

El presente material de estudio tiene los siguientes objetivos:

- Describir el proceso de fotosíntesis.
- Explicar a la fotosíntesis como un proceso endergónico, de óxido reducción y anabólico.
- Identificar a las principales moléculas y enzimas que intervienen en el proceso.
- Mostrar a la fotosíntesis como un proceso importante para la vida en el planeta.

Pre-requisitos:

Célula eucariota- célula vegetal- átomo- molécula- compuestos orgánicos- enzimas- luz-

FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es el proceso metabólico que ocurre en las plantas terrestres, las algas de aguas dulces, marinas o las que habitan en los océanos, y que permite la transformación de la materia inorgánica en materia orgánica y al mismo tiempo convierten la energía solar en energía química. Este proceso reviste gran importancia para la vida en la Tierra, ya que los organismos heterótrofos dependen de estas conversiones energéticas y de materia para su subsistencia. También a la eliminación de oxígeno fotosintético a la atmósfera obedecen la mayoría de los seres vivos.

Hace más de 400 años se aceptaba que las plantas "ingerían" alimentos que tomaban del suelo. Pero a partir de los aportes del científico Van Helmont se cambió de idea. Van Helmont plantó un pequeño sauce en una maceta y la regó periódicamente. Luego de 5 años el sauce había incrementado su peso en 75kg., mientras que la tierra de la maceta había disminuido su peso en sólo 70gr. Así concluyó que toda la "sustancia" de la planta se había originado del agua, no del suelo. Pasaron muchos años y muchos experimentos científicos hasta que se llegó a descubrir cómo era el proceso de fotosíntesis y aún hoy en día se continúan descubriendo detalles químicos y metabólicos, es decir, aún hoy hay pasos químicos que realizan los autótrofos que todavía no conocemos.

ALGUNAS CONSIDERACIONES INICIALES:

Las células son sistemas abiertos, y como tales necesitan el aporte de materia y energía del medio externo. La principal fuente de energía es el alimento. A partir de la entrada del alimento suceden muchísimas reacciones químicas. Al conjunto de esas reacciones químicas las llamamos **METABOLISMO**.

Cuando hablamos de metabolismo diferenciamos dos tipos de reacciones. Las reacciones **ANABÓLICAS**: son reacciones de síntesis de moléculas relativamente complejas (por ejemplo: proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos) y de sus monómeros (aminoácidos, monosacáridos, nucleótidos), a partir de moléculas precursoras más sencillas. Para que puedan producirse necesitan el ingreso de energía por lo que se las denomina **ENDERGÓNICAS**. Por ejemplo: la contracción

muscular, el movimiento de cilias y flagelos, el transporte activo a través de membranas, el transporte en masa, la bioluminiscencia de algunas bacterias, algas y animales.

Y las reacciones **CATABÓLICAS**: son reacciones de degradación de moléculas complejas como lípidos, carbohidratos, etc. que van acompañadas de liberación de energía. Las reacciones que liberan energía son llamadas **EXERGÓNICAS**, parten de una sustancia energéticamente más cargada que el producto de la reacción.

Podemos simplificarlo a:

Reacción endergónica = Energía + A + B = AB

Reacción exergónicas = AB = A + B + Energía

Es así como se equilibra el requerimiento energético de las células, utilizando la energía que liberan las reacciones catabólicas, para permitir la síntesis de las anabólicas.

En esta “transacción económica del toma y da”, la moneda utilizada es la molécula de ATP, o adenosin-tri-fosfato que transporta la energía desde donde se libera hasta donde se consume.

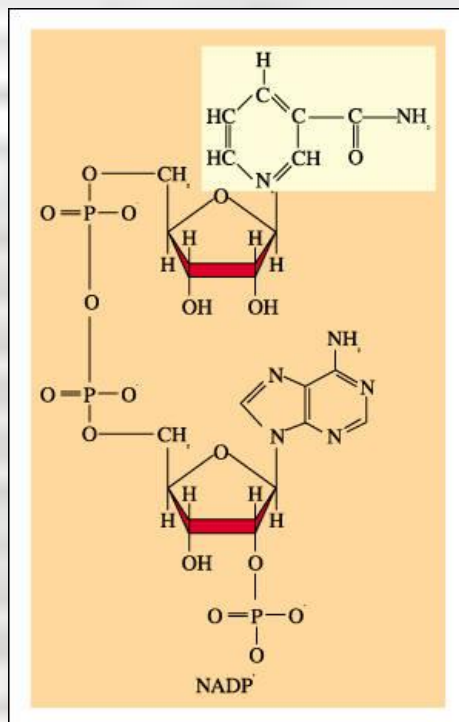
Esto es:

Reacción endergónica: ATP + A + B = AB + ADP + P

Reacción exergónica: AB + ADP + P = A + B + ATP

En la transferencia de energía de una molécula a otra, pasan electrones de un nivel energético a otro. Estas **reacciones** se denominan de **óxido-reducción** y consiste en una molécula que se oxida y otra que se reduce. La que se oxida pierde un átomo de hidrógeno, es decir, un protón y un electrón o bien, gana oxígeno. En cambio la reducción consiste en la ganancia de un átomo de hidrógeno, o bien un electrón y un protón, o la pérdida de oxígeno.

Estas reacciones necesitan de la participación de las coenzimas como el NADP⁺, NAD⁺ o FAD⁺ que son capaces de aceptar los hidrógenos, reducirse y transportarlos en forma de NADPH, NADH o FADH, para luego cederlos y volver a NADP, NADH o FADH para ser reutilizados.



FOTOSÍNTESIS

Más arriba hablamos de la importancia de la fotosíntesis. Podemos destacar que la fotosíntesis permite la producción de la fuente de energía que utilizan los consumidores para vivir y que almacenan a modo de carbohidratos, sin mencionar la importancia para la vida en la Tierra de la liberación del oxígeno mediante este proceso.

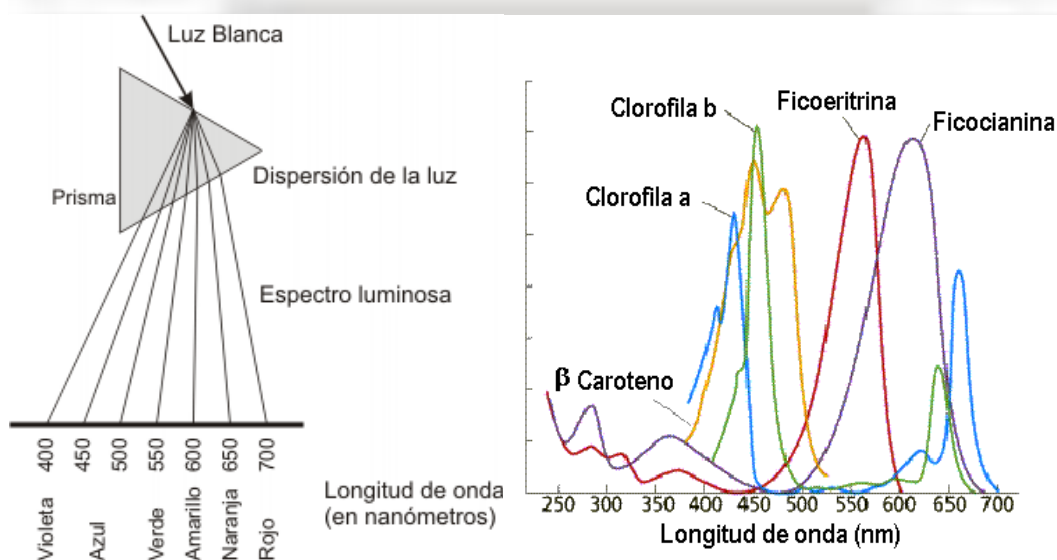
ABSORCIÓN DE LA LUZ

La luz está formada por partículas de energía llamadas fotones- El espectro lumínico que proviene del sol se puede descomponer en diferentes colores a través de un prisma, cada color corresponde a una cierta intensidad de luz, que puede medirse en longitudes de onda. Las diferentes longitudes de onda tienen fotones con diferente

energía. Cuanto más corta es la longitud de onda mayor es la energía de la luz y cuanto más larga es la longitud de onda menor es la energía de la luz.

Cada pigmento que se encuentra en los cloroplastos tiene la capacidad de “capturar” ciertas cantidades de energía lumínica, es decir, diferentes longitudes de onda de la luz. Así la clorofila a, la clorofila b, carotenos, xantofilas, fucoeritrinas y fucocianinas capturan específicamente diferentes longitudes de onda de la luz.

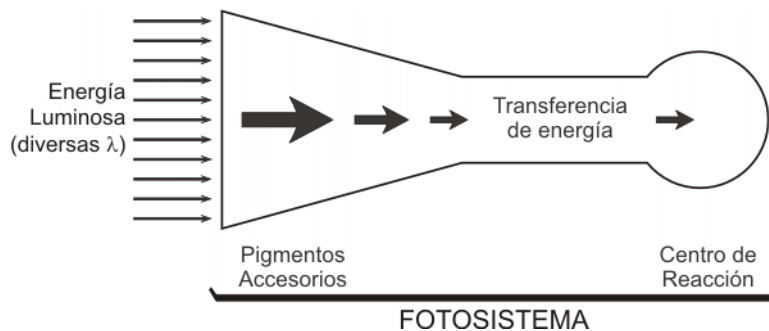
La clorofila se especializa en reflejar la luz de longitud de onda comprendida entre los 500 y 600 nm. (A ello se debe su color) y absorbe de una manera máxima las ondas de color azul violáceo y rojo. Estas ondas son las que producen la mayor actividad fotosintética.



Cada color del espectro de luz corresponde a una longitud de onda diferente.

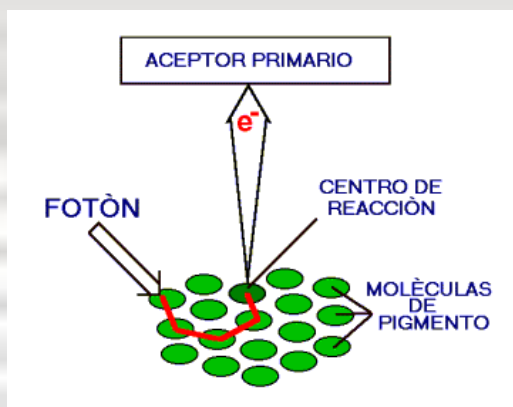
Pigmentos que capturan diferentes longitudes de onda de la luz.

Para absorber al máximo el espectro de luz, las plantas se valen de diferentes pigmentos que en conjunto forman fotosistemas. Cada fotosistema está formado por un pigmento central como clorofila a y diferentes pigmentos accesorios que, a modo de antena, capturan las longitudes de onda que la clorofila no puede capturar. De esta manera se produce un mejor aprovechamiento de la energía lumínica.

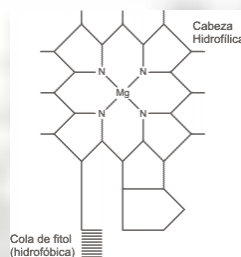


Esquema de un fotosistema

¿Cuál es el rol central de la clorofila? La clorofila puede, frente a la incidencia de la luz fotoexcitarse, es decir, liberar un electrón de su constitución molecular desplazándolo a un nivel energético. De esta manera ese electrón se pierde dejando a la molécula del pigmento con una carga positiva. El electrón "perdido" puede ser aceptado por un agente reductor.

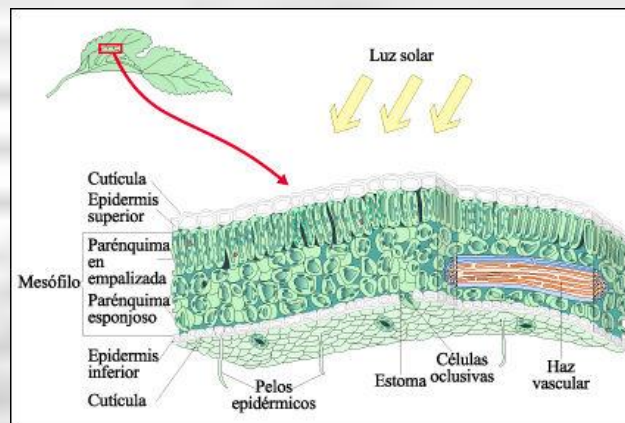


LA CLOROFILA



Esquema de la estructura química de la clorofila

La clorofila es el pigmento que les da el color verde a las plantas; aunque también está presente en plantas y algas de distintos colores que hacen fotosíntesis. La clorofila se excita con la luz o con la energía que pasa desde otros pigmentos excitados por la luz, a los que se llama pigmentos accesorios.



Corte de hoja mostrando las células del mesófilo llenas de cloroplastos que pueden capturar la luz solar

Existen varios tipos de clorofila. La más importante es la clorofila a. Esta molécula presenta una cabeza hidrofílica que es un anillo de porfirina, que tiene un átomo central de Mg (Magnesio), y una cola o cadena lateral formada por un fitol (terpeno lineal), que es hidrofóbica, lo que determina la orientación de la molécula de clorofila en las membranas internas del cloroplasto.

Todos los organismos fotosintetizadores contienen un pigmento orgánico capaz de absorber la radiación visible e iniciar las reacciones fotoquímicas de la fotosíntesis. Este pigmento es la clorofila a.

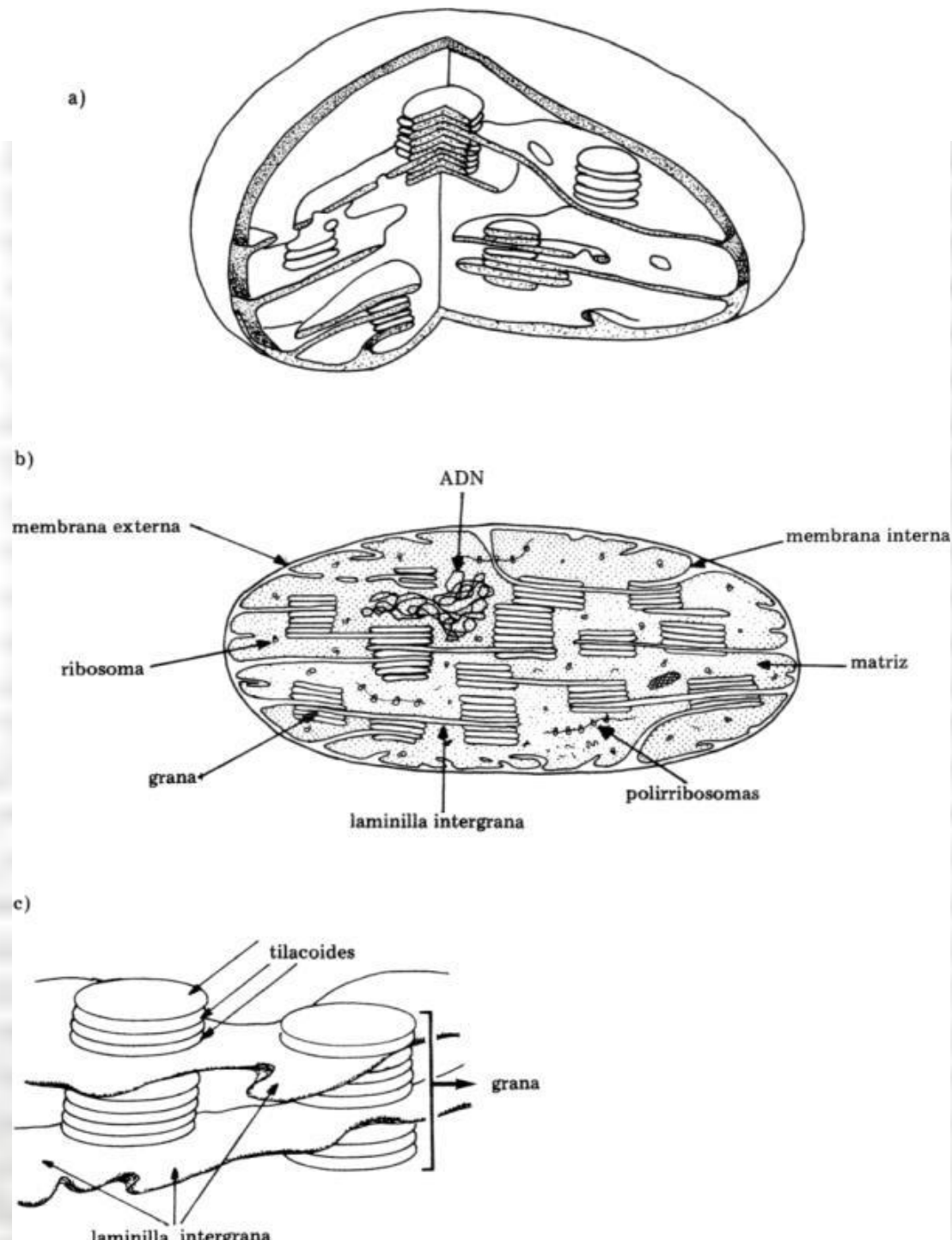
En colaboración con ella actúan otros tipos de clorofila y diversos pigmentos, que comparten una propiedad esencial: cambian su configuración electrónica cuando reciben luz de cierta longitud de onda. Estos pigmentos accesorios absorben energía radiante y la canalizan hacia la clorofila a. La siguiente es una lista de los principales pigmentos fotosintéticos y los organismos donde se encuentran.

ESTRUCTURA DEL CLOROPLASTO

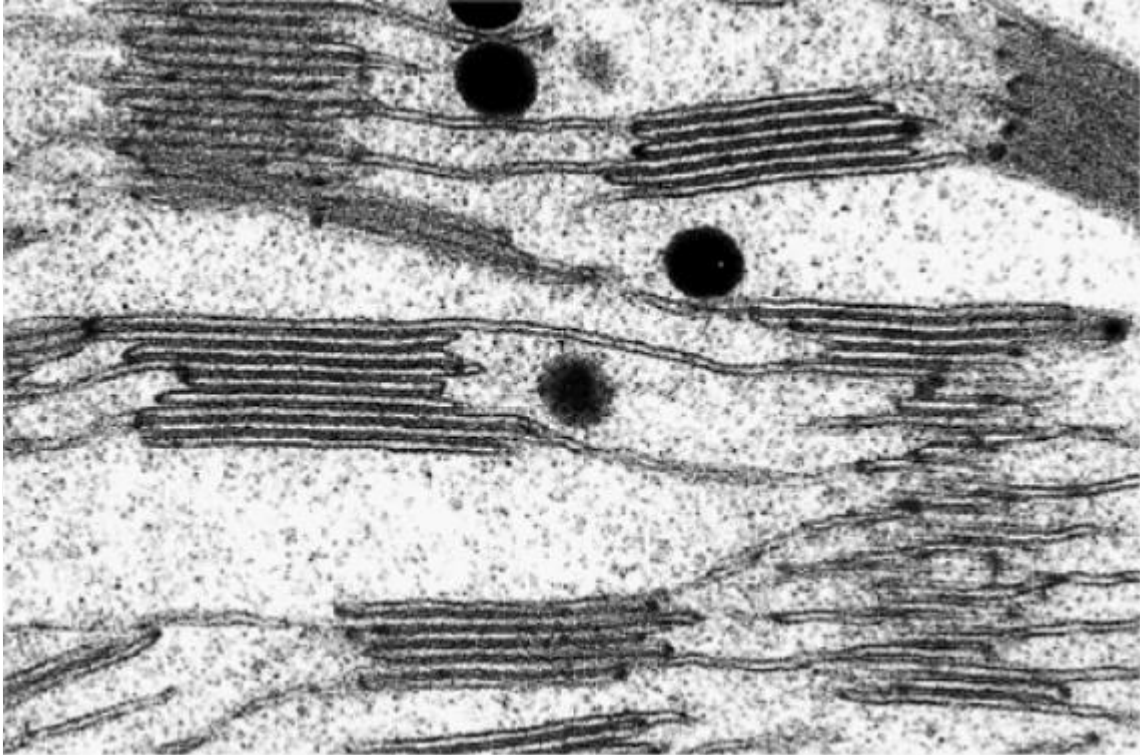
El cloroplasto es un organelo que se encuentra en las células eucariotas vegetales. Posee una doble membrana, la externa lisa y la interna replegada envolviendo al estroma y formando los tilacoides que agrupados constituyen las granas que se comunican entre sí a través de los tilacoides intergrana. Es en las granas y asociados a las laminillas de membrana, donde se hallan los pigmentos fotosintéticos.

Son de forma ovoides de entre 4 a 6 nm de longitud. El estroma contiene el 50% de las proteínas además de ADN y ribosomas procariontes. Esto convierte al cloroplasto, al igual que la mitocondria, es un organelo semiautónomo. Dentro del estroma se hallan los tilacoides, que son vesículas aplanadas dispuestas como un retículo membranoso. Su superficie externa está en contacto con el estroma, la interna limita el espacio intratilacoide. Los tilacoides se disponen como pilas de monedas para formar las granas, entre las cuales se extienden laminillas intergrana formando un retículo membranoso.

La membrana tilacoidal responde al modelo del mosaico lipoproteico. Se encuentra en ella el 50% de los lípidos del cloroplasto y entremezcladas moléculas de clorofila, carotenoides, plastoquinonas que intervienen en la fotosíntesis.



Ultraestructura del cloroplasto. (a) esquema tridimensional, (b) esquema de la ultraestructura al M.E.T, (c) grana de un cloroplasto



Microfotografía electrónica que muestra claramente las granas, los tilacoides y los tilacoides intergrana (los que unen grana con grana)

ETAPAS DE LA FOTOSÍNTESIS

A) ETAPA LUMÍNICA O DEPENDIENTE DE LA LUZ

Consiste en la transferencia de energía lumínica en química bajo la forma de ATP, y en la obtención de una fuente reductora de alta energía: la coenzima NADPH.

Como subproducto de esta etapa se obtiene O_2 . La etapa lumínica se lleva a cabo en las granas del cloroplasto.

La etapa lumínica, se desencadena cuando el fotosistema I (PS I) absorbe un fotón, este PS I emite un electrón que es aceptado por una proteína, la Ferredoxina. Este fotosistema queda por lo tanto con carga positiva. La Ferredoxina ahora reducida,

transporta electrones al NADP^+ el cual, juntamente con H^+ provenientes de la fotooxidación del H_2O , es reducido a NADPH.

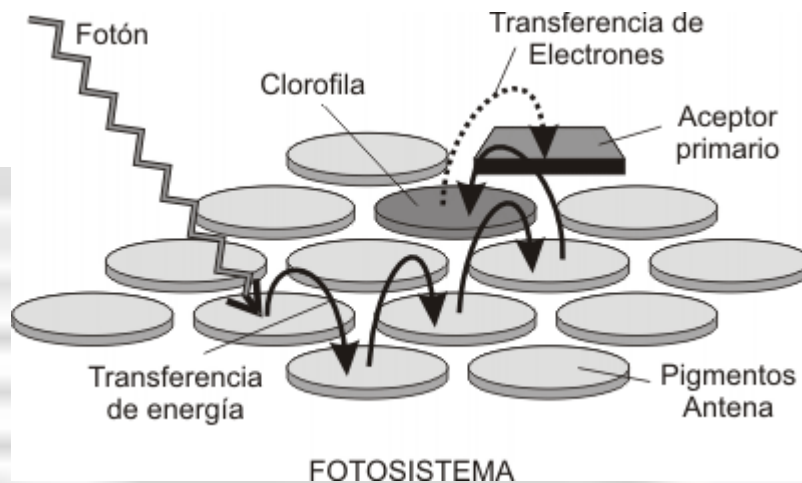
Por otro lado, el PS II también es excitado por la luz y sus electrones son llevados a un nivel de alta energía donde son aceptados sucesivamente por una cadena transportadora específica. Finalmente los electrones son aceptados por el PS I que había quedado positivo, restituyendo así su estado inicial.

El flujo de electrones desde el PS II al I es un transporte exergónico, esta energía se emplea para bombear H^+ a través de la membrana tilacoidal hacia el interior de ésta.

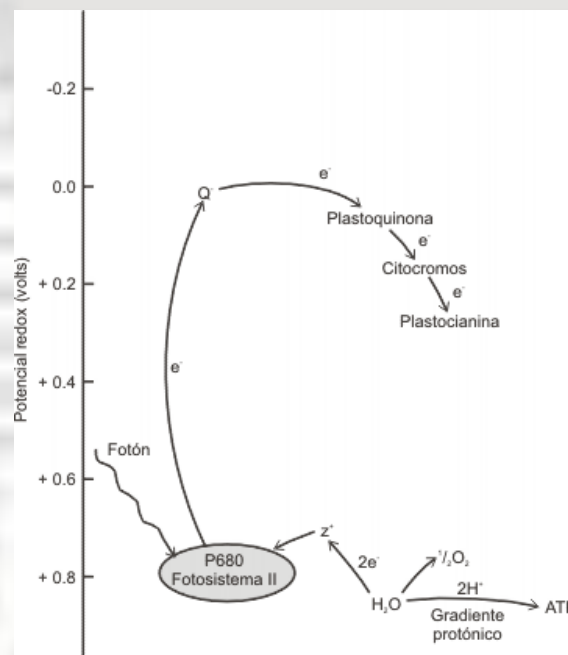
Mientras tanto el PS II que había quedado con carga positiva, para recuperar su estado inicial, promueve la oxidación (fotólisis) del H_2O y capta sus electrones, quedando así restituida su carga eléctrica. Pero además se producen H^+ que como ya se mencionara anteriormente, contribuyen a la reducción de la coenzima NADPH. El O_2 que resulta de la oxidación de la molécula de H_2O , se libera al medio.

Reacción de Hill

Una prueba de que el oxígeno liberado en la fotosíntesis proviene del agua y no del dióxido de carbono se debe a los experimentos realizados por Robín Hill (1937), quien obtuvo oxígeno al exponer cloroplastos aislados a la luz en presencia de un aceptor de electrones, el ferricianuro, pero en ausencia de CO_2 y NADP. Esto demostró que el oxígeno también se libera sin que haya reducción del CO_2 , cuando se dispone de un aceptor de electrones. La ausencia de CO_2 en la mezcla confirmó que el oxígeno liberado proviene de las moléculas de agua. Además, los experimentos demostraron que el fenómeno fundamental en la fotosíntesis es la transferencia inducida por la luz, de electrones de un compuesto a otro.

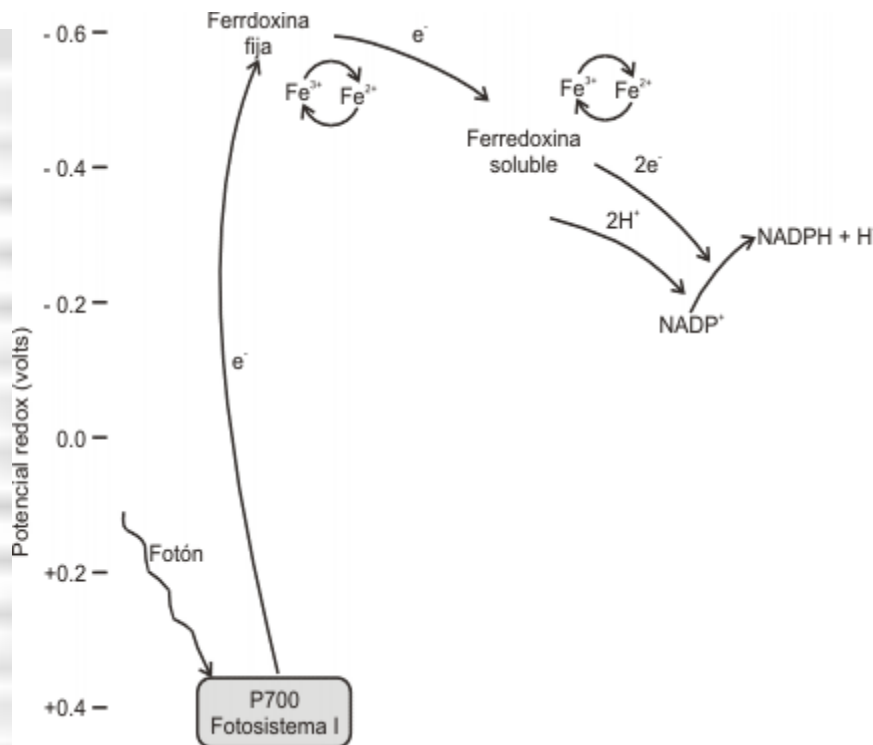


Transferencia de la energía de excitación. La energía de excitación se transfiere al azar a pigmentos accesorios (antena) que absorben luz de longitud de onda creciente hasta alcanzar el centro de reacción en la clorofila, que transfiere un electrón excitado a un aceptor primario.

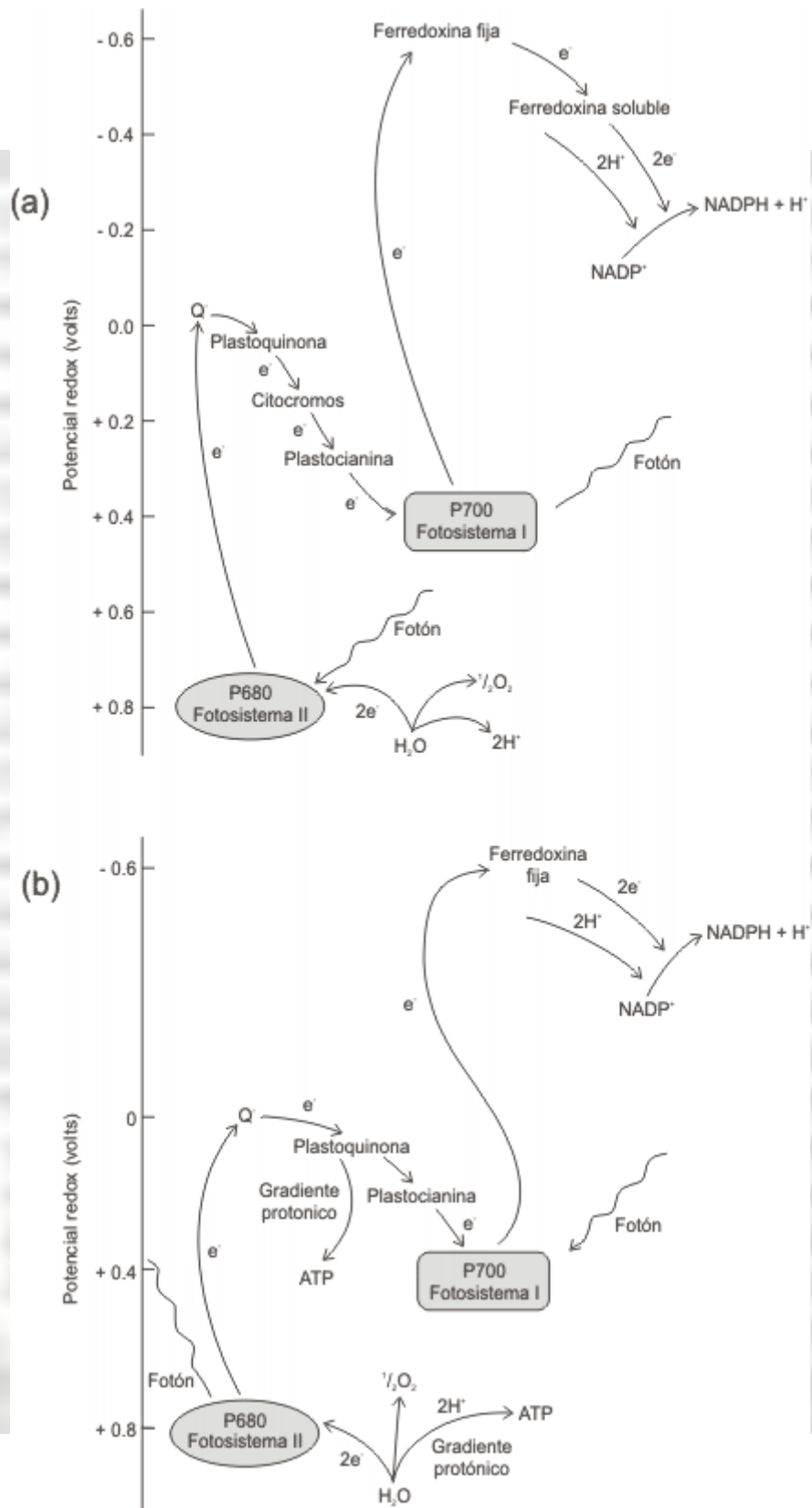


Flujo de electrones en el fotosistema II. Cuando el PSII es activado por la absorción de un fotón, se produce un poderoso oxidante, llamado Z⁺. El potencial de este oxidante es capaz de extraer electrones del agua, formando O₂ y contribuyendo a la formación de un gradiente protónico que genera ATP. Los electrones fluyen luego hacia el

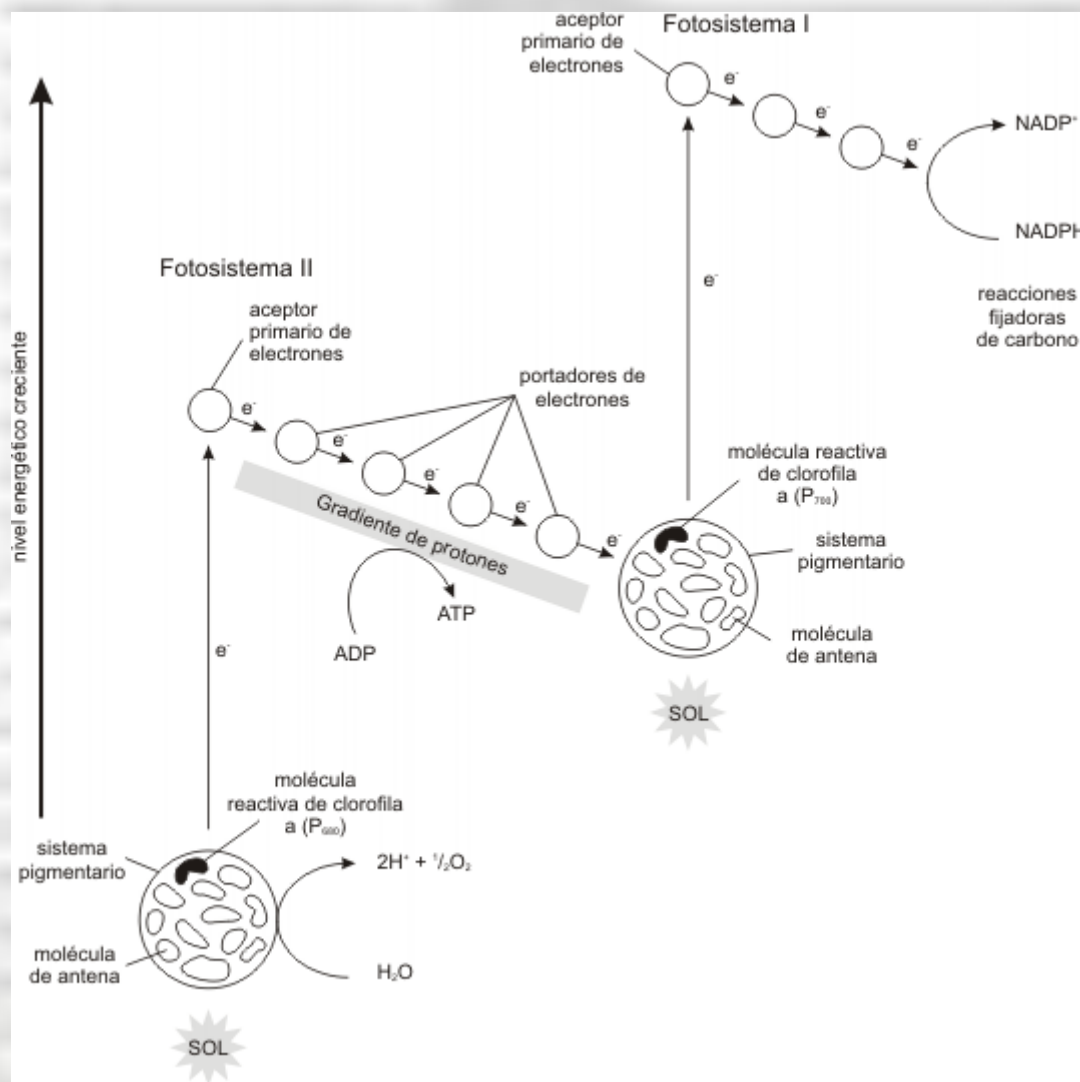
reductor Q-, que está fuertemente unido a las membranas tilacoidales. Luego el electrón pasa hacia la plastoquinona soluble y de ahí a los otros aceptores



Paso de los electrones desde el fotosistema I hacia el $NADP^+$.



Esquema en el que se muestra la relación que hay entre el fotosistema I y II, a través de la cual se recuperan los electrones transferidos al NADPH en el PSI, ya que pasan a este los electrones derivados del H₂O en el PSII. (b) Flujo de electrones desde el H₂O hacia el NADP⁺, para la formación del NADPH.



Esquema simplificado de la etapa lumínica de la fotosíntesis

La energía luminosa de la fotosíntesis consiste en la conversión de:

ENERGÍA LUMINOSA → ENERGÍA QUÍMICA

La energía química queda contenida en moléculas de dos tipos:

ATP

NADPH

Además. Como subproducto de esta etapa , se obtiene:

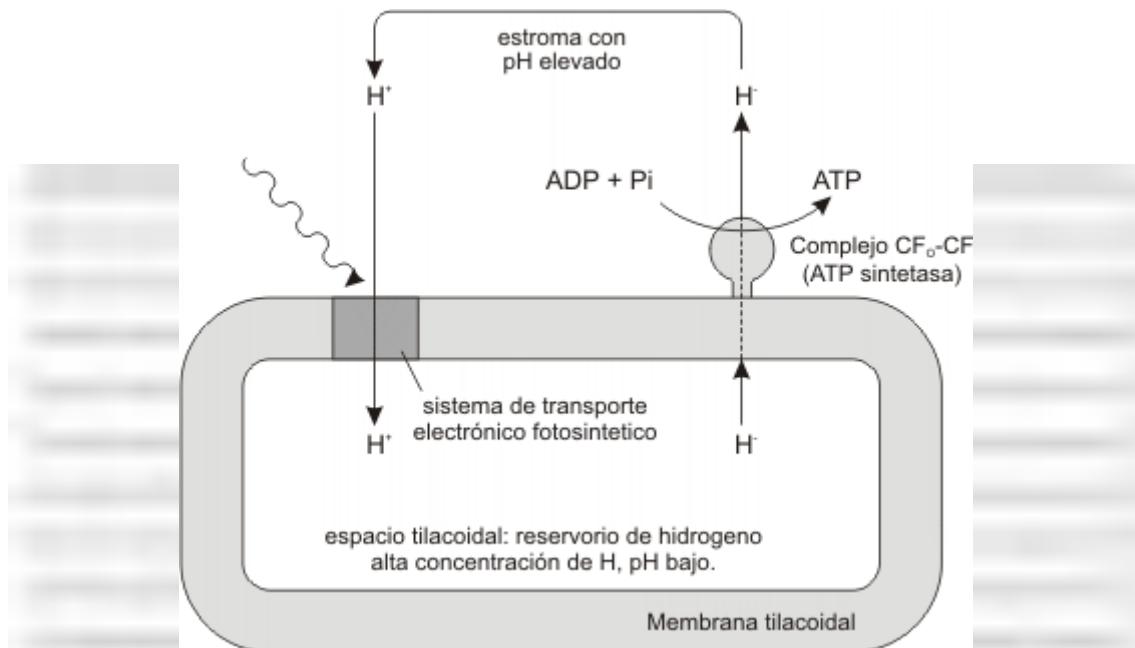
O₂ (oxígeno molecular)

FORMACIÓN DE ATP EN LOS GRADIENTES PROTÓNICOS

QUIMIÓSMOSIS

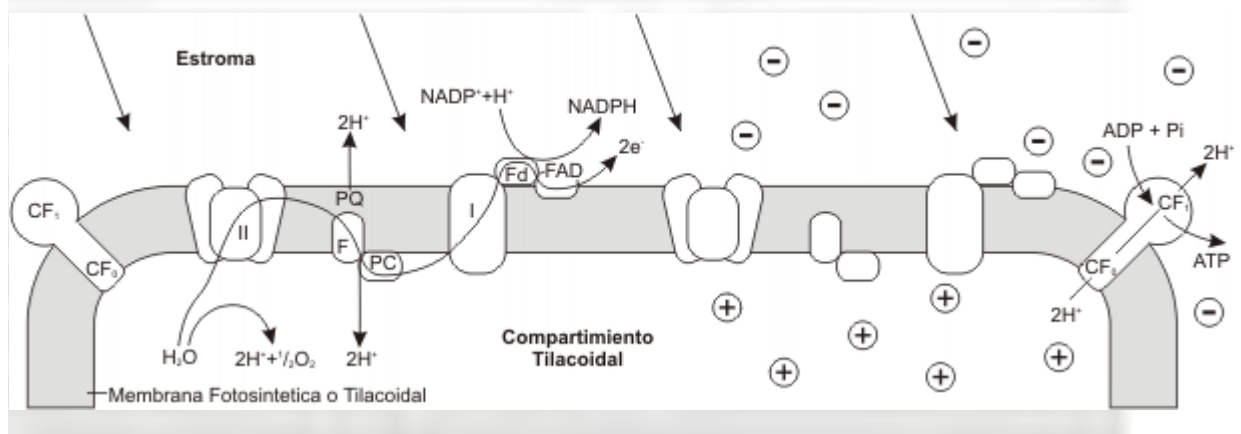
Conforme a la teoría quimiosmótica, los orgánoides que usan energía (cloroplastos), acumulan protones dentro de compartimentos membranosos especiales. Los protones difunden luego a través de las membranas (como ya se mencionara en la etapa lumínica). La energía potencial de la membrana creada por las diferencias en la concentración de protones es captada por el complejo proteico CF₀-CF₁. Este complejo usa una parte de la energía para sintetizar ATP.

Según pasan los electrones a través de la cadena de aceptores los protones son bombeados hacia el interior del tilacoide donde se acumulan. Los protones equivalen a iones de H⁺, por lo tanto el pH interior del tilacoide desciende, con lo que se establece una diferencia de pH a través de la membrana.



Gradiente de protones a través de la membrana del tilacoide

Los iones hidrógeno altamente concentrados en el interior del tilacoide tienden a difundirse hacia el exterior, pero no lo pueden hacer porque la membrana es impermeable a ellos, excepto a través del complejo CF₀ – CF₁. Este complejo actúa como una especie de conducto a través de los cuales los protones pueden salir. A medida que los protones pasan a través del complejo van liberando su energía, la cual se utiliza para la síntesis de ATP.



Modelo tentativo de la organización de la membrana tilacoide. Los PSI y PSII absorben luz de longitudes de onda distintas. En el PSII se disocia el agua en dos protones (H⁺), oxígeno y dos electrones (e⁻). Los electrones se transfieren a través de

una cadena de transporte de electrones que consta de plastoquinona, plastocianina, el PSI, ferredoxina y Flavin-adenin-dinucleótido, hasta que, con la ayuda de un protón, reducen el NADP^+ a NADPH en la superficie externa de la membrana del tilacoide. A la derecha del esquema, observamos una acumulación de cargas positivas en la zona interna, que proceden de dos fuentes: los protones liberados por la disociación del agua y cargas positivas que parecen ser translocadas desde el exterior a través de la membrana durante el transporte de electrones. El flujo de protones hacia el exterior a través de los factores de acoplamiento (CF_0 y CF_1) permite la síntesis de ATP a partir de ADP.

B) ETAPA OSCURA O CICLO DE CALVIN (C3)

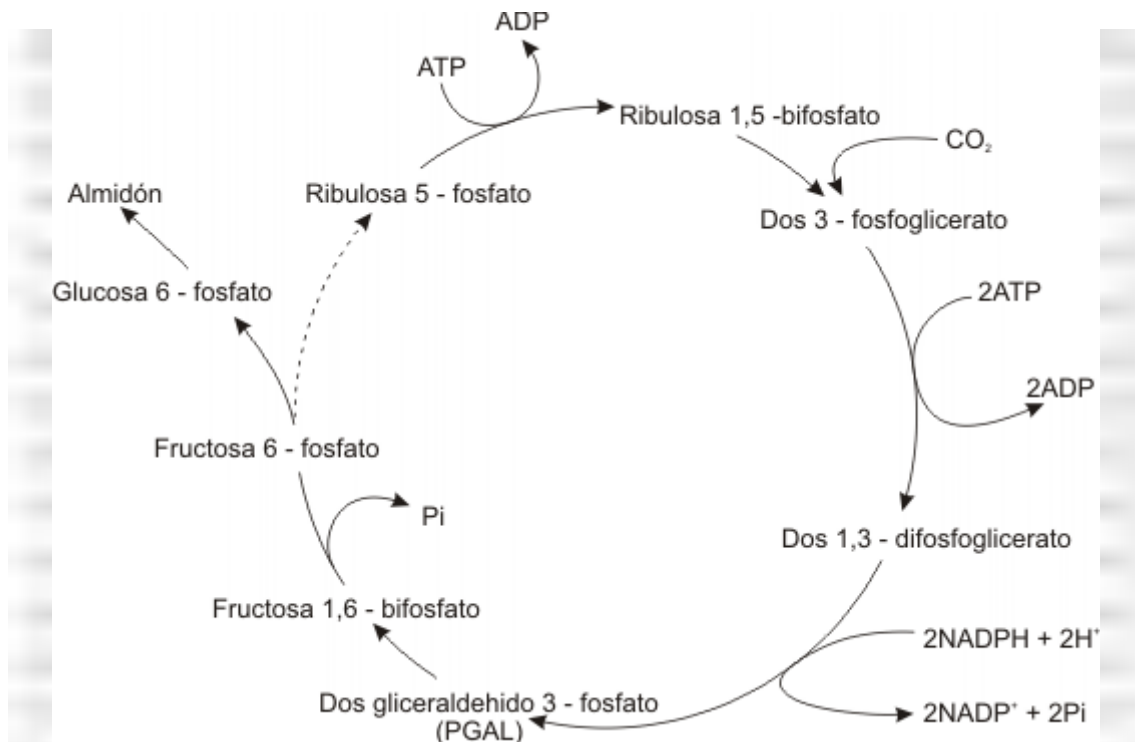
Consiste en la reducción de moléculas de CO_2 para formar glúcidos mediante las fuentes de energía (ATP) y la fuente reductora (NADPH) obtenidas en la etapa clara. La etapa oscura ocurre en la matriz del cloroplasto con la intervención de numerosas enzimas que actúan en un ciclo.

En el estroma existe una molécula que acepta la adición de CO_2 : la ribulosa difosfato (de 5 carbonos) que forma un compuesto transitorio de 6 C, que rápidamente se hidroliza dando 2 moléculas de fosfoglicerato (PGA) (cada molécula de PGA contiene 3 átomos de carbono y de ahí el nombre de vía de 3 carbonos). La enzima que cataliza esta reacción es la ribulosa difosfato carboxilasa (RUBISCO) localizada en la superficie estromal de las membranas tilacoidales.

El PGA se convierte en difosfoglicerato mediante el gasto de un ATP, es necesaria la participación del NADPH para reducir al difosfoglicerato y convertirlo en gliceraldehído fosfato (PGAL), un azúcar de 3 C. Dos de estas triosas (PGAL) se condensan y forman una hexosa: la fructosa 1,6 difosfato, a la brevedad uno de los grupos fosfatos es eliminado enzimáticamente para producir fructosa 6 fosfato, la cual experimenta un reacondicionamiento molecular para convertirse en glucosa 6 fosfato. Este último compuesto puede ser incorporado a una molécula de almidón para ser almacenado.

Para que continúe el ciclo es necesario regenerar la ribulosa difosfato. El resto de las moléculas de PGAL se destinan a la regeneración de este compuesto. Durante esta etapa se producen condensaciones, hidrólisis y reordenamientos, con intermediarios

de 3, 4, 5, 6, 7 carbonos. Finalmente se forma ribulosa monofosfato que mediante gasto de ATP, es fosforilada a ribulosa difosfato, con lo cual se cierra el ciclo.



Ciclo de Calvin o vía del C₃ (simplificado)

Para sintetizar una molécula de glucosa se necesitan 6 vueltas del ciclo de Calvin puesto que en cada una de ellas se reduce una molécula de CO₂. Para fosforilar 12 moléculas de PGAL y convertirlas en 12 moléculas de difosfoglicerato se necesitan 12 ATP, mientras que se emplean 12 de NADPH para reducir 12 moléculas de difosfoglicerato a gliceraldehído fosfato. Luego se consumen otras 6 moléculas de ATP en la regeneración de la ribulosa difosfato.

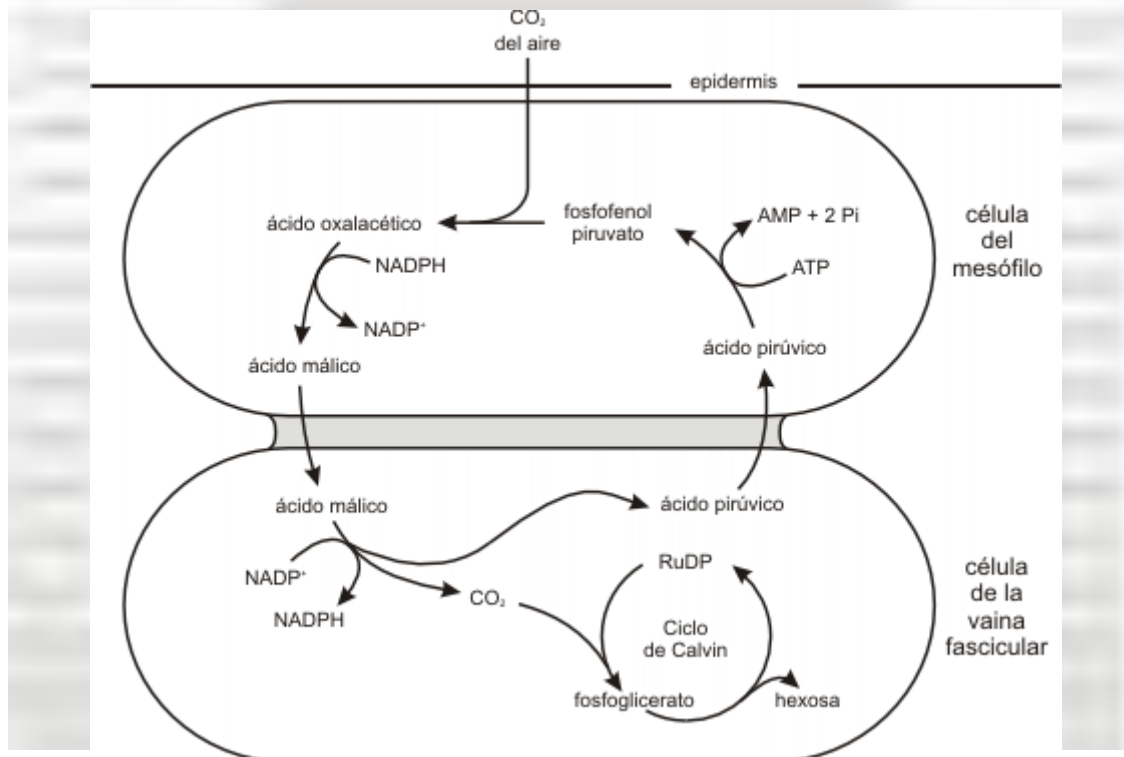
CICLO DE C₄ DE HATCH Y SLACK

Otra de las vías alternativas para la incorporación del CO₂ se realiza en un grupo numeroso e importante de plantas entre ellas maíz, sorgo, caña de azúcar. Estas plantas tienen una alta eficiencia en la captación de CO₂ y requieren relativamente menos agua.

La vía del C₄ ocurre en cloroplastos de morfología diferente (se caracterizan por poseer una extensa red de tilacoides organizados en grana bien desarrolladas).

En ellos el CO₂ de la atmósfera es incorporado a una molécula de 3C, el fosfoenolpiruvato (PEP) que se convierte en un compuesto de 4C, el ácido oxalacético. Esta reacción es catalizada por la enzima PEP carboxilasa. Luego el ácido oxalacético se reduce a ácido málico o, mediante la adición de un grupo amino, se convierte en ácido aspártico. Este compuesto es transportado a un cloroplasto típico. Allí pierde CO₂ (se descarboxila) para producir CO₂ y ácido pirúvico. Entonces el CO₂ entra en el ciclo de Calvin.

Cabe preguntarse por qué este tipo de plantas emplean este mecanismo energéticamente tan costoso y complicado. El CO₂ no está disponible en todo momento porque éste entra en la hoja por los estomas que son poros que se abren y cierran de acuerdo a las necesidades del vegetal. Los estomas tienen que permanecer cerrados gran parte del tiempo para evitar que la planta pierda agua por transpiración.



Vía de fijación de carbono en las plantas C₄. Primero se fija CO₂ como ácido oxalacético en las células del mesófilo. Luego este CO₂ se transfiere a las células de la

vaina fascicular, donde libera CO₂. Este último entra en el ciclo de Calvin. El ácido pirúvico retorna a la célula del mesófilo, donde se fosforila a PEP.

La PEP carboxilasa posee mayor afinidad por el CO₂ que la RuDP carboxilasa o Rubisco (enzima que cataliza la incorporación del CO₂ a la ribulosa di P). Incluso a bajas concentraciones de CO₂, la enzima funciona rápidamente para fijarlo al PEP. En comparación con la Rubisco, fija el CO₂, más pronto y a niveles más bajos, manteniendo más baja su concentración dentro de la hoja. Esto provoca que se cree un gradiente de concentración entre las células y su medio ambiente. Por lo tanto cuando la planta abre sus estomas el CO₂ difunde rápidamente con gran eficiencia al interior de la hoja. En consecuencia las plantas C₄ poseen una gran ventaja en las regiones cálidas y áridas.

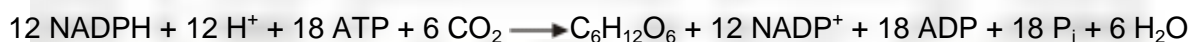
Resumiendo, la función del C₄ es aumentar la cantidad de CO₂ incorporado a la atmósfera, en condiciones bajo las cuales no puede intervenir eficazmente la ribulosa difosfato (C₃). La síntesis de glúcidos a partir del CO₂ fijado vía C₃, o vía C₄, se realiza a través del ciclo de Calvin.

Cuadro 8.2 - RESUMEN DE LAS ECUACIONES DE LA FOTOSÍNTESIS

Ecuación general de las reacciones dependientes de la luz:



Ecuación general de las reacciones independientes de la luz:



Procediendo a la simplificación de los elementos comunes en ambos lados de las ecuaciones acopladas, se obtiene la ecuación global simplificada de la fotosíntesis:



ACTIVIDADES: RESPONDA

1) En términos de la economía de la célula:

a) ¿Qué proveen a la célula los procesos anabólicos?

b) ¿Qué proveen a la célula los procesos catabólicos?

c) ¿Cómo dependen los unos de los otros?

Elabore su respuesta en forma de gráfico.

2) Complete el siguiente cuadro.

	Ubicación celular	Sustrato	Producto	Tipo e reacción (exergónica o endergónica)
Etapa clara de la fotosíntesis				
Etapa oscura de la fotosíntesis				

3) Dibuje un cloroplasto y rotule todas sus membranas y compartimentos.

4) ¿Cuál es la función de los pigmentos accesorios?

5) De los procesos indicados en el siguiente cuadro, identifique el carácter exergónico o endergónico.

Proceso	Exergónico	Endergónico
Síntesis de glucosa		
Hidrólisis de proteínas		
Síntesis de lípidos		
Transporte activo		
Endocitosis		

- 6) ¿Mediante qué reacción se produce O₂ molecular a partir de H₂O?
- 7) ¿Cómo se establece un gradiente protónico a través de la membrana tilacoidal?
¿Cómo se traduce esto en la síntesis de ATP?
- 8) ¿Cómo se producen y utilizan el ATP y el NADPH durante la fotosíntesis?
- 9) Justifique la veracidad o falsedad del siguiente enunciado: “Durante la fase clara se libera O₂ a partir del CO₂ por medio de reacciones químicas que requieren ATP”.
- 10) ¿De qué manera la fotosíntesis C₄ es ventajosa para las plantas que la realizan?

PREGUNTAS DE OPCIÓN MULTIPLE

1- La incidencia de luz sobre la clorofila provoca que ésta:

- a- se hidrolice liberando su cola de fitol
- b- libere electrones
- c- libere oxígeno al medio
- d- capte electrones
- e- dióxido de carbono del medio

2 - ¿Cuál de las siguientes parejas: proceso/localización no se corresponde:

- a- reacción lumínica / grana
- b- cadena de transporte de electrones /membrana tilacoide
- c- ciclo de Calvin / estroma del cloroplasto
- d- doble membrana del cloroplasto /ATP sintetasa

3- La clorofila II conocida como clorofila P680 es reducida por los electrones provenientes del:

- a- Fotosistema I

- b- Fotosistema II
- c- Agua
- d- NADPH
- e- NADP

4- Los electrones que circulan a través de los dos fotosistemas tiene su menor energía potencial a nivel del:

- a- P700
- b- P680
- c- NADPH
- d- Agua

5- ¿Cuántas vueltas del ciclo de Calvin son necesarias para producir una molécula de glucosa?

- a- 1
- b- 2
- c- 3
- d- 5
- e- 6

GLOSARIO:

Citocromos

Proteínas que contienen grupos hemo y participan en las cadenas de transporte de electrones; intervienen en la respiración celular y en la fotosíntesis.

Clorofila

Pigmento verde que actúa como receptor de la energía lumínica en la fotosíntesis.

Coenzima

Molécula orgánica no proteínica que desempeña un papel accesorio en los procesos catalizados por enzimas y frecuentemente actúan como dador o aceptor de una sustancia que interviene en la reacción. NAD⁺, FAD y la coenzima A son coenzimas comunes.

Electrón

Partícula subatómica con carga eléctrica negativa, igual en magnitud a la carga positiva del protón, pero con una masa mucho menor; se encuentra en los orbitales que rodean al núcleo positivamente cargado del átomo.

Endergónico

Que requiere energía; aplicable a reacciones químicas o procesos "cuesta arriba".

Enzima

Molécula de proteína globular que acelera una reacción química específica

Fotorrespiración

Oxidación de carbohidratos en presencia de luz y oxígeno; ocurre cuando la concentración de dióxido de carbono en la hoja es baja en relación con la concentración de oxígeno.

Grana

En los cloroplastos, discos apilados constituidos por membranas (tilacoides) que limitan un espacio intertilacoidal. En ellos se encuentran las clorofilas y carotenoides y es allí donde ocurren las reacciones que atrapan la energía lumínica durante la fotosíntesis convirtiéndola en energía química.

Reacción redox

Reacción química en la cual uno o más electrones son transferidos de una sustancia (la que se oxida) a otra (la que se reduce).

Receptor

Molécula de proteína o glicoproteína con una estructura tridimensional específica a la cual puede unirse una sustancia (por ejemplo, una hormona, neurotransmisor, citoquinas o antígeno) con una estructura complementaria; presente típicamente en la superficie de una membrana. La unión de una molécula complementaria a un receptor puede generar un proceso de transporte, activación o un cambio en los procesos que ocurren dentro de la célula.



BIBLIOGRAFIA

Alberts, B et al; (1996) *Biología Molecular de la Célula*. 3^{ra} Edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona.

Campbell, N; (1997) *Biology*. 4th Edition. the Benjamin Cummings Publishing Company. Inc. California

Castro, Handel y Rivolta . *Actualizaciones en Biología*. (1986). Ed. EUDEBA

Castro R. et al. *Investigación y Ciencia*., N° 39, Diciembre de 1979.

Curtis y Barnes (2008). *Biología*. 7ma Ed. Bs.As. Editorial Médica Panamericana.

CONICET-SENOC (1984) Módulo 3 y 4.

De Robertis(h); Hib; Ponzio. (1996).*Biología Celular y Molecular de De Robertis*. 12^o Edición. El Ateneo. Bs.As.

De Robertis, E.; Hib, J.; (1998) .*Fundamentos de Biología Celular y Molecular*. El Ateneo. Bs.As.

Solomon y col. (1998) . *Biología de Vilee*. 4^a. Ed. Mex. McGraw-Hill. Interamericana.