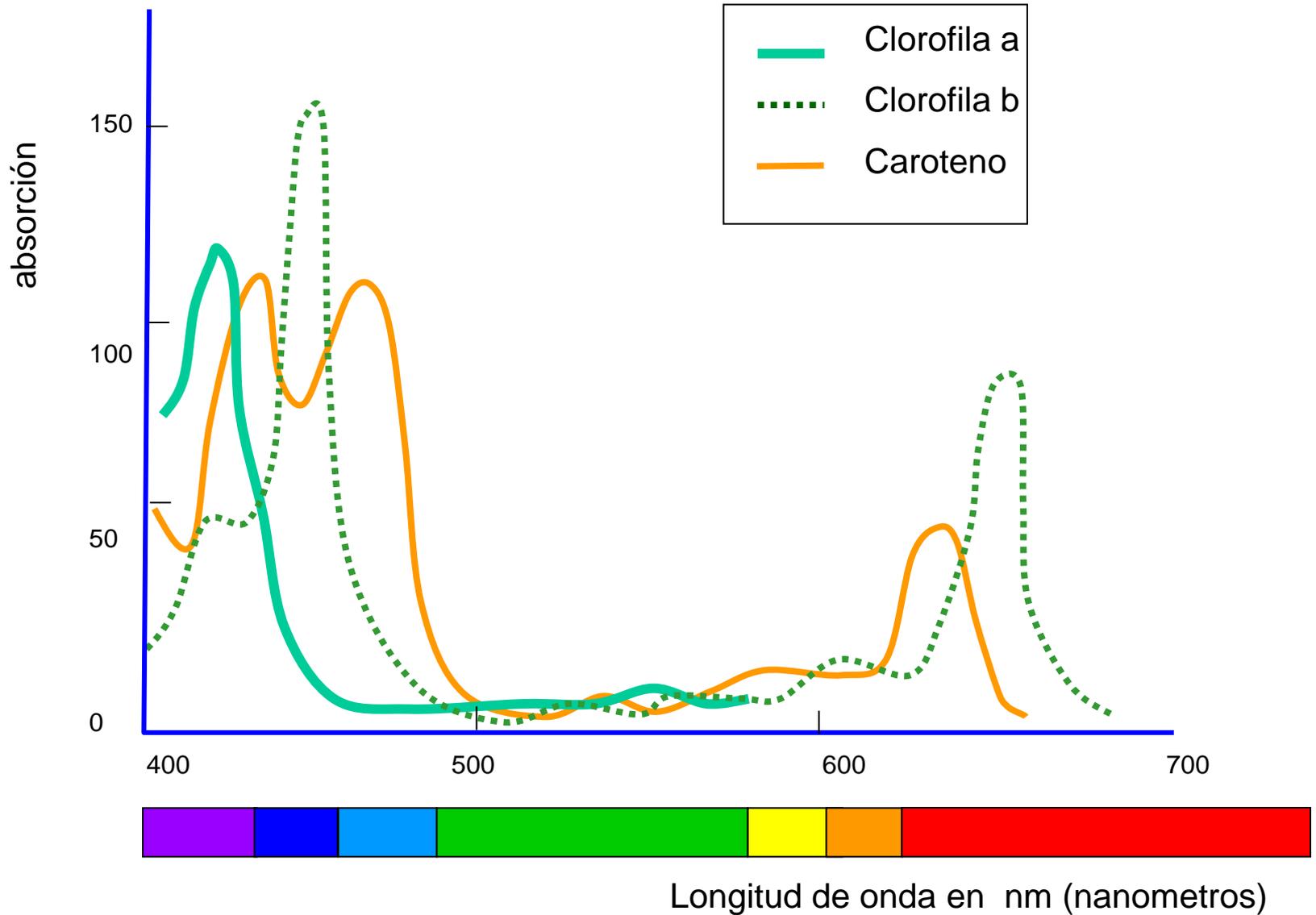
Cada fotosistema contiene carotenos, clorofilas y proteínas. Estas moléculas captan la energía luminosa y la ceden a las moléculas vecinas presentes en cada fotosistema hasta que llega a una molécula de clorofila-a denominada **molécula diana**.

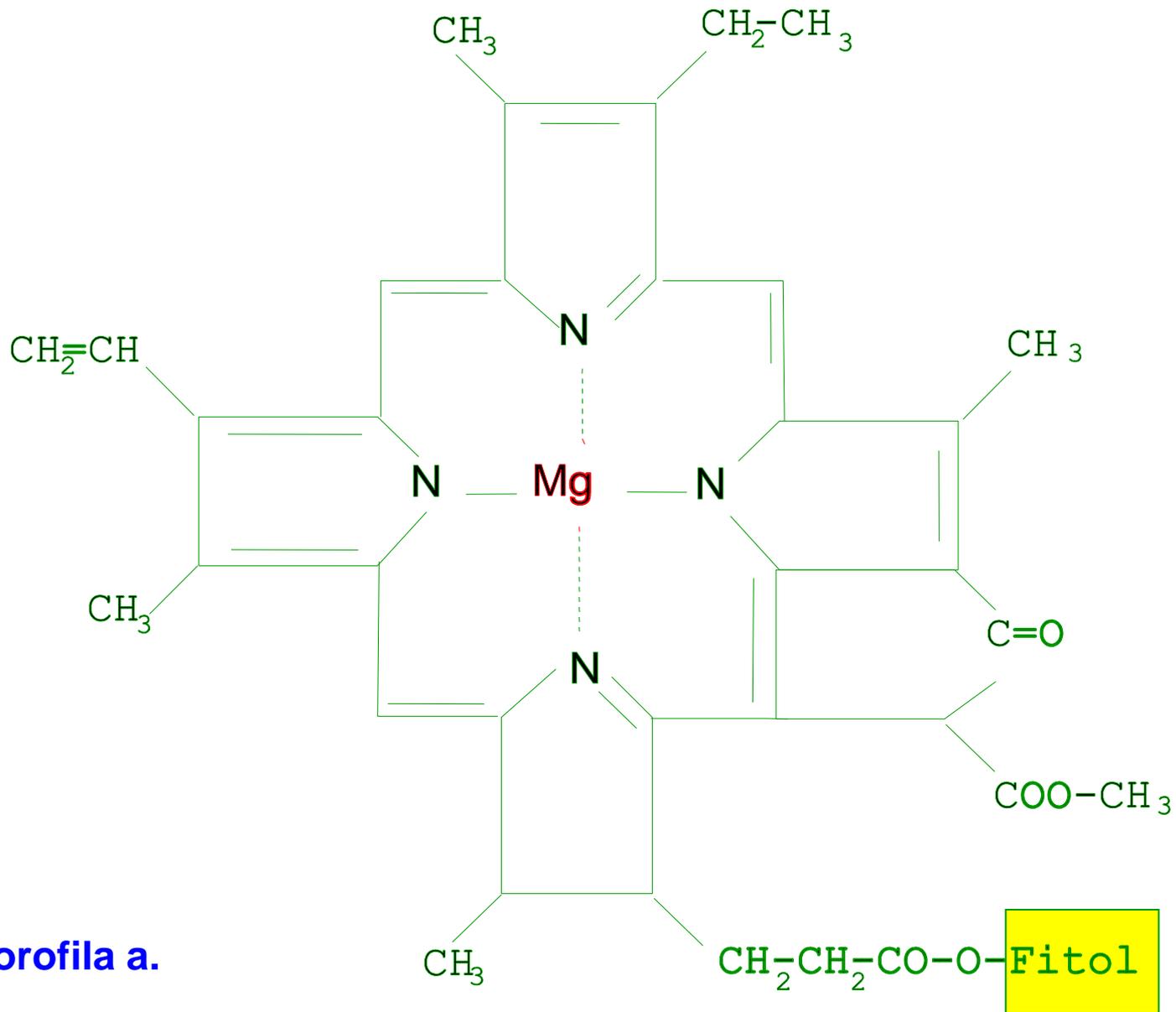
Las diferentes sustancias captan luz de diferente longitud de onda. De esta manera, gran parte de la energía luminosa es captada.

Longitudes de onda de los colores del espectro en nm.

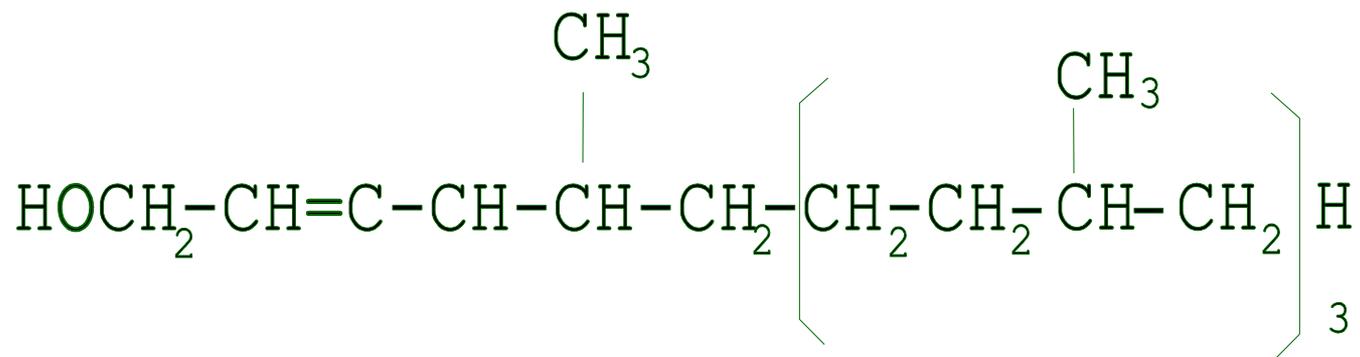


Gráficas de absorción de los pigmentos fotosintéticos





La clorofila a.



El fitol



ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



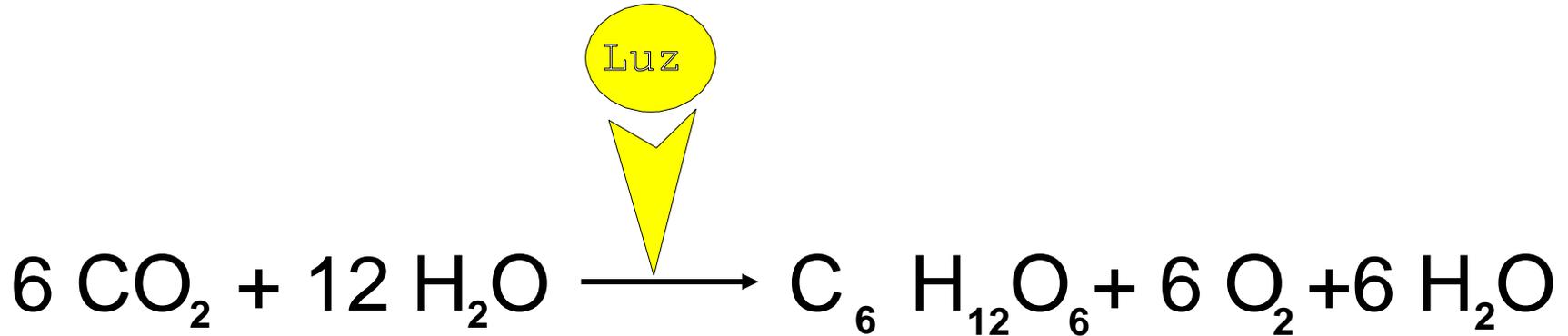
h- Quimiosíntesis



i - Fin

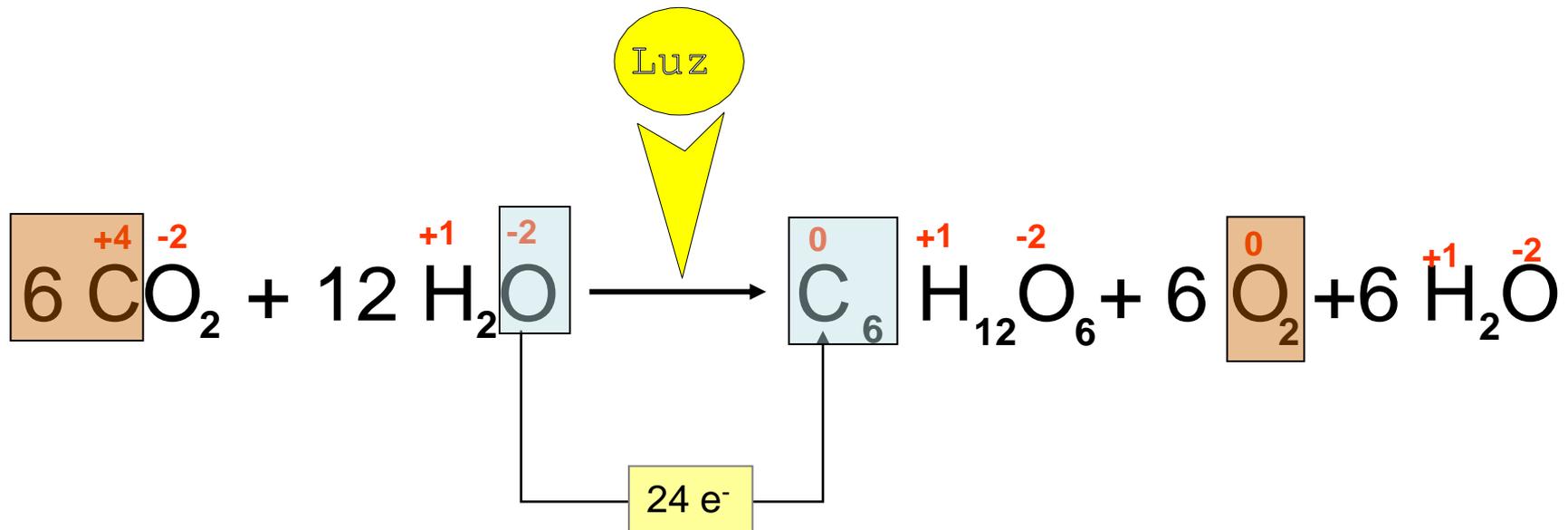
d) mecanismo de la fotosíntesis

Ecuación global de la fotosíntesis: La fotosíntesis, o mejor dicho, uno de sus procesos, la síntesis de glucosa, puede resumirse en las siguientes ecuaciones globales (sin simplificar y simplificada).



Ahora bien, estas ecuaciones sólo indican las sustancias iniciales y finales y la fotosíntesis, como veremos, es un proceso realmente complejo.

La fotosíntesis es un proceso redox (oxidación-reducción) en el que el carbono del CO_2 se reduce y es el agua la que aporta los electrones necesarios para ello.



Si obtenemos los números de oxidación de los elementos que participan en el proceso, veremos que hay 6 carbonos con número de oxidación +4 (+24) que pasan a tener 0 en la glucosa. Para ello se necesitarán 24 electrones que serán aportados por los 12 oxígenos del agua. Estos, pasan de tener -2 a tener 0 como número de oxidación.

Fases de la fotosíntesis

Distinguiremos dos fases en la fotosíntesis:

- **Fase luminosa:** se realiza en los tilacoides (membranas de las láminas y de los granas) y se llama así pues es la fase que requiere la luz de manera directa.

En esta fase la energía luminosa es utilizada para la síntesis de **NADPH** y de **ATP**

- **Fase oscura:** se realiza en el estroma y no requiere la luz directamente.

En ella se utilizan el NADPH y el ATP obtenidos en la fase luminosa para la síntesis de compuestos orgánicos.

PROCESOS QUE SE DAN EN CADA FASE DE LA FOTOSÍNTESIS

En la fotosíntesis se van a producir los siguientes procesos:

Fase luminosa

1º) Captación por las clorofilas y otros pigmentos fotosintéticos de la energía luminosa y su transformación en energía química contenida en el ATP.

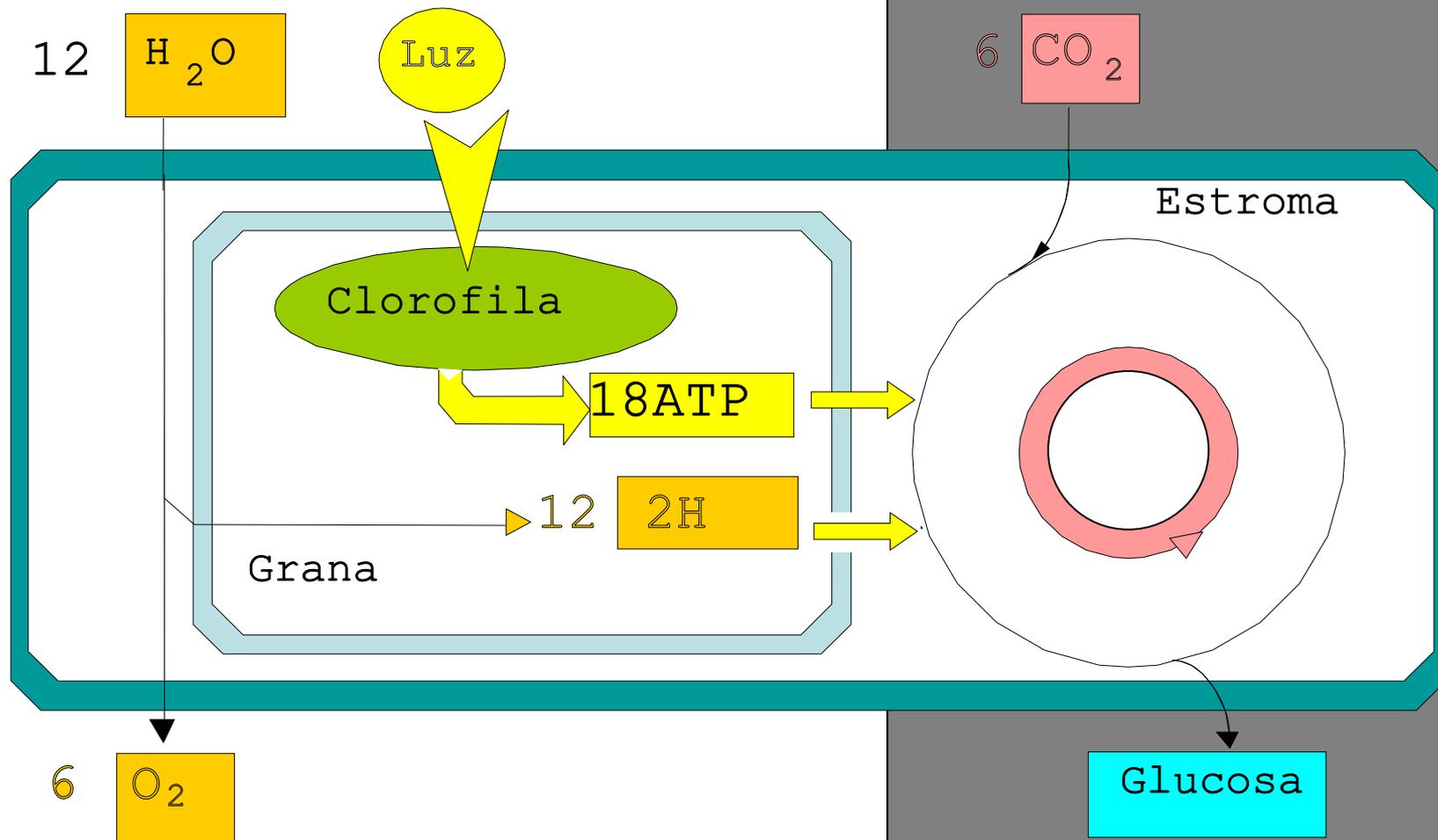
2º) Obtención de electrones a partir del agua. Estos electrones, convenientemente activados por la energía luminosa, servirán para reducir NADP^+ a NADPH .

Fase oscura

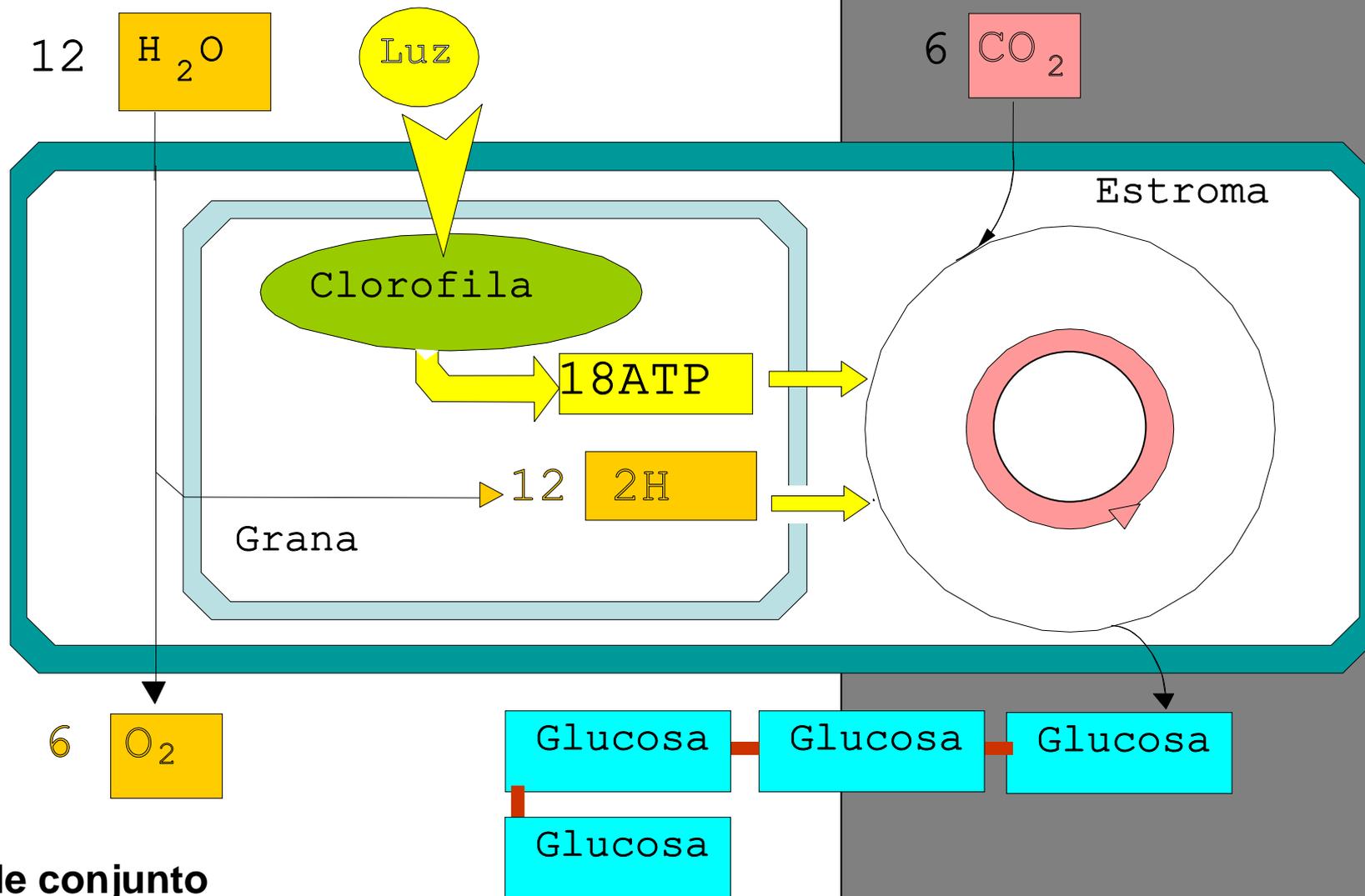
3º) Incorporación del carbono del CO_2 a las cadenas carbonadas.

4º) Reducción por el NADPH del carbono incorporado y síntesis de compuestos orgánicos. La energía la aporta el ATP.

5º) Reducción de otras sustancias inorgánicas (nitratos, nitritos, sulfatos, etc.) para su incorporación a las cadenas carbonadas. La energía es aportada por el ATP.



Visión de conjunto



Visión de conjunto



ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



h- Quimiosíntesis



i - Fin

e) fase luminosa

Fase luminosa

Fase luminosa: se realiza en los tilacoides (membranas de las láminas y de los granas) y se llama así pues es la fase que requiere la luz de manera directa.

Esta fase tiene como objetivo la obtención de:

* NADPH

* ATP

Para ello se realizan los siguientes procesos:

- 1) Las clorofilas absorben la energía luminosa.
- 2) Descomponen el agua en $2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$ y un átomo de oxígeno.
- 3) El transporte de electrones genera **ATP**.
- 4) Los protones y electrones son empleados para reducir el **NADP⁺** a **NADPH**.

Fase luminosa

En la fase luminosa se distinguen dos vías:

A) LA FOTOFOSFORILACIÓN CÍCLICA

En esta vía la luz va a desencadenar un transporte cíclico de electrones a través de los tilacoides con producción sólo de **ATP**.

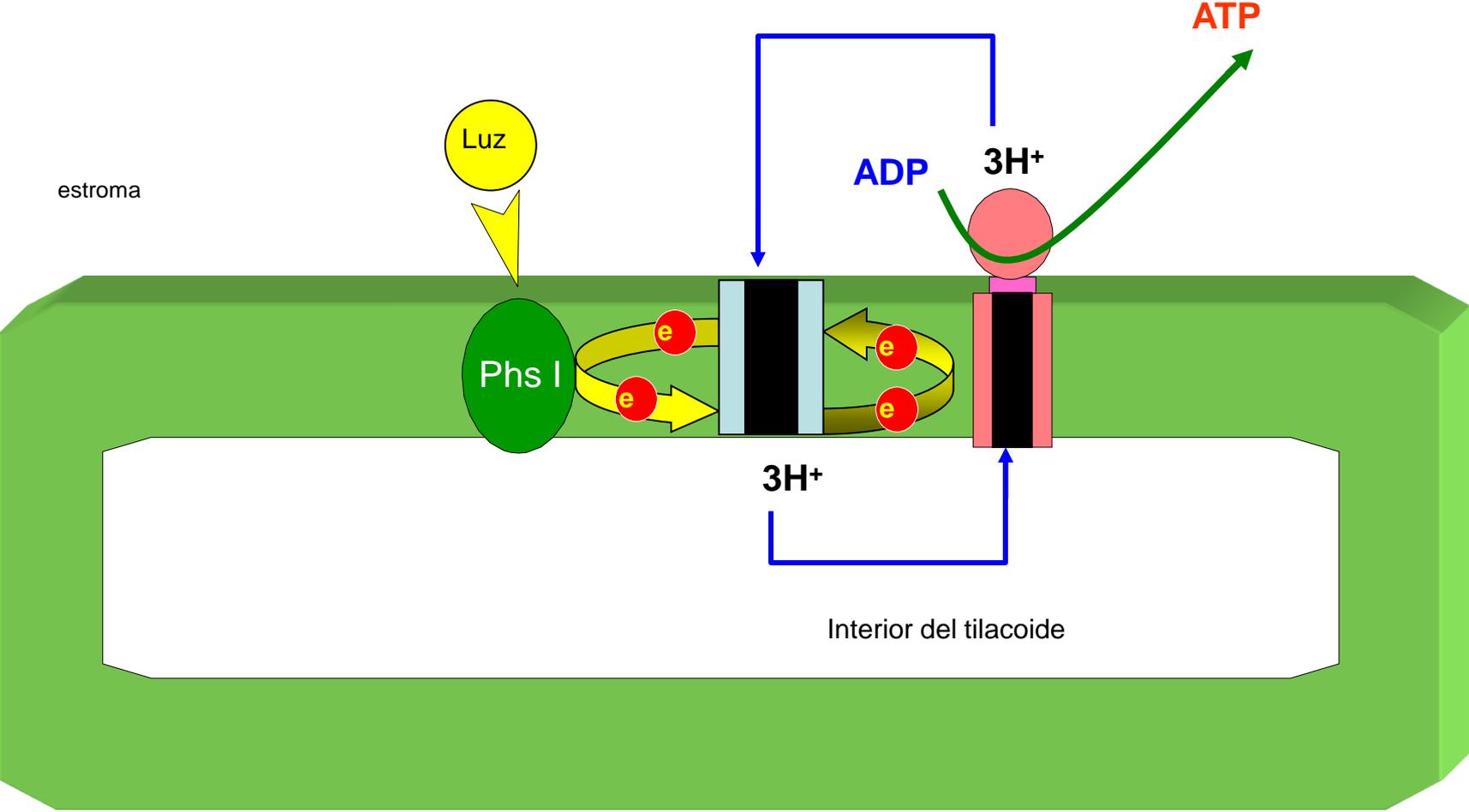
B) LA FOTOFOSFORILACIÓN ACÍCLICA

La luz va a desencadenar un transporte de electrones a través de los tilacoides con producción de **NADPH** y **ATP**. Los electrones serán aportados por el agua.

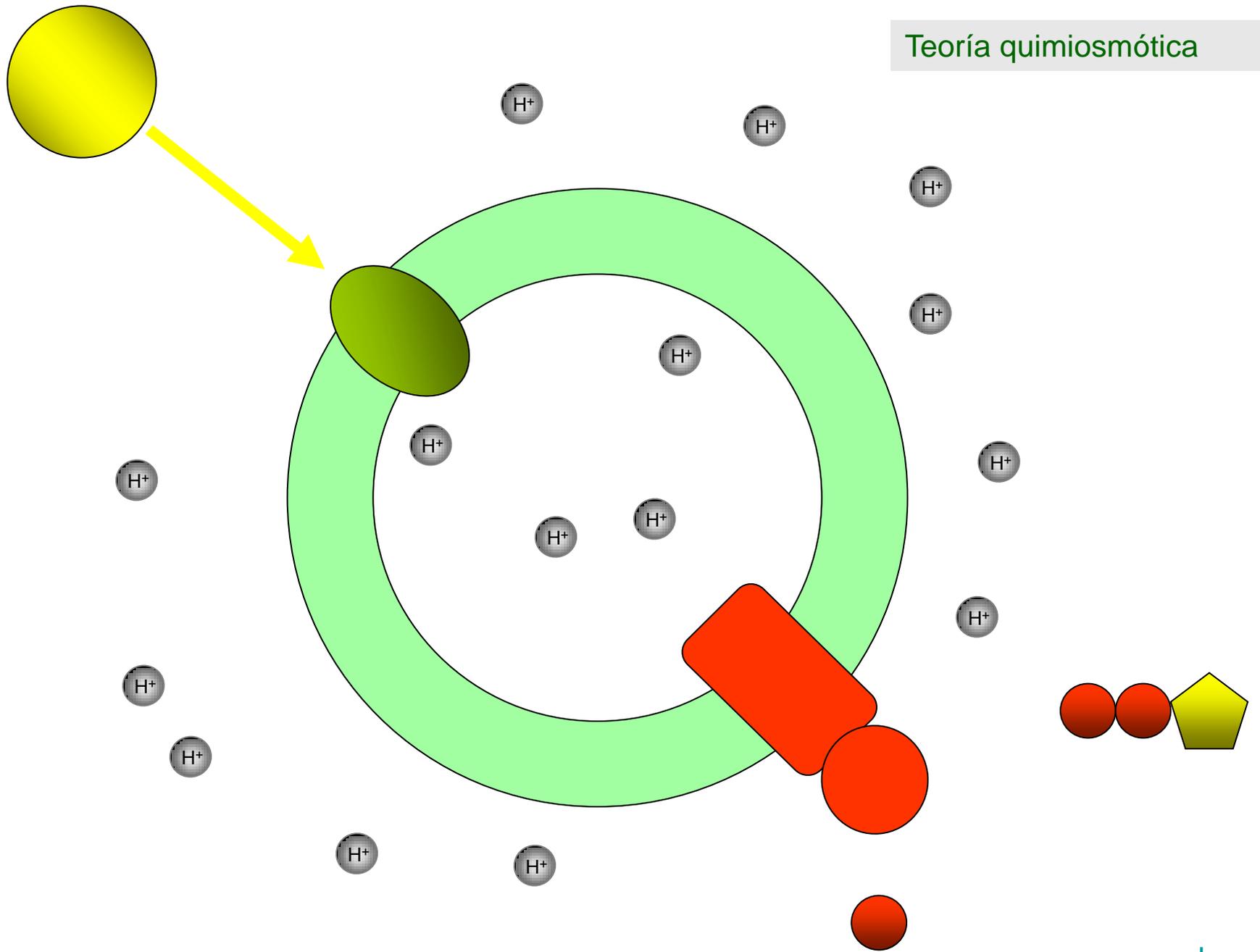
Procesos que se dan en la fotofosforilación cíclica:

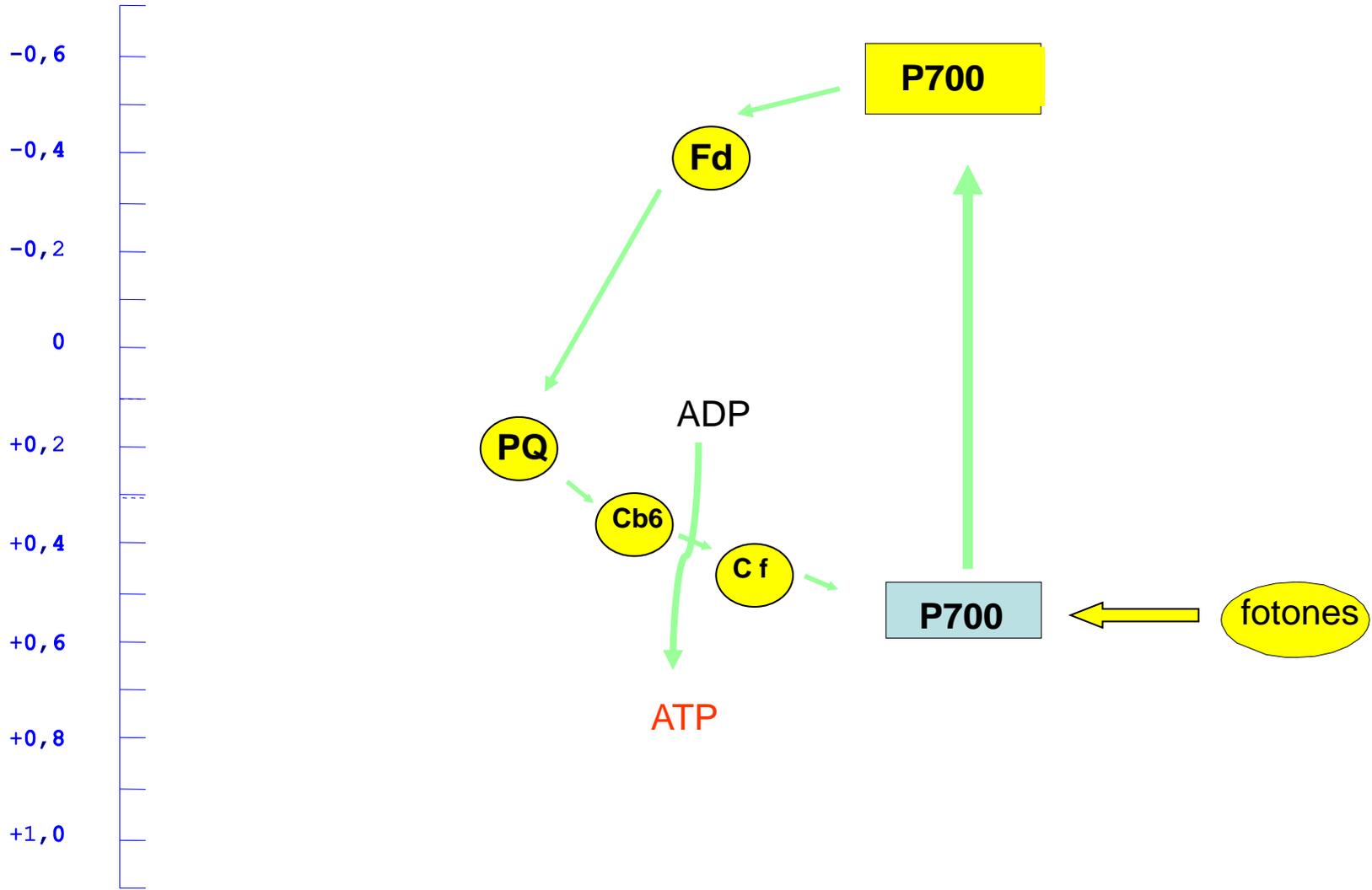
- 1) Absorción de la energía luminosa por el fotosistema I (P_hS_I).
- 2) Esta energía sirve para transportar electrones a través de diferentes transportadores de los tilacoides.
- 3) El transporte de electrones genera un bombeo de protones al interior de los grana y de las láminas.
- 4) Los protones salen a través de las **ATP asas** generando **ATP**.
- 5) Los electrones son recuperados por los fotosistemas.

* La fotofosforilación cíclica



Teoría quimiosmótica

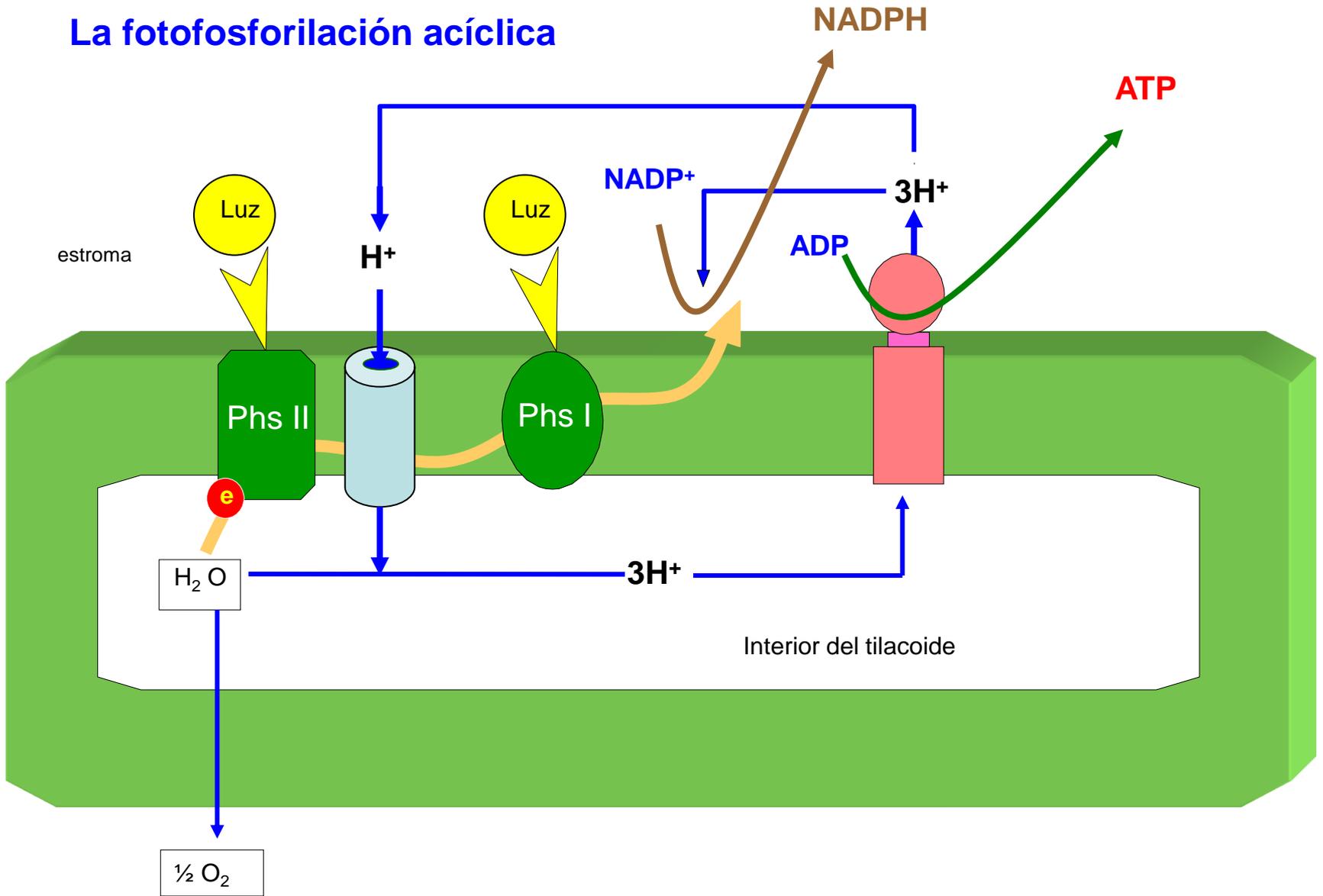


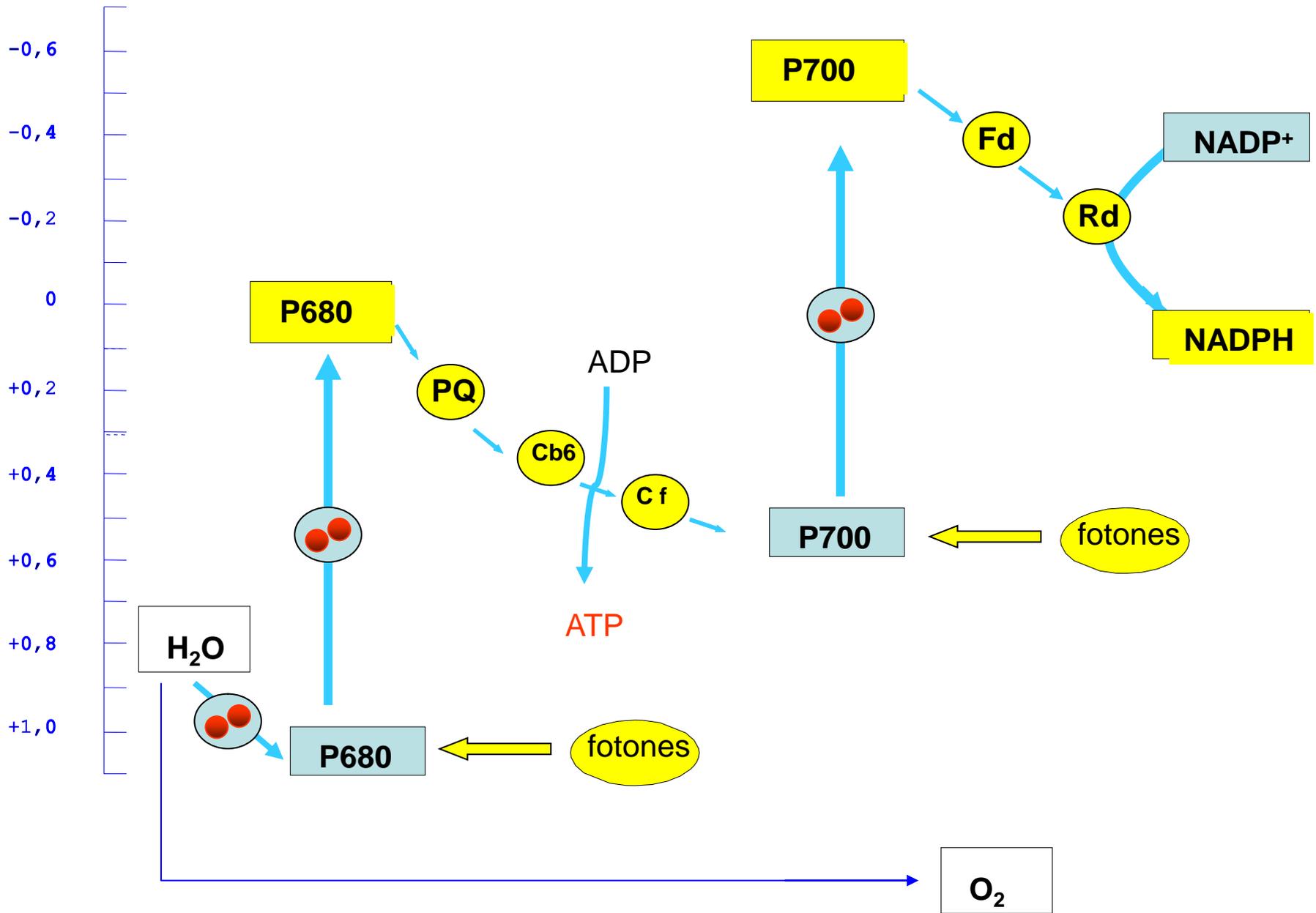


Procesos que se dan en la fotofosforilación acíclica:

- 1) Absorción de la energía luminosa por los fotosistemas (P_hI y II).
- 2) Esta energía sirve para transportar electrones a través de diferentes transportadores de los tilacoides.
- 3) El transporte de electrones genera un bombeo de protones al interior de los grana y de las láminas.
- 4) Los protones salen a través de las **ATP asas** generando **ATP**.
- 5) Los electrones y protones sirven para reducir el **NADP⁺** a **NADPH**.
- 6) Las clorofilas recuperan los electrones cedidos al **NADP⁺** mediante la fotólisis del agua.

La fotofosforilación acíclica







ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



h- Quimiosíntesis



i - Fin

g) fase oscura

ciclo de Calvin

Fase oscura o Ciclo de Calvin

Fase oscura: se realiza en el estroma y no requiere la luz de una manera directa.

Esta fase tiene como objetivo la obtención de:

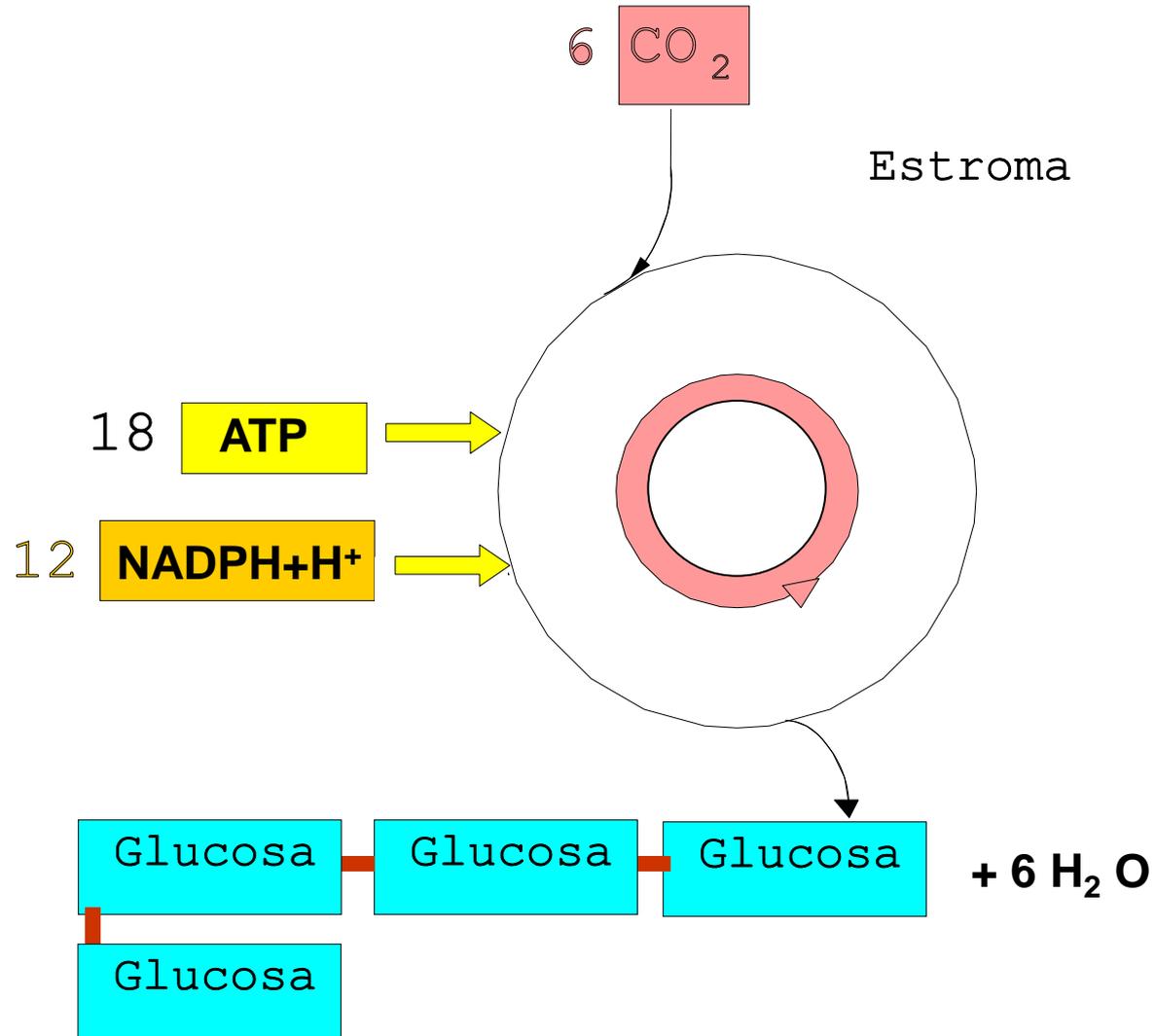
* Glucosa y otros compuestos orgánicos (aminoácidos, ácidos grasos, etc.).

En el caso de la glucosa se realizan los siguientes procesos:

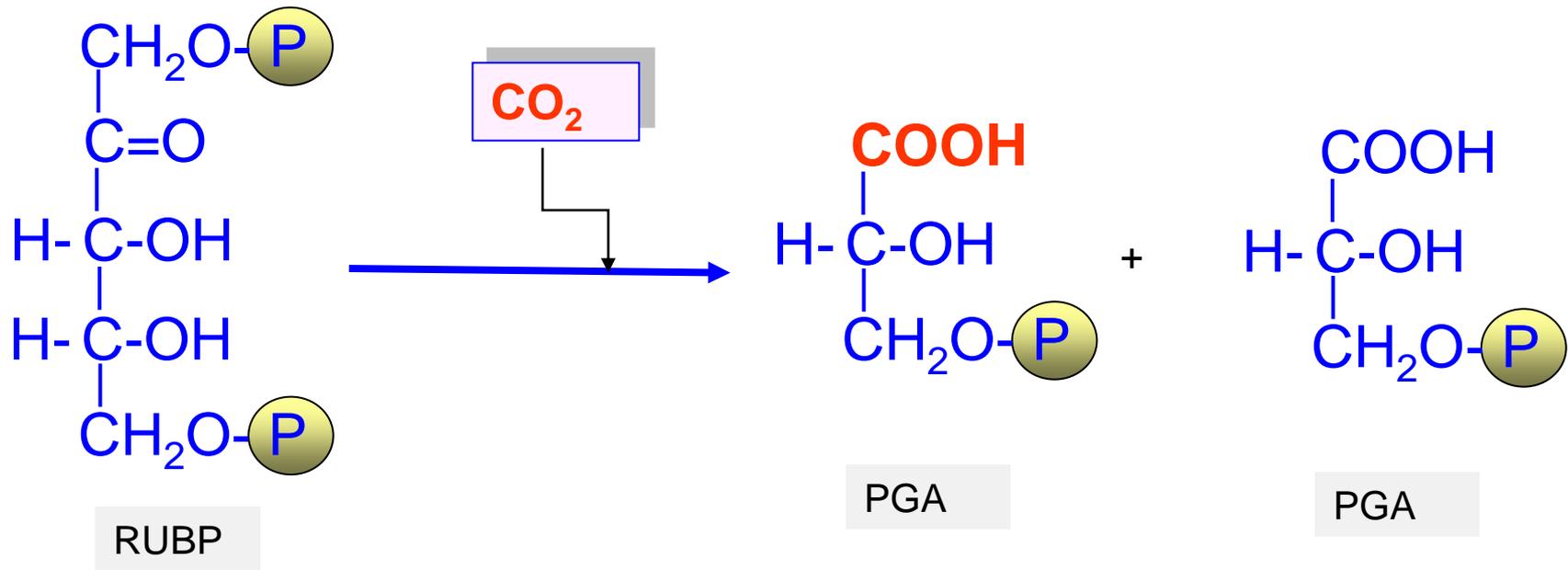
- 1) Incorporación del dióxido de carbono a las cadenas carbonadas.
- 2) Reducción por el NADPH, el ATP aporta la energía para el proceso.
- 3) Síntesis de glucosa.
- 4) Polimerización de la glucosa: síntesis de almidón.

Este proceso, a pesar de lo que su nombre parece indicar, se realiza durante el día.

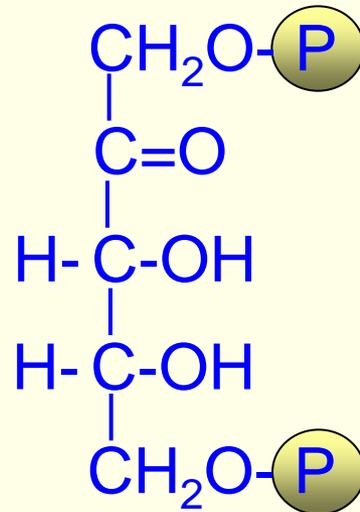
Fase oscura o ciclo de Calvin



1ª) Incorporación del CO₂ a la cadena carbonada de la RUBP.

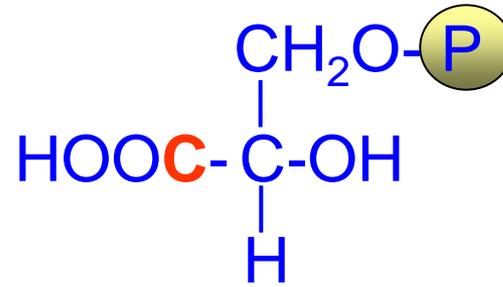


El CO₂ reacciona con la ribulosa-1-5 difosfato (RUBP) para dar dos moléculas de ácido-3- fosfoglicérico (PGA).

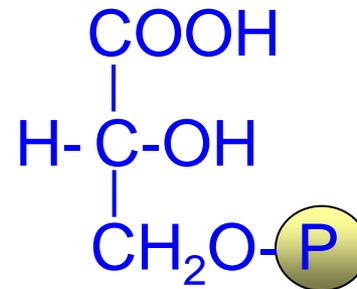


RUBP

1ª Animación: El CO_2 reacciona con la ribulosa-1-5 difosfato (RUBP) para dar dos moléculas de ácido-3- fosfoglicérico (PGA).



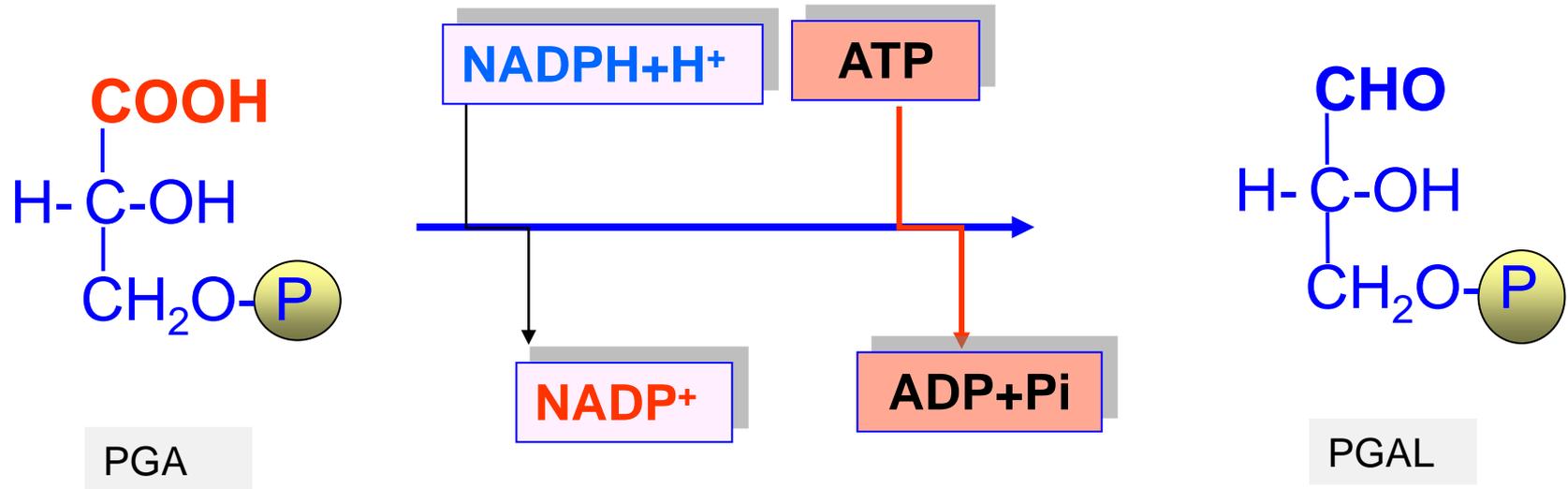
PGA



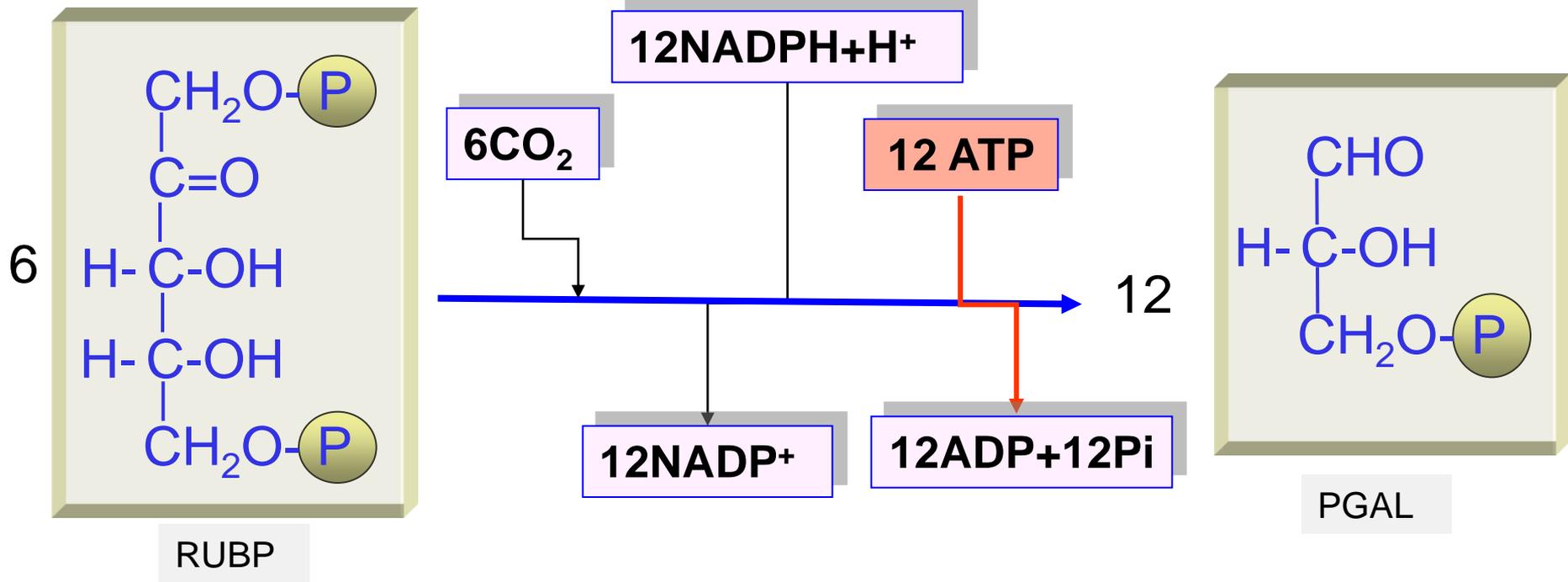
PGA

1ª Animación: El CO_2 reacciona con la ribulosa-1-5 difosfato (RUBP) para dar dos moléculas de ácido-3- fosfoglicérico (PGA).

2ª) Reducción del carbono del CO₂ incorporado.

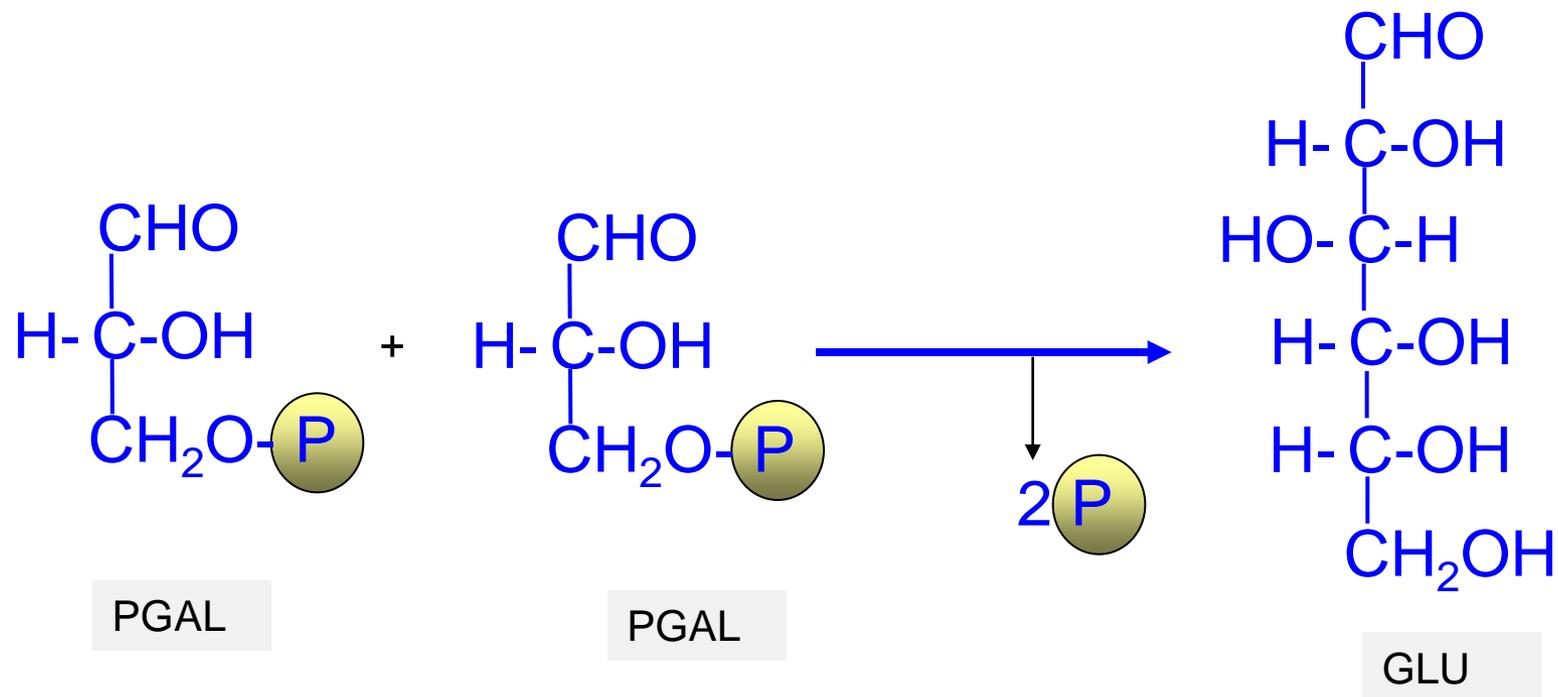


Cada una de las moléculas de ácido-3- fosfoglicérico (PGA) es reducida por el NADPH a aldehído-3-fosfoglicérico (PGAL). El proceso es endergónico y precisa del ATP.



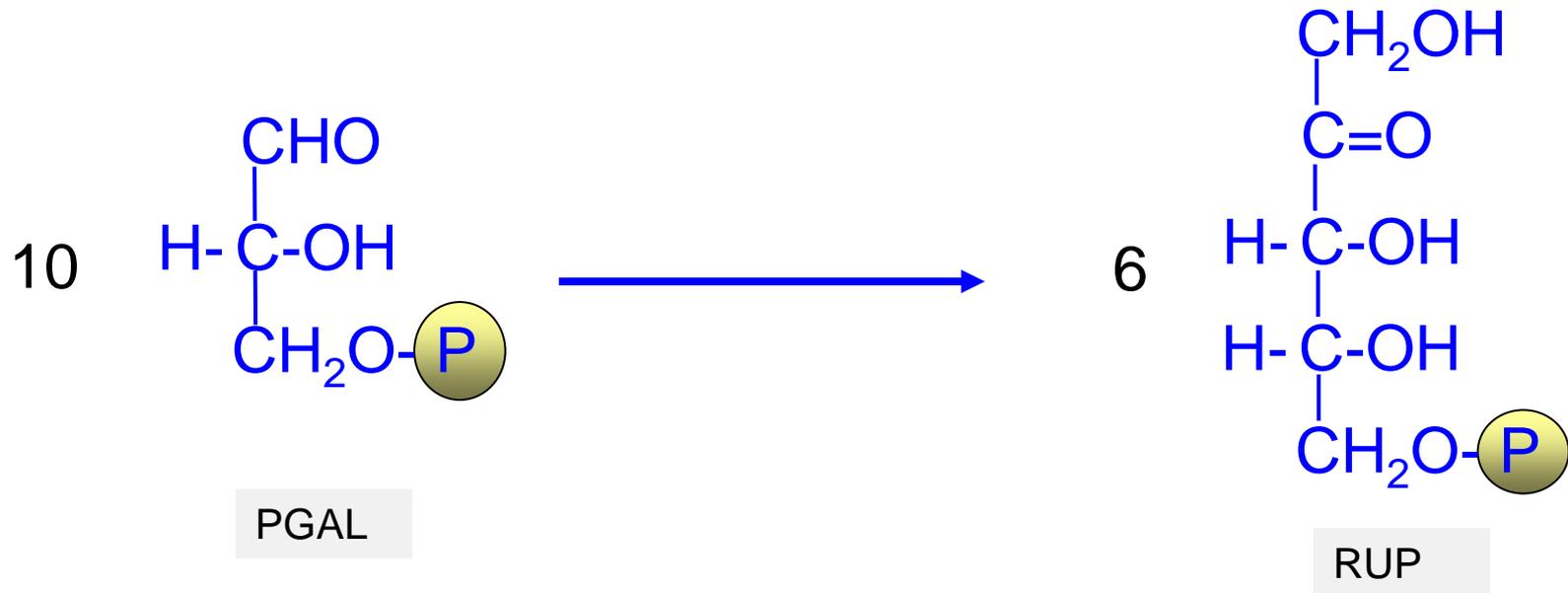
Si los procesos 1 y 2 anteriores se repiten 6 veces obtendremos 12 moléculas de PGAL.

3ª) Síntesis de glucosa.



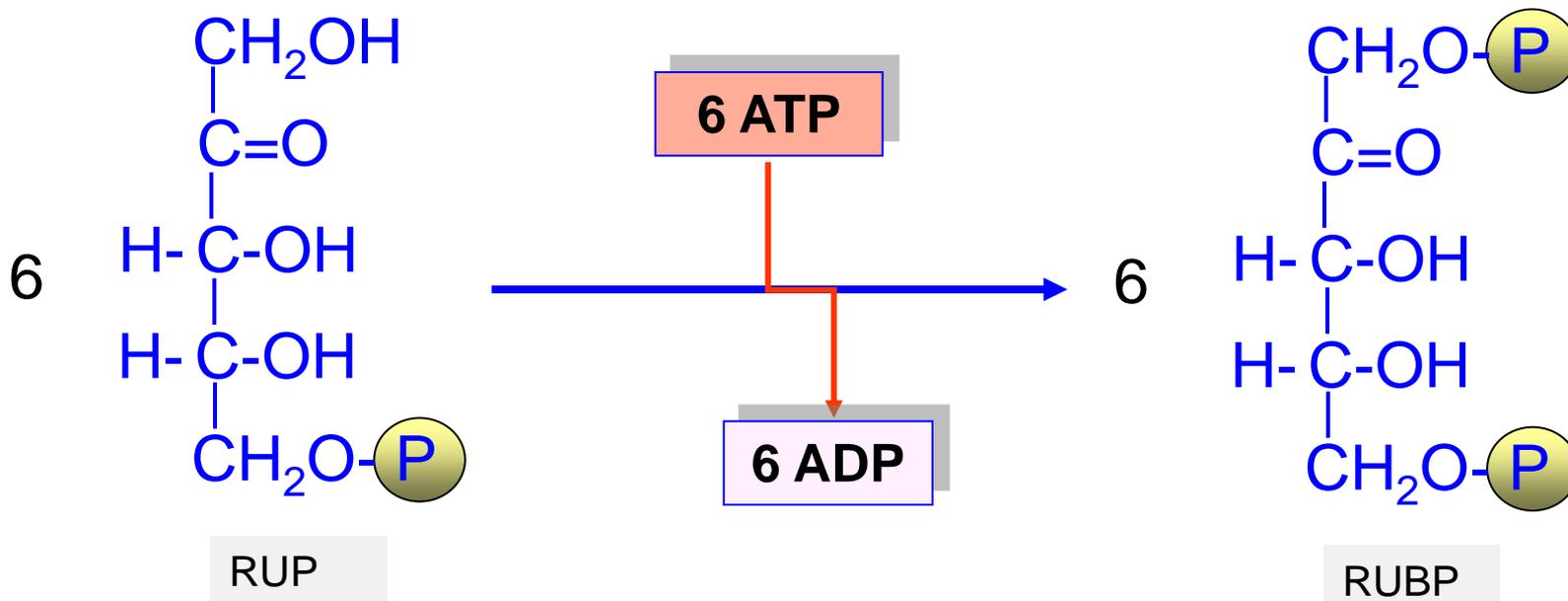
Dos de estas moléculas de aldehído-3-fosfoglicérico (PGAL) se condensan para dar una molécula de glucosa (GLU). Se obtienen, además, dos moléculas de fosfato inorgánico (P).

4ª) Recuperación de la ribulosa 1-5 difosfato.

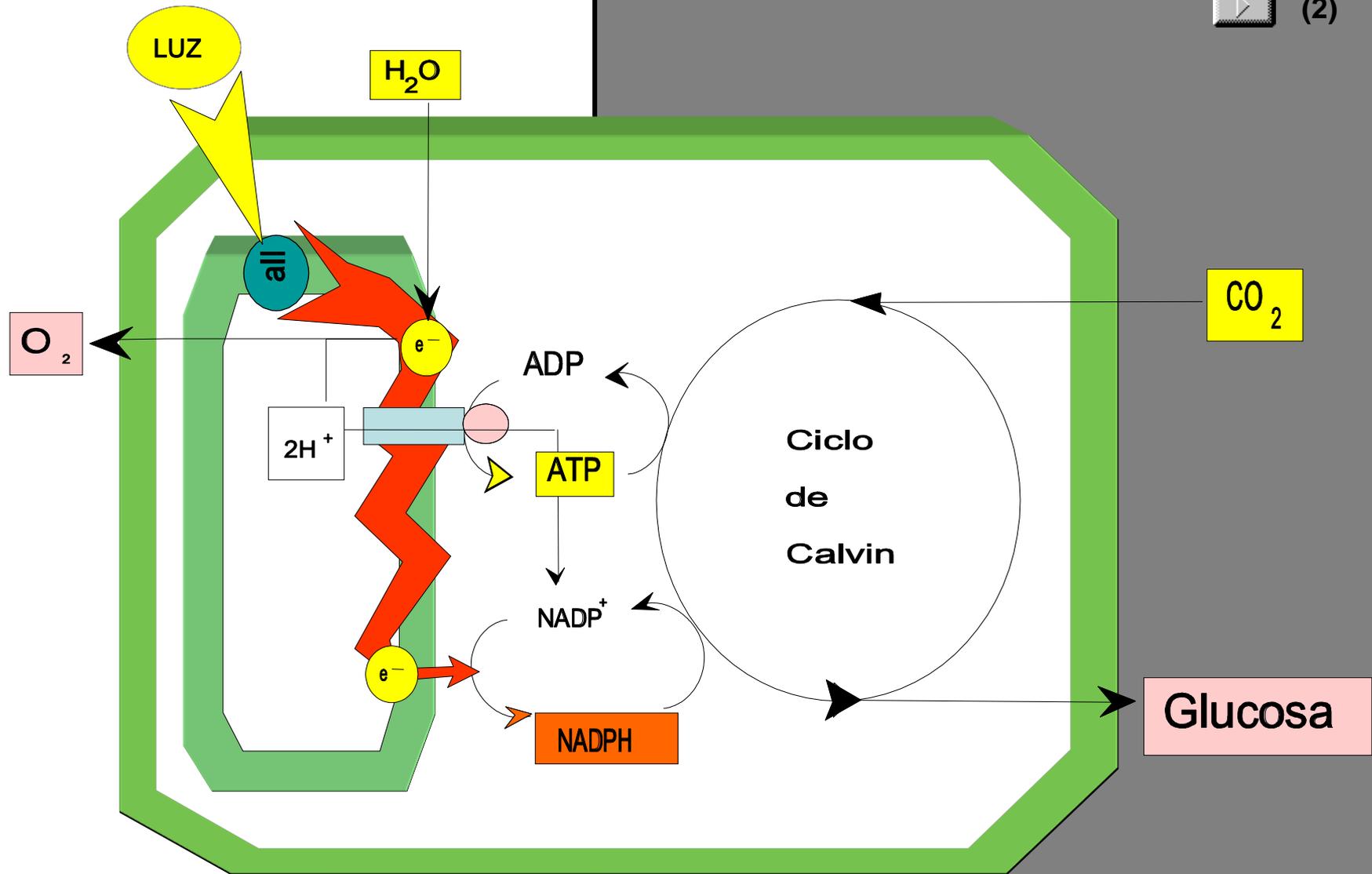


Las otras 10 moléculas de aldehído-3-fosfoglicérico (PGAL) reaccionan entre sí para dar 6 moléculas de ribulosa-5-fosfato (RUP).

4ª) Recuperación de la ribulosa 1-5 difosfato.



Las 6 moléculas de ribulosa-5-fosfato (RUP) reaccionan con 6 de ATP para dar 6 de ribulosa-1-5 difosfato (RUBP), cerrándose el ciclo.



Fase luminosa

Fase oscura



ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



h- Quimiosíntesis



i - Fin

ii) factores que influyen en la fotosíntesis

Factores que influyen en la fotosíntesis:

- Temperatura
- Intensidad y longitud de onda de la luz
- Concentración de CO_2
- Concentración de O_2

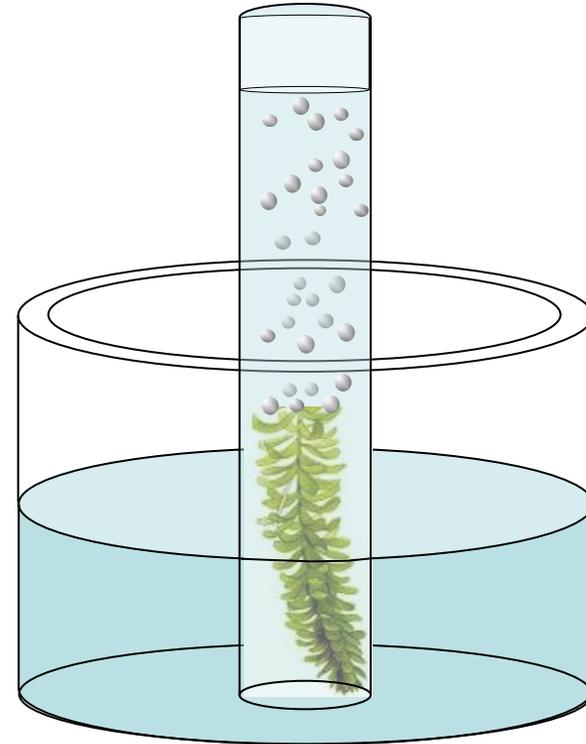
El rendimiento fotosintético se puede medir de varias formas:

- Producción de azúcares por la planta.
- Consumo de CO_2 .
- Producción de O_2 .

Una forma sencilla, basada en la producción de oxígeno, se relata en la siguiente experiencia:

Se introduce una ramita de la planta acuática elodea dentro de un tubo con agua, tal y como se indica en la figura. Al iluminar la planta, esta realiza la fotosíntesis y se produce un desprendimiento de burbujas de oxígeno.

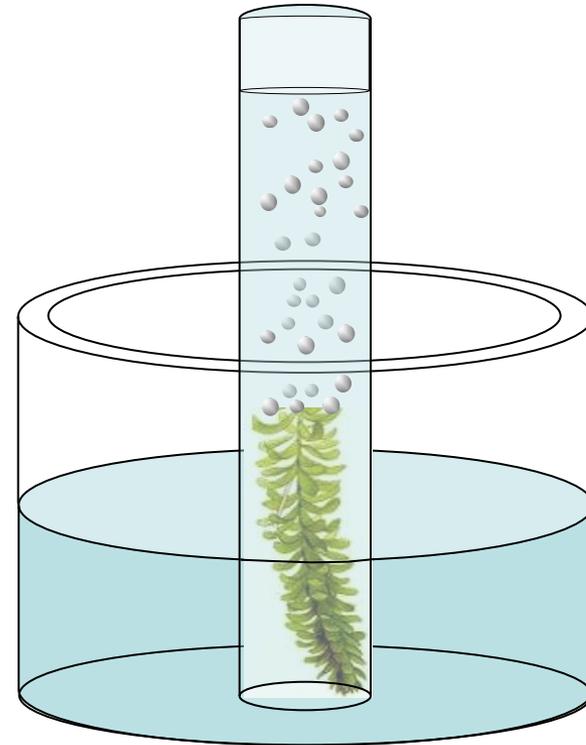
Contando dichas burbujas se puede saber si el rendimiento fotosintético es mayor o menor en función del factor que estemos estudiando.



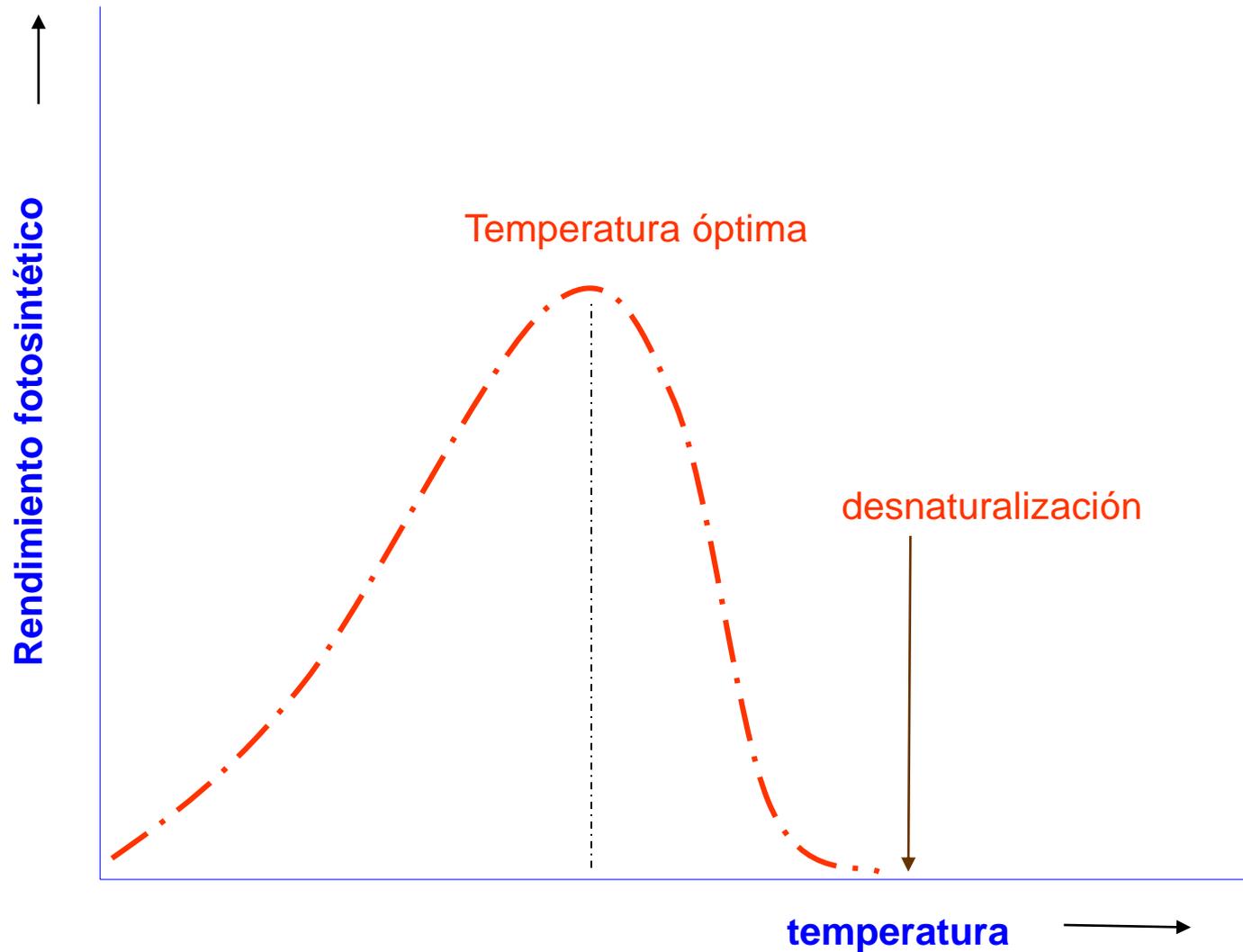
Influencia de la temperatura:

Variamos la temperatura del recipiente, calentando suavemente el agua, y vamos contando las burbujas que se producen por minuto (b/min), según la temperatura aumenta. Los resultados se indican en la tabla:

T (°C)	b/min
0	3
5	6
10	9
15	11
20	12
25	13
30	9
35	6
40	3
45	0

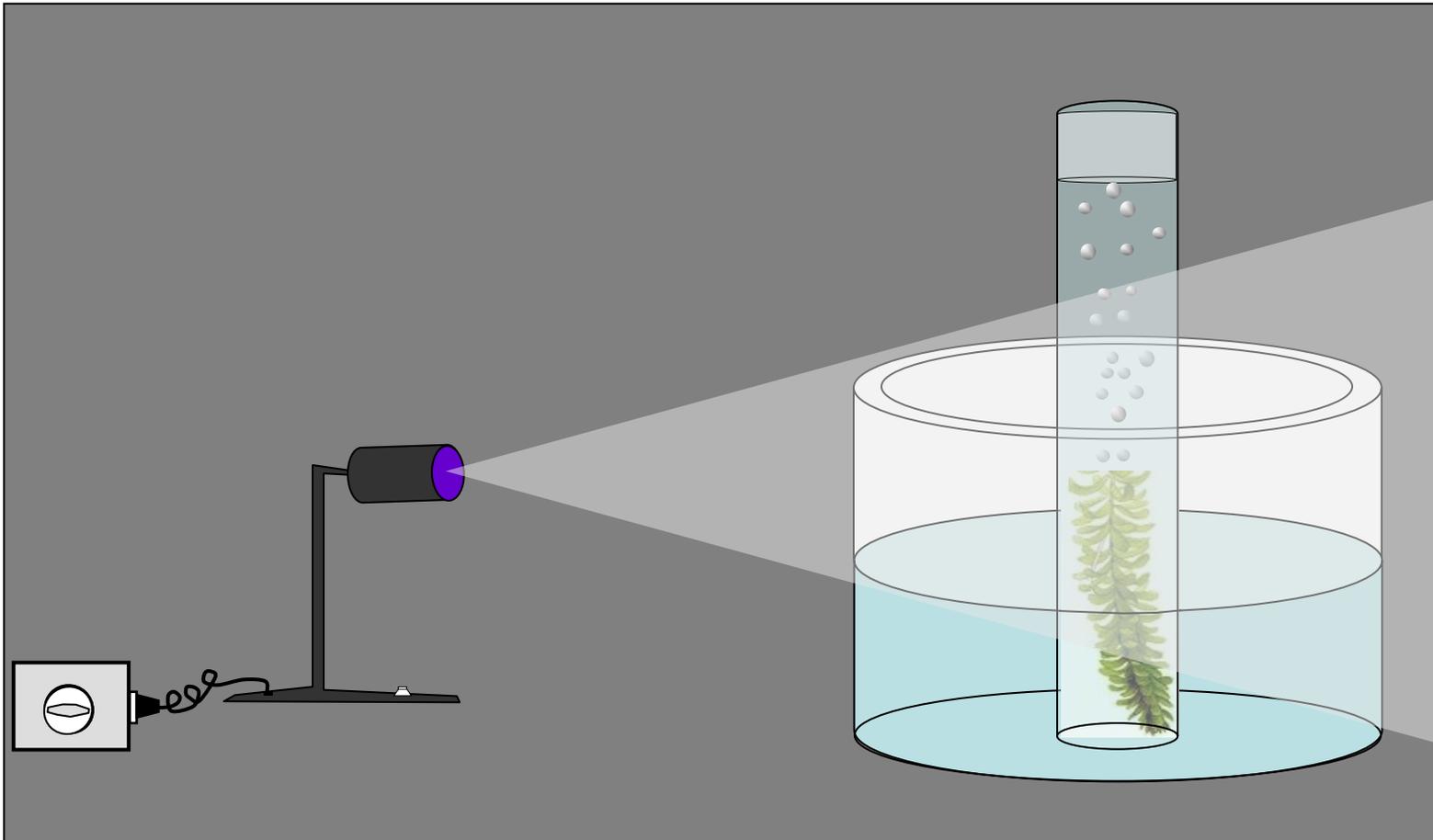


Variación del rendimiento fotosintético en función de la temperatura:

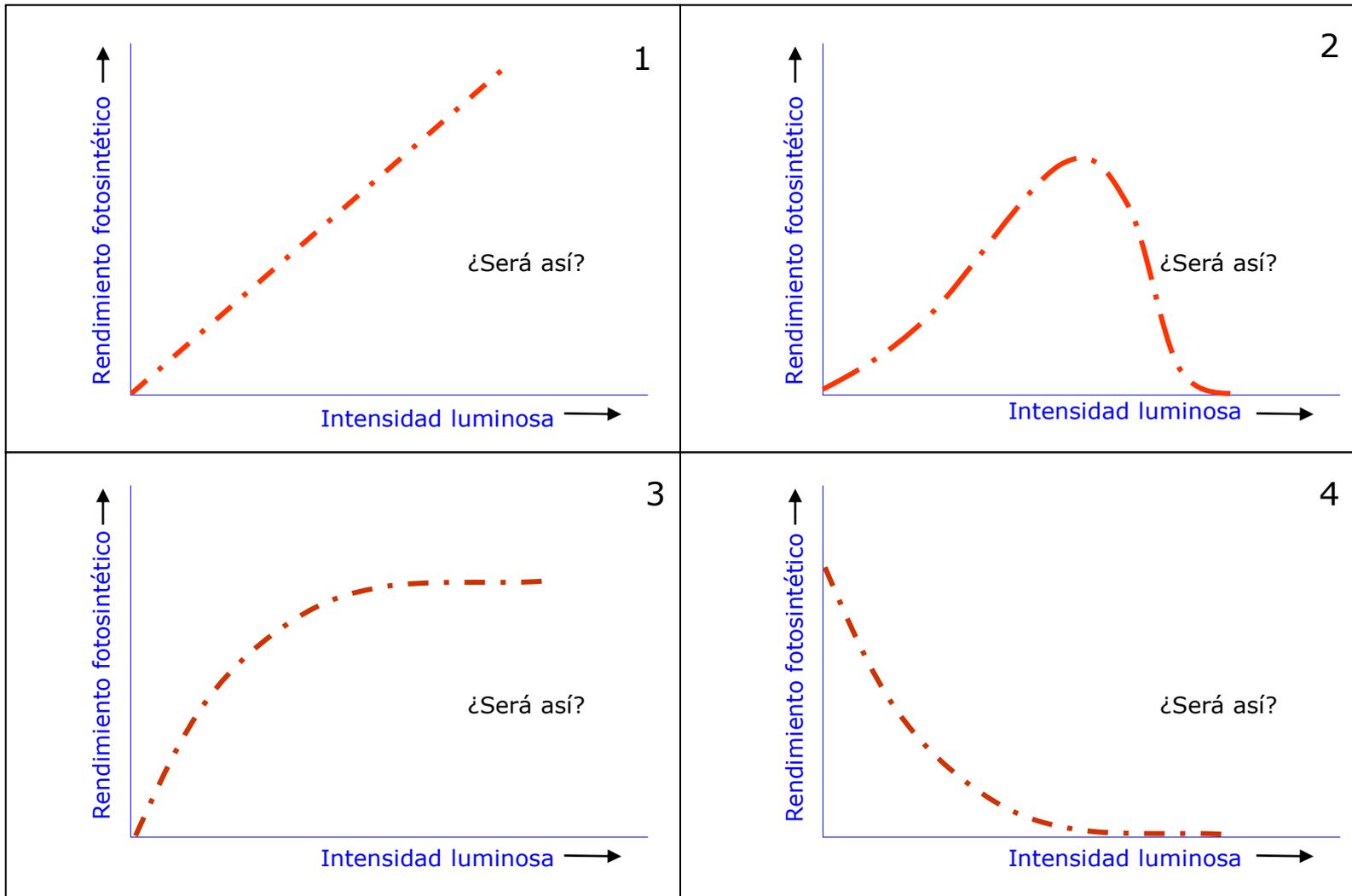


Influencia de la intensidad de la luz:

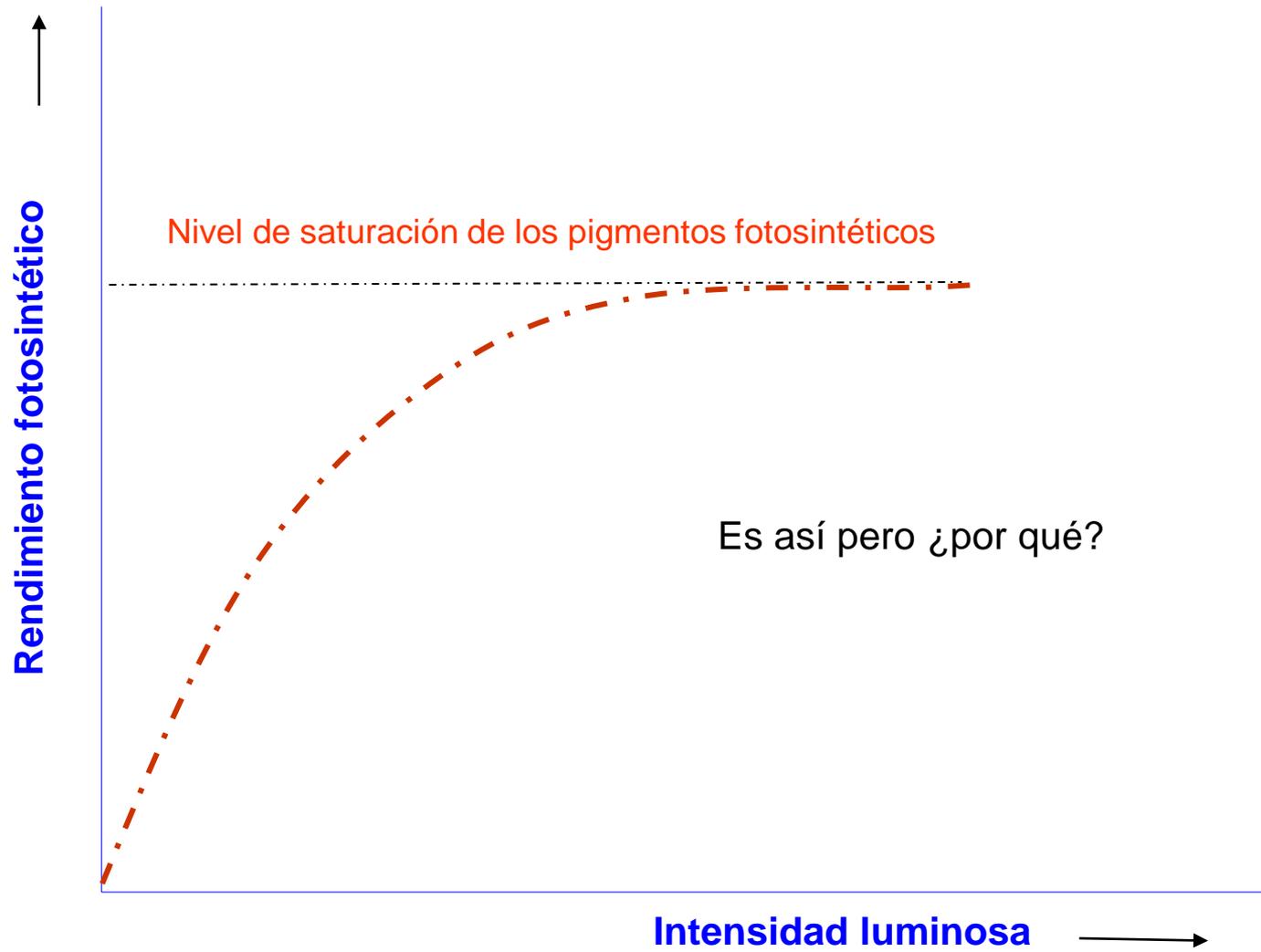
Mediante un potenciómetro, variamos la intensidad de la luz a la que está sometida la planta y contamos las burbujas que se producen por minuto (b/min), según esta aumenta.



¿Cómo será la gráfica de la variación del rendimiento fotosintético con el aumento de la intensidad de la luz?



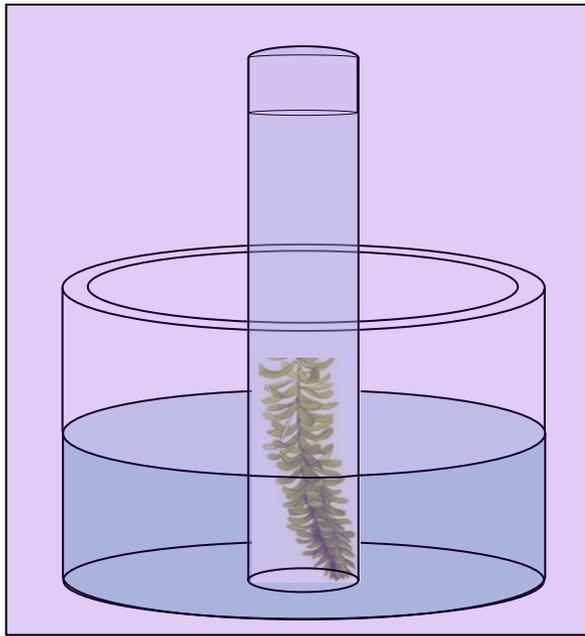
Variación del rendimiento fotosintético en función de la intensidad luminosa:



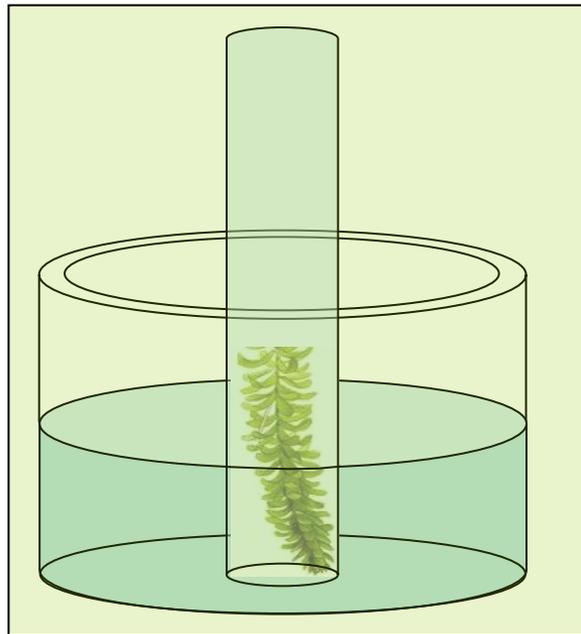
Variación del rendimiento fotosintético en función de la longitud de onda de la luz:

Se introducen sendas ramitas de la planta acuática elodea dentro de tres tubos de ensayo con agua, tal y como se indica en la figura. Cada uno se ilumina con luz de diferente longitud de onda. Al cabo de una hora se registra una cierta cantidad de oxígeno en el extremo de los tubos 1 y 3 pero no en el 2.

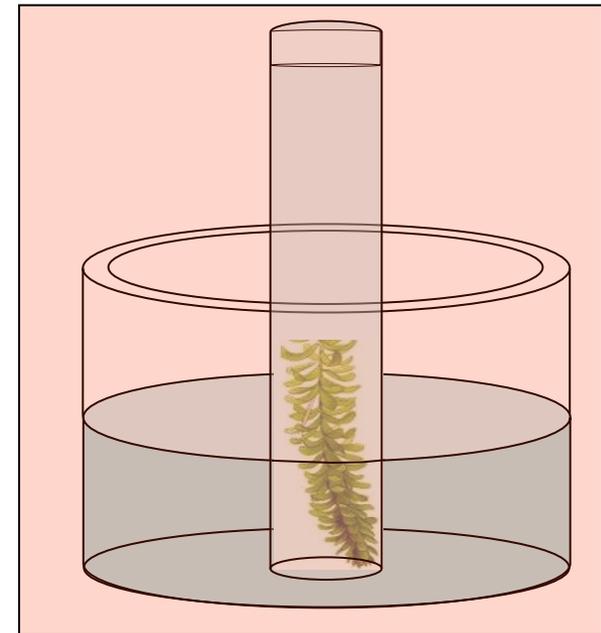
Observa los resultados, producción de oxígeno en cada tubo, y da una razón a la variación de la cantidad de oxígeno producida en cada caso.



1

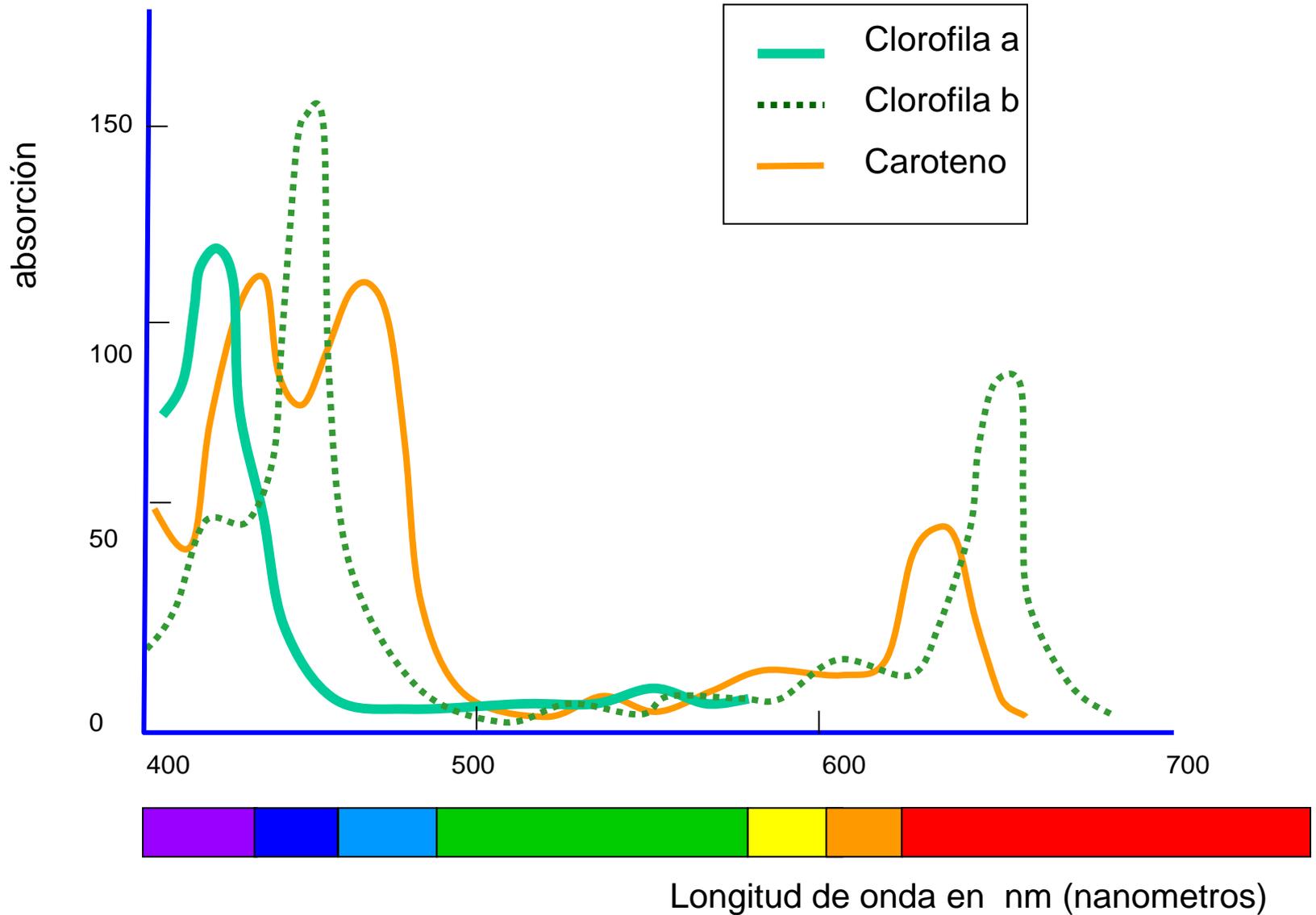


2



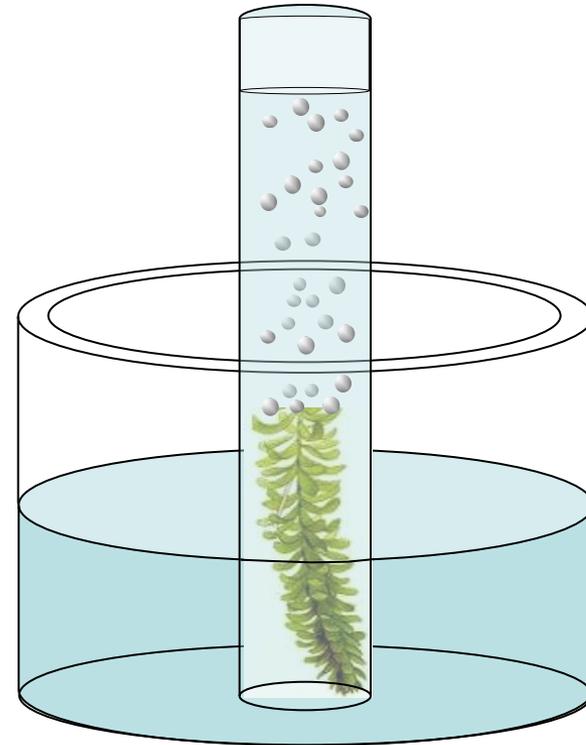
3

Gráficas de absorción de los pigmentos fotosintéticos

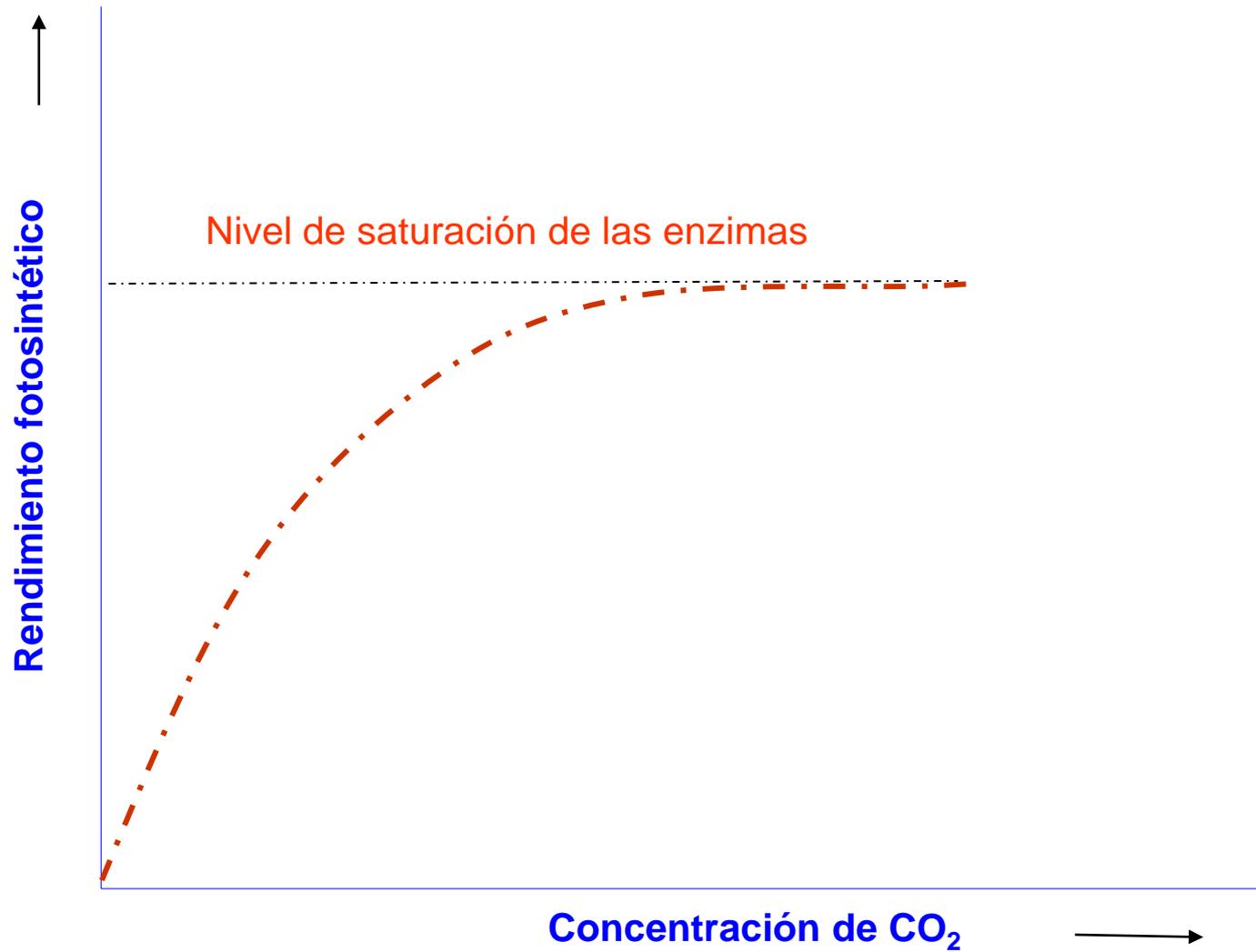


Influencia de la concentración de CO_2 :

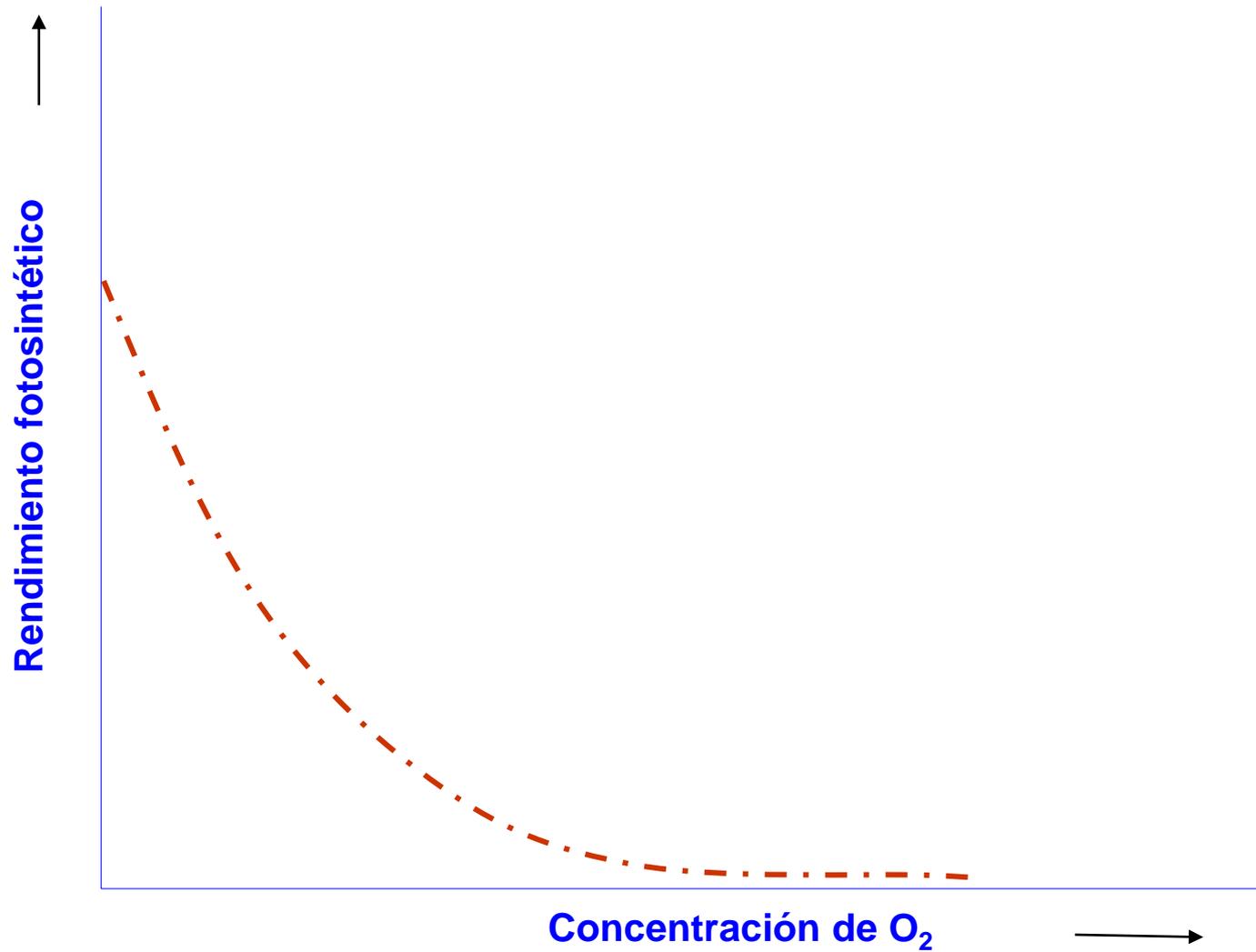
Hacemos variar la concentración de CO_2 del recipiente, añadiendo agua carbónica, por ejemplo, y contamos las burbujas que se producen por minuto (b/min), según aumenta la concentración.



Variación del rendimiento fotosintético en función de la concentración de CO₂



Variación del rendimiento fotosintético en función de la concentración de O_2





ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



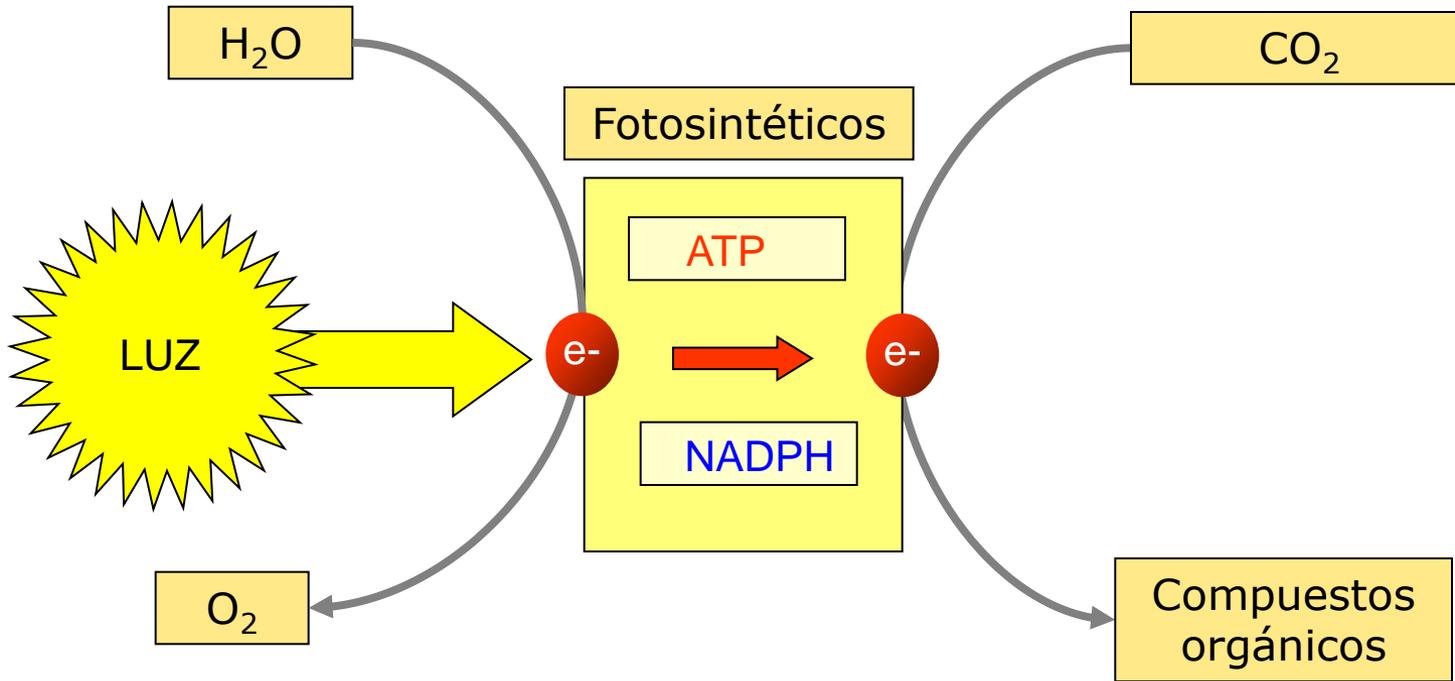
h- Quimiosíntesis



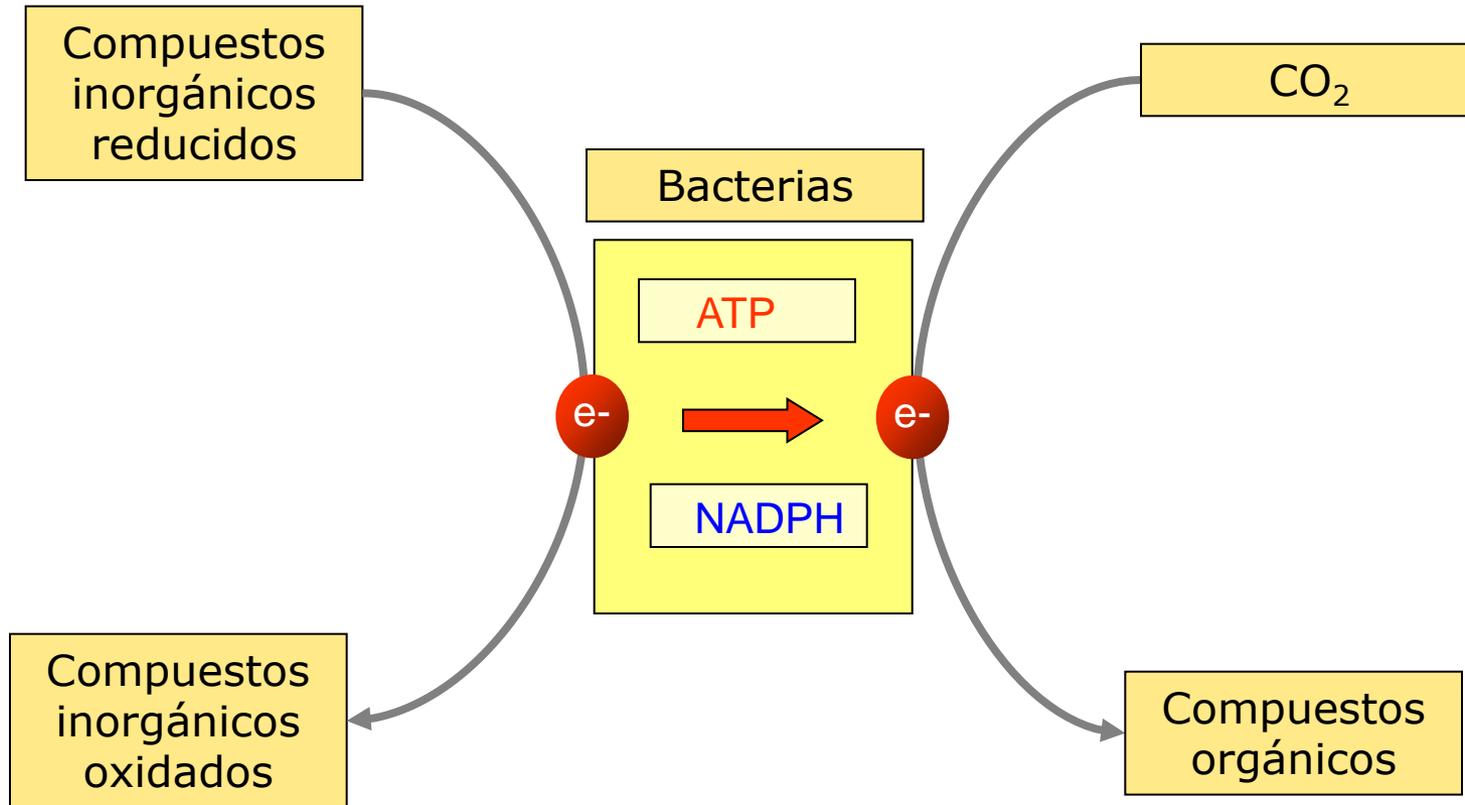
i - Fin

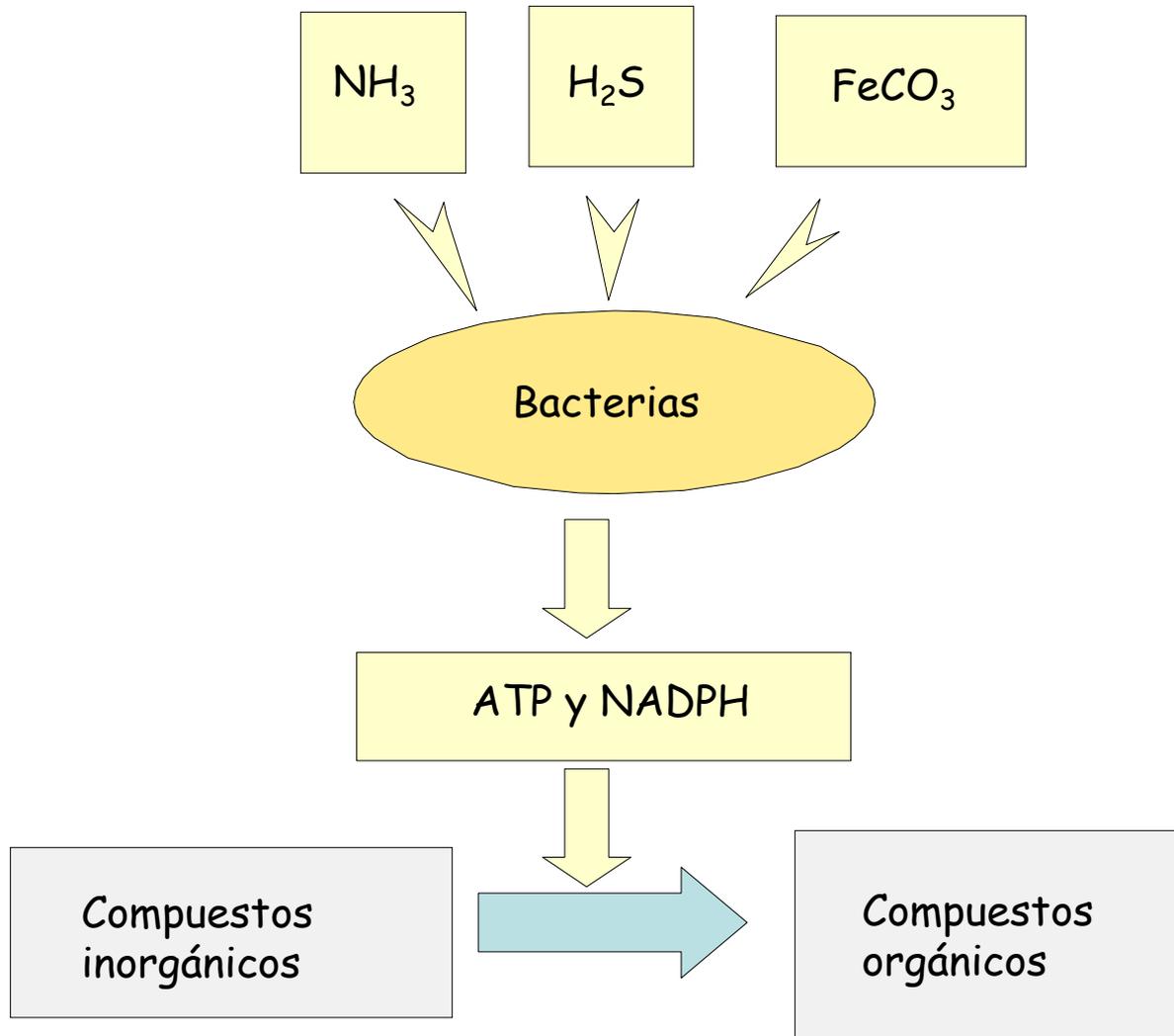
quimiosíntesis

Recordemos cómo obtienen ATP y NADPH los organismos fotosintéticos.

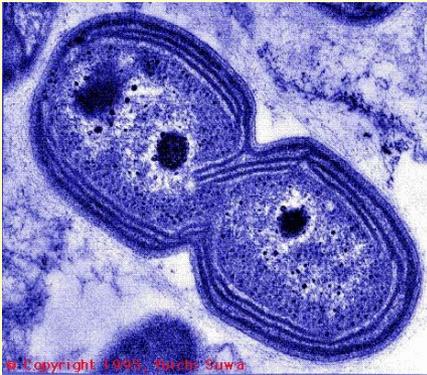


Esquema general de la quimiosíntesis





Bacterias nitrosificantes y nitrificantes: Estas bacterias viven, sobre todo, en los suelos en donde transforman los compuestos reducidos de nitrógeno en compuestos oxidados.



nitrosomonas



Bacteria nitrosificante

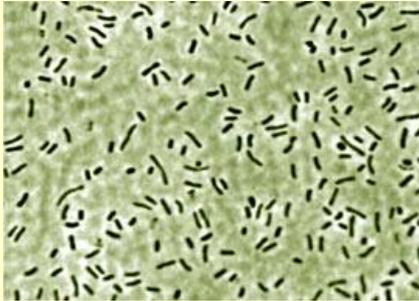


nitrobacter

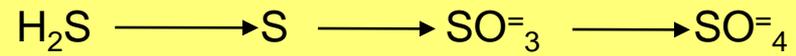


Bacteria nitrificante

Bacterias del azufre y del hierro.



Chlorobium



Bacteria del azufre



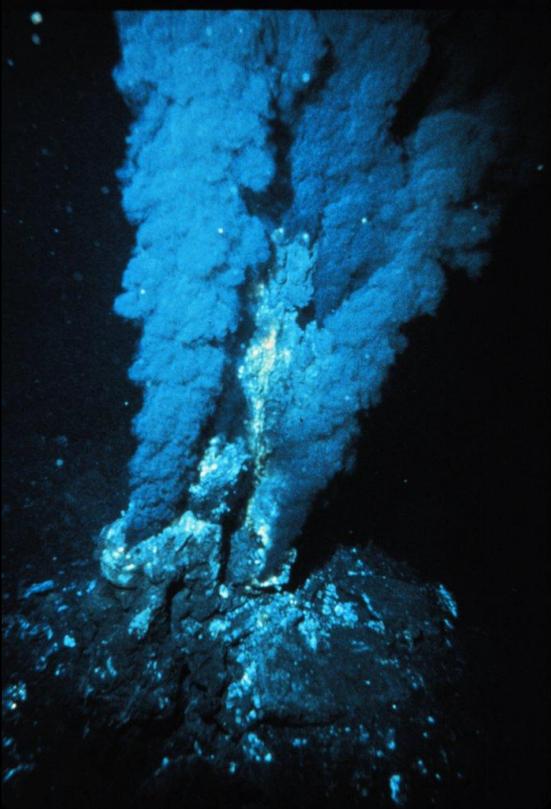
Thiobacillus ferrooxidans



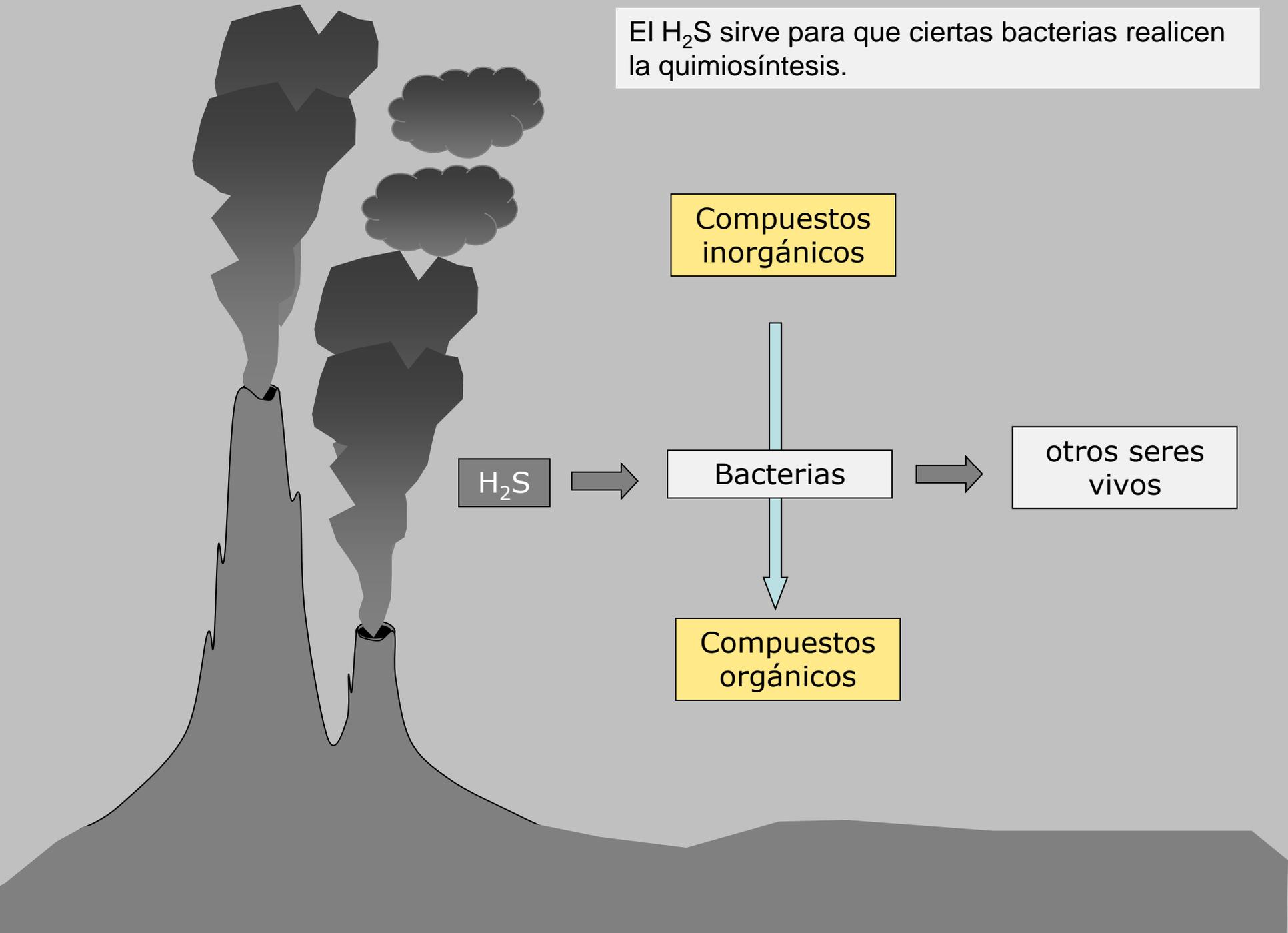
Bacteria del hierro

LOS HUMEROS NEGROS

En ciertos lugares del fondo oceánico se da una intensa emisión de H_2S .



El H₂S sirve para que ciertas bacterias realicen la quimiosíntesis.



Comunidades de las fuentes hidrotermales de los humeros negros del fondo oceánico.



El H_2S es utilizado por bacterias quimiosintéticas para la síntesis de compuestos orgánicos. Las bacterias sirven, a su vez, para nutrir a una rica comunidad de organismos. Este ecosistema no depende ni directa ni indirectamente de la luz solar.



Gusanos tubícolas filtradores se alimentan de las bacterias.

ANIMACIONES DE YOUTUBE

<http://www.youtube.com/watch?v=sOYpn9nJVkw&feature=related>



ÍNDICE



a – Concepto y generalidades



b – Los plastos



c – Ultraestructura de los cloroplastos



d – Mecanismo de la fotosíntesis: Generalidades



e – La fase luminosa



f – La fase oscura o ciclo de Calvin



g – Factores que influyen en la fotosíntesis



h- Quimiosíntesis



i - Fin

FIN