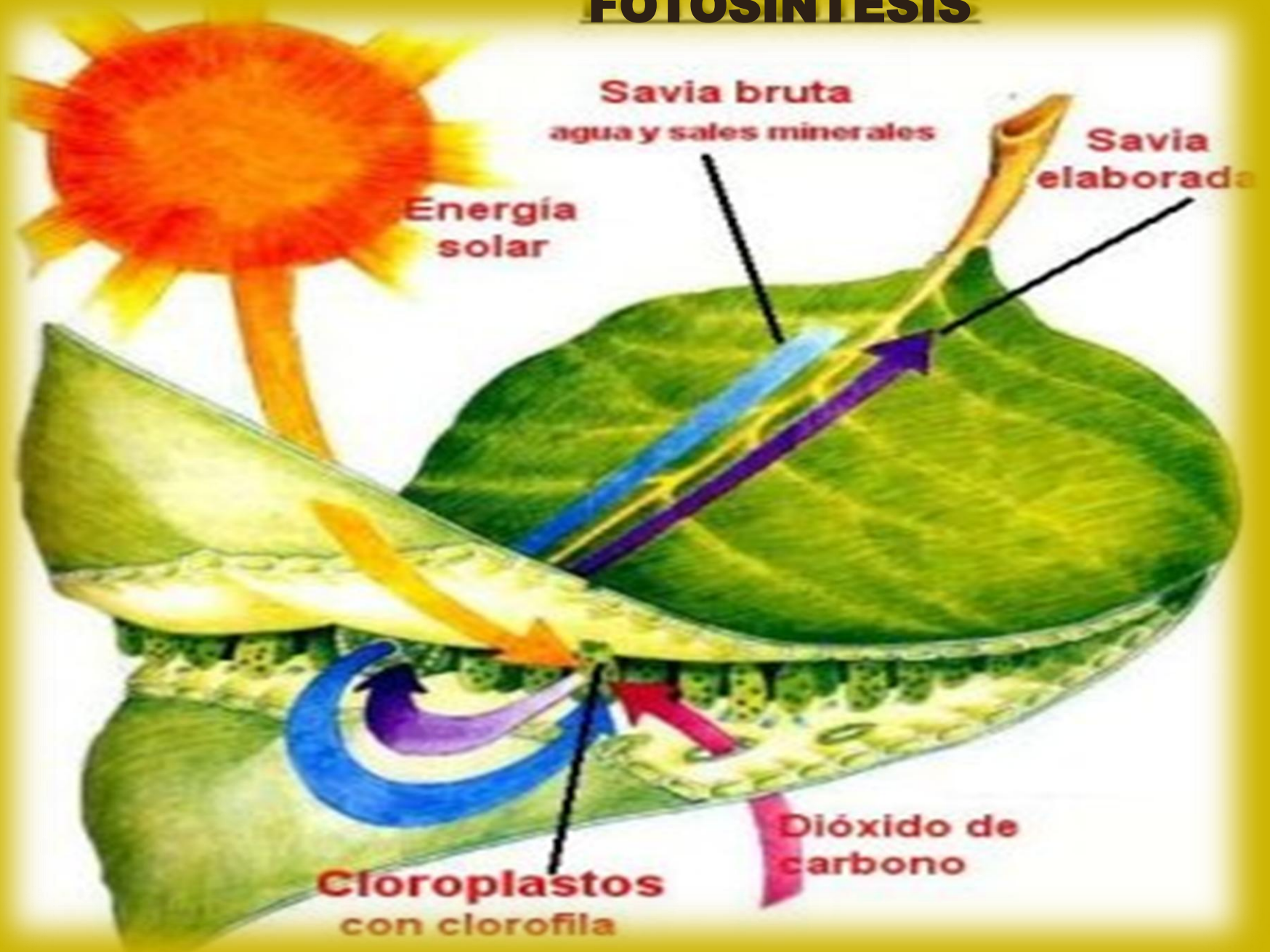
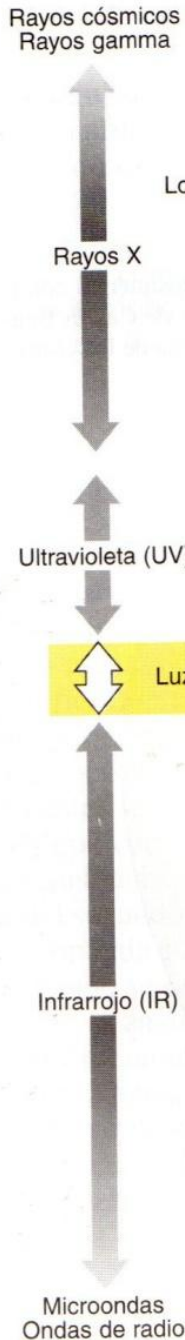


# FOTOSINTESIS



$$v = c/\lambda$$



Longitud de onda (nm)

1

10

$10^2$

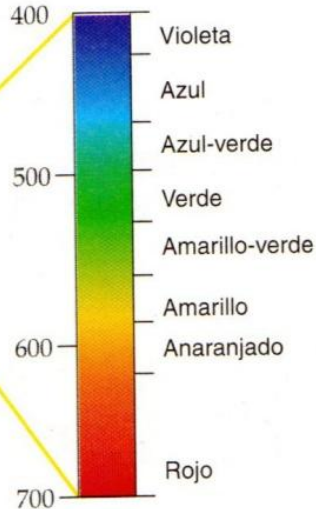
$10^3$

$10^4$

$10^5$

$10^6$

Las longitudes de onda corta son más energéticas



Las longitudes de onda larga son menos energéticas

## Espectro de las radiaciones electromagnéticas

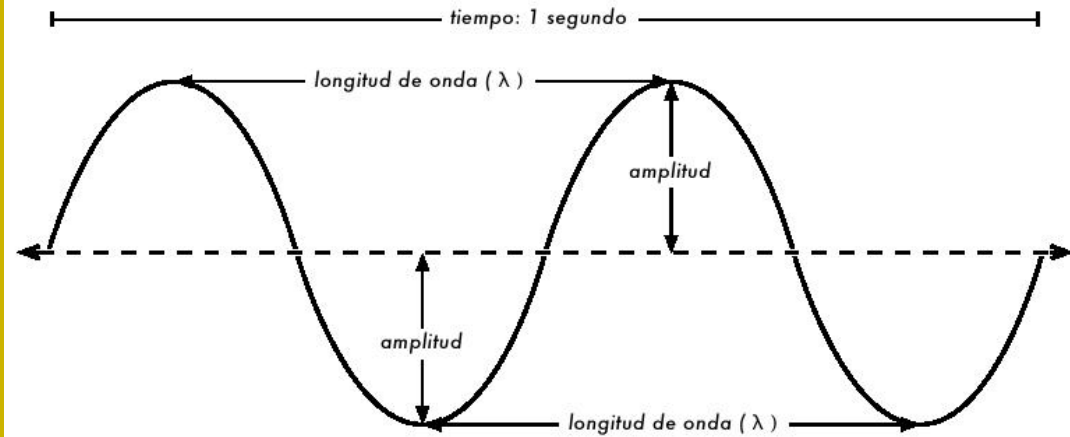
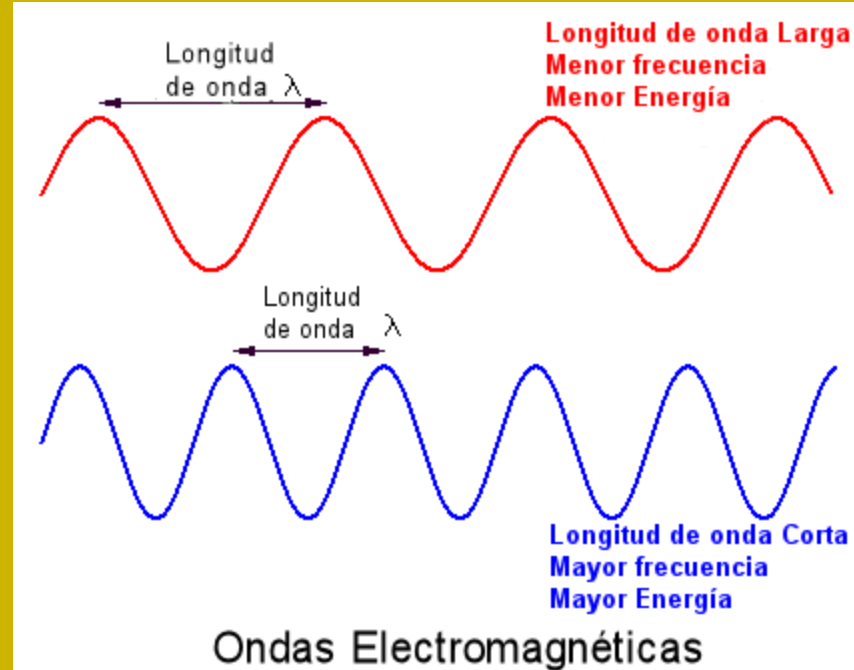
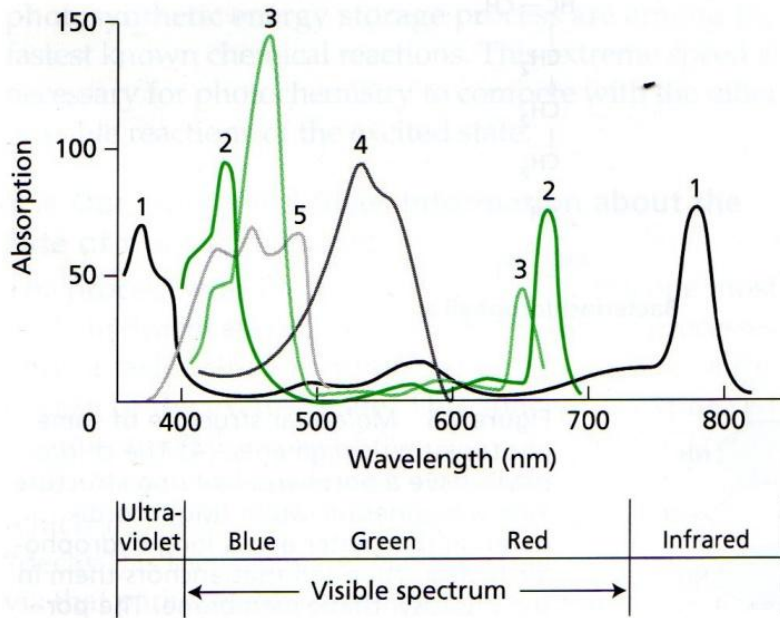


Figura 2.1: Longitud de onda, amplitud, y frecuencia. En este caso la frecuencia es 2 ciclos por segundo, o 2 Hz.



# Espectro de absorción de los pigmentos



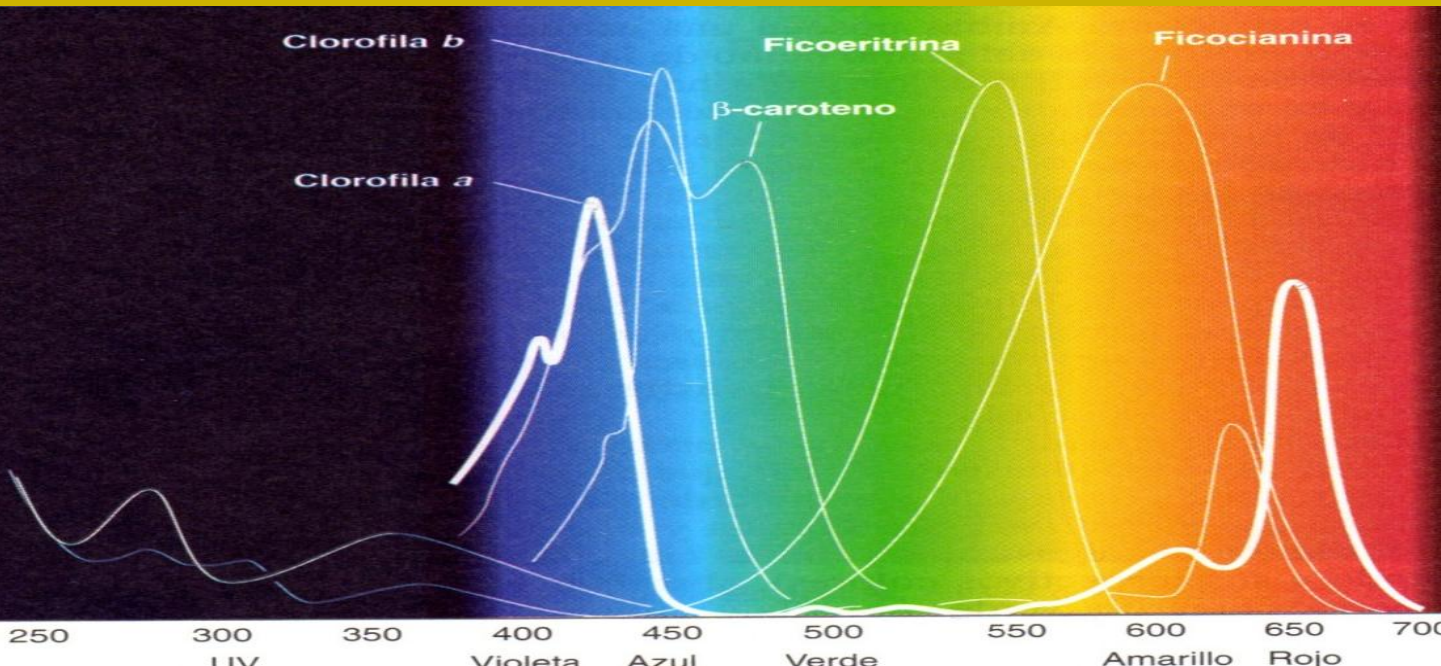
- 1- bacterioclorofila
- 2- clorofila a
- 3- clorofila b
- 4- ficoeritrobilina
- 5- caroteno

\* Llegan a las plantas 900 wats.m<sup>-2</sup>

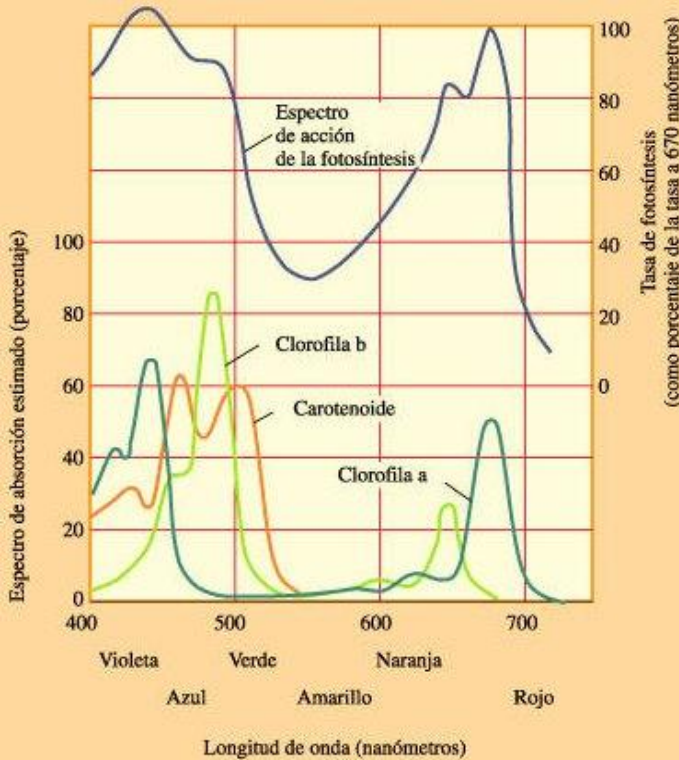
\*La RFA es solo de 400 a 500 wats.m<sup>-2</sup>.

\*Más del 95% de energía se transforma en calor.

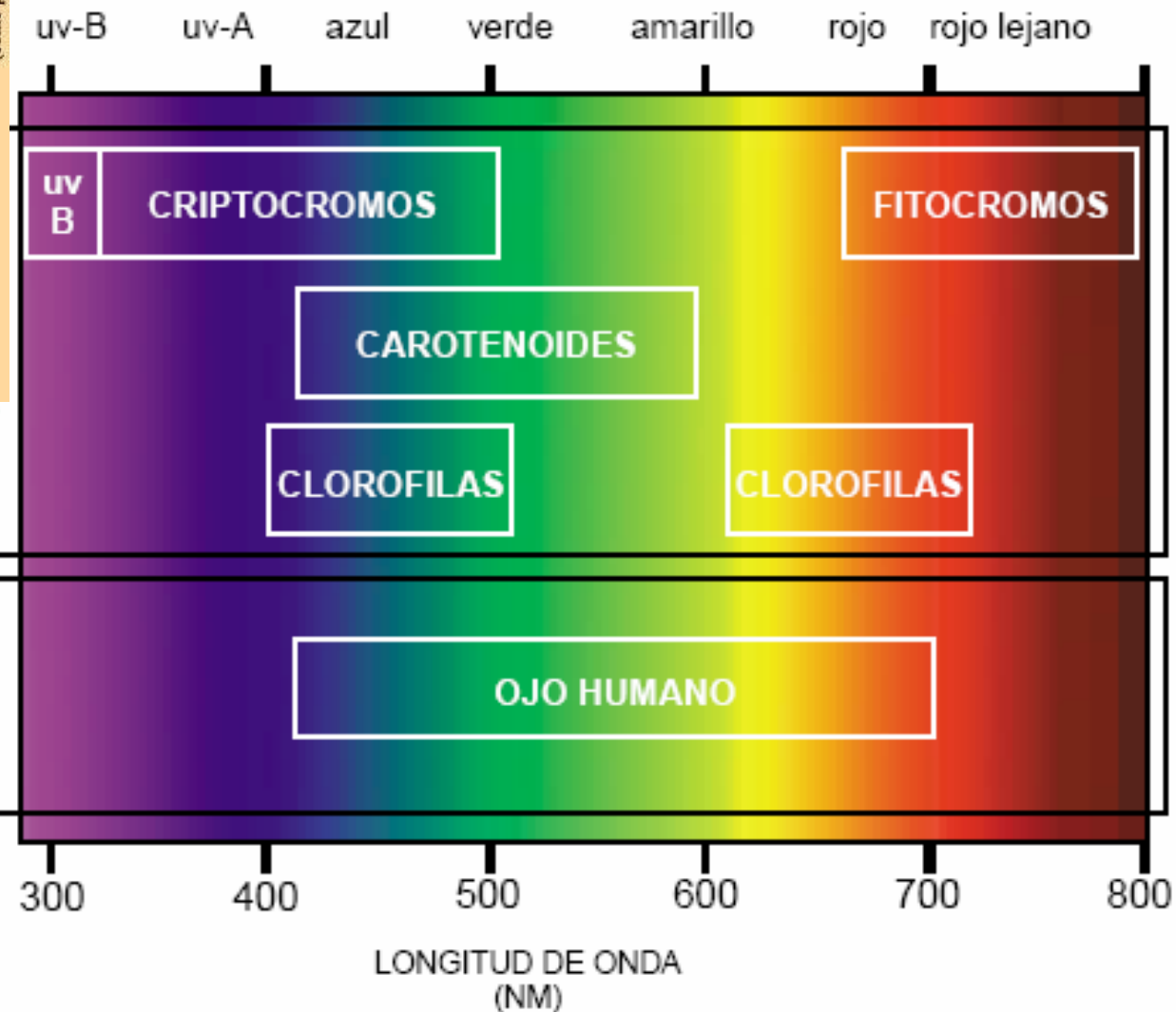
\*Durante la fotosíntesis se captura menos del 5% de energía radiante.



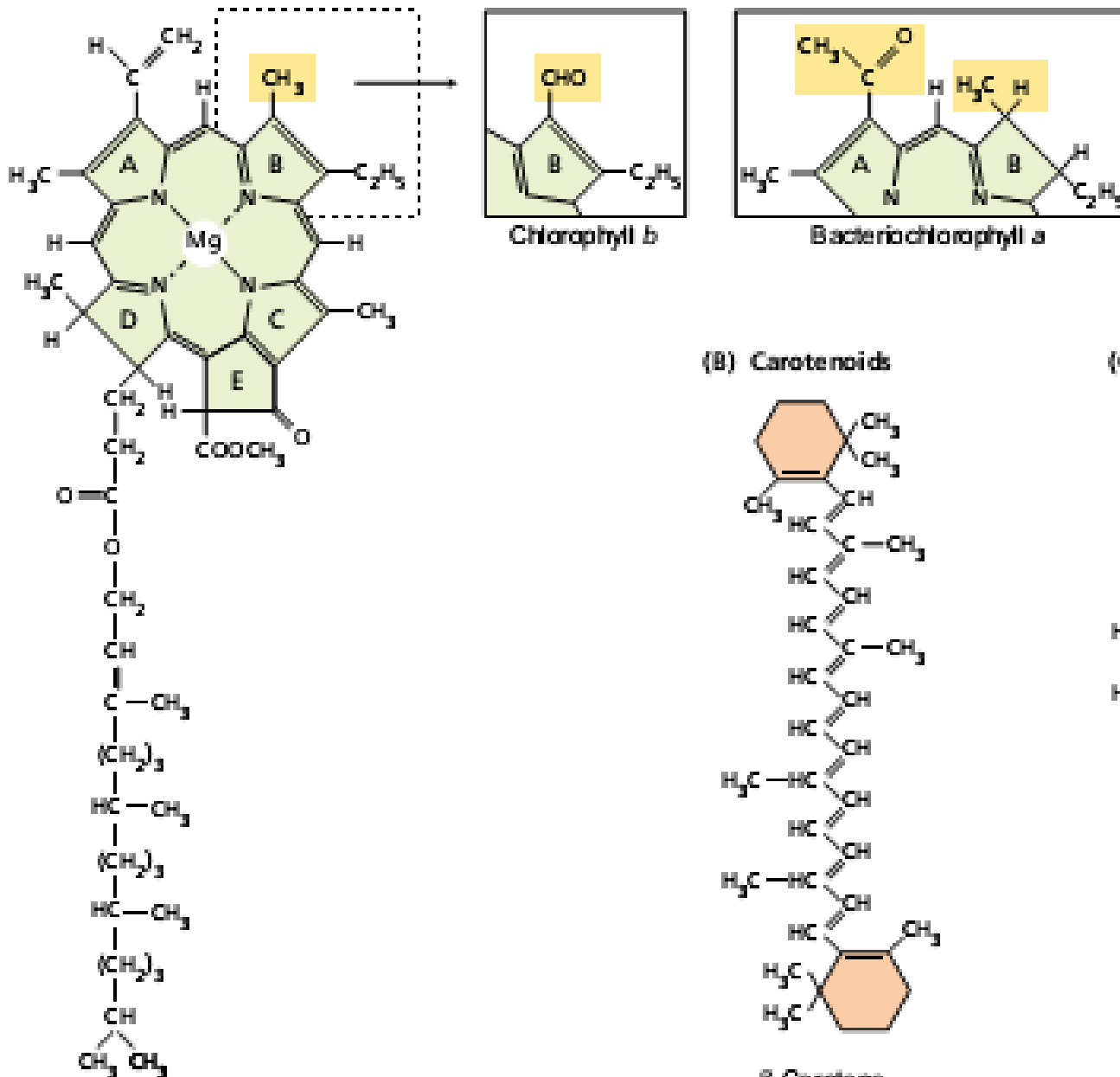
# Espectro de acción de la fotosíntesis



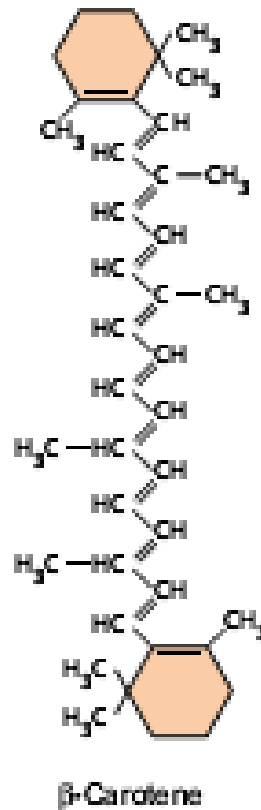
# Espectro de absorción de los pigmentos



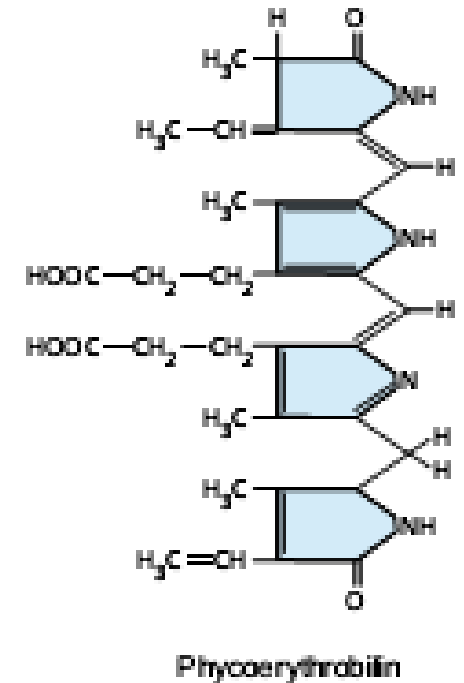
(A) Chlorophylls



(B) Carotenoids



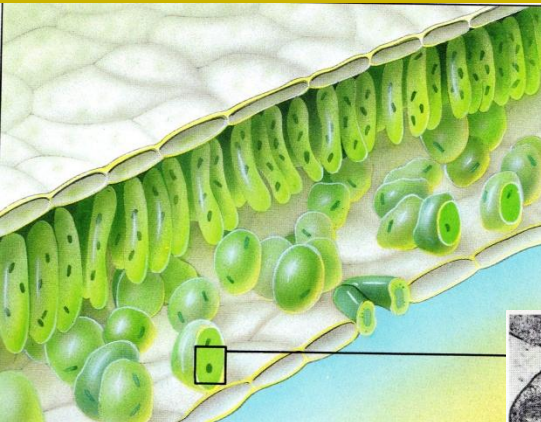
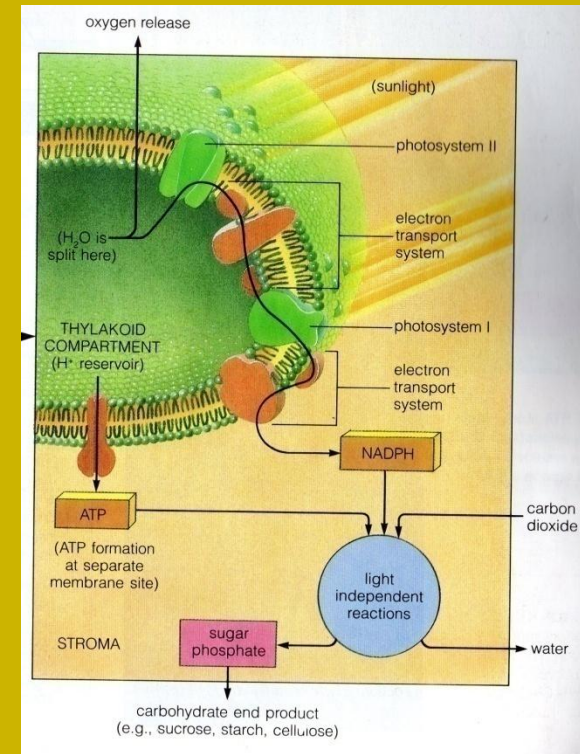
(C) Bilin pigments



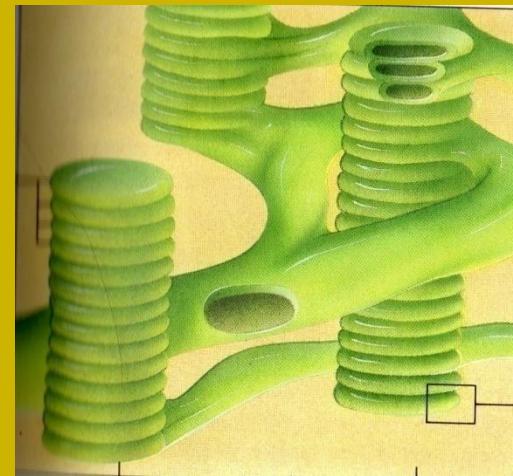
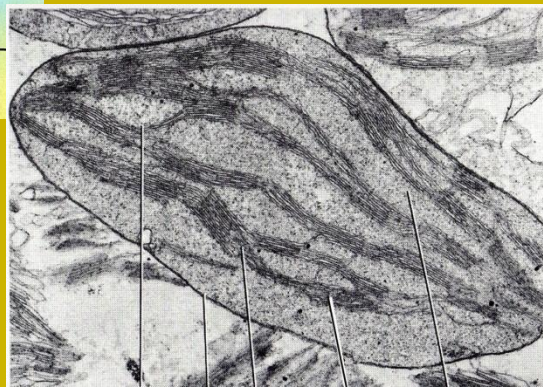
**Table 7.1**  
Distribution of chlorophylls and other photosynthetic pigments

Organism	Chlorophylls				Bacteriochlorophylls					Carotenoids	Phycobiliproteins	
	a	b	c	d	a	b	c	d	e			g
<b>Eukaryotes</b>												
Mosses, ferns, seed plants	+	+	-	-							+	-
Green algae	+	+	-	-							+	-
Euglenoids	+	+	-	-							+	-
Diatoms	+	-	+	-							+	-
Dinoflagellates	+	-	+	-							+	-
Brown algae	+	-	+	-							+	-
Red algae	+	-	-	+							+	+
<b>Prokaryotes</b>												
Cyanobacteria	+	-	-	+							+	+
Prochlorophytes	+	+	-	-							+	-
Sulfur purple bacteria					+	or +	-	-	-	-	+	-
Nonsulfur purple bacteria					+	or +	-	-	-	-	+	-
Green bacteria					+	-	+	or +	or +	-	+	-
Heliobacteria					-	-	-	-	-	+	+	-

# Membrana del tilacoide



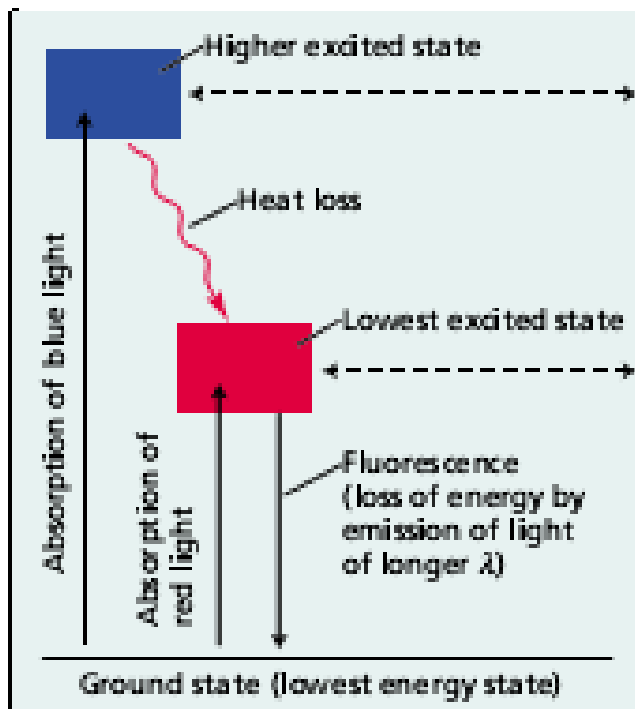
## Cloroplasto



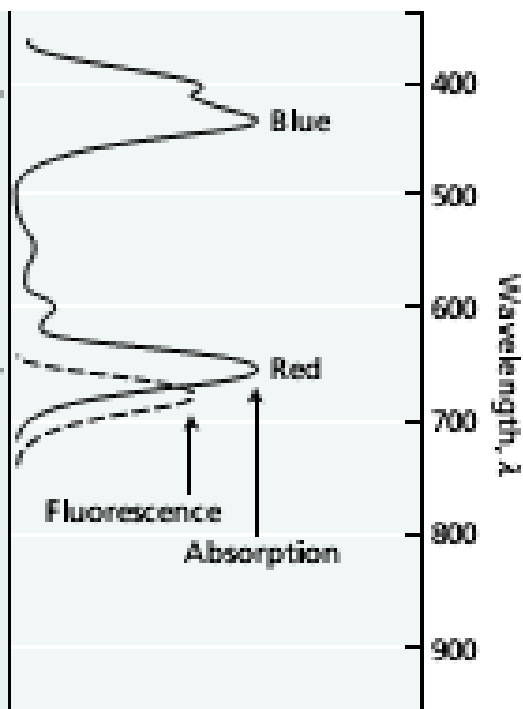
## Grana

## Hoja

(A)



(B)



## Excitación de electrones

Luz azul

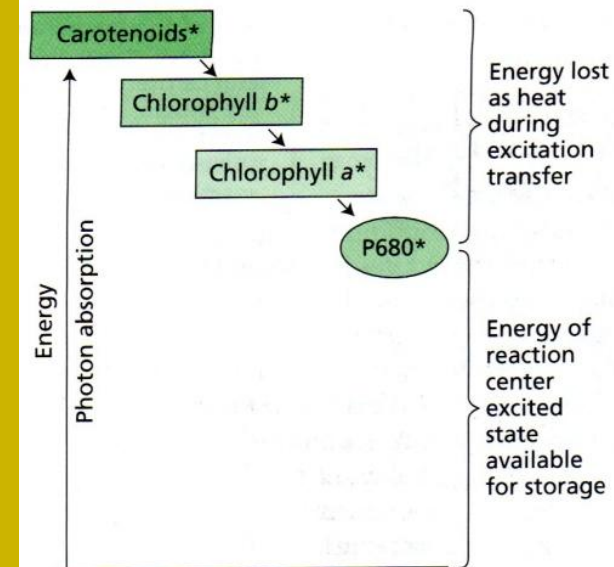
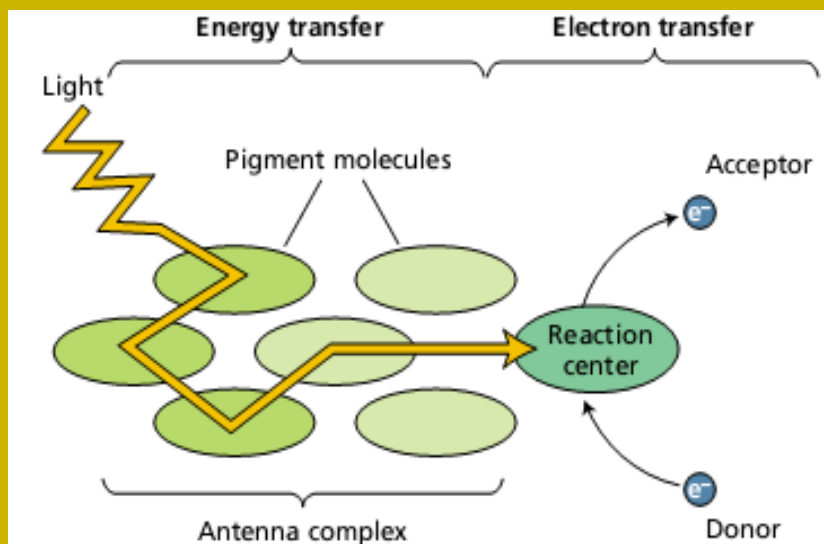
$E: 60 \text{ Kcal.mol}^{-1} \gg \text{NIVEL 1}$

Luz roja

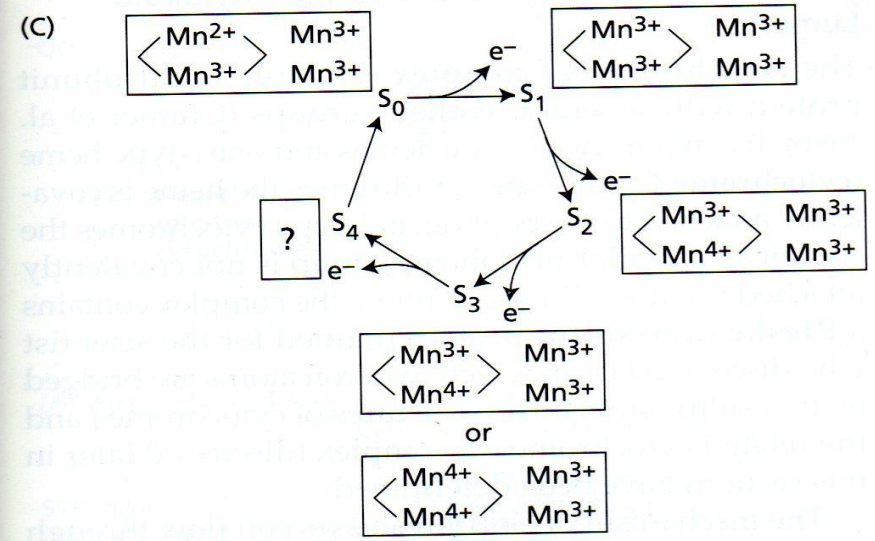
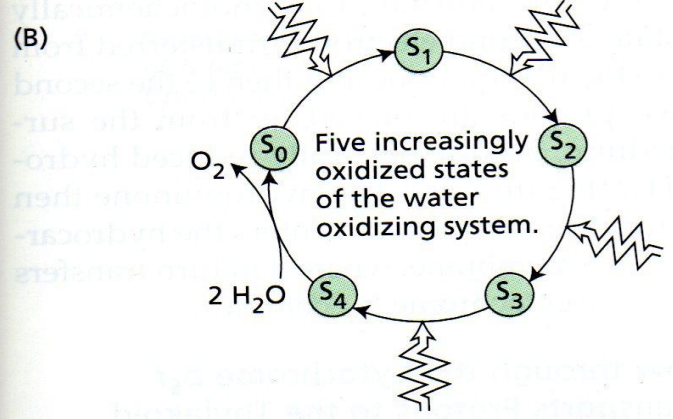
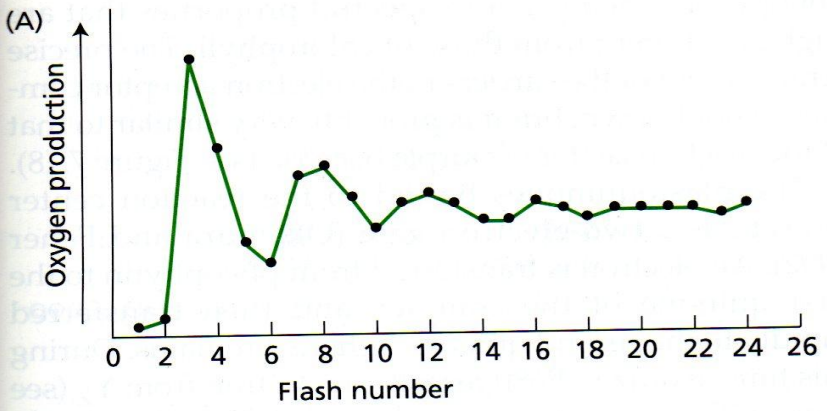
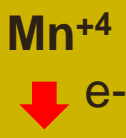
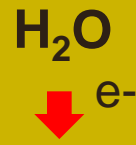
$E: 42,5 \text{ Kcal.mol}^{-1} \gg \text{NIVEL 2}$

$\text{NIVEL 3} \gg E: 40 \text{ Kcal.mol}^{-1}$

## Pigmentos Antena

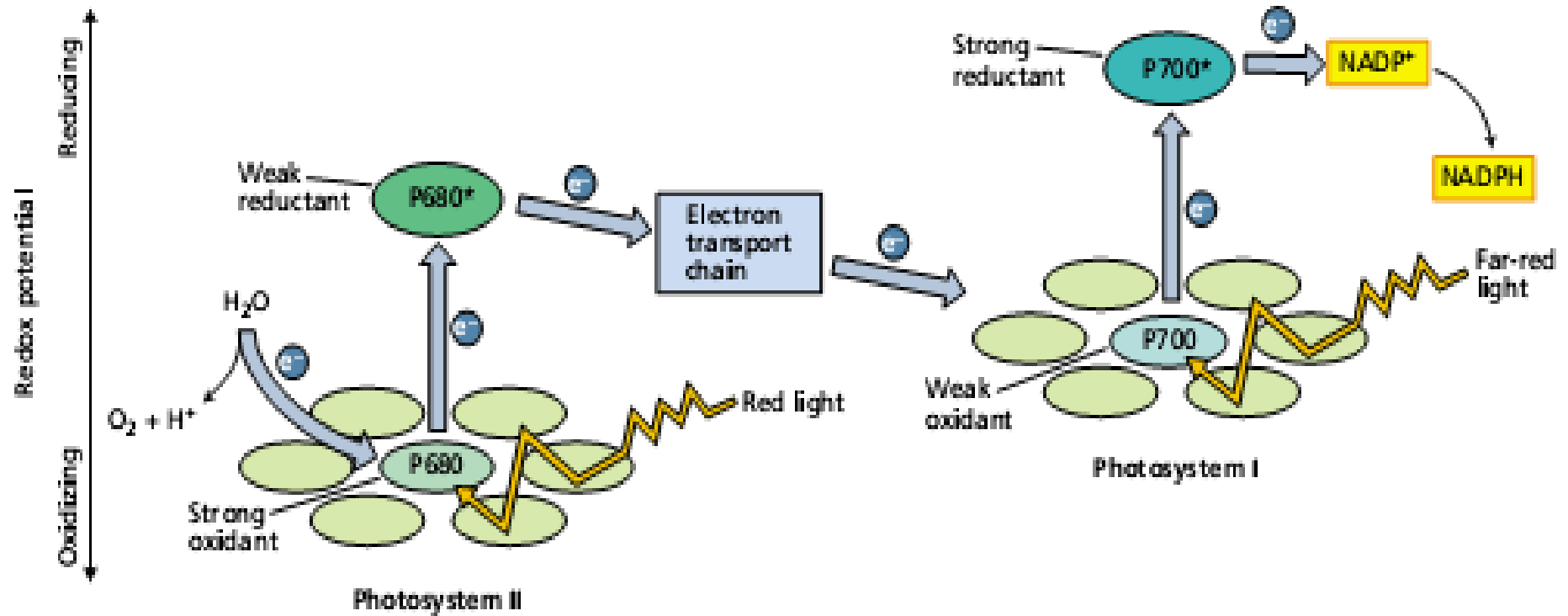


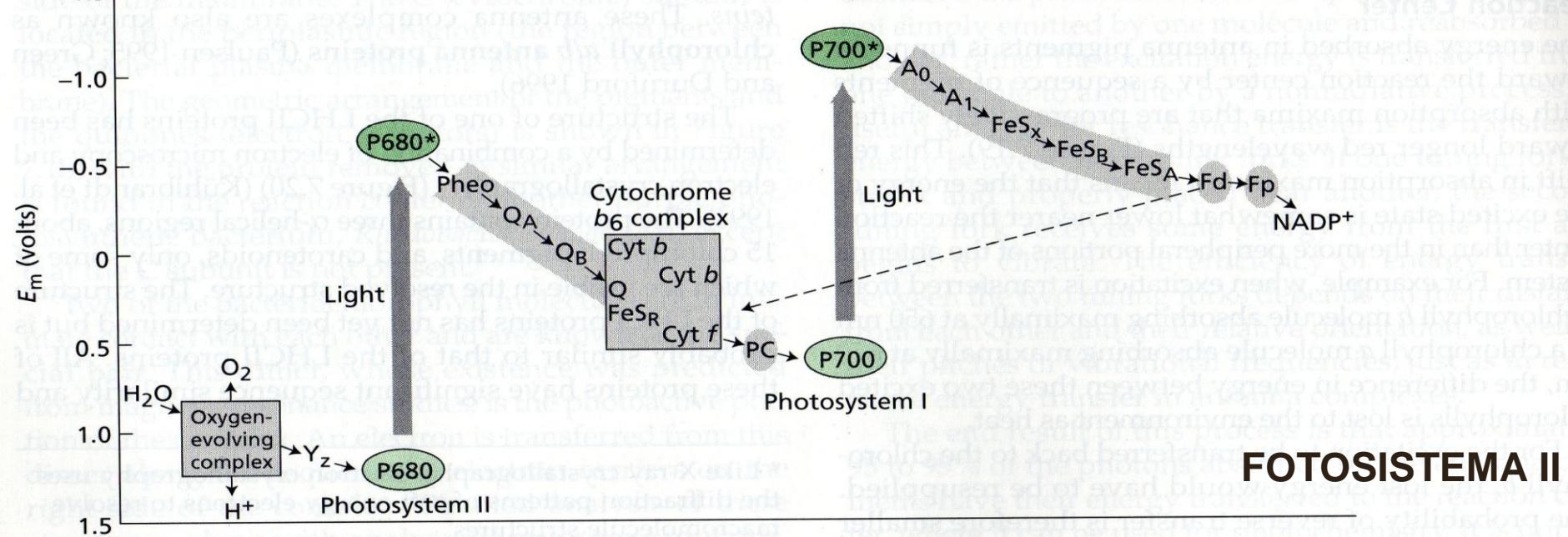
# Fotólisis del agua





# FOTOSISTEMAS





**P 680:** centro de reacción del Fotosistema II. Al perder 1 e<sup>-</sup> se oxida fuertemente, lo que le permite oxidar la molécula de agua.

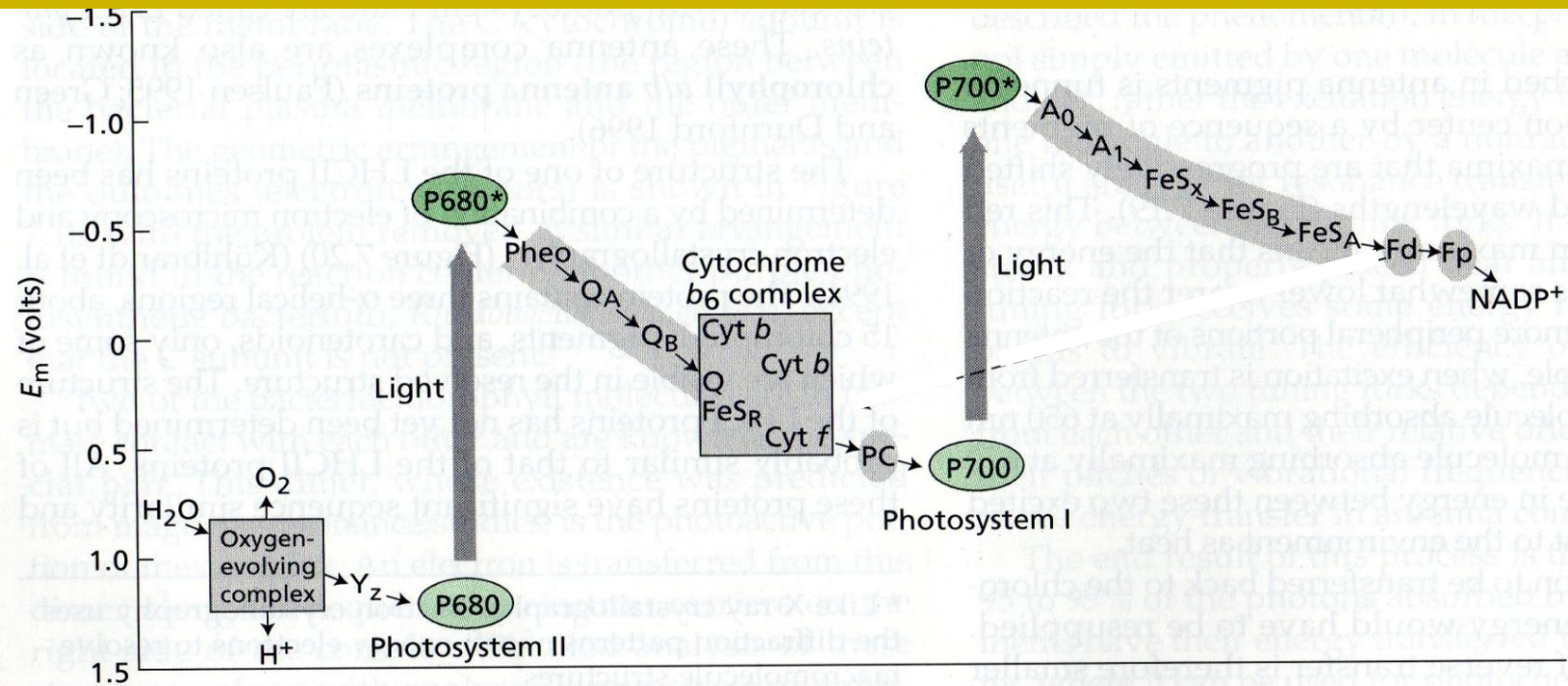
**Feofitina:** molécula de clorofila a modificada. El átomo de Mg<sup>+2</sup> central de la molécula se reemplaza por 2 H<sup>+</sup>

**Quinona A y B:** quinonas muy móviles de la membrana.

**Plastoquinona:** quinona muy móvil de la membrana. Al estar reducida es un fuerte dador de electrones. Su poder reductor es aprovechado para bombear H<sup>+</sup> al interior del tilacoide.

**Citocromo b6-f:** Son 4 polipeptidos, 2 contienen un grupo Hem prostetico con Fe, el 3ro es una ferro-sulfo proteina (2Fe-2S) y el 4to es menos conocido, no contiene Fe.

**Plastocianina:** pequeña proteína de gran movilidad, que contiene Cu.



## FOTOSISTEMA I

**P 700:** centro de reacción del Fotosistema I

**A 0:** molécula de clorofila a

**A 1:** quinona >> filoquinona (Vit. K)

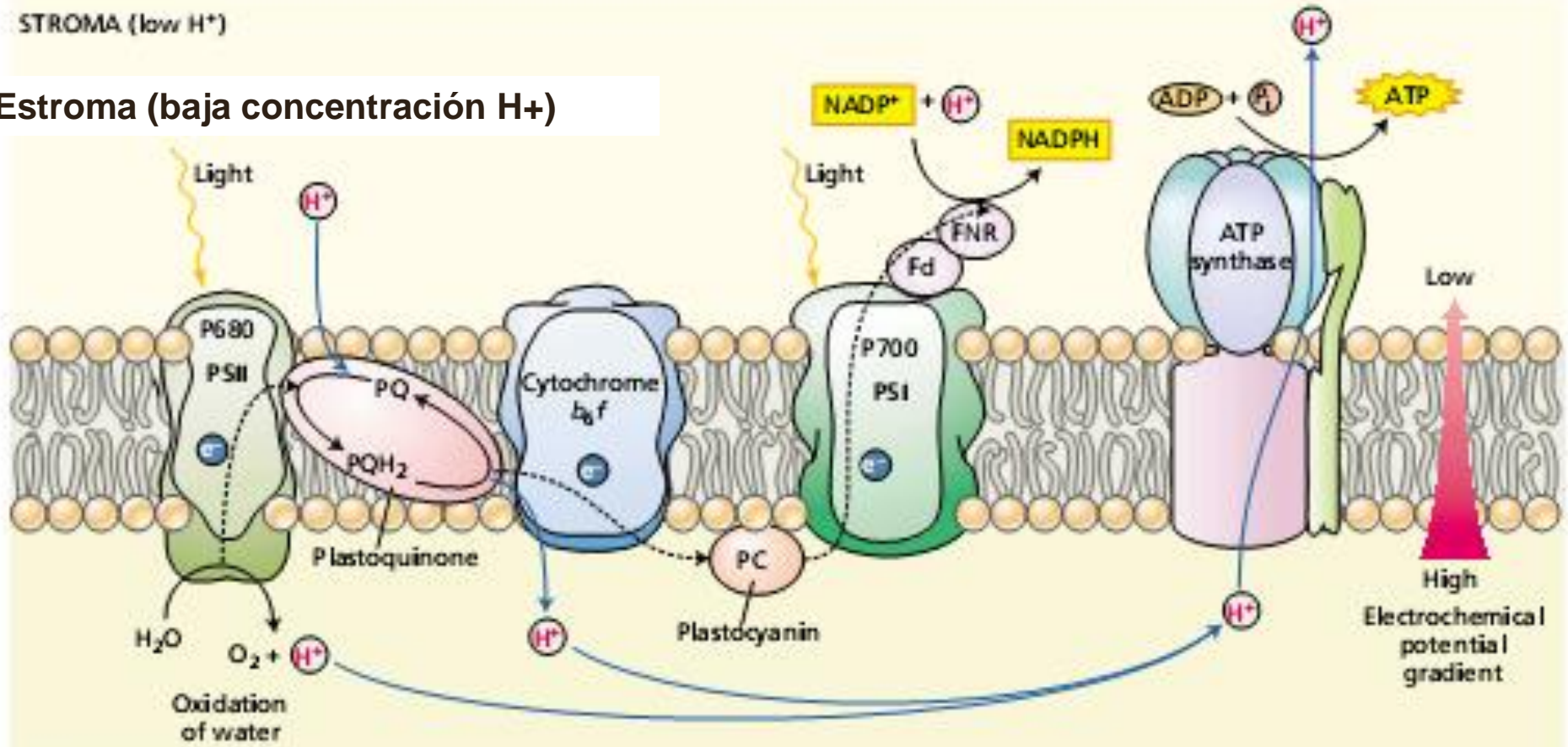
**X:** complejo semejante al cit.  $b_6$ -f, con un centro de reacción 4Fe-4S.

**Ferredoxina:** proteína periférica de la membrana del tilacoide, utiliza los e<sup>-</sup> para reducir al NADP

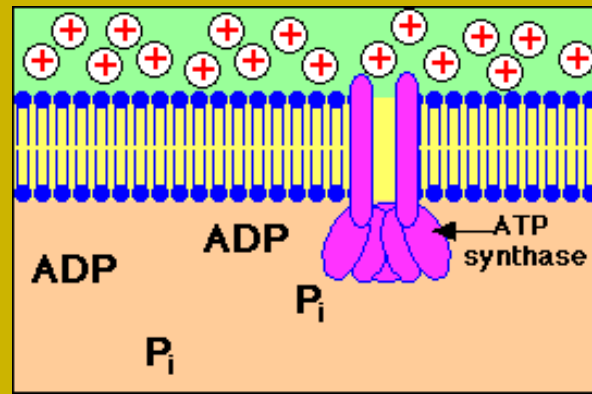
**NADP:** ultimo aceptor de e<sup>-</sup> y H<sup>+</sup>. Requiere 2 e<sup>-</sup> y 1 H<sup>+</sup> para ser reducido > NADPH+H<sup>+</sup>

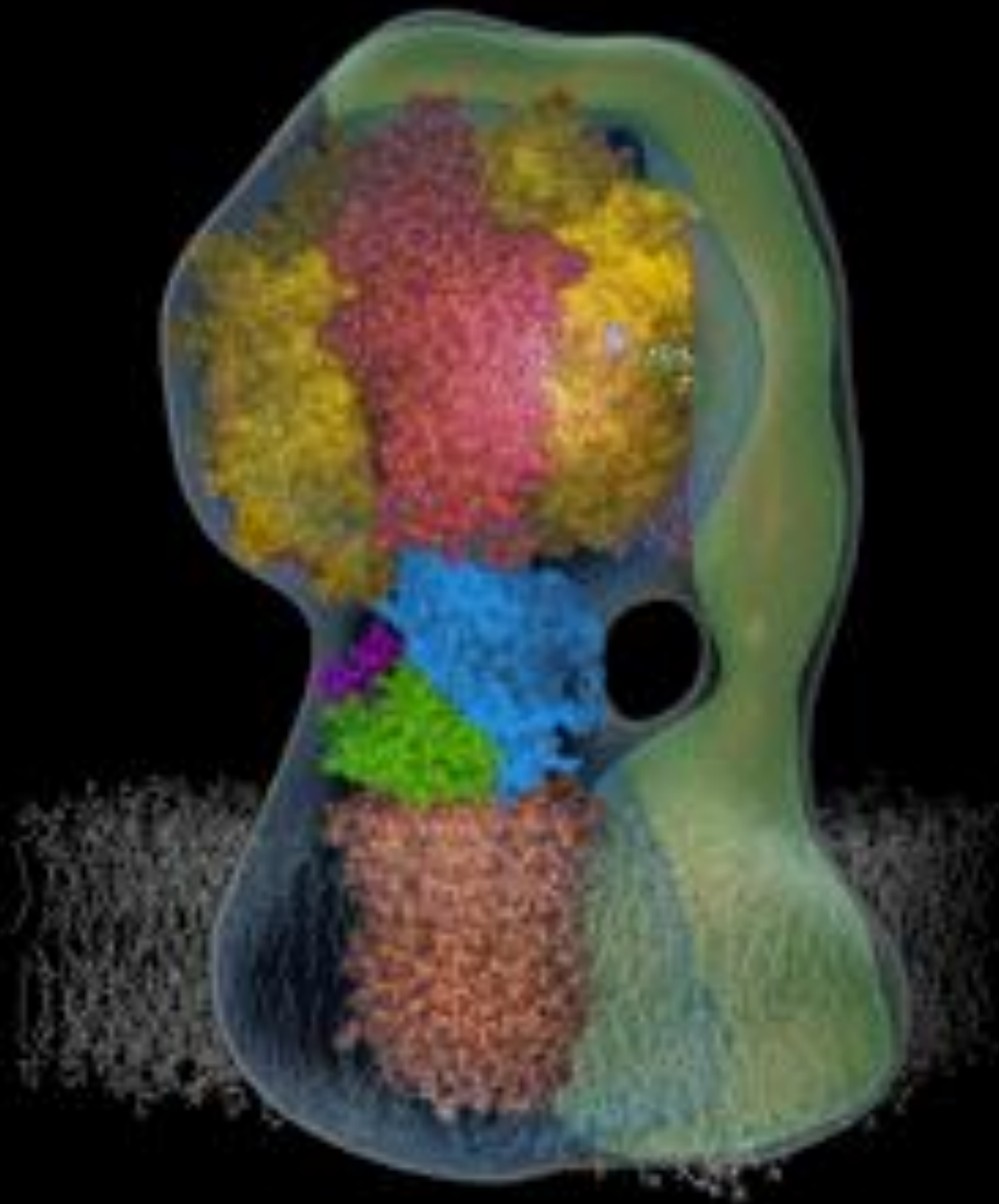
STROMA (low  $H^+$ )

Estroma (baja concentración  $H^+$ )



Lumen (alta concentración  $H^+$ )

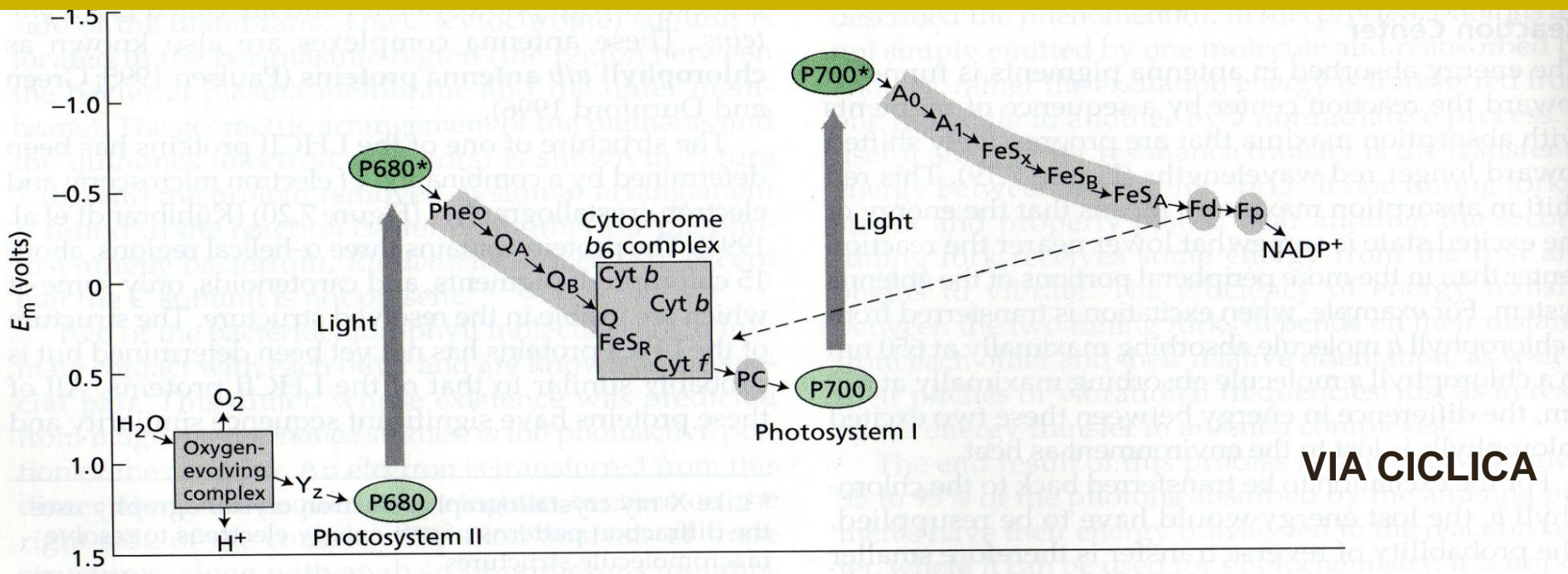
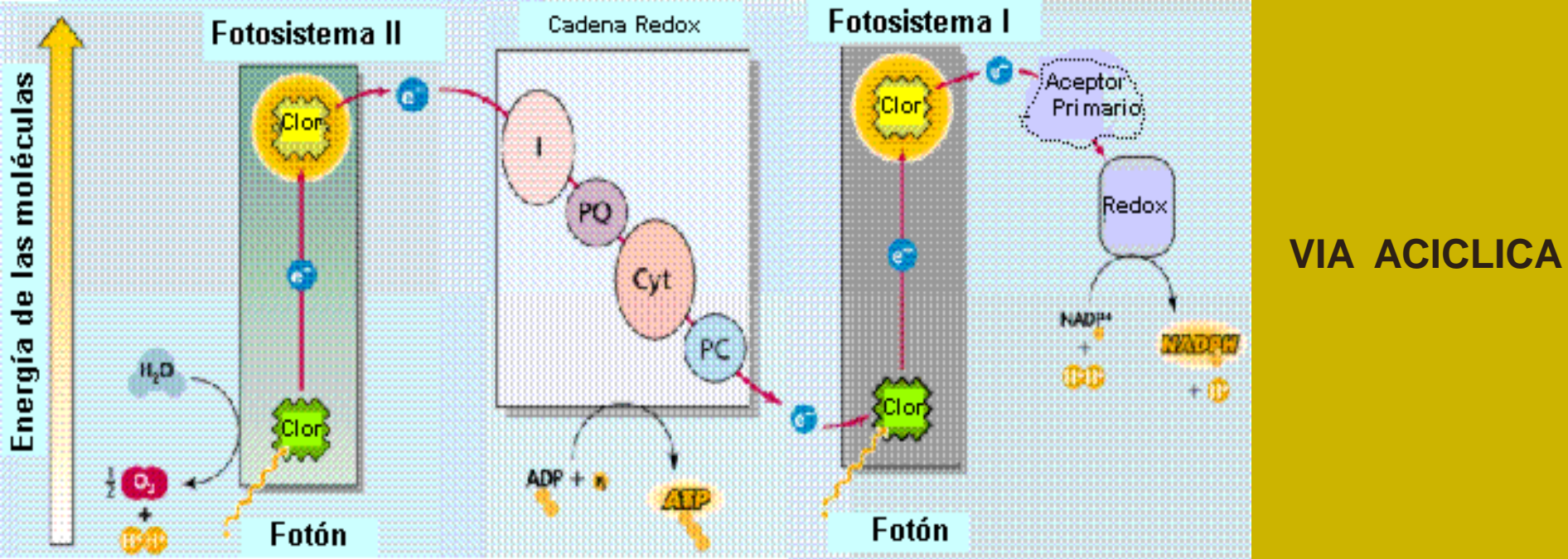




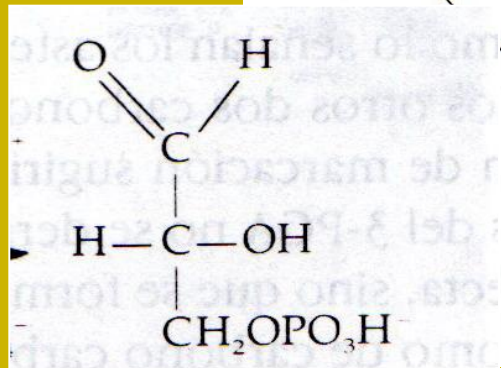
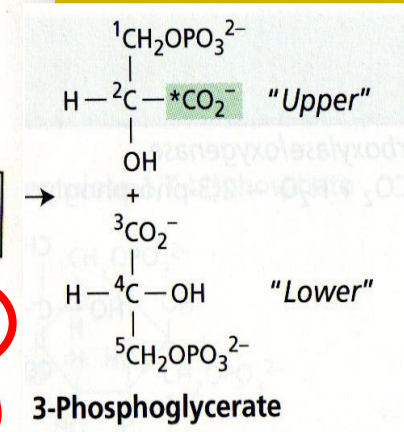
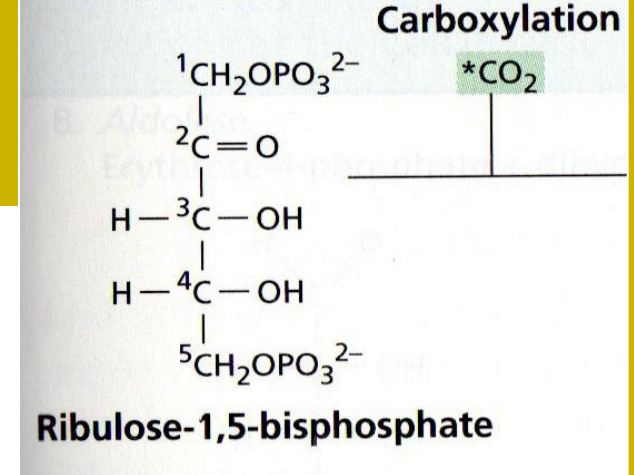
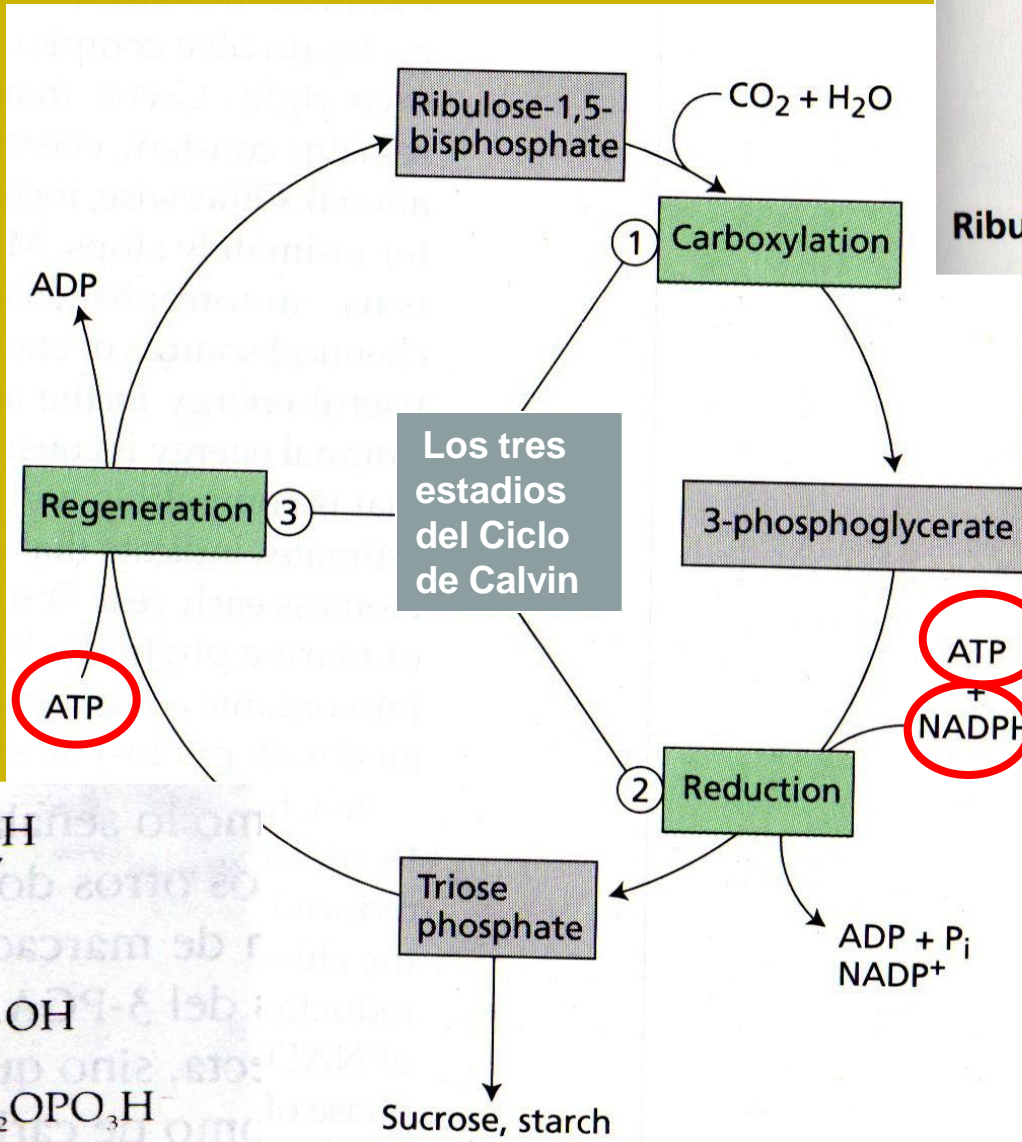
Mitochondrial ATP synthase

## Balance Energetico

- Para que se transporte 1 e<sup>-</sup> se necesitan 2 fotones, 1 para cada Fotosistema.
- Cada molécula de agua libera 2 e<sup>-</sup>, por lo tanto son necesarios 4 fotones para oxidar 1 molécula de agua.
- Para fijar 1 molécula de CO<sub>2</sub> o liberar una molécula de O<sub>2</sub> son necesarias 2 moléculas de agua. Por lo tanto son necesarios 8 fotones para transportar los 4 e<sup>-</sup> que se desprenden del agua.
- Las 2 moléculas de agua también producen 4 H<sup>+</sup>, pero dada la función de la PQ finalmente son 8 H<sup>+</sup> los que se concentran en el interior del tilacoide.
- Para producir las 4 moléculas de ATP que se necesitan en la etapa bioquímica, son necesarios 12 H<sup>+</sup> (3 H<sup>+</sup> para obtener cada ATP).
- Los 8 fotones que se utilizan para oxidar 2 moléculas de agua, desprender 4 e<sup>-</sup> y 8 H<sup>+</sup> siguen la **VÍA ACÍCLICA** de la Fotosíntesis. Por lo que se supone que los 4 H<sup>+</sup> restantes, que son necesarios para obtener ATP, se producen por la **VÍA CÍCLICA**, consumiendo 4 fotones adicionales.



# Asimilación del CO<sub>2</sub>



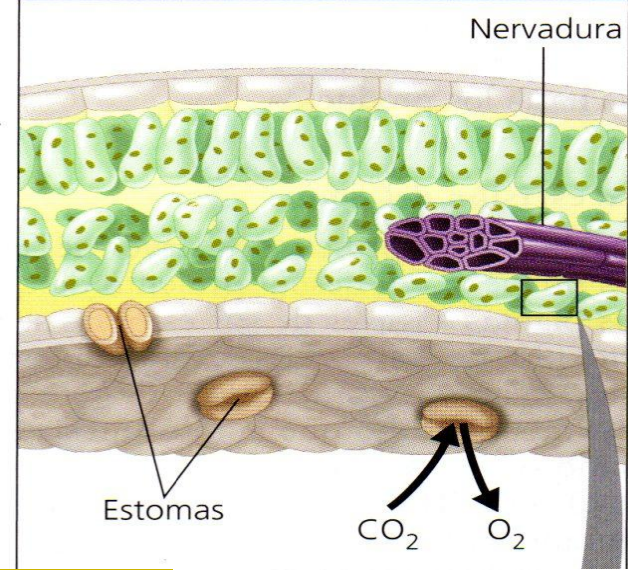
3-fosfogliceraldehído



# Fijación de CO<sub>2</sub>

C-3

C-4



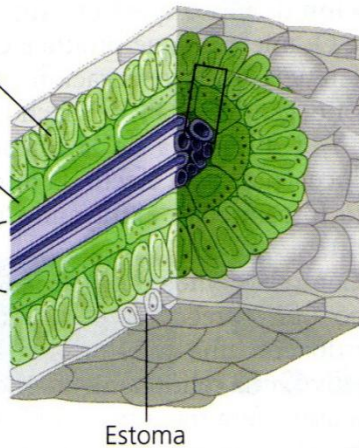
Células fotosintéticas de una hoja de planta C<sub>4</sub>

Célula mesófila

Célula de la vaina fascicular

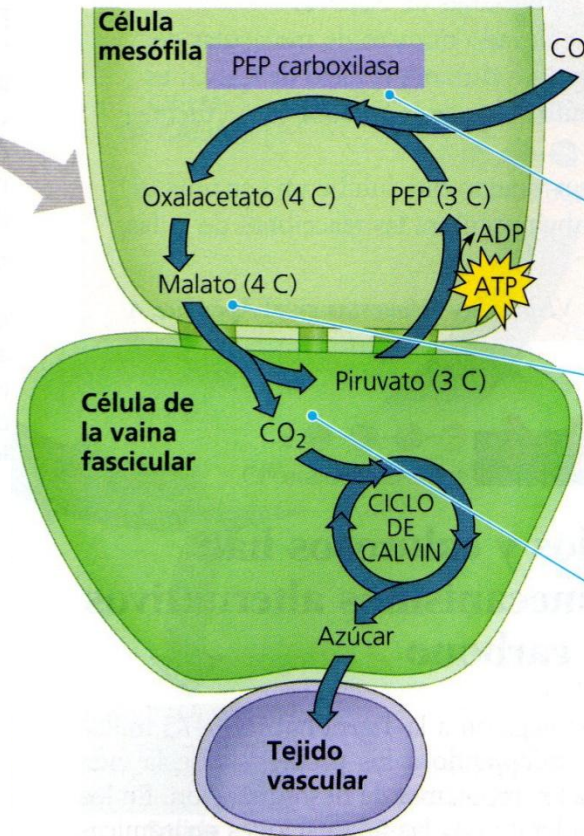
Nervadura (tejido vascular)

Anatomía de una hoja C<sub>4</sub>



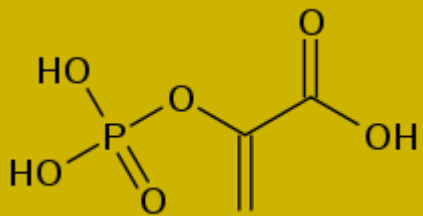
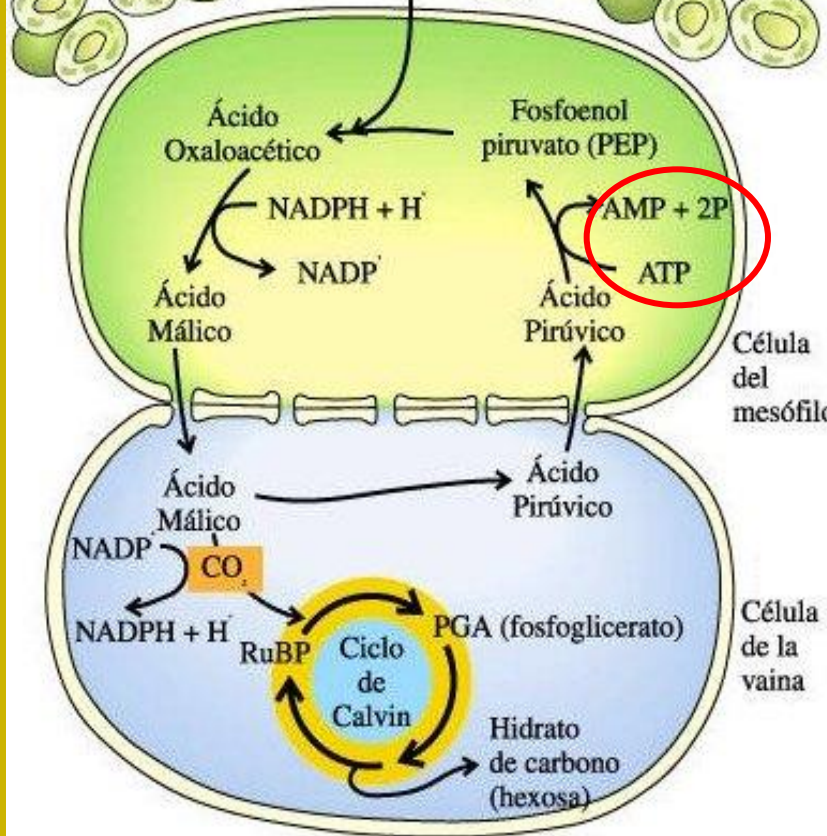
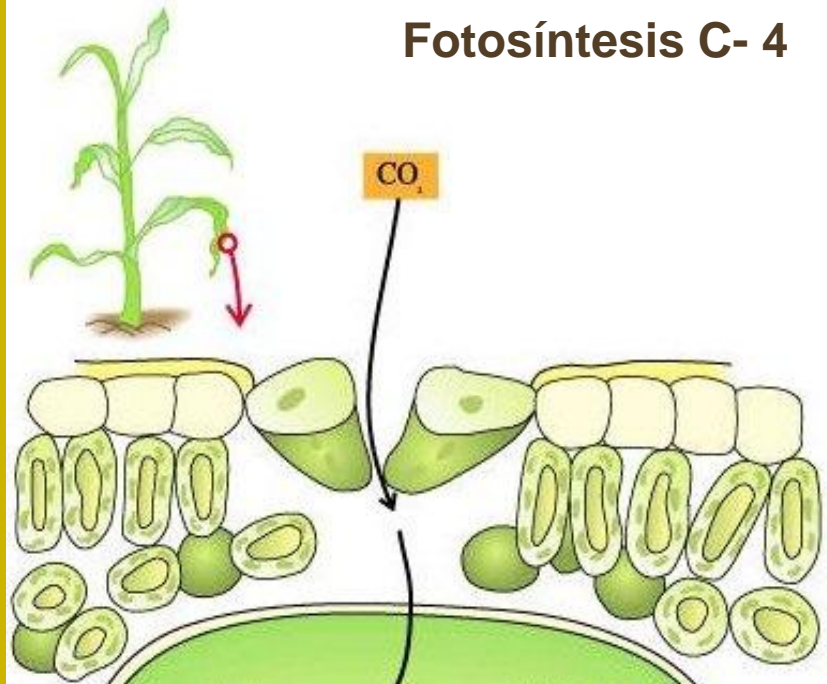
## Células de la vaina:

- \*paredes más gruesas,
- \*cloroplastos más grandes y numerosos,
- \*abundantes mitocondrias,
- \*pocos grana en cloroplasto,
- \*numerosos acúmulos de almidón.



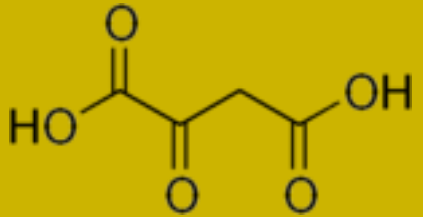
La vía C<sub>4</sub>

- 1 En las células mesófilas la enzima PEP carboxilasa adiciona dióxido de carbono al PEP.
- 2 Un compuesto de cuatro carbonos traspasa los átomos de CO<sub>2</sub> a una célula de la vaina fascicular a través de plasmodesmas.
- 3 En las células de la vaina fascicular, el CO<sub>2</sub> es liberado e ingresa en el ciclo de Calvin.



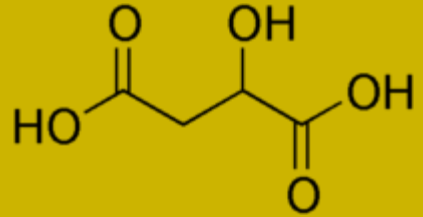
CO<sub>2</sub>

Ác. fosfoenolpirúvico

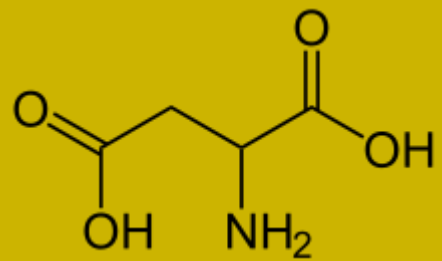


Ác. Oxalacético

NADPH



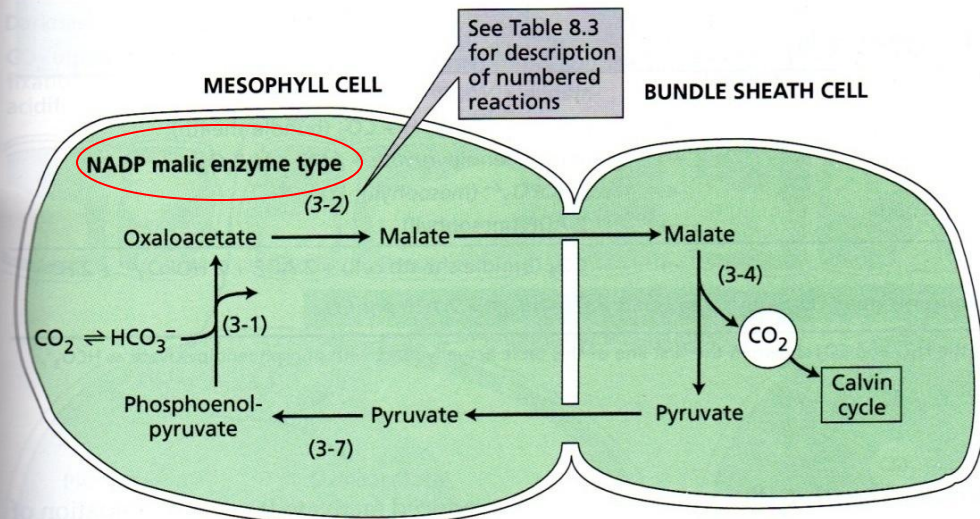
Ác. málico



Ác. aspártico

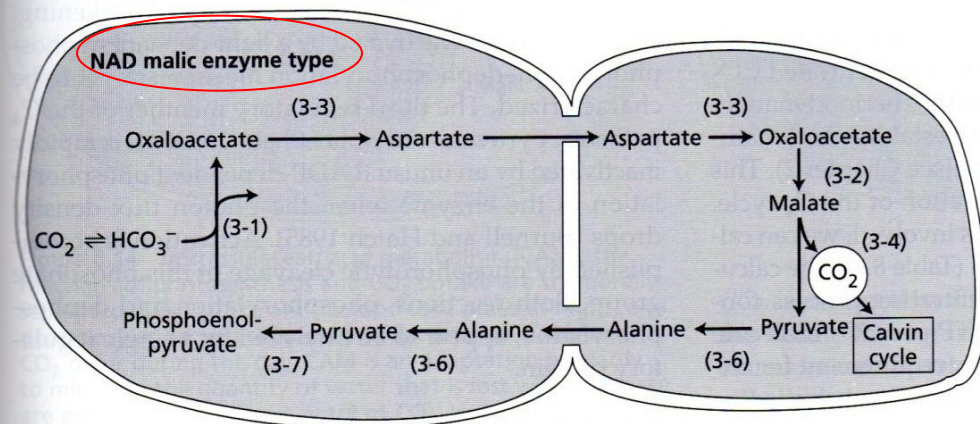
## Especies formadoras de Malato

Transfieren el ácido málico a las células de la vaina del haz vascular, donde es descarboxilado a  $\text{CO}_2$  y piruvato, mediado **enzima málica** que requiere **NADP**.



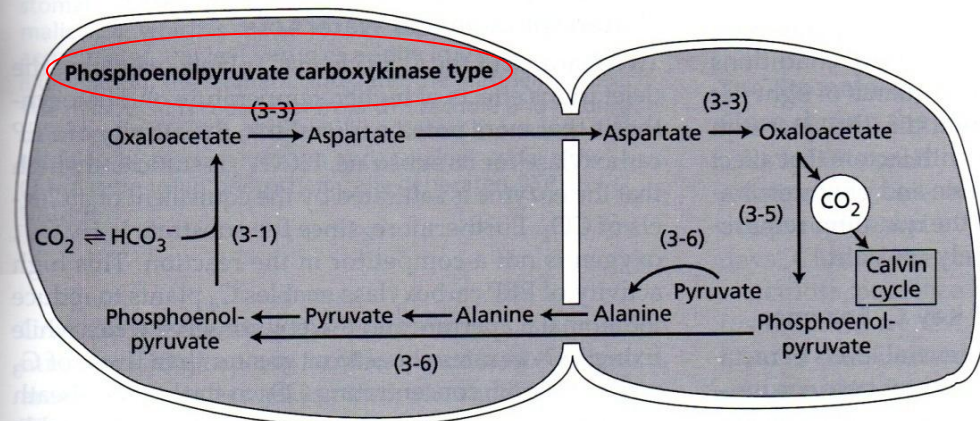
## Especies formadoras de Aspartato

El ácido aspártico se moviliza a las células de la vaina del haz vascular y allí se transforma en ácido oxalacético. Se reduce a malato por acción de la malato deshidrogenasa que requiere NADH. El malato es descarboxilado por una **enzima málica NAD depend**.



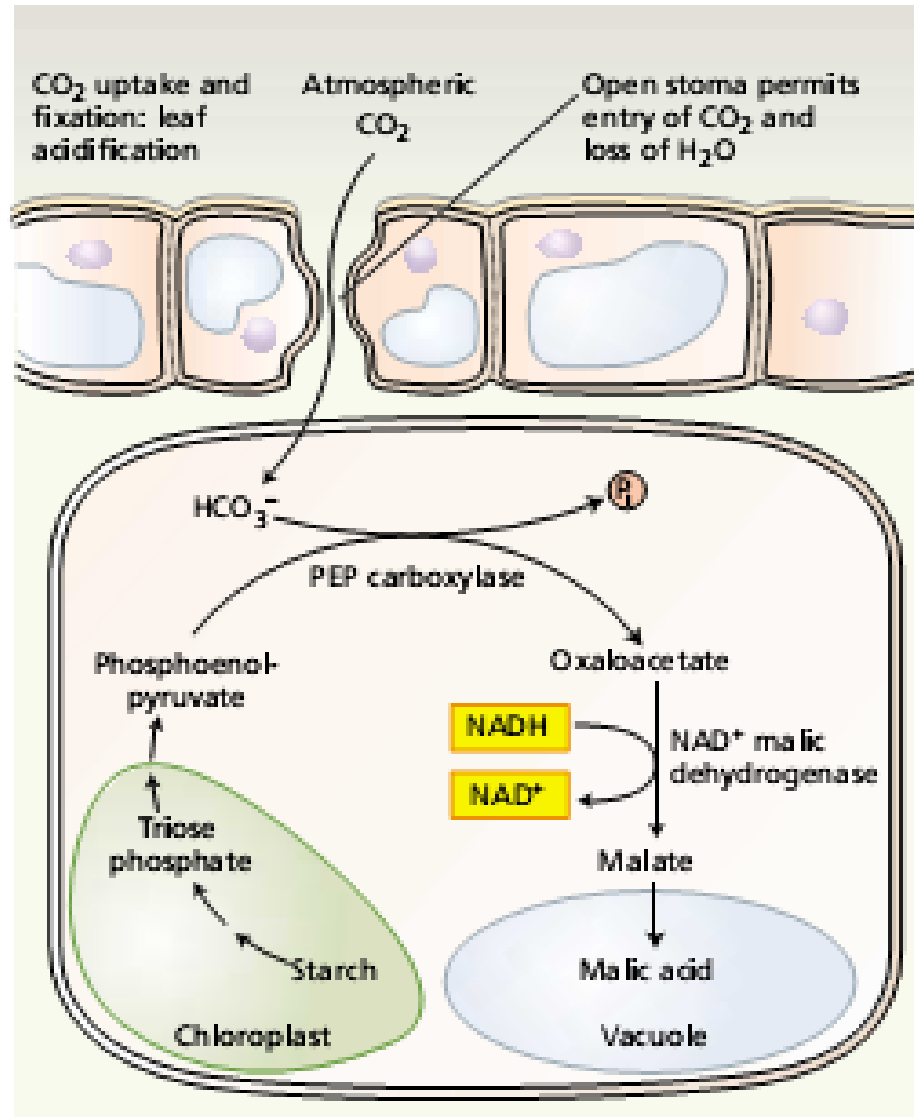
## Especies formadoras de Aspartato

El ácido oxalacético que se forma en las células de la vaina del haz, reacciona con **ATP** para liberar  $\text{CO}_2$ , PEP y ADP. (**PEP carboxiquinasa**).

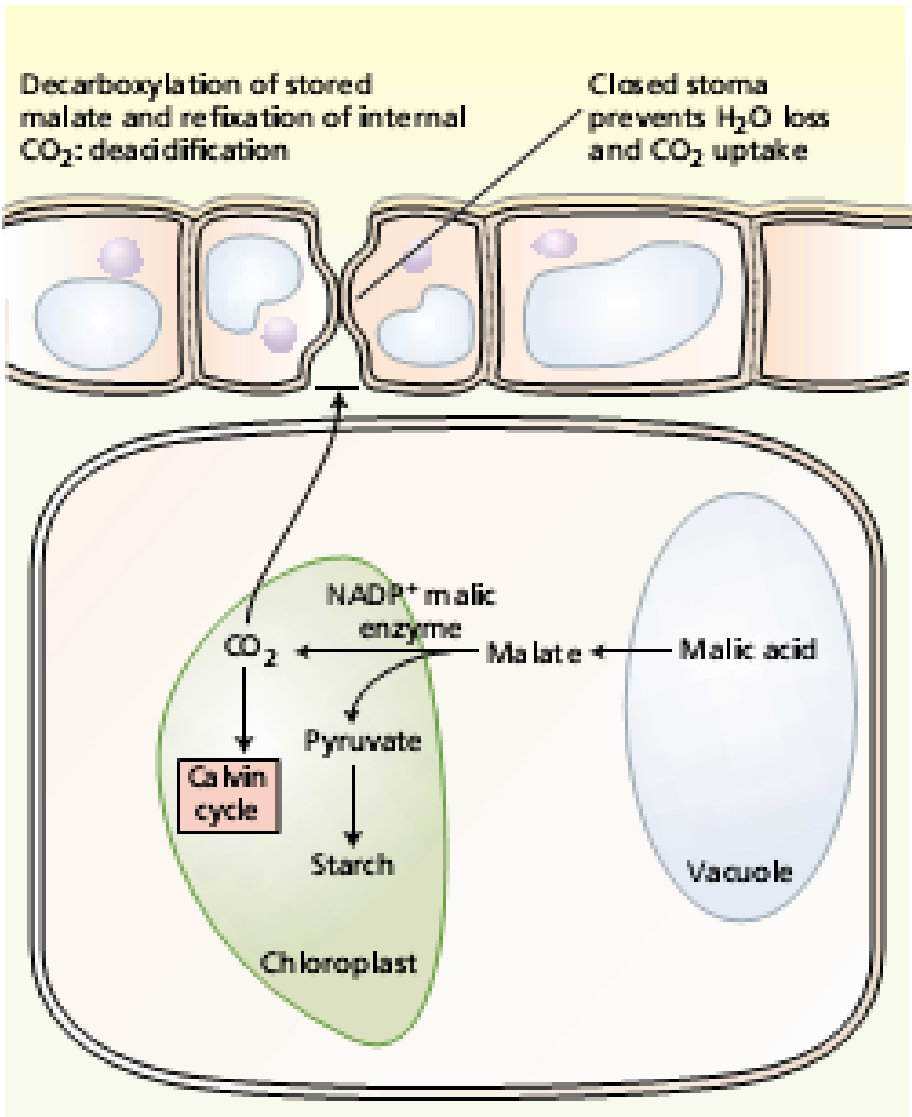


# Fotosíntesis CAM

## NOCHE: estomas abiertos



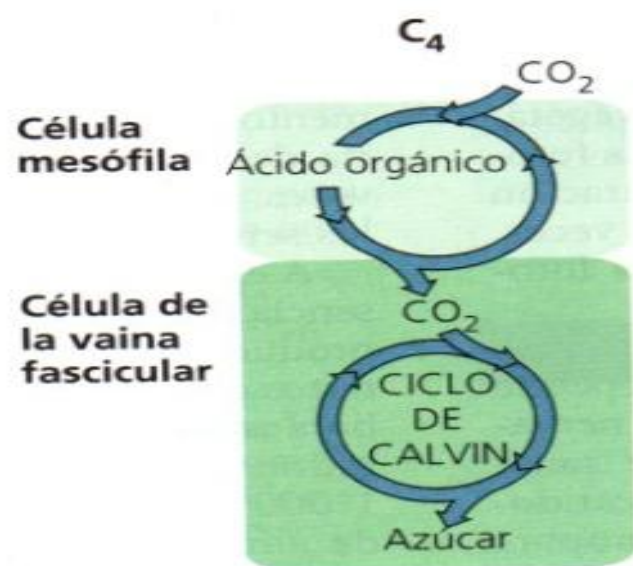
## DIA: estomas cerrados





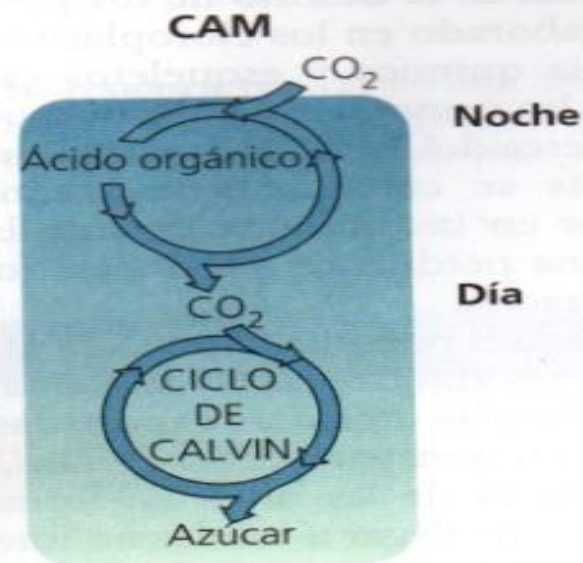
Caña de azúcar

Piña



**1** CO<sub>2</sub> incorporado en ácidos orgánicos de cuatro carbonos (fijación del carbono)

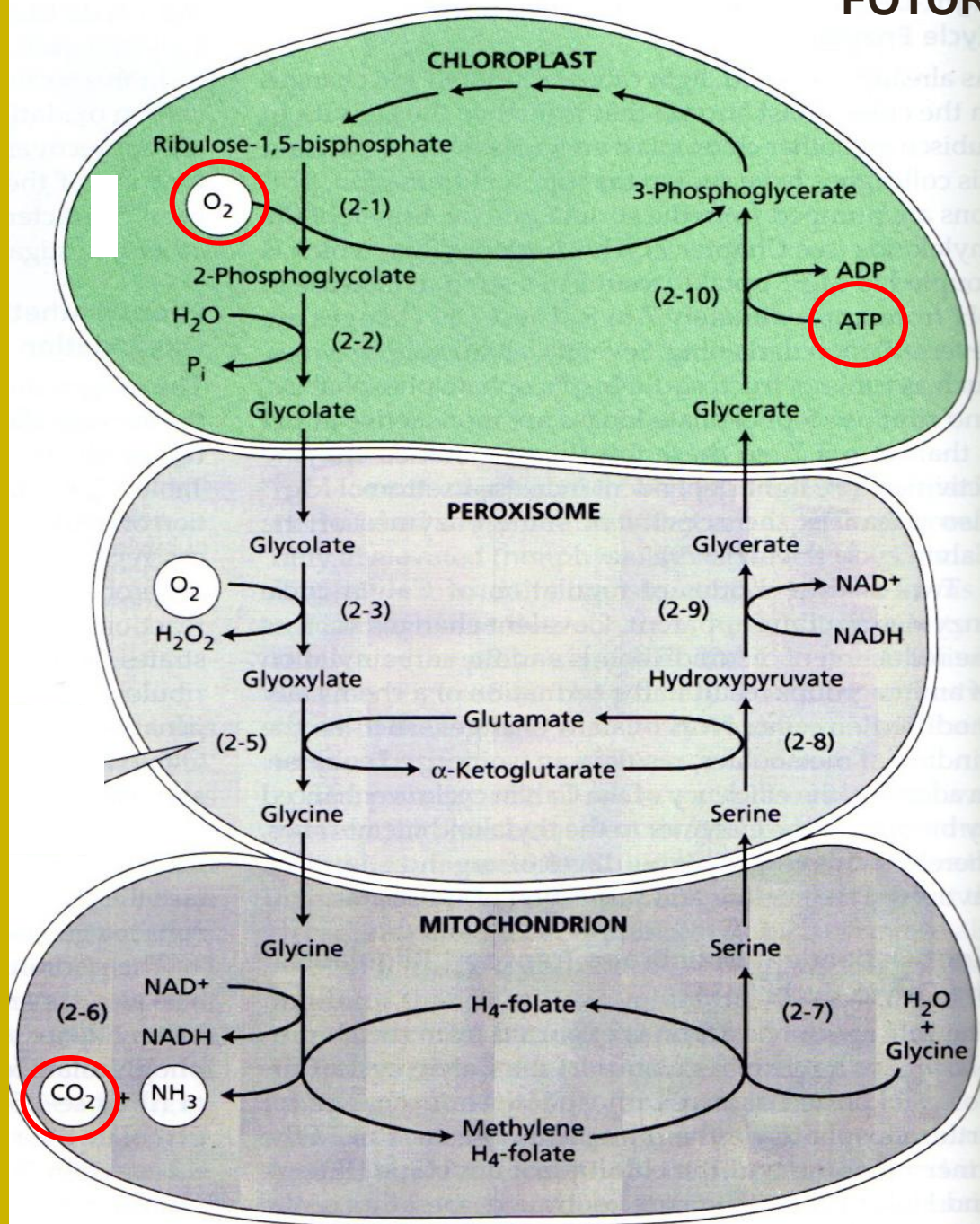
**2** Los ácidos orgánicos liberan CO<sub>2</sub> al ciclo de Calvin.



**(a) Separación espacial de pasos.**  
En plantas C<sub>4</sub>, la fijación del carbono y el ciclo de Calvin tienen lugar en diferentes tipos de células.

**(b) Separación temporal de pasos.**  
En plantas CAM, la fijación del carbono y el ciclo de Calvin tienen lugar en las mismas células en momentos diferentes.

# FOTORRESPIRACIÓN



Consumo de  $O_2$

Consumo de ATP

Producción de  $CO_2$

## Luz

# FACTORES QUE REGULAN LA FOTOSÍNTESIS

Del total de energía que llega a la superficie terrestre, solo  $900 \text{ W. m}^{-2}$  llegan a las plantas.

De dicho valor, la radiación fotosintéticamente activa equivale a  $400\text{-}500 \text{ W. m}^{-2}$ .

De la radiación absorbida por las plantas, más del 95 % se transforma en calor.

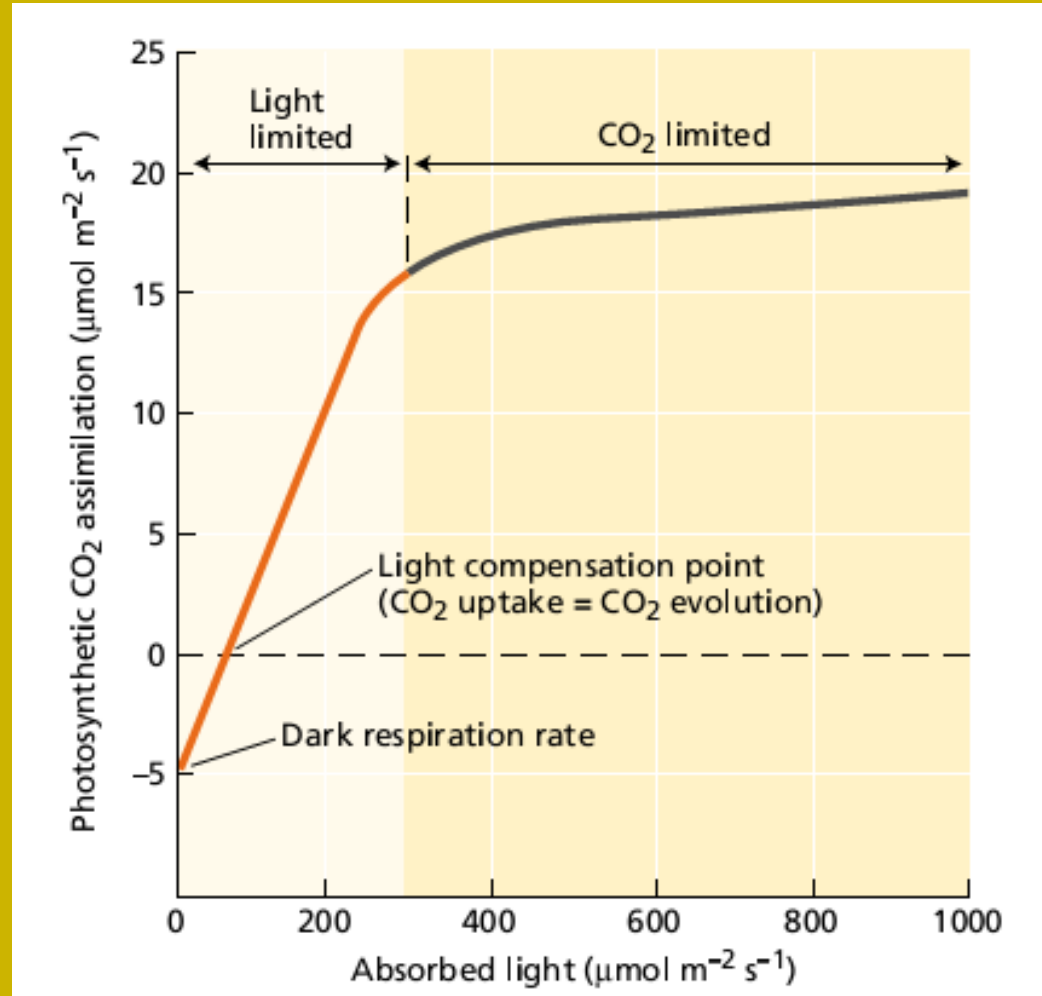
Por lo tanto solo el 5 % se utiliza en el proceso fotosintético.

### Punto de Compensación Lumínica

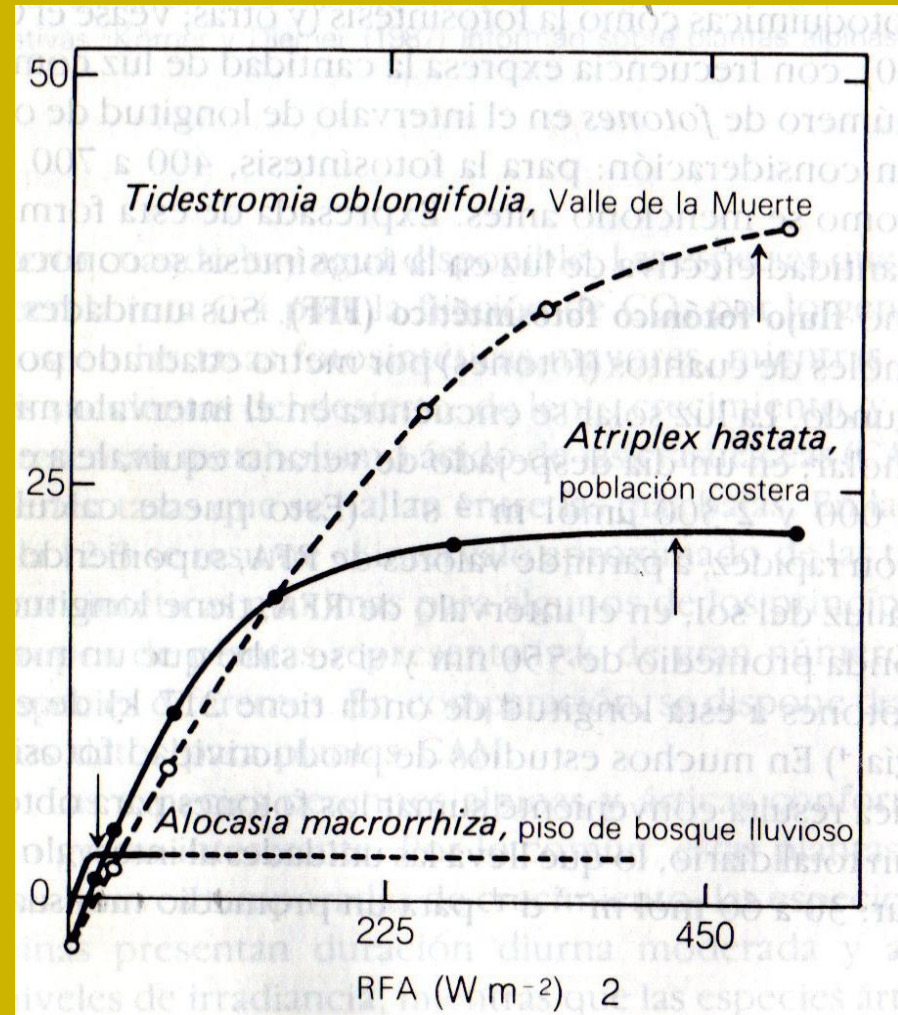
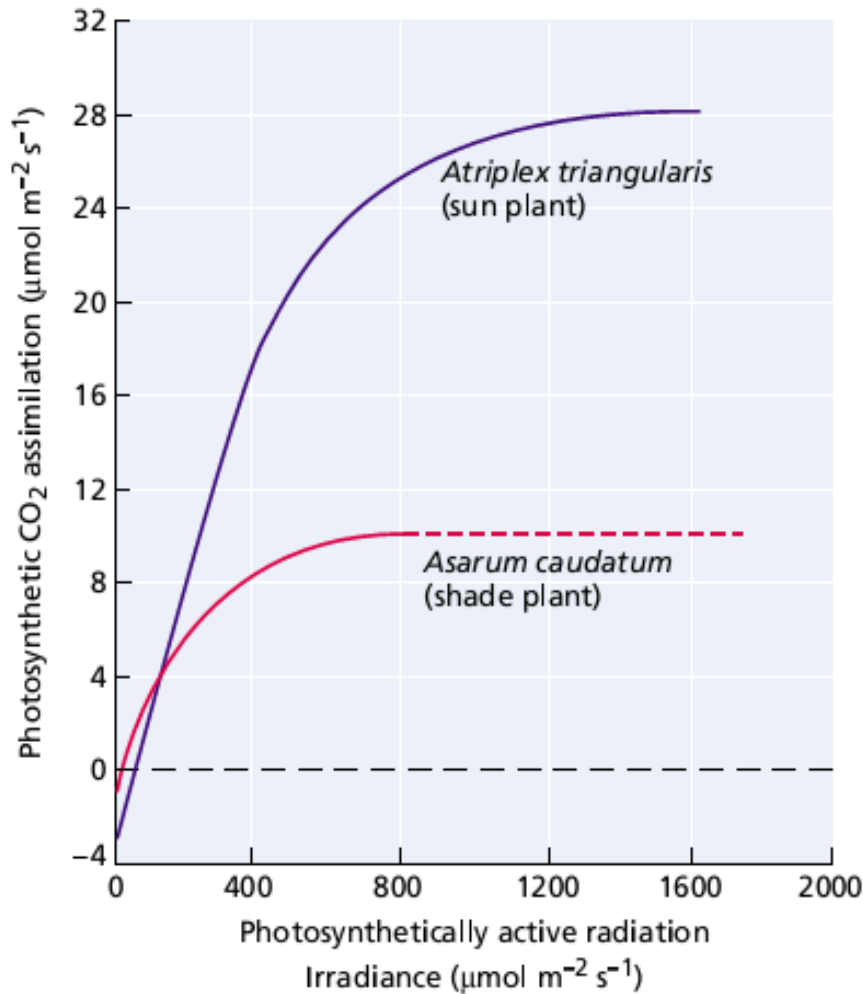
Nivel de irradiancia en el cual la fotosíntesis se halla en equilibrio con la respiración.

Se dice que el intercambio neto de  $\text{CO}_2$  es cero

$$\text{INC} = 0$$



## Punto de Compensación Lumínica >> INC = 0



El exceso de irradiancia y de temperatura se disipa como calor, evitando el daño de la maquinaria fotosintética del cloroplasto, que podrían producir los O<sub>2</sub>\*.

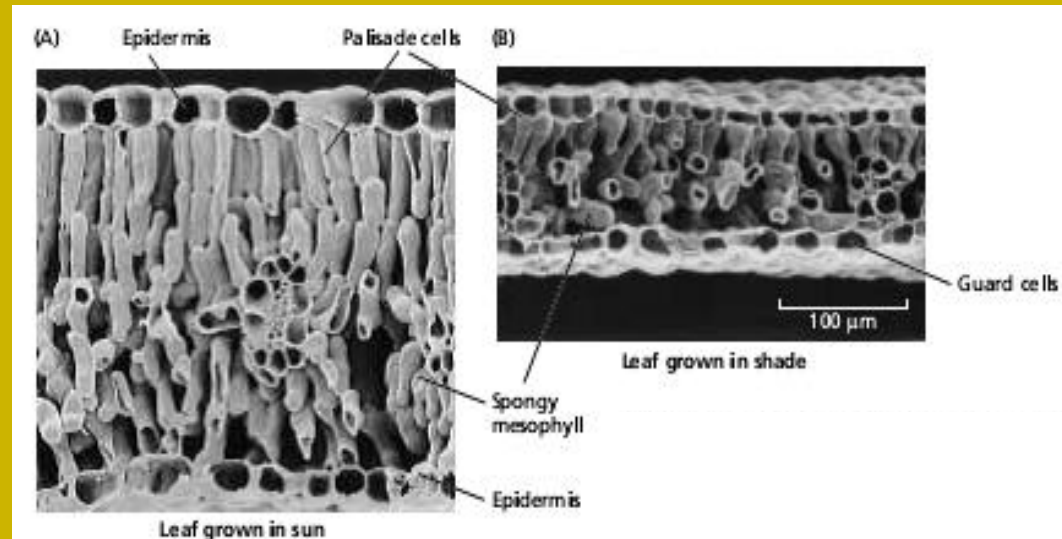
En condiciones de luz intensa la VIOLAXANTINA se convierte en ANTERAXANTINA y esta en ZEAXANTINA, la más eficiente del Ciclo de las Xantofilas para disipar en calor



# PLANTAS DE SOMBRA

- ✳ Mayor superficie foliar
- ✳ Hojas más delgadas > pocas células en empalizada y en general bajas
- ✳ Mayor cantidad de clorofila, mayor cantidad de grana en los cloroplastos y mayor cantidad de tilacoides por grana
- ✳ Menor cantidad total de proteínas en el estroma del cloroplasto
- ✳ Los cloroplastos se ordenan en la célula en patrones que maximizan la captación de luz
- ✳ La proporción de Fotosistema I = 4  
Fotosistema II

✳ Se invierte más energía en la producción de pigmentos para la cosecha de luz, debido a que es el factor limitante





C-3: La fotosíntesis neta = 0 concentraciones de  $\text{CO}_2$  entre 20 y  $100 \mu\text{l.L}^{-1}$ .

C-4: La fotosíntesis neta = 0 en niveles entre 0 y  $5 \mu\text{l.L}^{-1}$ .

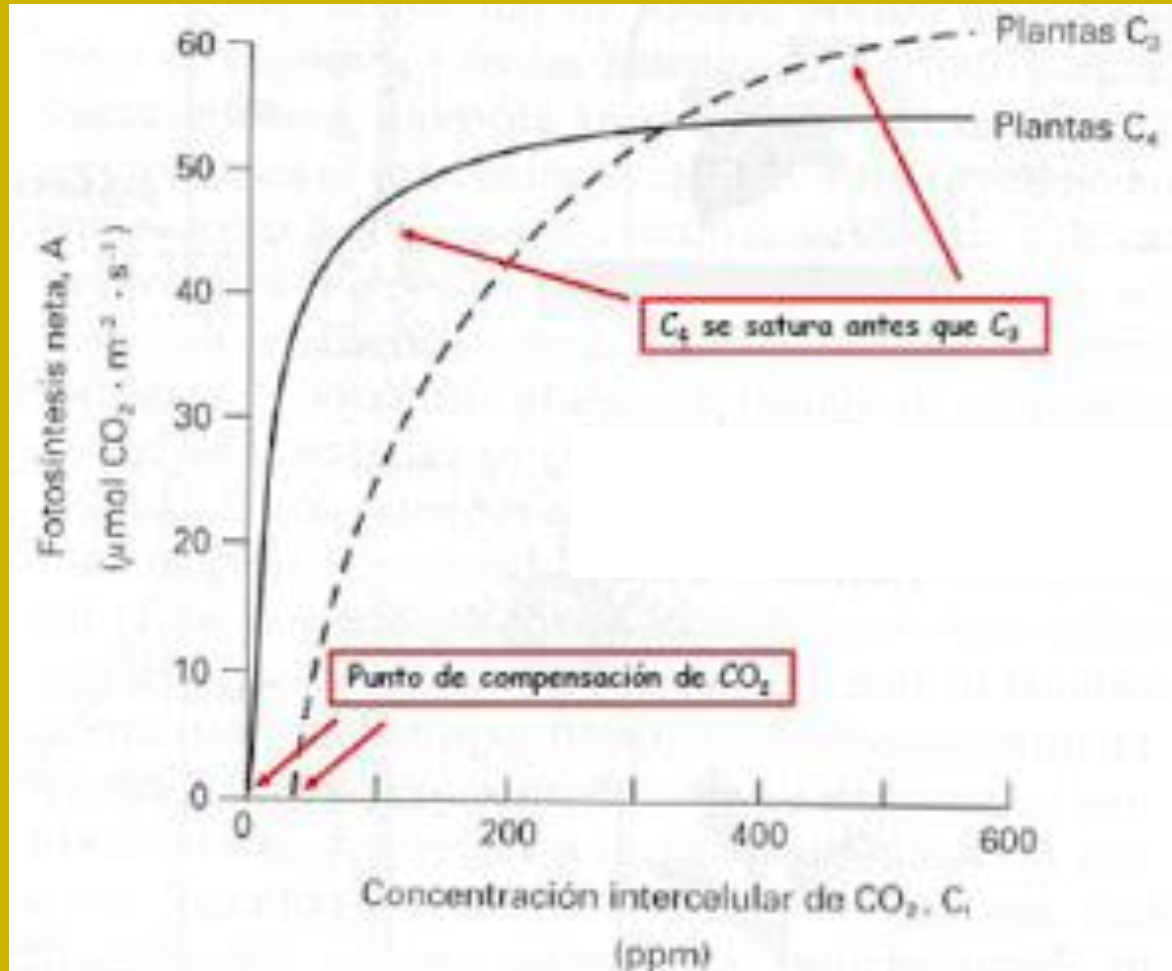
C-4: La fotosíntesis generalmente se satura a niveles de  $\text{CO}_2$  cercanos a  $400 \mu\text{l.L}^{-1}$ .

Punto de compensación de  $\text{CO}_2$

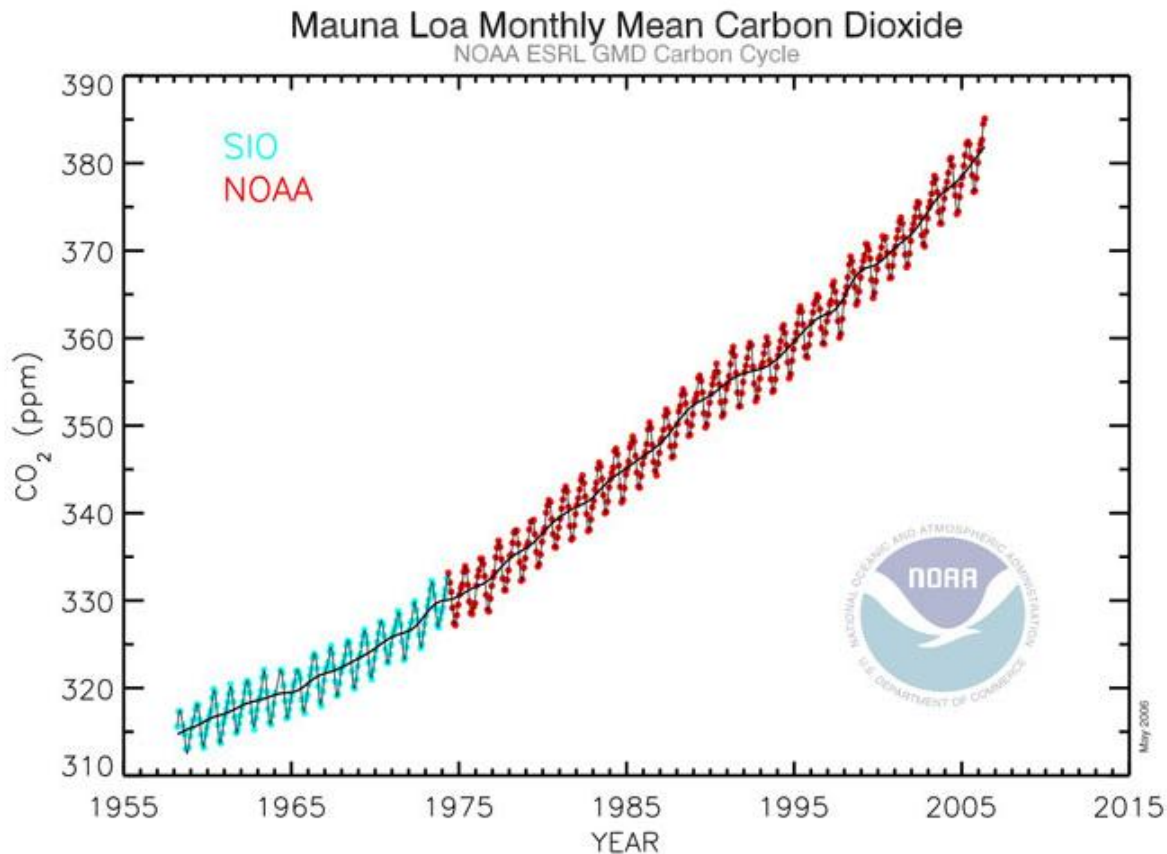
Corresponde a la concentración de  $\text{CO}_2$  atmosférico, en la cual la fijación fotosintética de  $\text{CO}_2$  se equilibra con su liberación por respiración.

INC      C-4 < C-3

C-3 > fotorrespiración  
>  $\text{CO}_2$  fotosíntesis



**La concentración actual de CO<sub>2</sub> es de 0,037% o 370 ppm del gas atmosférico.**  
**Esta concentración es el doble de que había hace 160 años.**  
**Y se sabe que aumenta cerca de 1ppm cada año.**

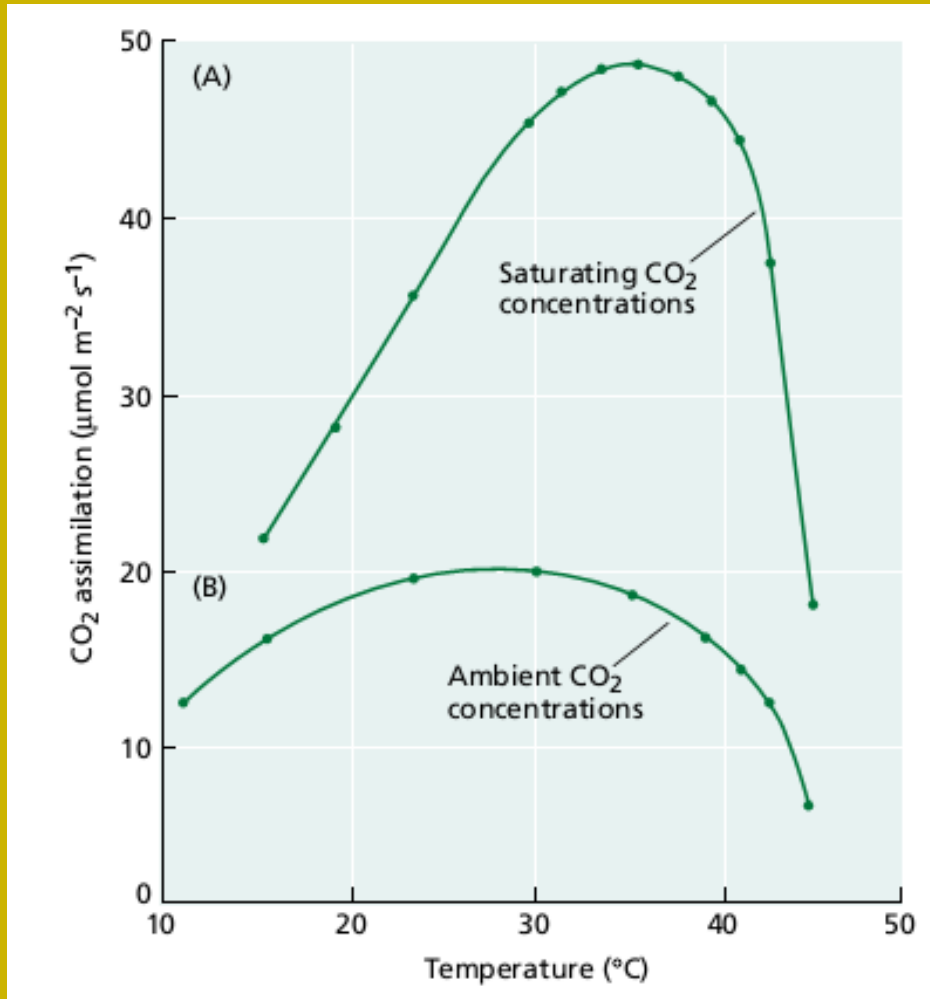


Atmospheric carbon dioxide monthly mean mixing ratios. Data prior to May 1974 are from the Scripps Institution of Oceanography (SIO, blue), data since May 1974 are from the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, red). A long-term trend curve is fitted to the monthly mean values. Contact: Dr. Pieter Tans, NOAA ESRL GMD Carbon Cycle, Boulder, Colorado, (303) 497-6678, pieter.tans@noaa.gov, and Dr. Ralph Keeling, SIO GRD, La Jolla, California, (858) 534-7582, rkeeling@ucsd.edu.

**La concentración de CO<sub>2</sub> es suficiente para que la planta fotosintetice.**

**La única limitante sería la cantidad suficiente de enzima Rubisco.**

# TEMPERATURA



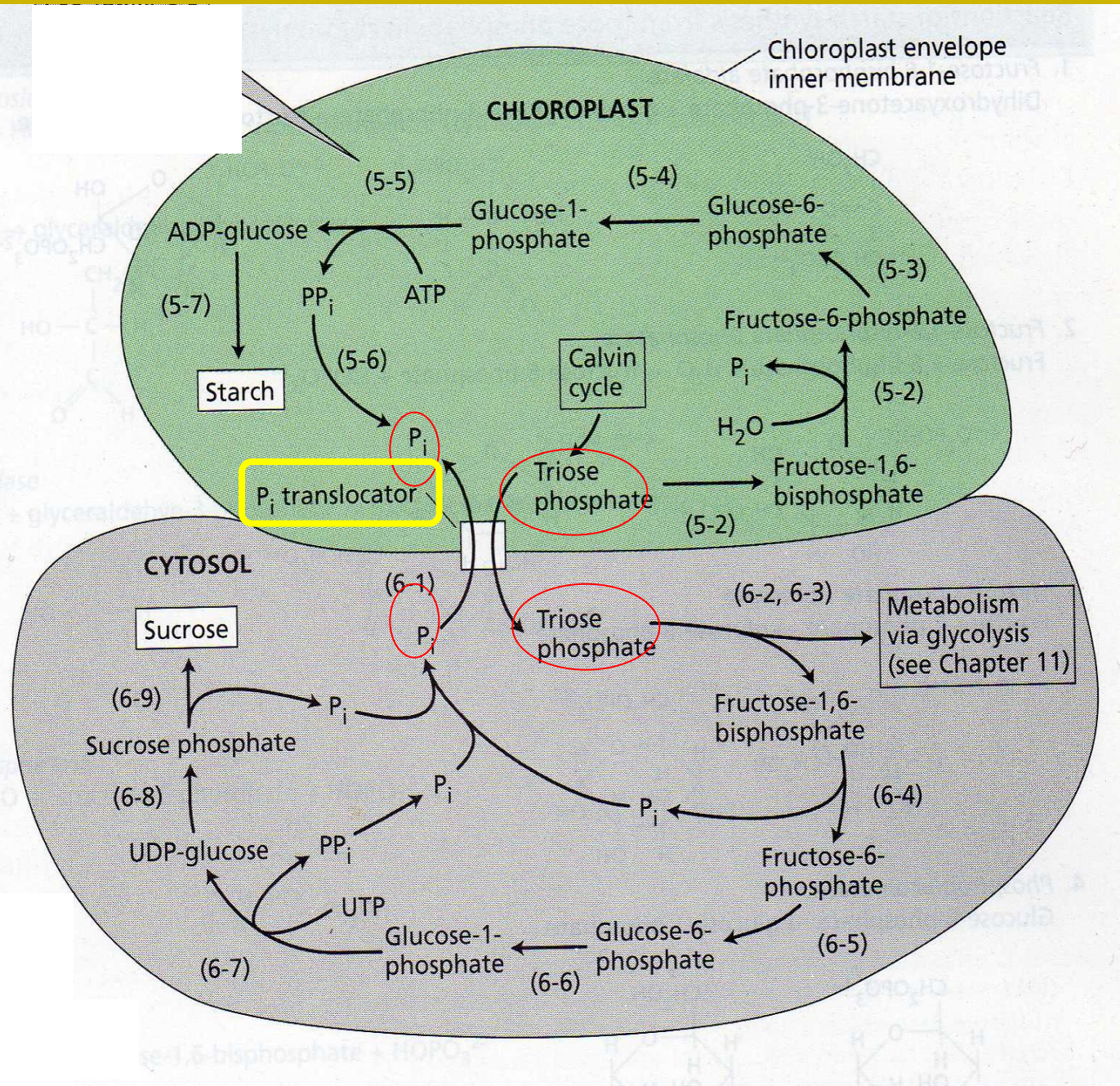
**Cyanofíceas fotosintetizan a 70 °C**

**Coníferas fotosintetizan a -6 °C**

**Líquenes antárticos fotosintetizan a -18 °C**

**AGUA**

**EDAD DE LA HOJA**



•Baja concentración  $P_i$  en el citosol >>> limita la exportación de Tri-p desde el cloroplasto >>>> Promueve síntesis

## ALMIDÓN

•Abundancia de  $P_i$  en el citosol >>> promueve la exportación de Tri-p >>>>induce síntesis

## SACAROSA

<b>CARACTERISTICAS</b>	<b>C-3</b>	<b>C-4</b>	<b>CAM</b>
<b>Anatomía de la hoja</b>	Sin vaina del haz bien definida para células fotosintéticas	Vaina del haz bien organizada, rica en organelas. del mesófilo	Solo hay células con grandes vacuolas.
<b>Enzima carboxilante</b>	Rubisco	PEP carboxilasa y Rubisco	PEP carboxilasa y Rubisco
<b>Requerimiento energético (CO<sub>2</sub> : ATP : NADPH)</b>	1:3:2	1:5:2	1:6,5:2
<b>Tasa de transpiración (H<sub>2</sub>O/ incremento PS)</b>	450 – 950	250 – 350	18 - 125
<b>Punto de compensación CO<sub>2</sub> μmol CO<sub>2</sub>. mol<sup>-1</sup></b>	30 – 70	0 – 10	0 – 5 (en oscuridad)
<b>Inhibición de fotosíntesis Con O<sub>2</sub></b>	Si	No	Si
<b>Fotorrespiración detectable</b>	Si	Sólo en la vaina del haz	Al caer la tarde
<b>T° óptima para la Fotosíntesis (°C)</b>	15 – 25	30 – 47	35
<b>Producción materia seca (ton.ha<sup>-1</sup>.año<sup>-1</sup>)</b>	22	39	baja y muy variable