

Fotosíntesis



Biofísica de la Luz

- La luz es una pequeña porción de un espectro continuo muy amplio de radiación llamado el espectro electromagnético. Todas las radiaciones en este espectro viajan en forma de ondas. La longitud de onda es la distancia entre dos crestas. La luz usada para fotosíntesis corresponde a la parte visible del espectro (380-760 nm).



La luz solar es una mezcla de muchas longitudes de onda

Fig. 8-2. Radiación emitida por el Sol. La radiación electromagnética proveniente del Sol contiene radiación ultravioleta y luz visible de diversos colores y longitudes de onda.

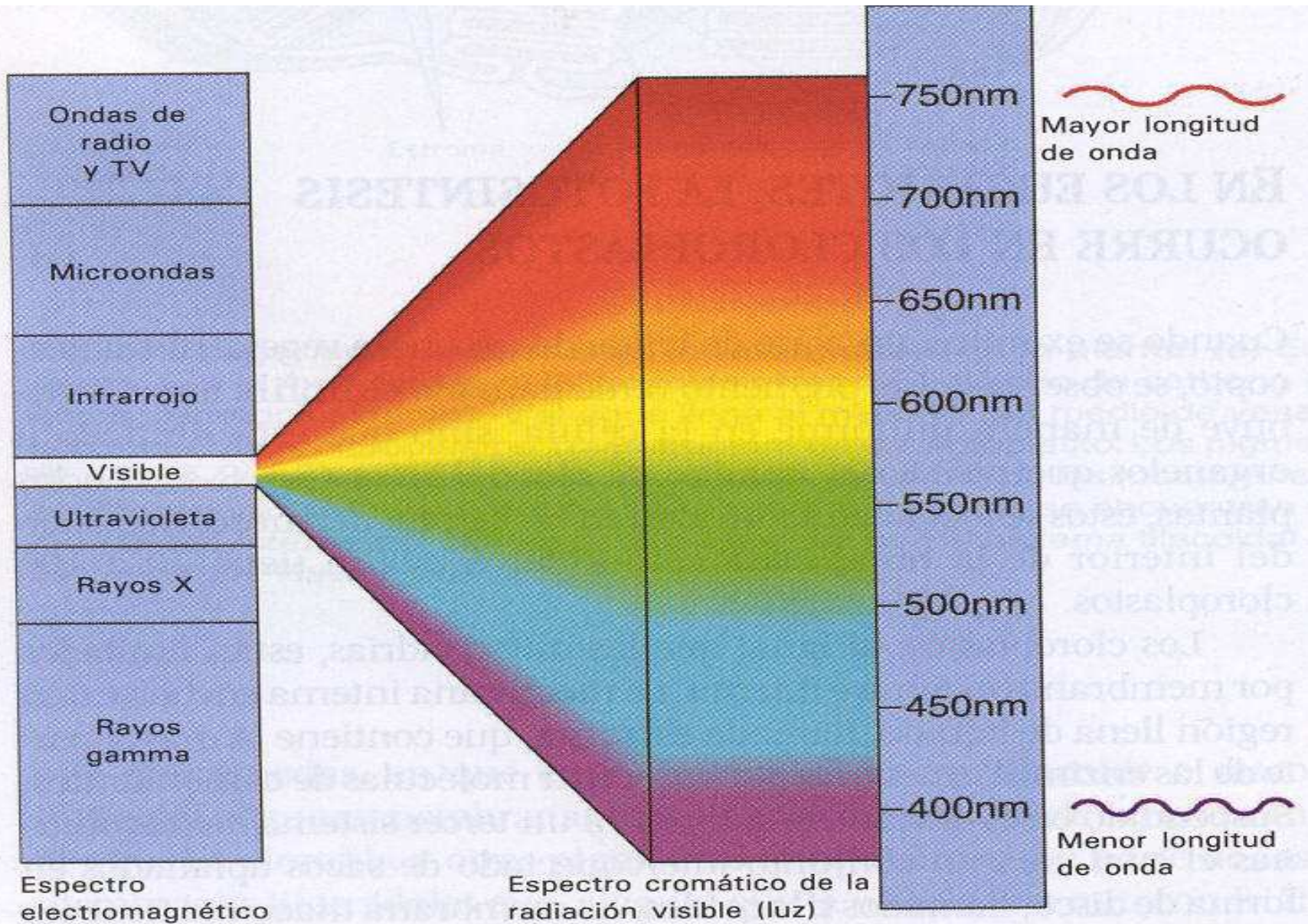


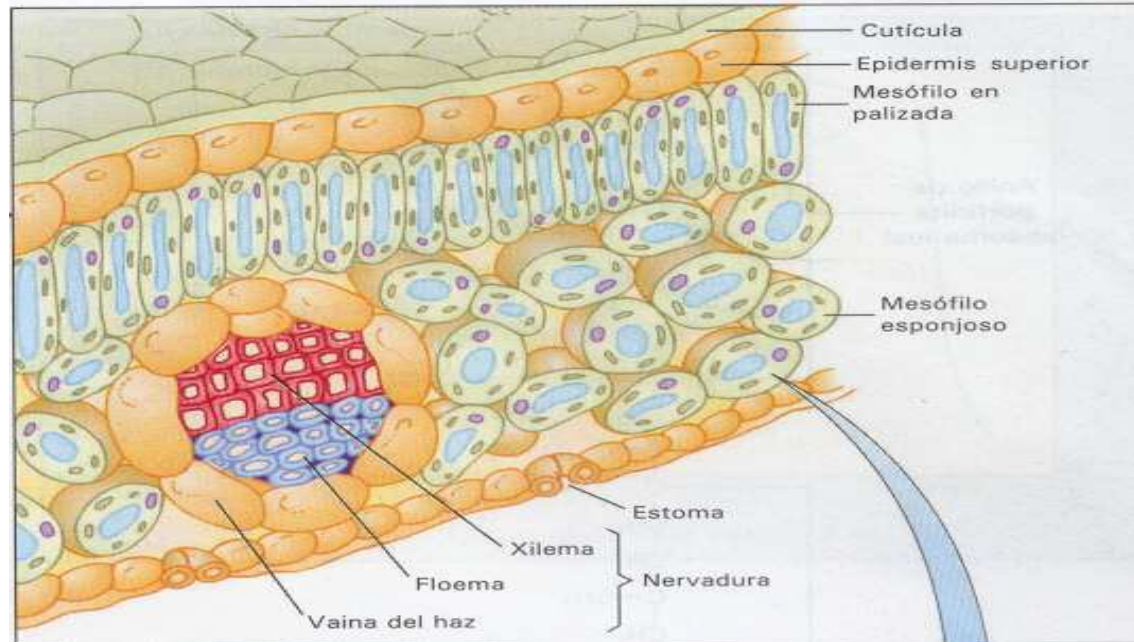
Fig. 8-1. Espectro electromagnético. La luz visible representa una pequeña fracción del espectro electromagnético y consiste en una mezcla de longitudes de onda, que van de unos 380 a 760 nm. Durante la fotosíntesis se utiliza la energía de la luz del espectro visible.

Cont. espectro...

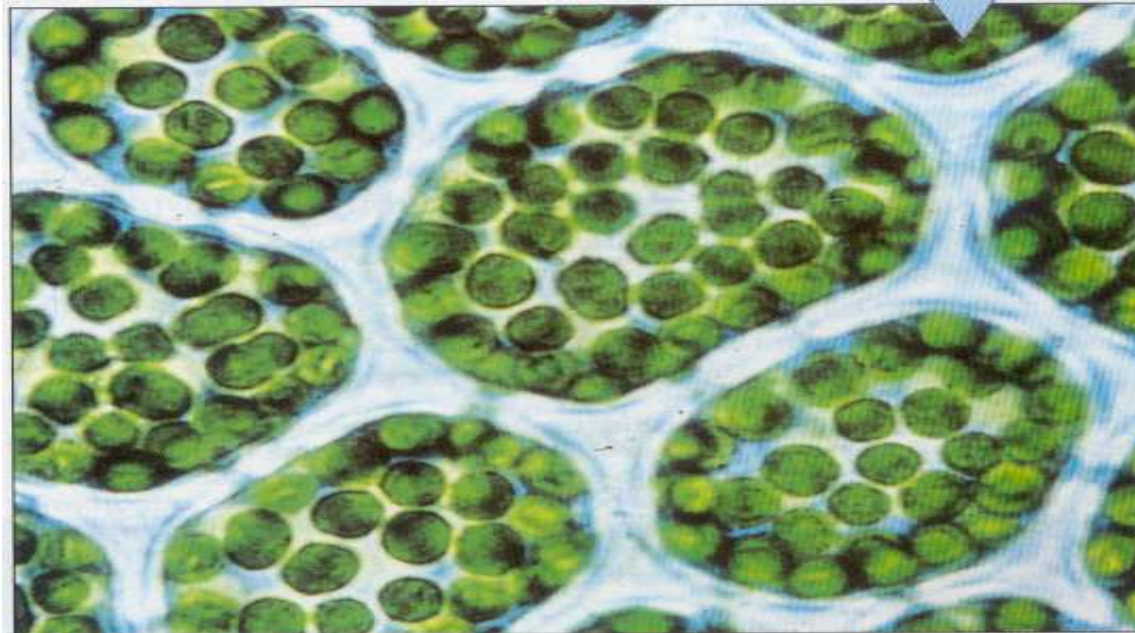
- El color significa energía reflejada (no absorbida por los pigmentos).
- Fotón – una partícula o paquete de energía radiante. Puede traer diferentes largos de onda o una zona específica del espectro.

Cloroplastos

- Los **cloroplastos** son los organelos de la célula vegetal eucariota en donde ocurre la fotosíntesis.
- El proceso fotosintético ocurre dentro del cloroplasto en un sistema de membranas llamadas **tilacoides**. La clorofila se encuentra en la membrana tilacoidal. La membrana interna envuelve una región llena de líquido, llamada **estroma**, que contiene la mayor parte de las enzimas necesarias para producir carbohidratos.

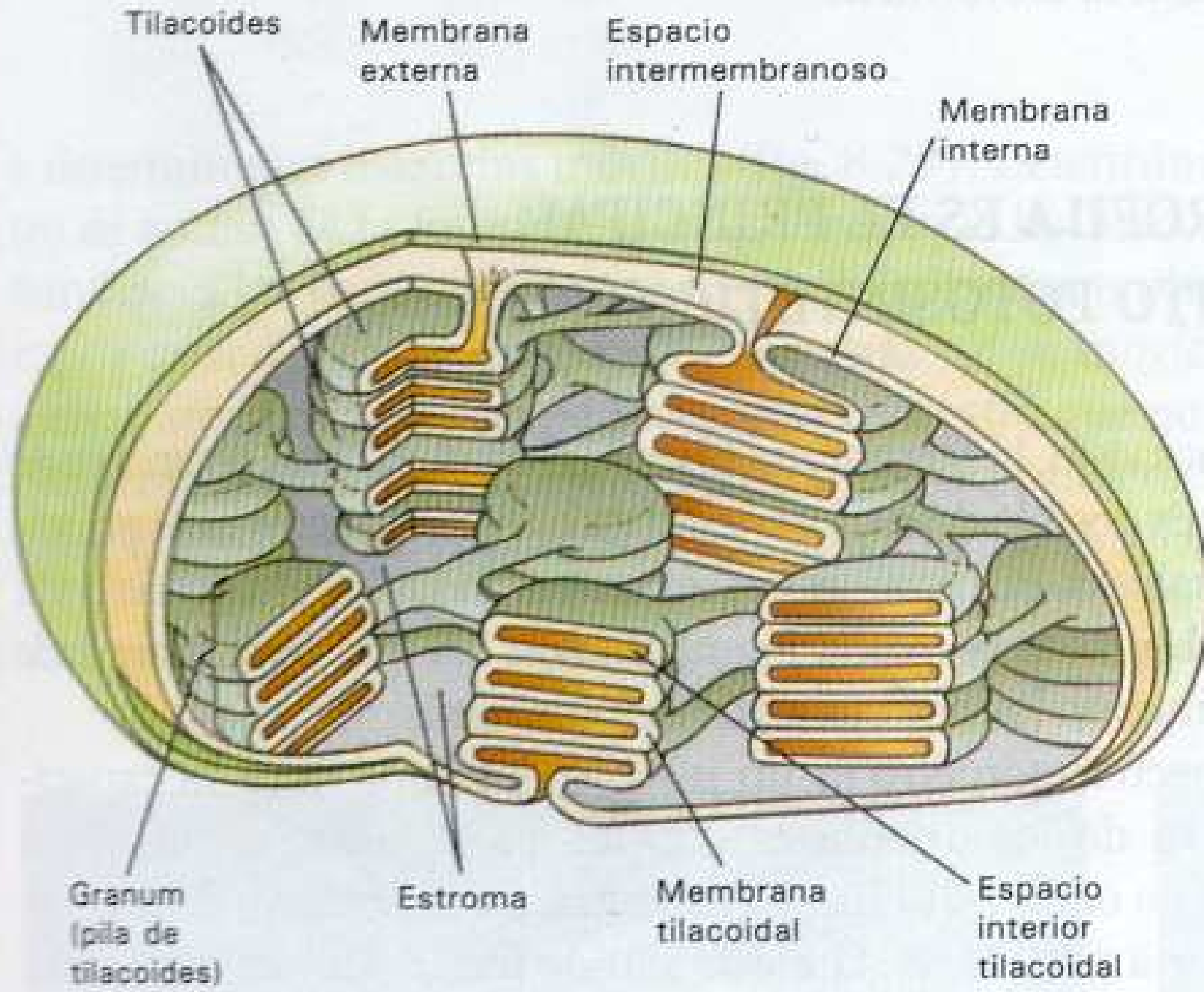


(a) Hoja en corte transversal



(b) LM de células vegetales con cloroplastos

10 μm



Tilacoides

Membrana
externa

Espacio
intermembranoso

Membrana
interna

Granum
(pila de
tilacoides)

Estroma

Membrana
tilacoidal

Espacio
interior
tilacoidal

Pigmentos Fotosintéticos

- La **clorofila** es el principal pigmento fotosintético, absorbe luz de las regiones azul y roja del espectro visible. Las plantas suelen verse verdes porque sus hojas dispersan o reflejan la mayor parte de la luz de ese color que llega a ellas. Hay varios tipos de clorofila, siendo la **clorofila a** la más importante.

Pigmentos Fotosintéticos cont.

- La **clorofila b** es un pigmento accesorio, que también participa de fotosíntesis. Los cloroplastos poseen otros pigmentos fotosintéticos conocidos como **carotenoides**. Los carotenoides absorben longitudes de onda de la luz diferentes a las que corresponden a la clorofila de forma tal que amplían la porción del espectro luminoso usada en el proceso fotosintético.
- Otros pigmentos accesorios son **gluteínas y xantofilas**

Clorofila

- La molécula de clorofila tiene dos partes principales: una que captura energía y otra que mantiene la molécula en su lugar en la membrana tilacoidal. La energía lumínica es absorbida por un anillo complejo llamado **anillo de porfirina**, que a su vez está constituido por anillos más pequeños hechos de átomos de carbono y nitrógeno.

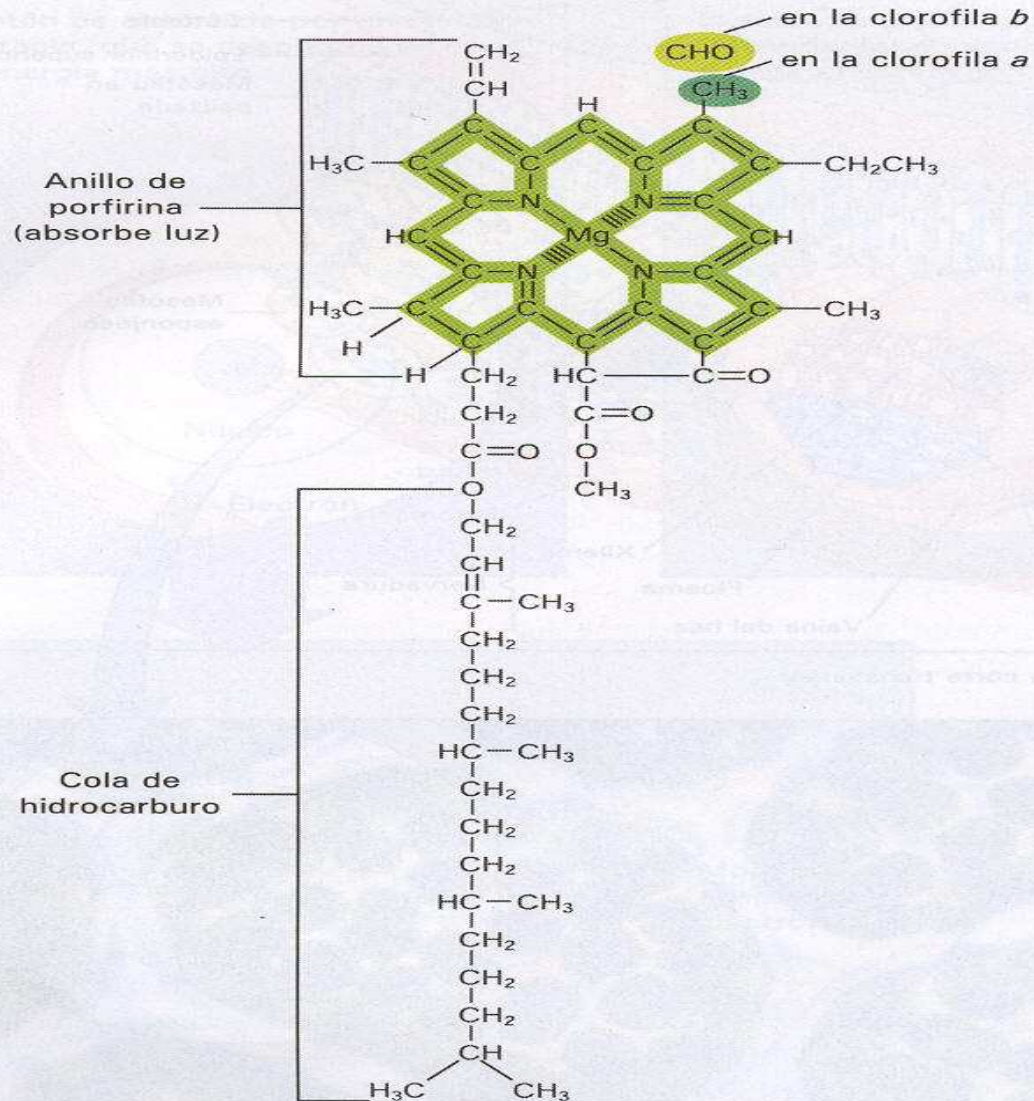
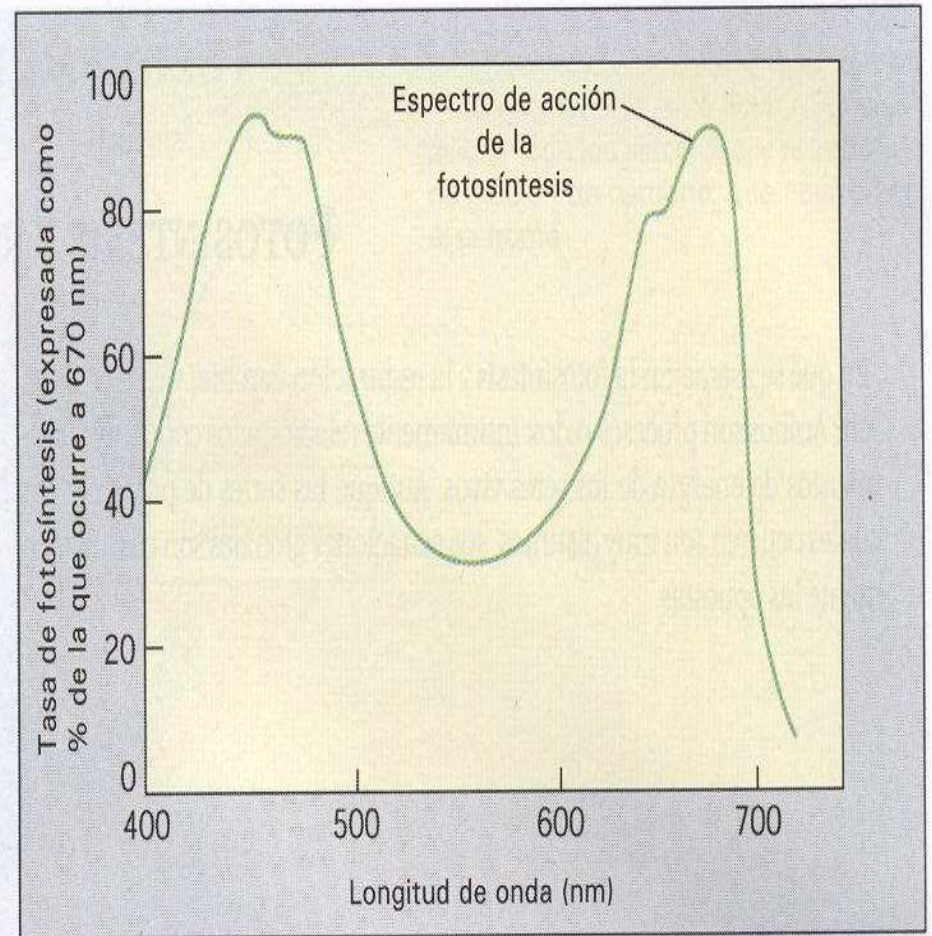
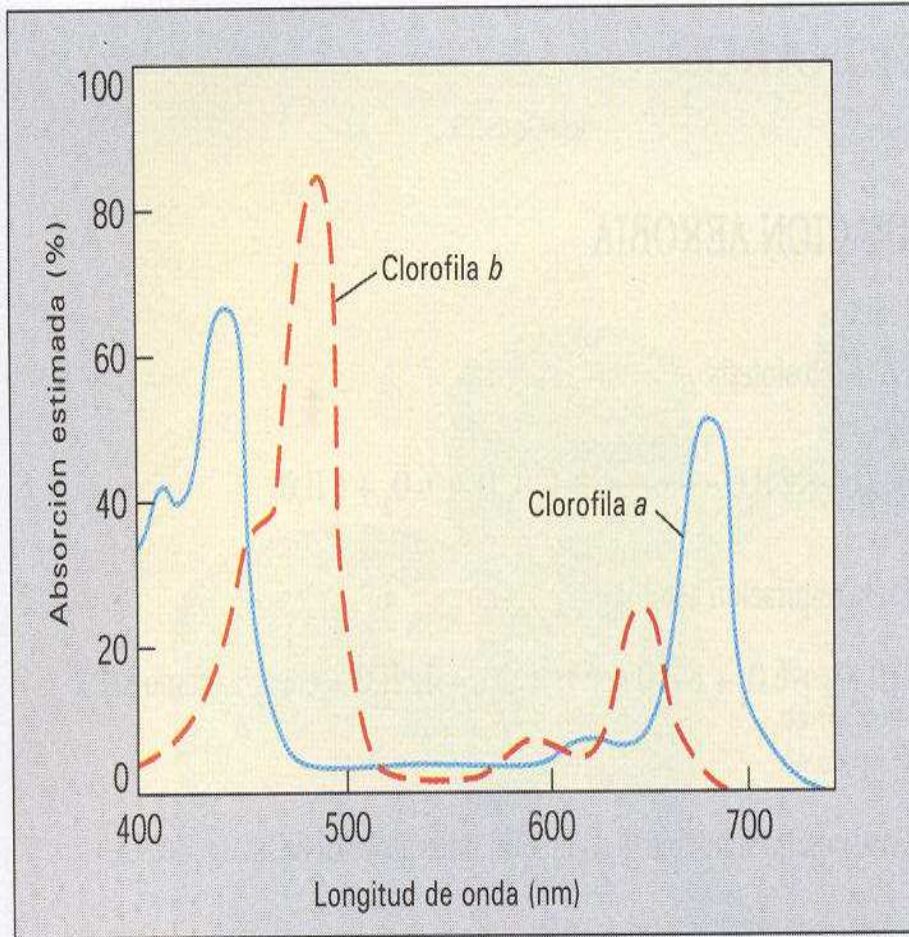


Fig. 8-5. Estructura de la clorofila. La clorofila consiste en un anillo de porfirina y una cola de hidrocarburo. El anillo de porfirina, con un átomo de magnesio en el centro, contiene un sistema de enlaces dobles y sencillos alternados; tal sistema es común en moléculas que absorben fuertemente luz visible. En el ángulo superior derecho del diagrama, el grupo metilo (—CH₃) distingue a la clorofila *a* respecto de la *b*, que tiene un grupo carbonilo (—CHO) en esta posición.



(a)

(b)

Fig. 8-6. Espectros de absorción de las clorofilas *a* y *b* y espectro de acción para la fotosíntesis. (a) Las clorofilas *a* y *b* absorben principalmente luz de las porciones azul y roja del espectro visible. (b) El espectro de acción de la fotosíntesis ilustra la eficacia de diversas longitudes de onda como fuente de energía de la fotosíntesis.

Cont. repaso

- Los electrones en los diferentes niveles de energía pueden pasar de un nivel de menor energía a uno de mayor energía cuando se le añade energía.
- Se dice que está energizado o excitado

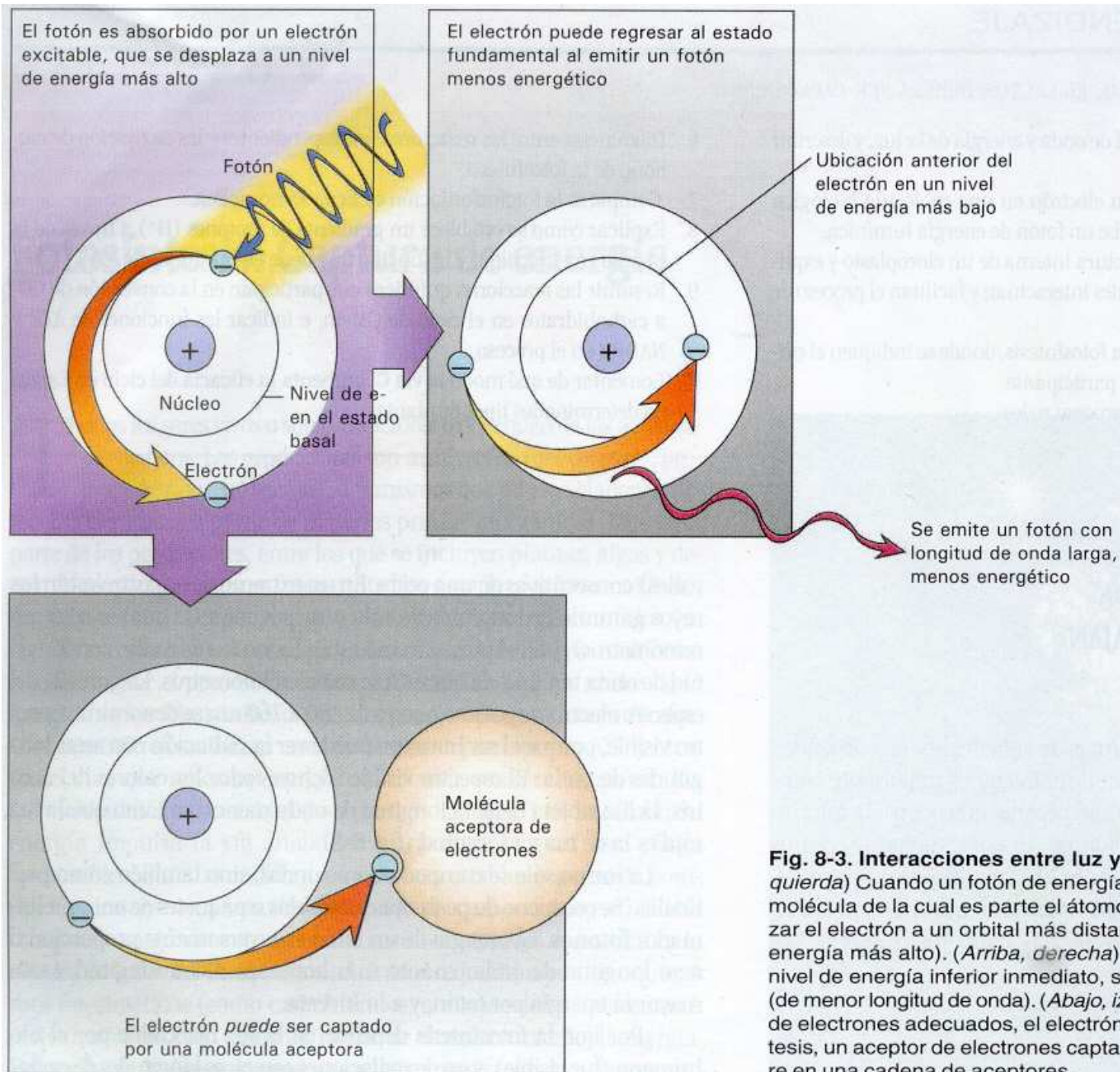
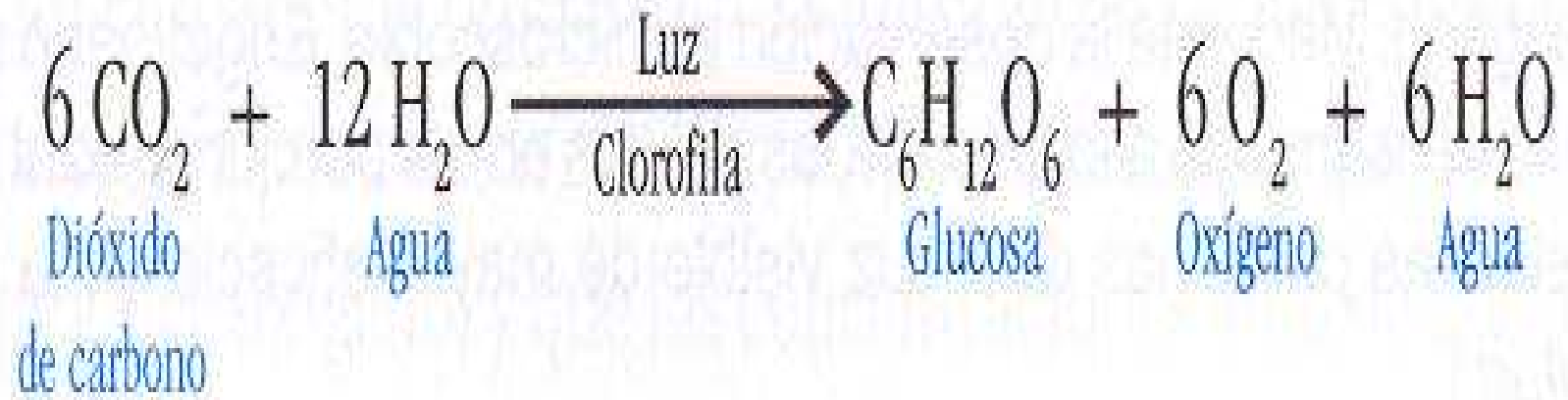
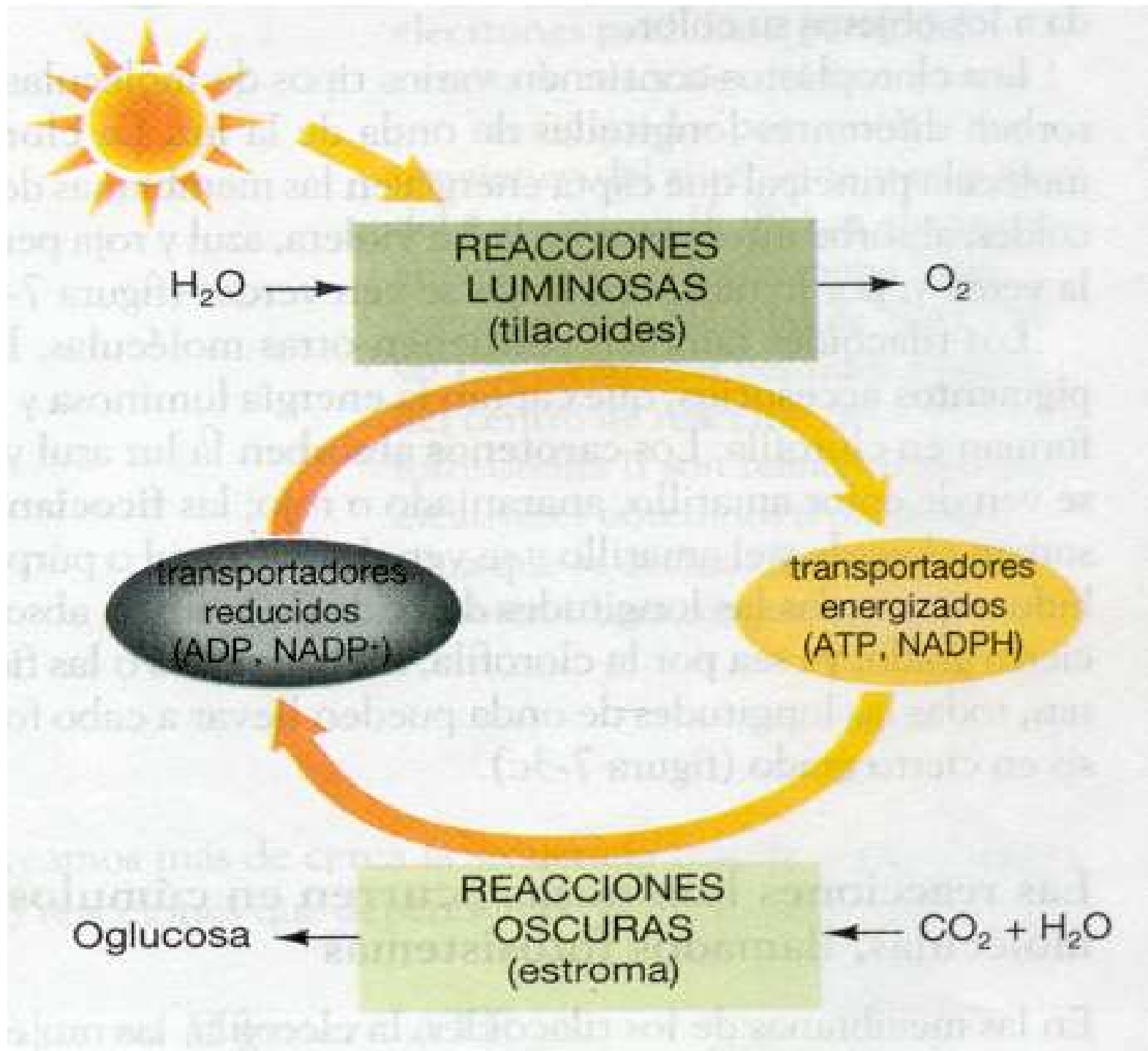


Fig. 8-3. Interacciones entre luz y átomos o moléculas. (Arriba, izquierda) Cuando un fotón de energía lumínica incide en un átomo o una molécula de la cual es parte el átomo, la energía del fotón suele desplazar el electrón a un orbital más distante del núcleo (es decir, un nivel de energía más alto). (Arriba, derecha) Si el electrón "cae" de nuevo en el nivel de energía inferior inmediato, se emite un fotón menos energético (de menor longitud de onda). (Abajo, izquierda) Si se dispone de aceptores de electrones adecuados, el electrón suele dejar al átomo. En la fotosíntesis, un aceptor de electrones capta el electrón energizado y lo transfiere en una cadena de aceptores.



Etapas de Fotosíntesis

- Las reacciones de fotosíntesis se dividen en dos partes: las reacciones fotodependientes (parte luminosa o “foto” y las de fijación de carbono “síntesis”). Cada conjunto de reacciones tiene lugar en una región distinta del cloroplasto: las reacciones fotodependientes en los tilacoides y las de fijación de carbono en el estroma.



Resumen Reacciones luminosas

- Los pigmentos en las membranas tilacoides captan y absorben la energía solar
- Esta energía se utiliza para sintetizar el transportador de energía ATP y el transportador de electrones NADPH

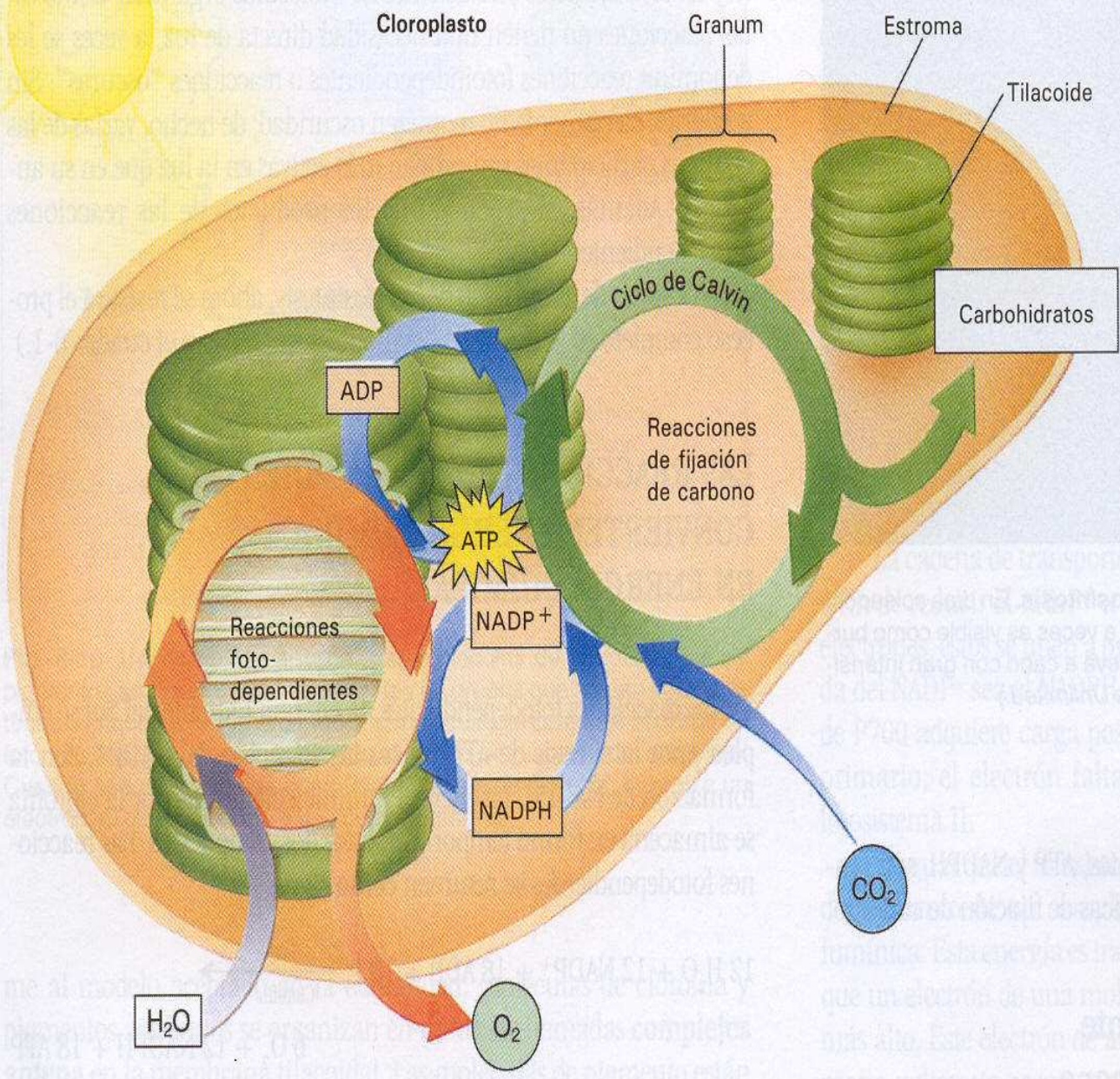
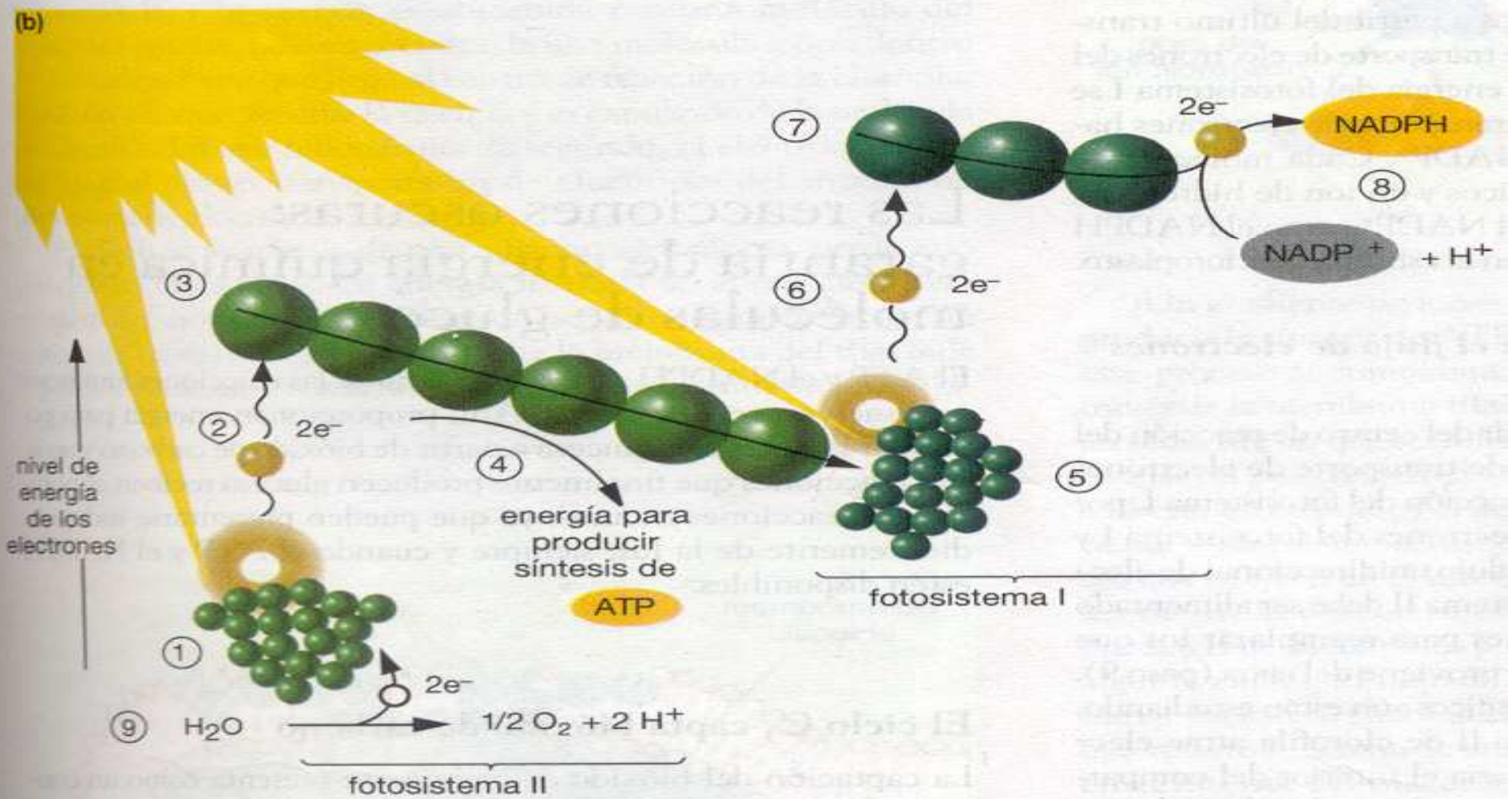
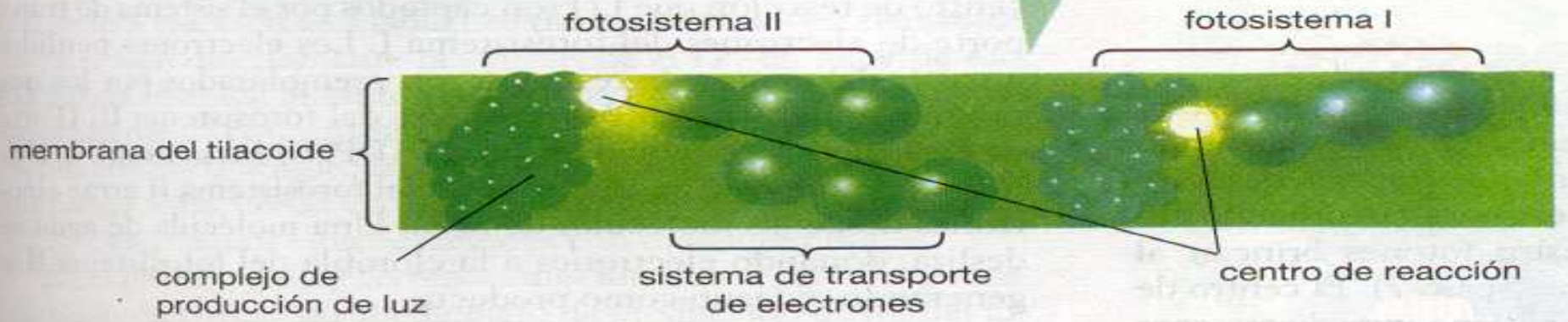


Fig. 8-8. Resumen de la fotosíntesis.
 La fotosíntesis consiste en reacciones fotodependientes, que ocurren en asociación con los tilacoides, y reacciones de fijación de carbono, que ocurren en el estroma.



Reacciones luminosas en detalle

- En las membranas de los tilacoides encontramos unos complejos especializados llamados fotosistemas
- Los fotosistemas contienen un complejo que absorbe la luz (complejo antena) y un sistema de transporte de electrones
- Cada tilacoide contiene cientos de copias de dos diferentes fotosistemas, I y II.
- Cada complejo antena capta luz y transfiere la energía a un centro de reacción. En fotosistema I es P700 porque su clorofila a tiene pico de absorción en 700 nm.
- En el fotosistema II el centro de reacción es el P680 porque su clorofila a tiene pico de absorción en 680 nm

Cont. detalles

- Cuando P680 del fotosistema II recibe la energía de las moléculas antena, uno de los electrones de la clorofila se excita y brinca al sistema de transporte de electrones.
- El electrón energizado se mueve de un transportador a otro. En alguno de los pasos el electrón libera energía y produce reacciones que sintetizan ATP por un proceso llamado **quimiosmosis**.
- **Este es un proceso de fosforilación no cíclica o esquema Z.**

Cont. detalles

- Lo mismo que ocurrió en el fotosistema I ocurre en el fotosistema II.
- P700 recibe la energía de las moléculas antena, un electrón se excita y pasa a la cadena de transporte de electrones donde finalmente 2 electrones se unen a NADP^+ para formar NADPH
- Los H^+ son adquiridos de la **fotólisis** de agua
- Fotólisis – proceso de rotura por luz donde se descompone agua en dos electrones, dos protones (H^+) y Oxígeno (O).

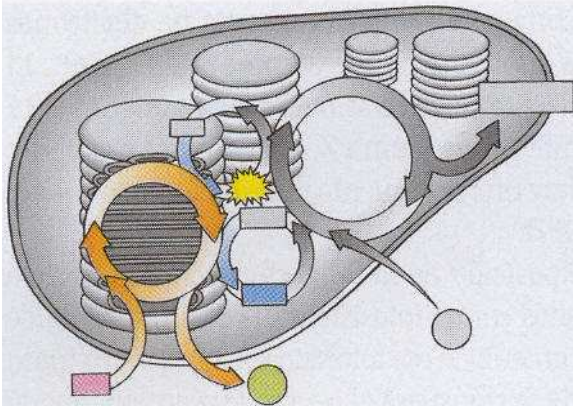
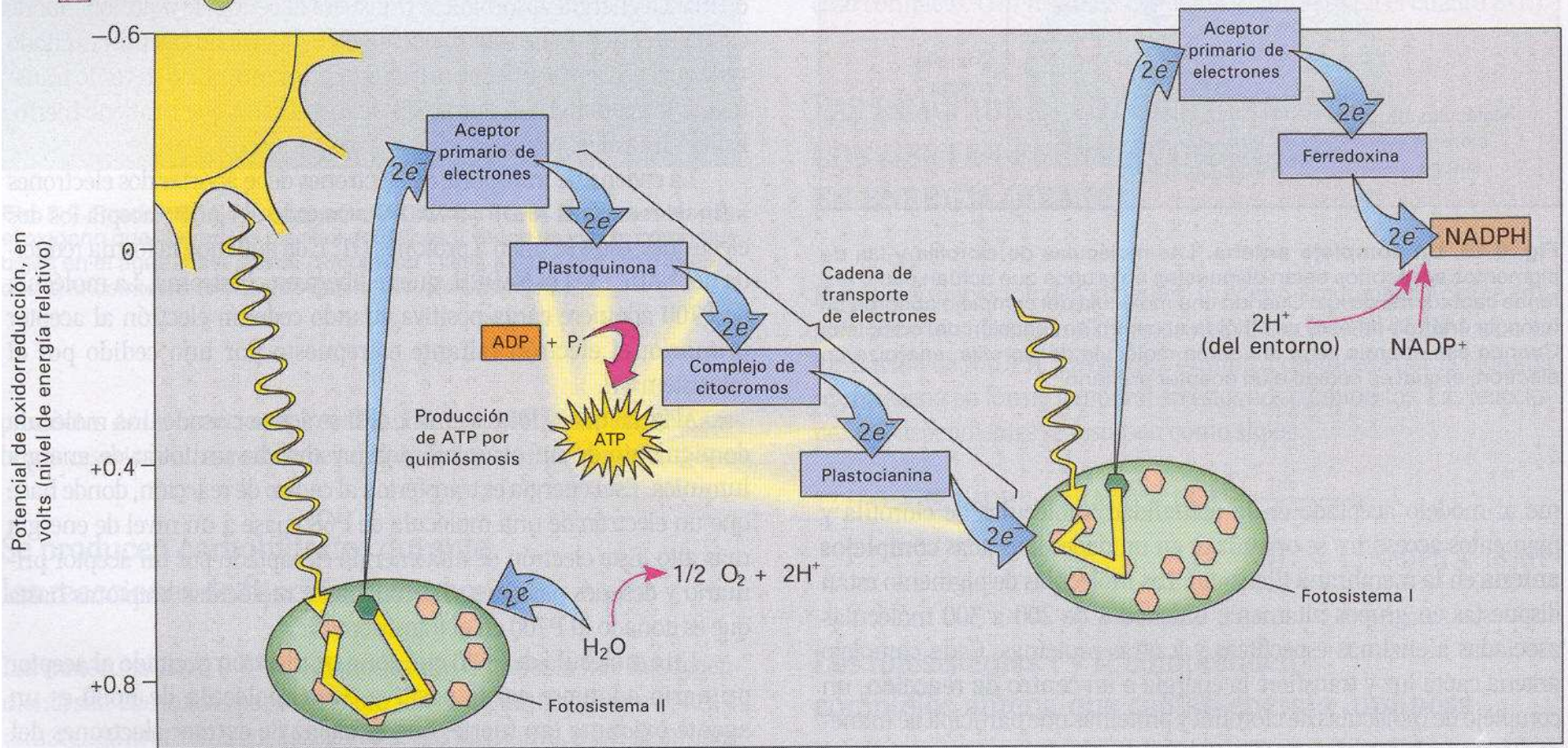


Fig. 8-11. Fotofosforilación no cíclica. En la fotofosforilación no cíclica, también llamada esquema Z (por "zigzag"), la formación de ATP está acoplada al flujo unidireccional de electrones energizados del agua al NADP⁺. En realidad, los electrones pasan uno a la vez por la cadena de transporte; se muestran dos en la figura debido a que ésta es la cantidad requerida para formar un NADPH. Los electrones son aportados al sistema por la descomposición de agua a cargo del fotosistema II, con liberación de oxígeno molecular como producto de desecho. Cuando la absorción de fotones activa el fotosistema II, los electrones se transfieren en una cadena de transporte y tarde o temprano llegan al fotosistema I, donde son "reenergizados" por la absorción de más energía lumínica y por último pasan al NADP⁺.



Repaso Reacciones Dependientes de Luz

- La energía lumínica es convertida en energía química en las reacciones fotodependientes (dependientes de luz).
- El proceso comienza cuando la clorofila captura energía lumínica, la cual hace que uno de sus electrones se desplace a un estado energético superior. El electrón energizado se transfiere a una molécula aceptora y es sustituido por un electrón de agua.

Cont. repaso Reacciones Dependientes de Luz cont.

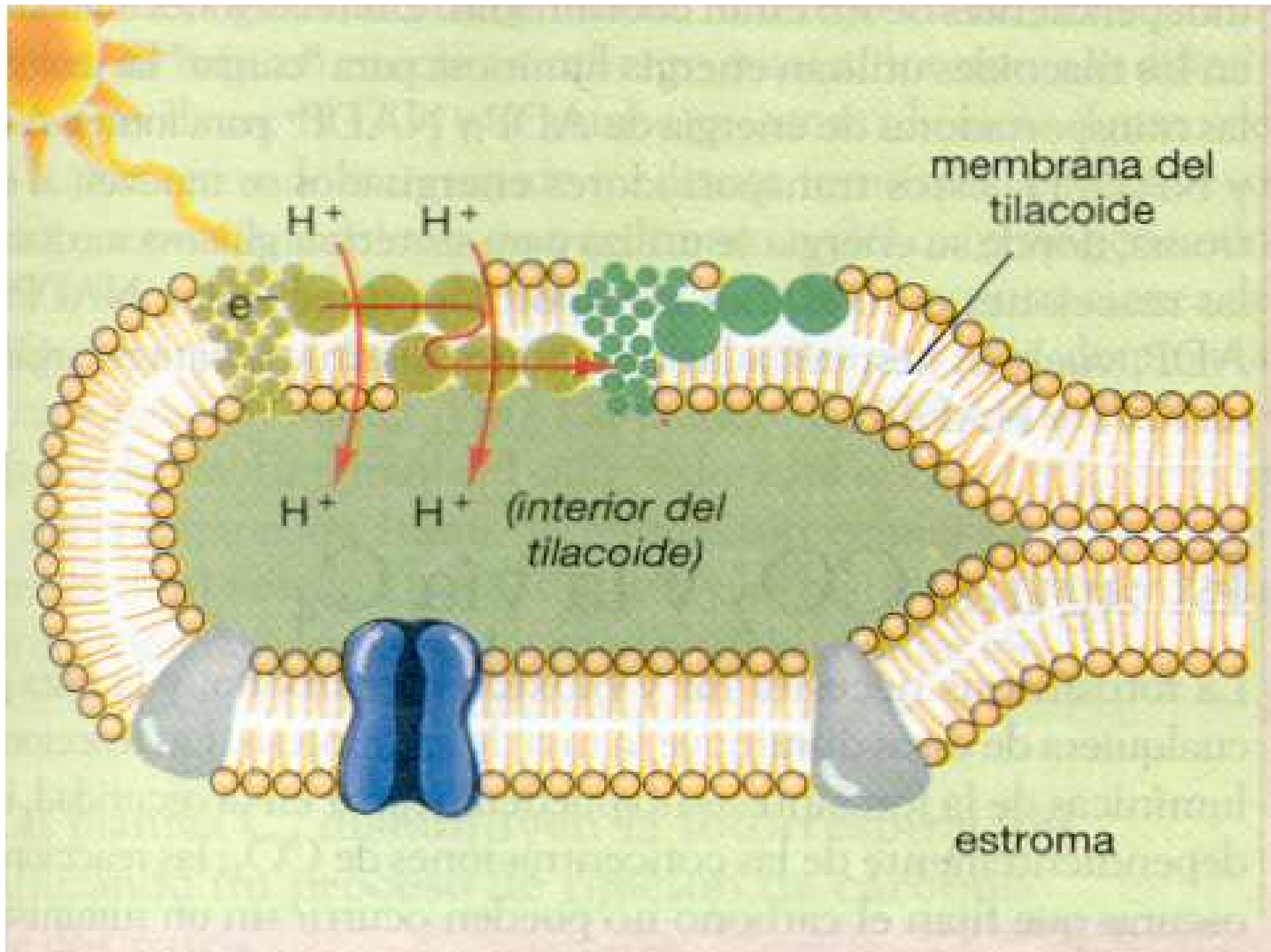
- Parte de la energía de los electrones energizados se utiliza para fosforilar ADP y formar ATP. Además se reduce la coenzima NADP^+ y se forma NADPH. Los productos de las reacciones fotodependientes, **ATP** y **NADPH**, son ambos necesarios en las reacciones endergónicas de fijación de carbono.

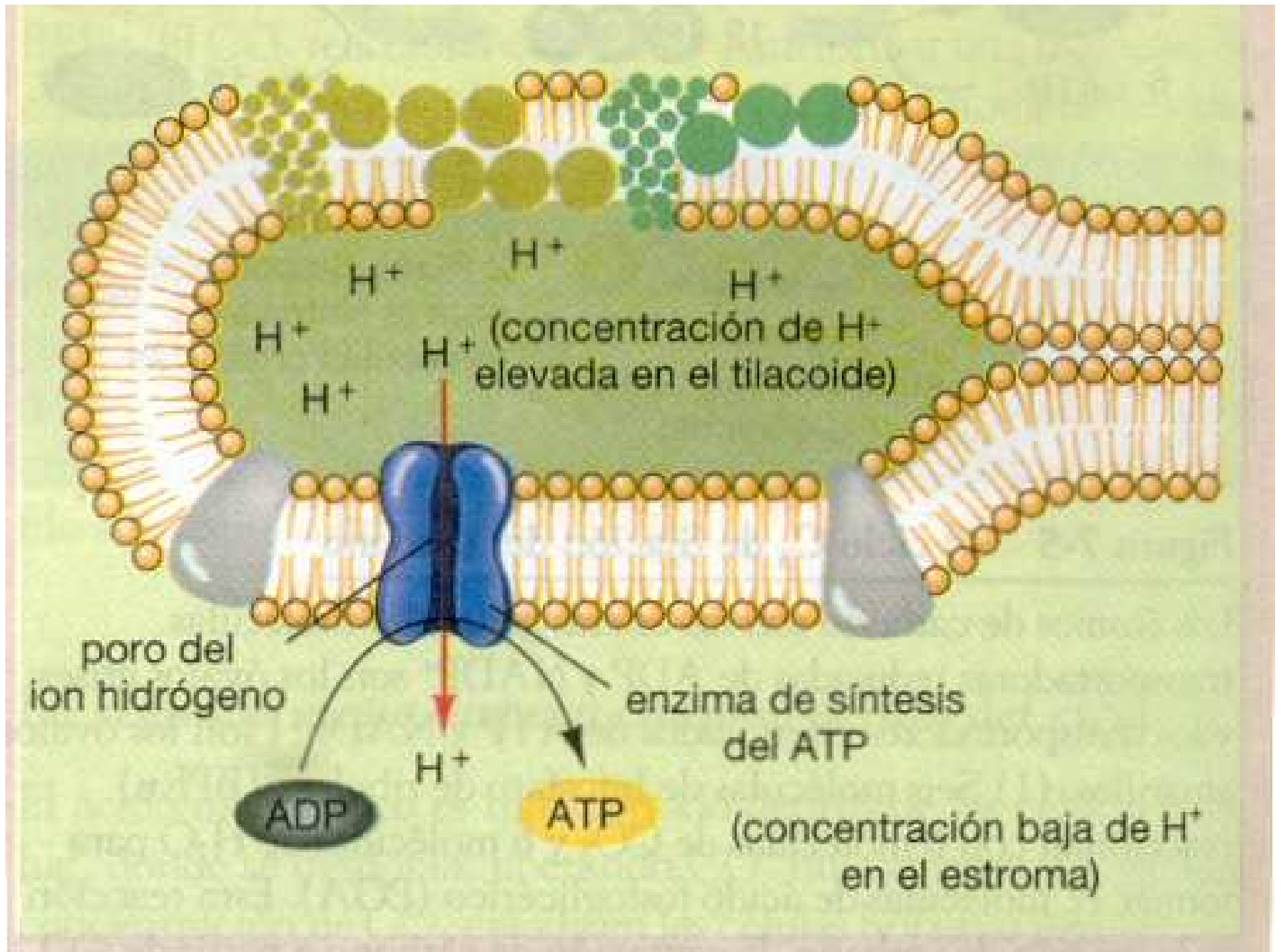
Quimiosmosis

- Hasta 1960 se pensó que el transporte de electrones directamente producía la síntesis de ATP
- Se sabe que, en lugar de eso, la energía liberada en el paso de los electrones por la cadena de transporte genera un gradiente de concentración de iones de hidrógeno a través de la membrana del tilacoide.
- La energía liberada se utiliza para el transporte activo de iones de hidrógeno a través de la membrana del tilacoide a partir del estroma hacia el interior del tilacoide

Cont. quimiosmosis

- La concentración de iones de hidrógeno en el interior del tilacoide se hace mayor que en el exterior.
- Los átomos de hidrógeno no pueden pasar a través de la membrana del tilacoide, excepto a través de canales proteicos específicos que están asociados a enzimas que sintetizan ATP.





Reacciones Independientes de Luz

- Las moléculas de ATP y NADPH producidas durante la fase fotodependiente son adecuadas para transferir energía química pero no para el almacenamiento a largo plazo de ésta. Por tal motivo, parte de su energía se transfiere a enlaces químicos de carbohidratos, los cuales se almacenan para uso futuro.

Resumen reacciones que ocurren en ausencia de luz

- Enzimas en el estroma del cloroplasto utilizan el ATP y el NADPH para llevar a cabo la síntesis de glucosa a partir de CO_2
- El ADP y el NADP^+ son regenerados y regresan a las reacciones lumínicas para ser recargados

Reacciones Independientes de Luz cont.

- En estas reacciones conocidas como fijación de carbono (CO_2) se fijan átomos de carbono del CO_2 a esqueletos de moléculas orgánicas existentes. Como estas reacciones no tienen necesidad directa de luz, a veces se les llama reacciones fotoindependientes.

Reacciones fotoindependientes

- Estas reacciones ocurren en el estroma
- Se utiliza el ATP y el NADPH, disueltos en el estroma, como fuente de energía
- Los ingredientes necesarios son CO_2 , H_2O , ATP y NADPH
- Al conjunto de reacciones en el cual ocurre la captación del CO_2 se le llama Ciclo de Calvin –Benson o vía C_3 .

Pasos reacciones fotoindependientes

- La molécula de CO₂ reacciona con un compuesto de 5 Carbonos fosforilado llamado Ribulosa bifosfato (RuBP).
- El producto de esta reacción es un intermediario inestable de 6 Carbonos que se descompone de inmediato en en dos moléculas de 3 Carbonos a la que se le llama fosfoglicerato (PGA)
- Debe fijarse un total de 6 Carbonos de esta forma para producirse 12 moléculas de PGA
- Gracias al ATP y NADPH producidos en las reacciones fotodependientes, las moléculas de PGA se convierten en gliceraldehído-3-fosfato (G3P). También se forman 12 de estas moléculas

Cont. pasos reacciones fotoind.

- De estas 12 moléculas de G3P, las cuales cada una posee tres carbonos, 2 de ellas se utilizarán para producir glucosa u otra azúcar de 6 Carbonos.
- Las restantes 10 moléculas de G3P se utilizarán para regenerar 6 moléculas de Ribulosa Fosfato (RP), cada una con 5 carbonos. $10 \times 3 = 30$ carbonos. $30 / 5 = 6$ moléculas de RP.
- Cada una de las 6 molécula de RP se fosforila para producir 6 moléculas de ribulosa bifosfatada (RuBP).
- Estas moléculas de RuBP pueden iniciar de nuevo el proceso.

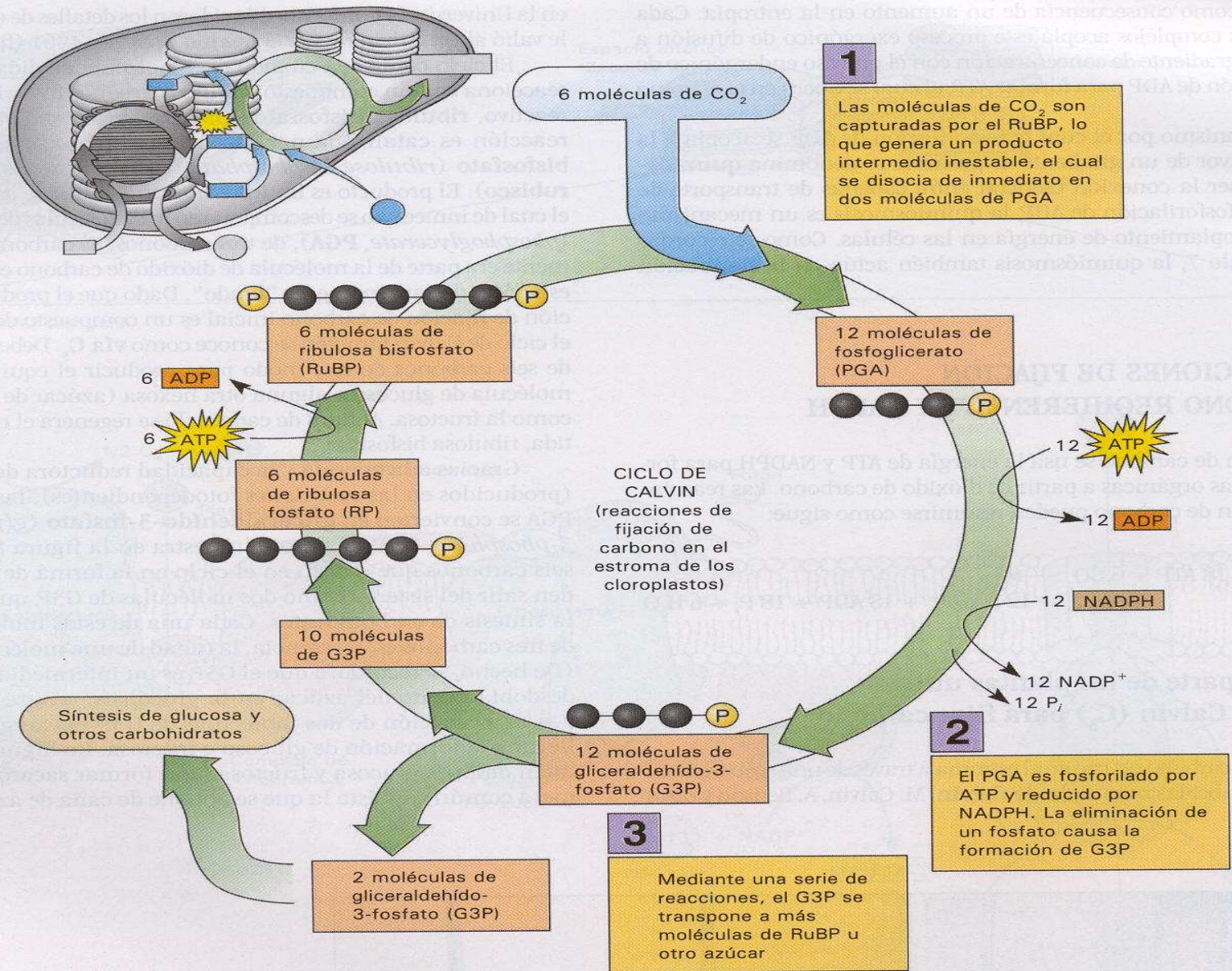


Fig. 8-15. Esquema detallado del ciclo de Calvin. En este diagrama (donde los átomos de carbono se representan como esferas negras), se muestra que deben “fijarse” (incorporarse en esqueletos de carbono preexistentes) seis moléculas de CO₂ para producir una de un azúcar de seis carbonos, como la glucosa. Dos moléculas de gliceraldehído-3-fosfato (G3P) “salen del ciclo” por cada una de glucosa que se forma. Aunque estas reacciones no requieren luz de manera directa, la energía que impulsa el ciclo de Calvin proviene de ATP y NADPH, los productos de las reacciones fotodependientes.

La vía C₄

- Las reacciones fotoindependientes no pueden ocurrir sin el suministro adecuado de CO₂
- En condiciones cálidas y secas se cierran las estomas en las plantas para reducir la pérdida de agua.
- Precisamente, el CO₂ no llegará al mesófilo en las horas de más intensidad de luz

Cont.

- Muchas especies vegetales han desarrollado vías para fijar dióxido de carbono.
- Una de estas vías es la Vía C4
- Las plantas C4 tienen disposición de las células en la hoja diferente a las C3
- Las plantas cierran las estomas en momentos secos y de más altas temperaturas y así la concentración de CO₂ es baja para fotosíntesis
- Las C4 pueden fijar Carbono en condiciones adversas por esta vía y evitan la fotorespiración en la cual la RuBP se une a oxígeno en lugar de unirse a CO₂

Cont.

- La planta C4 fija CO₂ en las células del mesófilo, el cual se utilizará en el Ciclo de Calvin en las células de la vaina del haz.
- Por esta vía ocurre menos fotorespiración

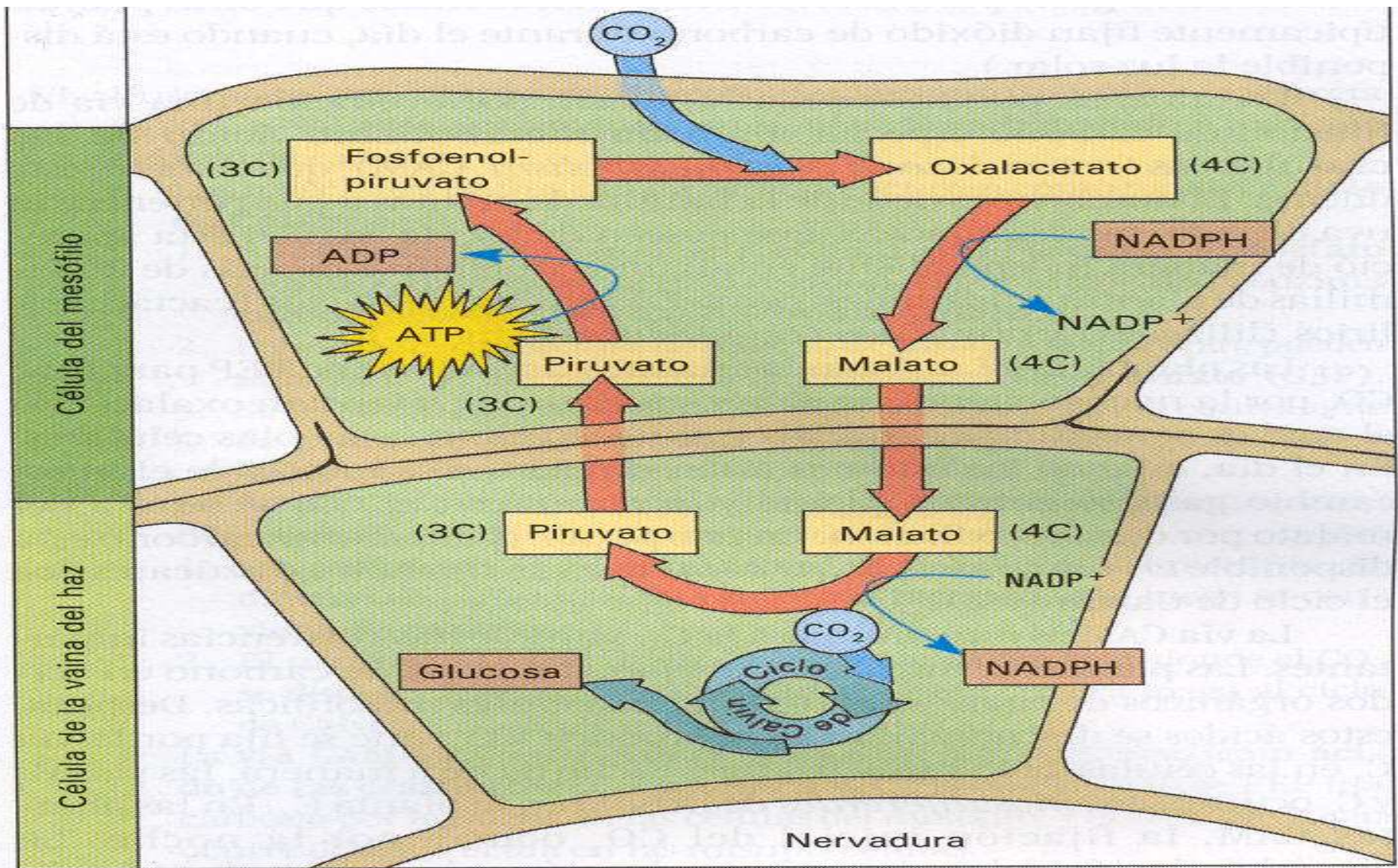
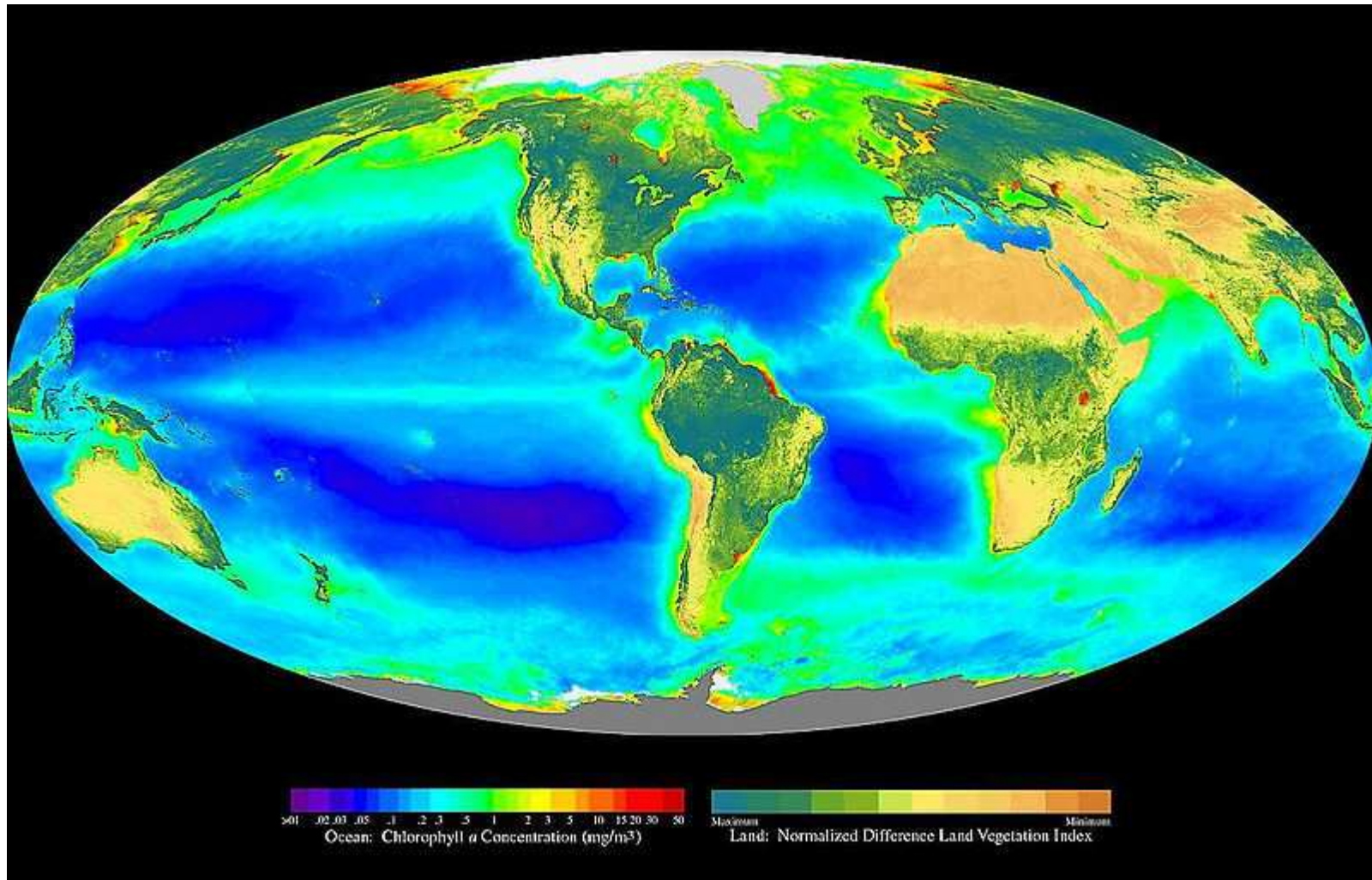


Fig. 8-17. Resumen de la vía C_4 . El CO_2 se combina con fosfoenolpiruvato (PEP) en los cloroplastos de las células del mesófilo, para formar un compuesto de cuatro carbonos que se convierte en malato. Este pasa a los cloroplastos de las células de la vaina del haz, donde se descarboxila. El CO_2 liberado de esta manera en las células de la vaina del haz sirve en la síntesis de carbohidratos mediante el ciclo de Calvin.

Importancia de Fotosíntesis

- 1-Es el proceso que lleva energía a la mayoría de los ecosistemas del planeta. Una de las formas de establecer la productividad de un ecosistema es por medio de la fijación de carbono por fotosíntesis.
- 2-Libera oxígeno al medio ambiente, sea agua o aire.



http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Seawifs_global_biosphere.jpg

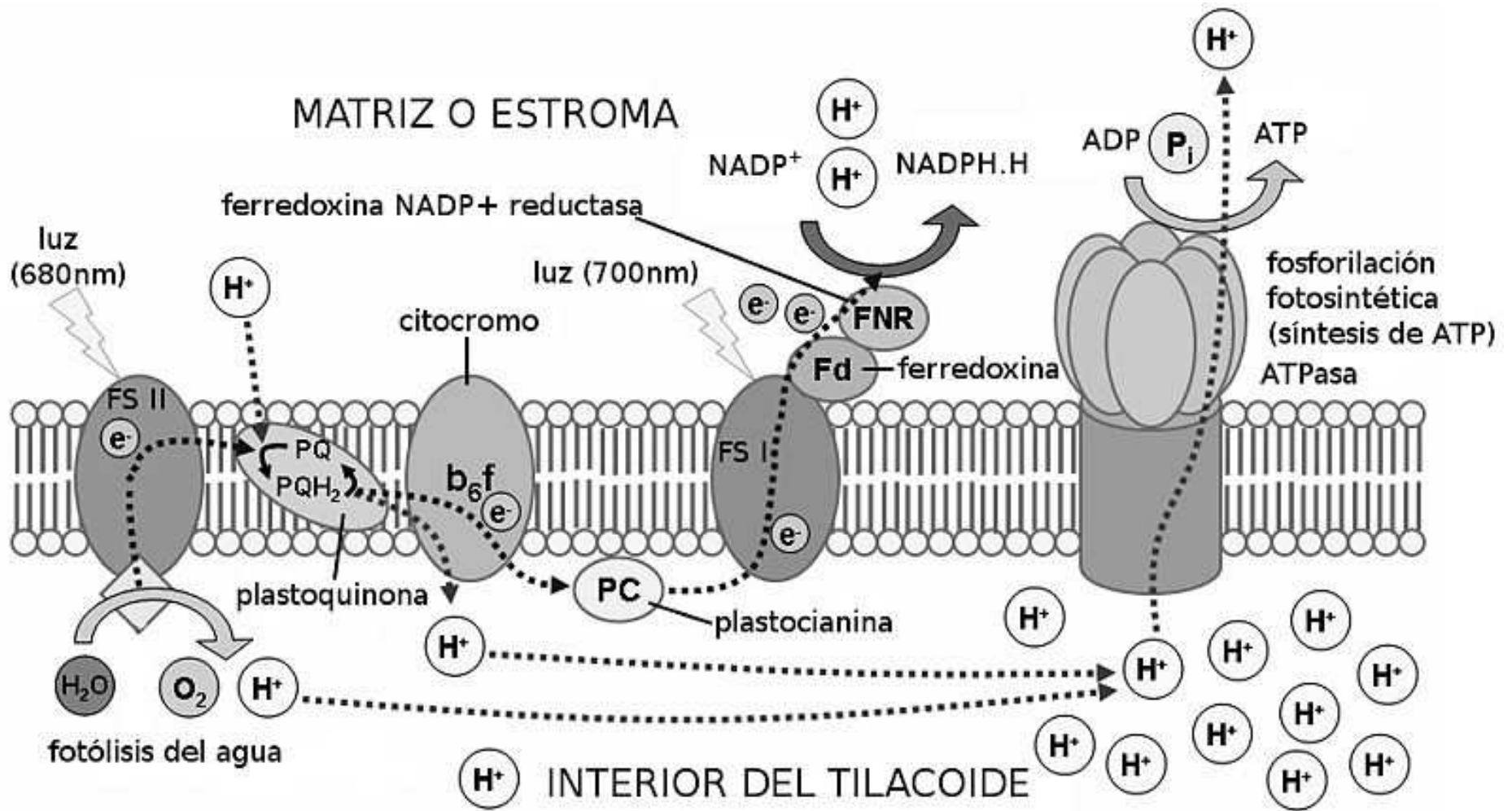
Imagen que muestra la distribución de la fotosíntesis en el globo terráqueo, mostrando tanto la llevada a cabo por el fitoplancton oceánico como por la vegetación terrestre.



http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Melvin_Calvin.jpg

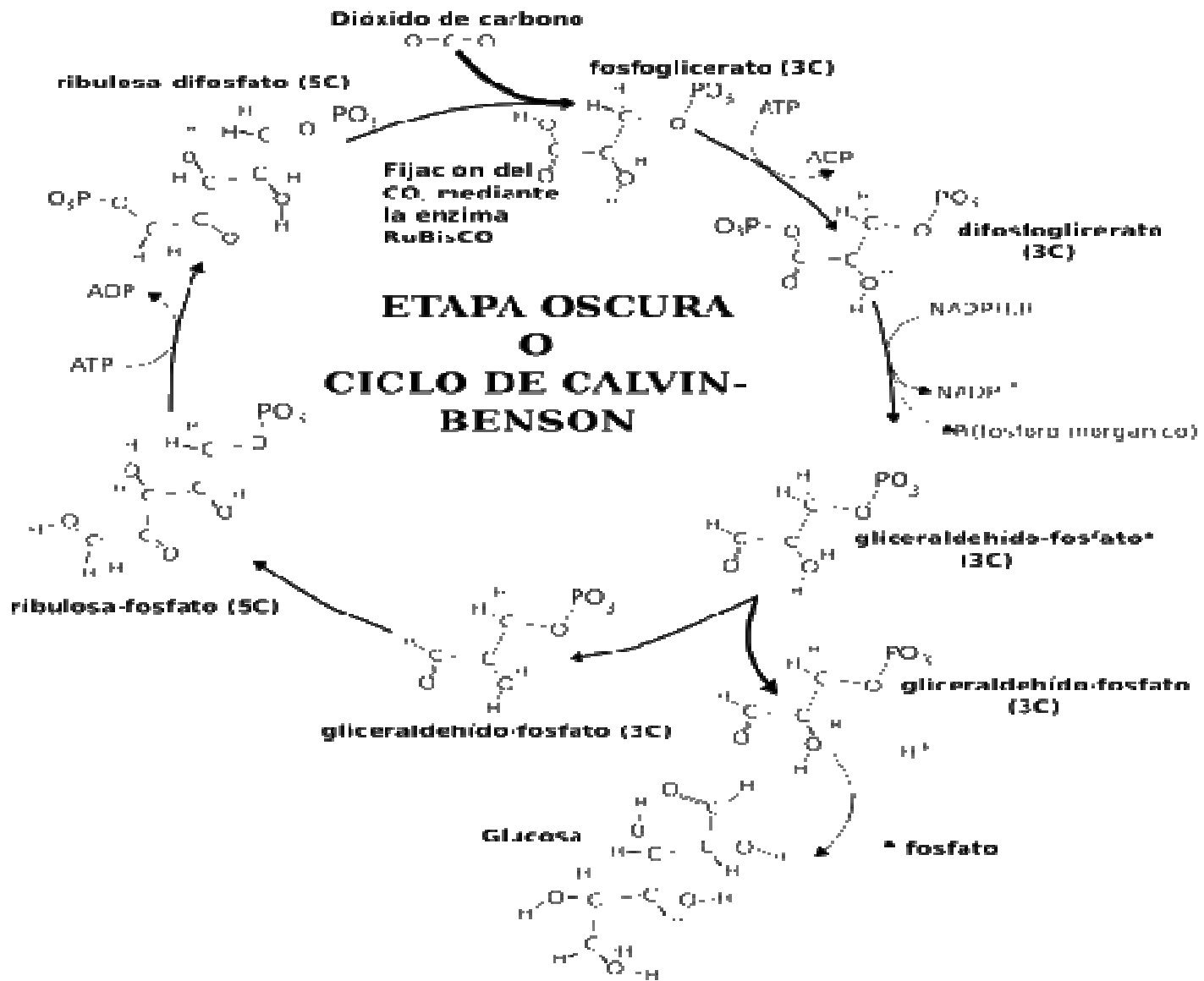
En la década de 1940, el químico norteamericano Melvin Calvin inició sus estudios e investigaciones sobre la fotosíntesis, que le valieron el Premio Nobel de Química de 1961.

Gracias a la aplicación del carbono 14 radioactivo detectó la secuencia de reacciones químicas generadas por las plantas al transformar dióxido de carbono gaseoso y agua en oxígeno e hidratos de carbono, lo que en la actualidad se conoce como ciclo de Calvin.



http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Etapa_luminosa.jpg

Resumen de la porción lumínica de fotosíntesis



*Una parte del gliceraldehído fosfato continúa en el ciclo, otra sale de él y se transforma en glucosa.