

TEMA 10 ANABOLISMO

ÍNDICE de CONTENIDOS

1. El anabolismo
2. Anabolismo fotoautótrofo: fotosíntesis
3. Fotosíntesis en bacterias
4. Importancia de la fotosíntesis
5. Fotorrespiración
6. Factores que influyen en la intensidad fotosintética
7. Anabolismo quimioautótrofo: quimiosíntesis
8. Anabolismo quimioheterótrofo



José Manuel Huertas Suárez

CRITERIOS de EVALUACIÓN

- B.2.7. Comprender los procesos de catabolismo y anabolismo estableciendo la relación entre ambos.
- B.2.10. Pormenorizar los diferentes procesos que tienen lugar en cada fase de la fotosíntesis.
- B.2.11. Justificar su importancia biológica como proceso de biosíntesis, individual para los organismos, pero también global en el mantenimiento de la vida en la Tierra.
- B.2.12. Argumentar la importancia de la quimiosíntesis

Metabolismo

"Conjunto de reacciones bioquímicas que ocurren dentro de la célula"



Metabolismo

del griego, cambio del griego, Cualidad

El **metabolismo** [metabole = cambio, ismo = cualidad] es la cualidad que tienen los organismos de cambiar químicamente la naturaleza de ciertas sustancias

Anabolismo

"Conjunto de reacciones bioquímicas que unen biomoléculas"



Anabolismo

del griego, construir del griego, cualidad del griego, arrojar

El **anabolismo** [anabole = construir/crear, bol = arrojar/lanzar, ismo = cualidad] es un proceso metabólico que construye moléculas complejas a partir de moléculas sencillas

Fotosíntesis

"Conjunto de reacciones bioquímicas que crean biomoléculas a partir de la materia inorgánica gracias a la energía química generada por la energía solar"



Fotosíntesis

del griego, elementos químicos del griego, puesto junto

La **fotosíntesis** [quimio = elementos químicos, síntesis = juntar] es la conversión de sustancias inorgánicas a orgánicas, gracias a los fotones del sol

Quimiosíntesis

"Conjunto de reacciones bioquímicas que convierten la materia inorgánica en materia orgánica gracias a la energía química generada por la energía liberada por otras reacciones químicas"



Quimiosíntesis

del griego, elementos químicos del griego, puesto junto

La **quimiosíntesis** [quimio = elementos químicos, síntesis = juntar] es la conversión de sustancias inorgánicas a orgánicas, por medio de reacciones químicas

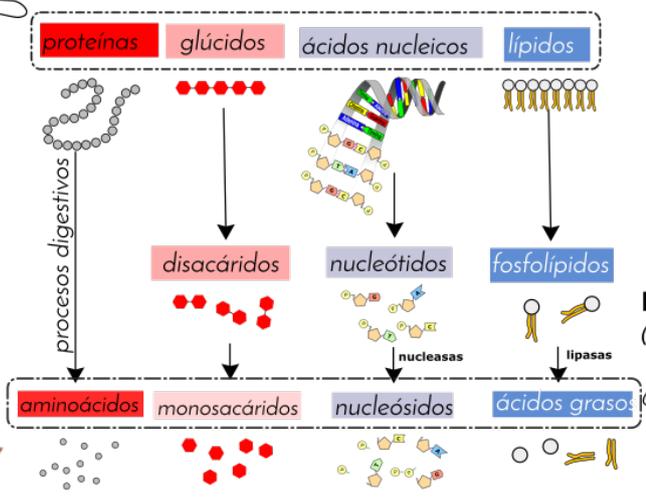
La célula es un conjunto altamente organizado de macromoléculas y orgánulos capaces de realizar todas las actividades asociadas a la vida (nutrición, relación y reproducción). Mediante la función de nutrición la célula toma materia y energía del exterior, y la transforma en: (1) materiales celulares y (2) energía para realizar trabajos de diversa índole. Pues bien, en este tema vamos a ver cómo la célula transforma unos componentes en otros y cómo obtiene energía al hacerlo.

Nutrición celular y metabolismo

La nutrición celular es el proceso biológico de intercambio y de la transformación de materia y energía. Para un mejor estudio y comprensión se divide este proceso en tres grandes procesos biológicos: ingestión, metabolismo y excreción

- Ingestión** o incorporación de nutrientes del medio extracelular al medio intracelular a través de la membrana plasmática.
- Metabolismo** [del griego "metabole-" = cambio y "-ismo" = cualidad; es decir la cualidad que tienen los seres vivos para cambiar unas sustancias por otras] es el conjunto de reacciones bioquímicas encadenadas que ocurren dentro de una célula donde unas biomoléculas (reactivos) se transforman en otras biomoléculas (productos) con el fin de obtener materia y energía. Esto permite que la célula pueda realizar las tres funciones vitales: nutrición, reproducción y relación.
- Excreción** es la expulsión al medio externo los productos de desecho generados por la célula.

comida (formada por ...)



nutrientes (formada por ...)

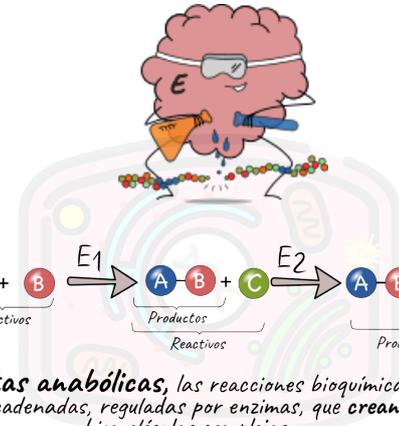
De los tres procesos antes descritos, vamos a estudiar solo el metabolismo.



1 Anabolismo

El anabolismo [del griego ana 'hacia arriba, y ballein 'lanzar'] es el conjunto de reacciones químicas metabólicas encadenadas donde moléculas orgánicas simples (reactivos como átomos, aminoácidos, nucleósidos, etc.) se juntan/ unen en una/s molécula/s más compleja/s (productos como glucosa, aminoácidos, proteínas o ácidos nucleicos) para obtener materia. Cuando esto ocurre se gasta energía y se consumen agentes reductores.

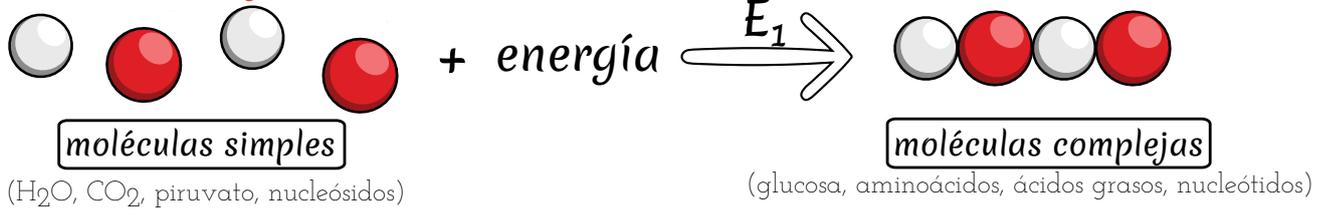
El catabolismo [del griego kato 'hacia abajo', y ballein 'lanzar'] es el conjunto de reacciones químicas metabólicas encadenadas donde moléculas orgánicas complejas (reactivos como glucosa, aminoácidos, proteínas o ácidos nucleicos) se degradan/rompen en otras moléculas más sencillas (productos como átomos, aminoácidos, nucleósidos, etc.) para obtener energía. Cuando esto ocurre se libera energía y se generan agentes reductores.



Rutas anabólicas, las reacciones bioquímicas encadenadas, reguladas por enzimas, que crean biomoléculas complejas

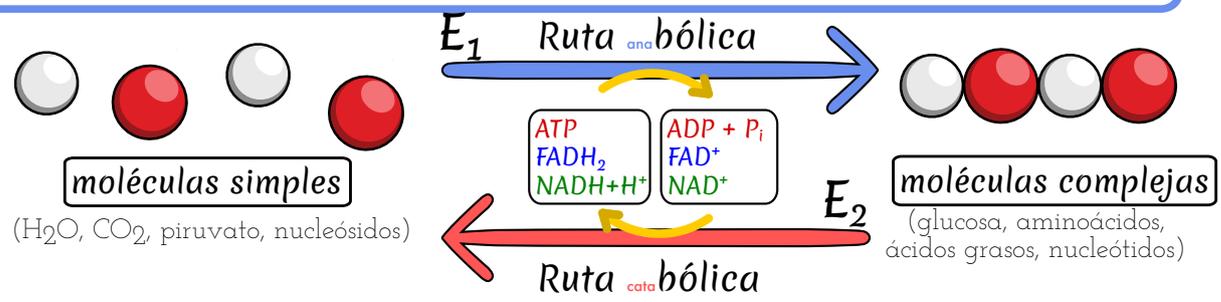
Rutas anabólicas: Son rutas reductoras donde se sintetiza moléculas orgánicas complejas a partir de biomoléculas sencillas en las que se consume energía (ATP) producidas en la rutas catabólicas. Por ejemplo, gluconeogénesis y el ciclo de Calvin (en la fotosíntesis). Gráficamente se representa así:

Anabolismo, une pequeñas moléculas y forma moléculas más grandes gracias al suministro de energía



Rutas anfibólicas: Son rutas mixtas, donde ocurren a la vez la rutas catabólicas y anabólicas. Un ejemplo sería el ciclo de Krebs, donde existe un acoplamiento (= nudos en común) entre las rutas catabólicas y las anabólicas. Gráficamente se representa así:

Anabolismo, une pequeñas moléculas y forma moléculas más grandes gracias al suministro de energía



Catabolismo, separ moléculas grandes y forma moléculas más pequeñas liberando energía

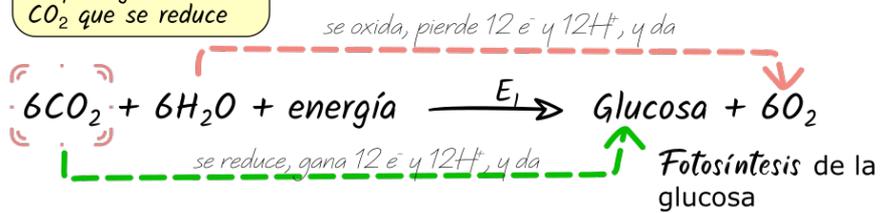
1.1 Características de las reacciones anabólicas

Las reacciones anabólicas presentan las siguientes características: reacciones de reducción, endergónicas y divergentes

Rutas anabólicas son reacciones de reducción
 Son reacciones de reducción, donde las moléculas simples (monosacáridos, aminoácidos, nucleótidos, etc.) **ganan electrones** y, en ocasiones, hidrógenos (hidrogenaciones), porque otras moléculas, como las coenzimas en forma un su forma reducida, pierden esos electrones e hidrógenos oxidándose y transformándose en su forma oxidada. Por ejemplo, la coenzima NADH + H+ ("nicotinamida adenín dinucleótido en su forma reducida") pierde dos átomos de hidrógeno y se oxida a NAD+ ("nicotinamida adenina dinucleótido en su forma oxidada").

Rutas anabólicas son reacciones de reducción

La protagonista es la CO2 que se reduce



José Manuel Huertas Suárez

email: maestrodennaturales@gmail.com

web: <https://maestrodennaturales.webador.es/>

➤ Son **reacciones endergónicas** pues requiere una fuente de energía para que tenga lugar la reacción química, ergo los productos guardan más energía que la que tenían los reactivos. Según de dónde proceda esa fuente de energía, podemos encontrar con dos procesos distintos: fotosíntesis y quimiosíntesis

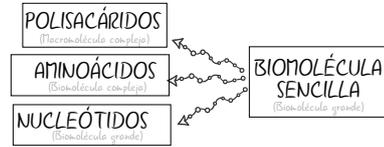
Rutas anabólicas son endergónicas

El protagonista es la energía se suministra para fijar el CO₂



(1) Fotosíntesis, si la fuente de energía es la luz y

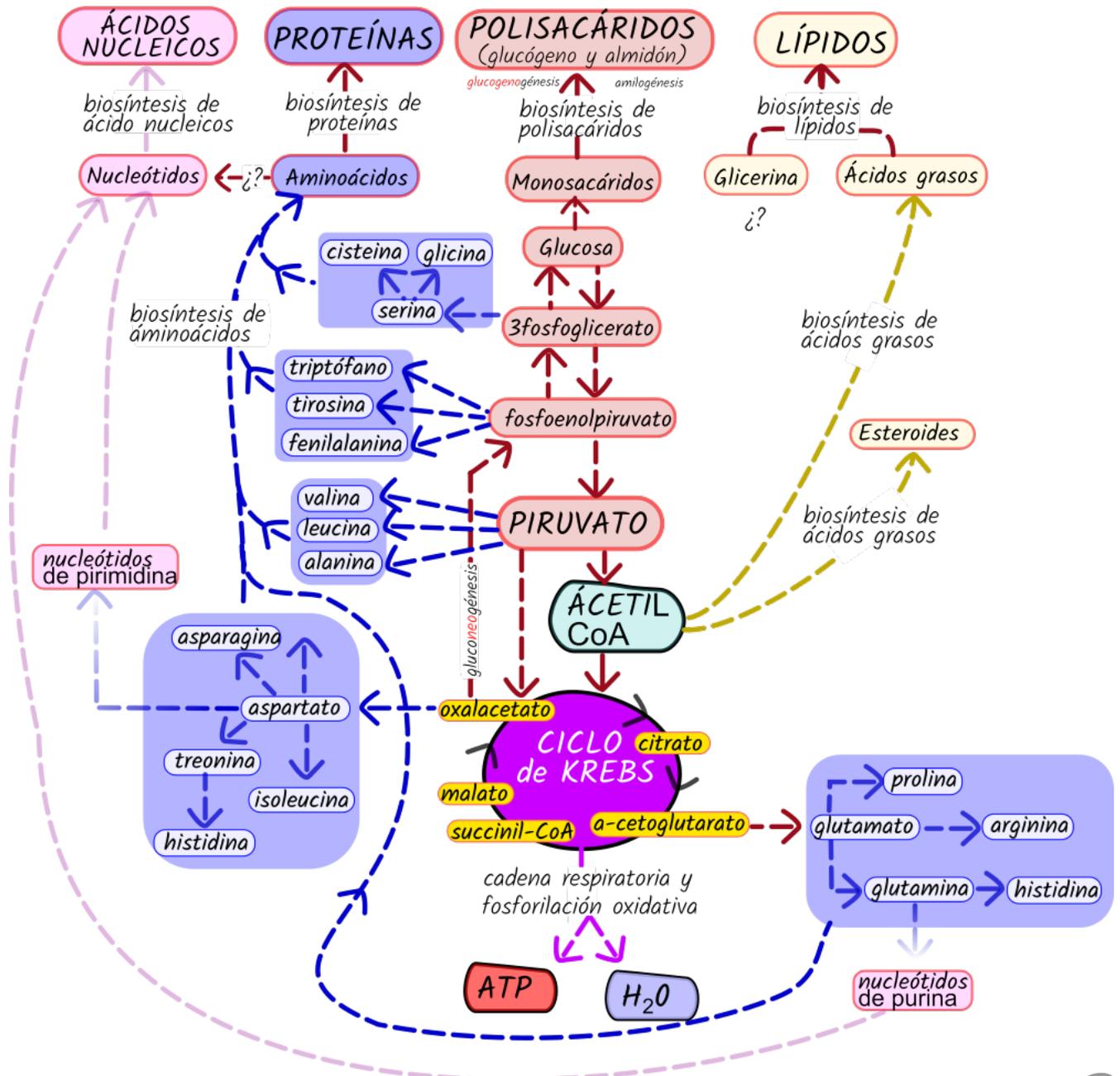
(2) Quimiosíntesis, si se trata de energía desprendida en reacciones químicas.



➤ Forman **rutas metabólicas divergentes**, pues de mismos reactivos iniciales llegamos a los distintos productos finales. Por ejemplo, a partir de los mismos reactivos del ciclo de Krebs llegamos a distintos productos

Rutas anabólicas son divergentes

Mismos reactivos dan distintos productos



1.2 Tipos de rutas anabólicas

Las rutas anabólicas se pueden clasificar, según tres criterios de clasificación, en función de la fuente de carbono, de energía o fuente de electrones.

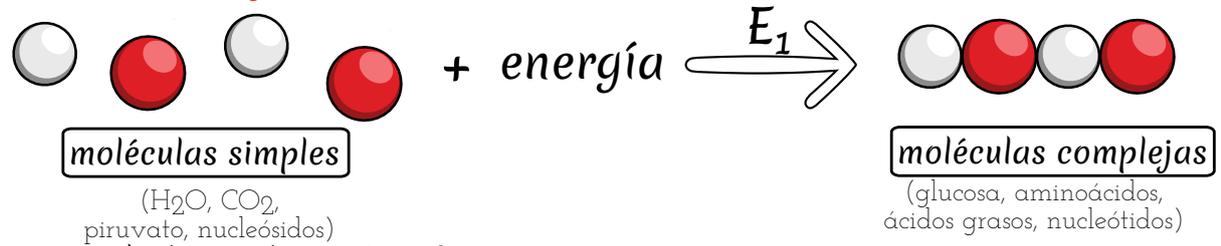
TIPOS de ANATABOLISMOS, según fuente de materia, energía y electrones.

| TIPO de ANABOLISMO | FUENTE de MATERIA | FUENTE de ENERGÍA | FUENTE de ELECTRONES |
|---|----------------------------------|---|---|
| Plantas Anabolismo de FOTOAUTÓTROFO Cianobacterias Bacterias fotosintéticas Algas | CARBONO (CO ₂) | LUZ SOLAR (fotones) | BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS (H ₂ O o H ₂ S) |
| Anabolismo de QUIMIOAUTÓTROFO Bacterias fotosintéticas | CARBONO (CO ₂) | ENERGÍA QUÍMICA (proviene reacciones exergónicas) | BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS (H ₂ , Fe, NH ₃ , NH ₄ o S) |
| Hongos Anabolismo de QUIMIOHETERÓTROFO Bacterias Animales Protocistas | CARBONO (biomoléculas orgánicas) | ENERGÍA QUÍMICA (proviene reacciones exergónicas) | BIOMOLÉCULAS ORGÁNICAS (¿?) |
| Anabolismo de FOTOHETERÓTROFO Bacterias púrpura | CARBONO (biomoléculas orgánicas) | LUZ SOLAR (fotones) | BIOMOLÉCULAS ORGÁNICAS (carbohidratos, ácidos grasos y alcoholes) |

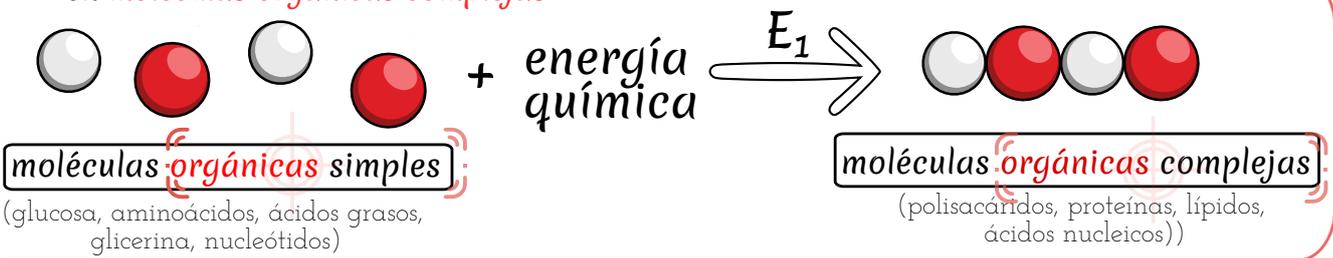
1.2 Rutas anabólicas más importantes

Las rutas anabólicas más importantes son la **síntesis** (reducción) de los **glúcidos** (estudiaremos la glucosa), **reducción** (síntesis) de los **lípidos** (estudiaremos los ácidos grasos), **anabolismo** (reducción) de las **proteínas**. Date cuenta que he utilizado los vocablos degradación, oxidación y catabolismo como sinónimos, pero no los son. ¿Por qué los utilizo? Porque se utilizan para describir una parte en concreto del proceso de anabolismo. Algunas veces nos centramos en la ganancias de electrones y por eso se utiliza reducción; otras veces, nos enfocamos en cómo la biomolécula se construye en dos y utilizamos síntesis; [...]

Anabolismo, une **pequeñas moléculas** y forma **moléculas más grandes** gracias al suministro de **energía**



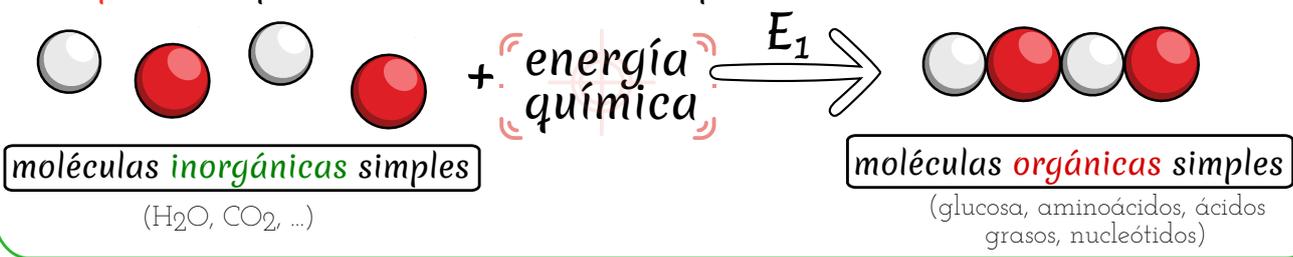
Anabolismo heterótrofo, transforma las **moléculas orgánicas sencillas** en **moléculas orgánicas complejas**



Anabolismo autótrofo, transforma las **moléculas inorgánicas** en **moléculas orgánicas sencillas**



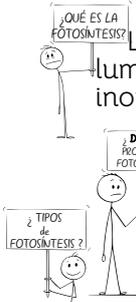
Anabolismo autótrofo quimiosintético (quimiosíntesis), transforma las **moléculas inorgánicas** en **moléculas orgánicas sencillas** gracias a la **energía química** desprendidas en **otras** reacciones químicas



Anabolismo autótrofo fotosintético (fotosíntesis), transforma las **moléculas inorgánicas** en **moléculas orgánicas sencillas** gracias a la **energía solar**.



2 Anabolismo AUTÓTROFO



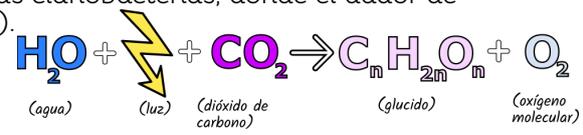
La **fotosíntesis** (del griego foto, 'luz', syntesis, 'fabricar') es un proceso anabólico cuya función es convertir la energía luminosa en energía química, la cual se emplea para sintetizar moléculas orgánicas a partir de compuestos inorgánicos. Esquemáticamente quedaría así: $CO_2 + H_2O + luz = C_nH_{2n}O_n + O_2$

La fotosíntesis la realizan los organismos fotoautótrofos gracias a los orgánulos **cloroplastos**, en las **células vegetales** y **cianobacterias**; y los **clorosomas** (= un complejo de antena fotosintético) en las **bacterias**.

La fotosíntesis se clasifica, según haya o no oxígeno, en: la fotosíntesis oxigénica y anoxigénica.

➤ La **fotosíntesis anoxigénica** o **bacteriana**. La realizan las bacterias purpúreas y verdes del azufre, en las que el dador de electrones es el sulfuro de hidrógeno (H_2S), y consecuentemente, el elemento químico liberado no será oxígeno (O_2), sino azufre (S), que puede ser acumulado en el interior de la bacteria, o en su defecto, expulsado al agua.

➤ La **fotosíntesis oxigénica** propia de las plantas superiores, las algas y las cianobacterias, donde el dador de electrones es el agua y, como consecuencia, se desprende oxígeno (O_2).



2.1 Fotosíntesis oxigénica

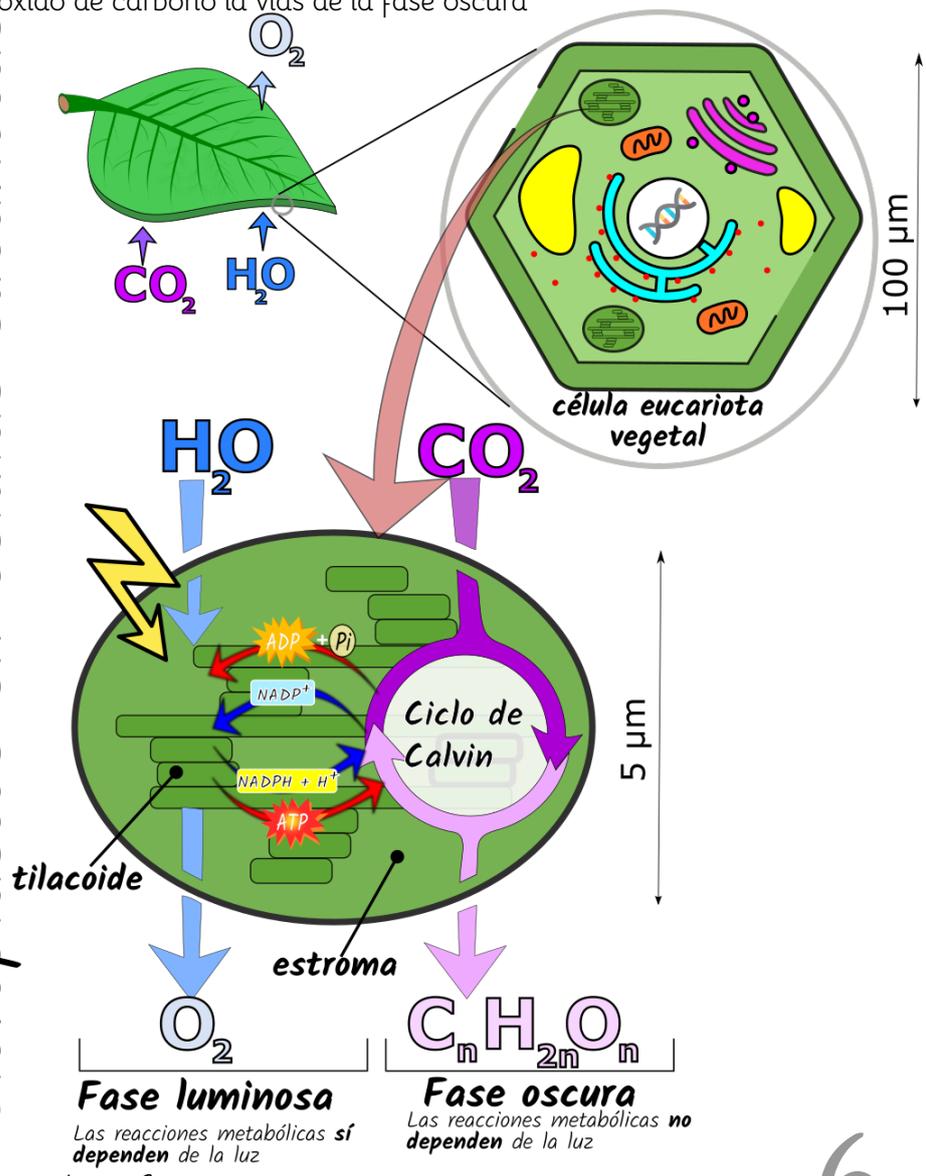
La **fotosíntesis oxigénica** es un conjunto de reacciones que se pueden agrupar, atendiendo a su dependencia o no a la luz, en dos fases encadenadas: (1) Fase luminosa o fotoquímica (dependiente de la luz) y (2) fase oscura o biosintética (independiente de la luz). Vamos a explicar lo que ocurre en las plantas

El dióxido de carbono (CO_2) y el agua (H_2O) al entrar por los estomas se dirigen a los cloroplastos de las células vegetales. Ambos entran dentro del cloroplasto (estamos en el estroma), pero cada uno tomará dos vías distintas: el agua seguirá la vías de la fase luminosa y el dióxido de carbono la vías de la fase oscura

➤ La **fase luminosa** o **fotoquímica** (dependiente de la luz) es el primer conjunto de reacciones fotoquímicas, que son dependientes de la luz y que tienen lugar en la membranas tilacoides de los cloroplastos. Los protagonistas de esta fase van a ser el agua y el sol.

➤ La **fase oscura** o **biosintética** (independiente de la luz) es el segundo conjunto de reacciones bioquímicas, que son independientes de la luz y tienen lugar en el estroma de los cloroplastos. Los protagonistas de esta fase van a ser el dióxido de carbono y ATP.

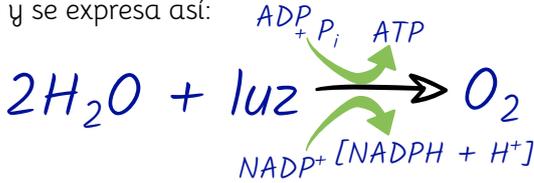
Cloroplastos en células eucariotas



2.1.1 Fase luminosa o fotoquímica (dependiente de la luz) [en el tilacoide del cloroplasto]

¿QUÉ ES LA FASE LUMINOSA O FOTOQUÍMICA?

La **fase luminosa o fotoquímica** es el primer conjunto de reacciones fotoquímicas, que son dependientes de la luz y tienen lugar en el estroma de los cloroplastos. Estas reacciones transforman la **energía luminica** en **energía eléctrica** y ésta en **energía química** que se acumula en los enlaces químicos en forma de **ATP** y **[NADH+H⁺]**. Dicho de otra manera, la energía del sol arranca los electrones de las moléculas y genera un flujo de electrones, que recorre una secuencia de proteínas encadenadas liberando energía que sirve para bombear protones, los cuales se utilizan para fabricar ATP. Gráficamente se resume y se expresa así:



ETAPAS de la FASE LUMINOSA

Hay dos tipos rutas distintas a lo largo de la cadena de proteínas en la membrana plasmática.

➔ la **etapa luminosa acíclica** o transporte en Z ocurren cinco procesos: (1) la transformación de la **energía luminosa** en **energía eléctrica**, (2) la **potólisis del agua**, (3) **bombear de protones del estroma al lumen** (4) la **fotorreducción del NADP⁺ a [NADPH+H⁺]** y (5) la **fotofosforilación del ADP a ATP**. Esta etapa, para un mejor estudio y comprensión, se divide en tres subetapas:

- ➔ **etapa acíclica del fotosistema II**,
- ➔ **etapa acíclica del fotosistema I** y
- ➔ **etapa acíclica síntesis de ATP**

➔ la **etapa luminosa cíclica** o transporte en D ocurren tres procesos: (1) la transformación de la **energía luminosa** en **energía eléctrica**, (2) **bombear de protones del lumen al estroma** y (3) la **fotofosforilación del ADP a ATP**.

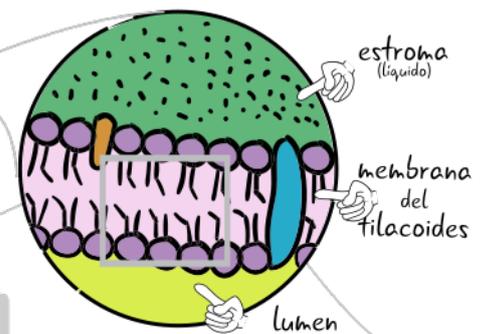
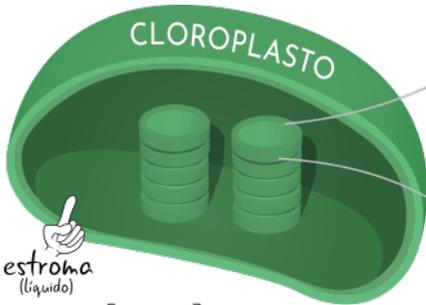
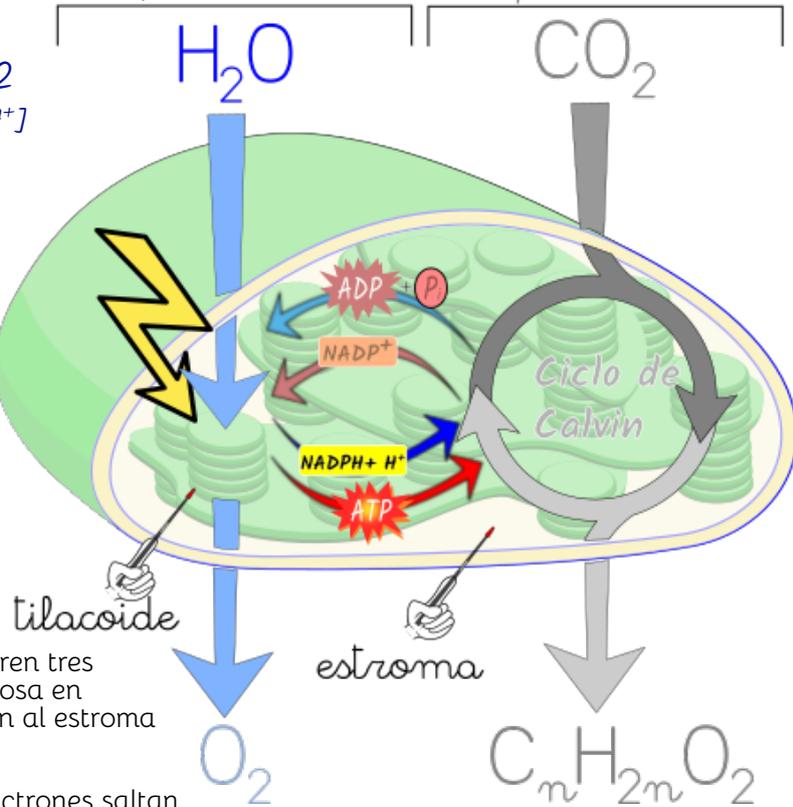
Ambas rutas tienen en común, que cuando los electrones saltan de unas moléculas a otras, se libera energía. Parte de esa energía se utiliza para bombear protones de un lado de la membrana hacia el otro. Vamos a estudiar en detalle lo que hay en la membrana del tilacoide

Fase luminosa

Las reacciones metabólicas sí dependen de la luz

Fase oscura

Las reacciones metabólicas no dependen de la luz



El **citocromo b6f** es un complejo enzimático que (1) transporta de electrones entre la **plastoquinona** y la **plastocianina** y (2) transfiere protones del estroma al lumen.

PLASTOQUINONA (isoprenoide) **CITOCROMO b6f** (enzima) **FEREDOXINA** (proteína) **NADP⁺ REDUCTASA** (enzima)

PS II (P680⁺) **Cit b6f** **PS I** (P700⁺) **NADP⁺ REDUCTASA**

FOTOSISTEMA I (complejo de proteínas + cofactores) **PLASTOCIANINA** (proteína) **FOTOSISTEMA II** (complejo de proteínas + cofactores) **ATP (proteína) SINTASA**

El **fotosistema II** es un complejo proteico que captura la energía de la luz solar (longitud de onda igual o inferior a 680 nm), la transforma en energía eléctrica, le quita electrones a la molécula de agua y transporta los electrones.

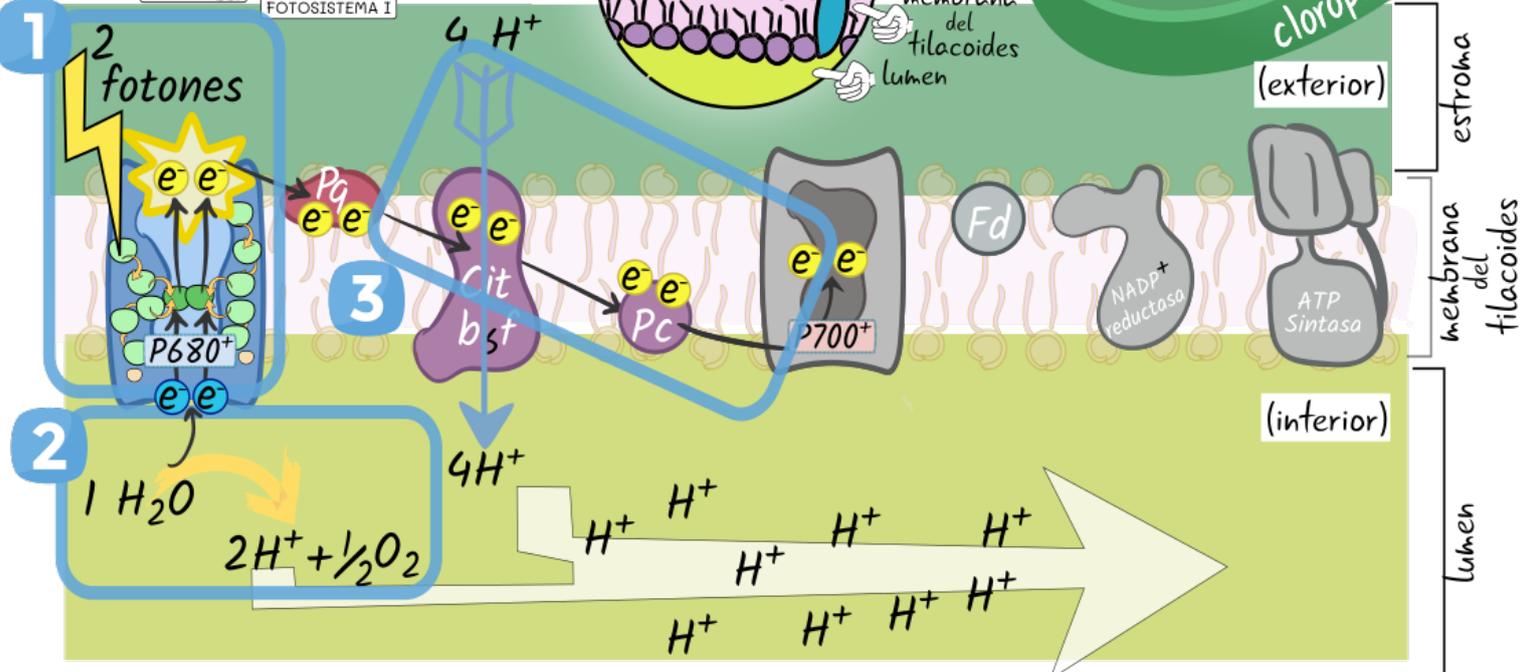
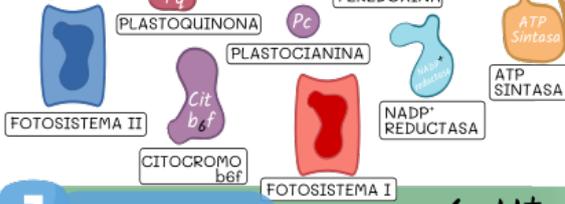
El **fotosistema I** es un complejo proteico que captura la energía de la luz solar (longitud de onda igual o inferior a 700 nm), la transforma en energía eléctrica y transporta los electrones.



A continuación, se muestra una imagen de todo lo que ocurre en la fase luminosa acíclica del fotosistema II. En los recuadros de abajo te explico lo que ocurre en cada etapa.

Fase luminosa acíclica del PS II

Leyenda:

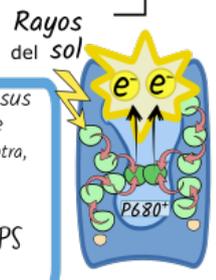


ETAPA LUMINOSA ACÍCLICA del FOTOSISTEMA II

CONVERTIR LA ENERGÍA LUMÍNICA del SOL en ENERGÍA ELÉCTRICA en el PS II

1 Los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, la clorofila b y los carotenoides) del anillo del fotosistema II absorben fotones de luz y excitan a sus electrones, los cuales pasan a un nivel de energía superior. Cuando estos electrones vuelven a su estado normal, desprende otro tipo de energía lumínica, la cual se transfiere (**transferencia de energía por resonancia**, la energía puede saltar de una molécula a otra, siempre que estén lo suficientemente cerca una de la otra) de un pigmento antena a otro pigmento antena vecino hasta llegar a la clorofila a diana o par P678+, que se oxida y pierde dos electrones.

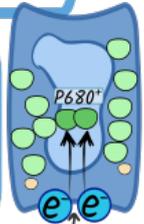
Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: La clorofila a diana del centro de reacción del PS II se oxida y pierde dos electrones debido a la energía de los fotones del sol.



2 REPONER LOS ELECTRONES PERDIDOS por la CLOROFILA DIANA del PS II

La clorofila a diana o par P678+ recupera los electrones perdidos, porque el agua se los da. ¿Cómo ocurre esto? El agua es oxidada por la enzima deshidrogenasa del agua, que contiene manganeso e ión calcio. Lo que hace la enzima es coger dos moléculas de agua y romperla, generándose oxígeno molecular gaseoso, cuatro protones y 4 electrones (nosotros vamos a razonar como si fuese una molécula de agua que al romperse se forma 1/2 oxígeno molecular gaseoso, 2 protones y 2 electrones).

Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: La enzima deshidrogenasa rompe la molécula de agua y genera oxígeno molecular, protones y electrones.

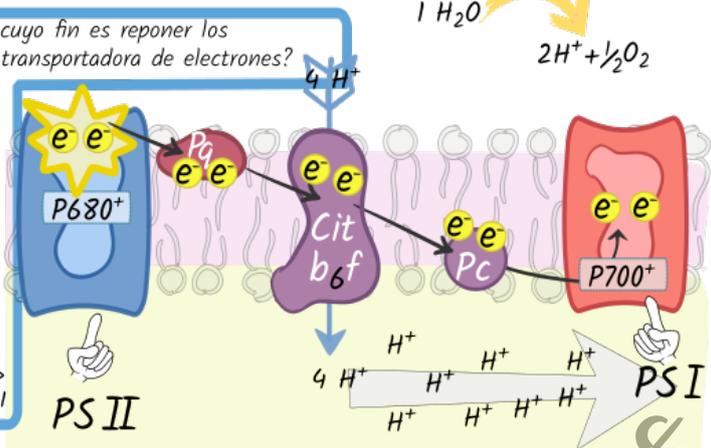
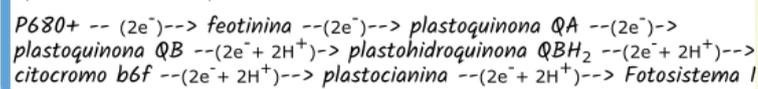


3 TRANSPORTAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA del PS II al PSI

Los electrones del PS II pasan a la cadena transportadora de electrones, cuyo fin es reponer los electrones perdidos por la clorofila a del PS I. ¿Cómo funciona la cadena transportadora de electrones?

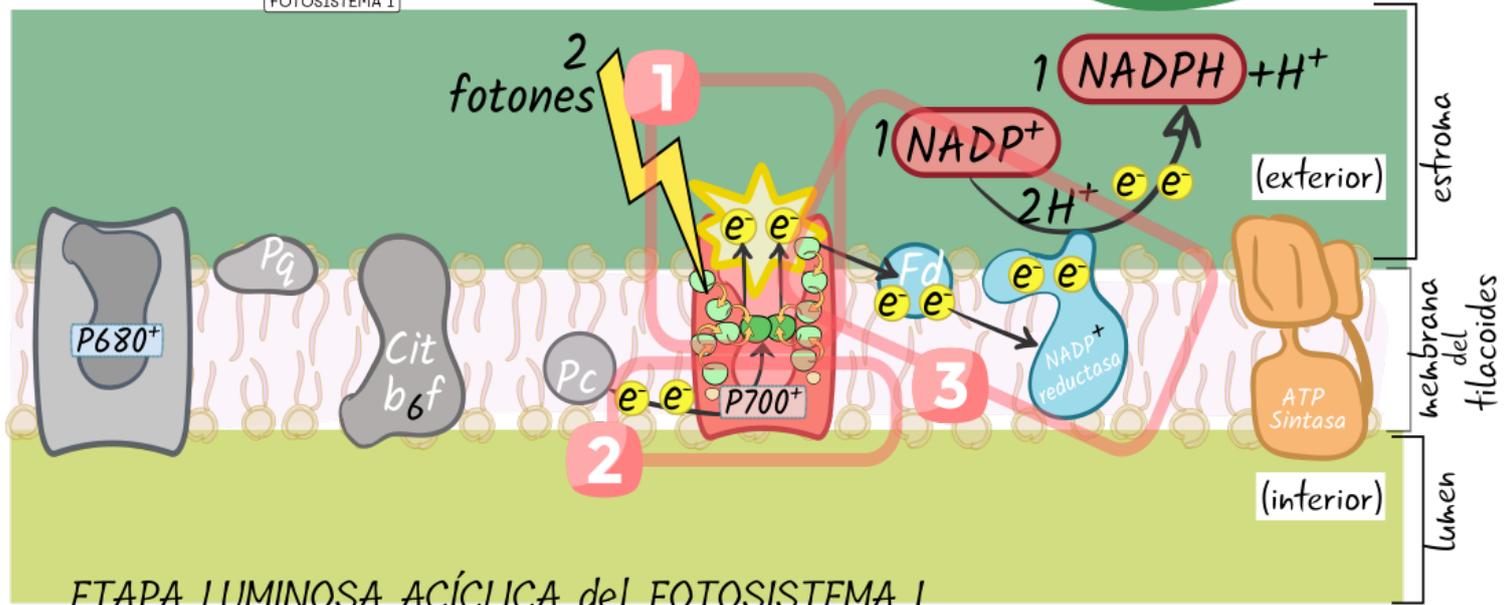
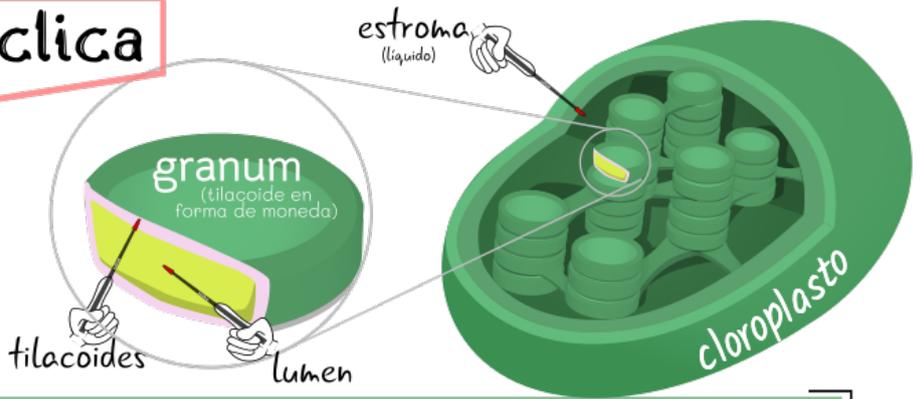
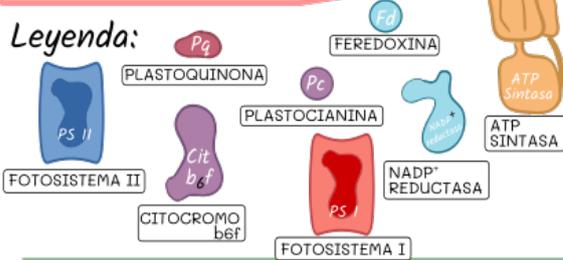
La clorofila a diana del PSII cede / dona los dos electrones a la plastoquinona (Pq), la cual los dona al citocromo b6f (Cit b6f). El cit b6f al ceder los electrones al plastocianina (Pc) bombea 4 protones del estroma al lumen. A continuación, la plastocianina que pasa los electrones al fotosistema PS I.

Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: Los electrones del PS II pasan a la cadena transportadora de electrones hasta llegar al PSI liberando algo de energía que permite bombear protones del estroma al lumen.



A continuación, se muestra una imagen de todo lo que ocurre en la fase luminosa acíclica del fotosistema I. En los recuadros de abajo te explico lo que ocurre en cada etapa.

Fase luminosa acíclica del PS I



ETAPA LUMINOSA ACÍCLICA del FOTOSISTEMA I

- 1** CONVERTIR LA ENERGÍA LUMÍNICA del SOL en ENERGÍA QUÍMICA en el PS I

Los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, la clorofila b y los carotenoides) del anillo del fotosistema I absorben fotones de luz y excitan a sus electrones, los cuales pasan a un nivel de energía superior. Cuando estos electrones vuelven a su estado normal, desprende otro tipo de energía lumínica, la cual se transfiere (**transferencia de energía por resonancia**, la energía puede saltar de una molécula a otra, siempre que estén lo suficientemente cerca una de la otra) de un pigmento antena a otro pigmento antena vecino hasta llegar a la clorofila diana o par P700⁺, que se oxida y pierde dos electrones.

Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: La clorofila diana del centro de reacción del PS I se oxida y pierde dos electrones debido a la energía de los fotones del sol.
- 2** REPONER LOS ELECTRONES PERDIDOS por la CLOROFILA DIANA del PS I

La clorofila a diana o par P700⁺ recupera los electrones perdidos, porque la plastocianina se los da. ¿Cómo ocurre esto? Los electrones generados en el PS II siguen la cadena transportadora de electrones del PS II, cuyo último aceptor repone los electrones perdidos en el PS I

Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: El PS II suministra dos electrones al PSI y repone los electrones perdidos por la clorofila diana del PSI.
- 3** TRANSPORTAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA del PS I al NADP⁺ reductasa

Los electrones del PS I pasan a la cadena transportadora de electrones, cuyo fin es generar NADPH+H⁺ que ocurre en el estroma ¿Cómo funciona la cadena transportadora de electrones en esta etapa?

La clorofila diana del PSI cede / dona los dos electrones a ferredoxina, ésta dona los electrones a la NADP⁺ reductasa, que reduce el NADP⁺ a NADPH+H⁺ que queda libre en el estroma.

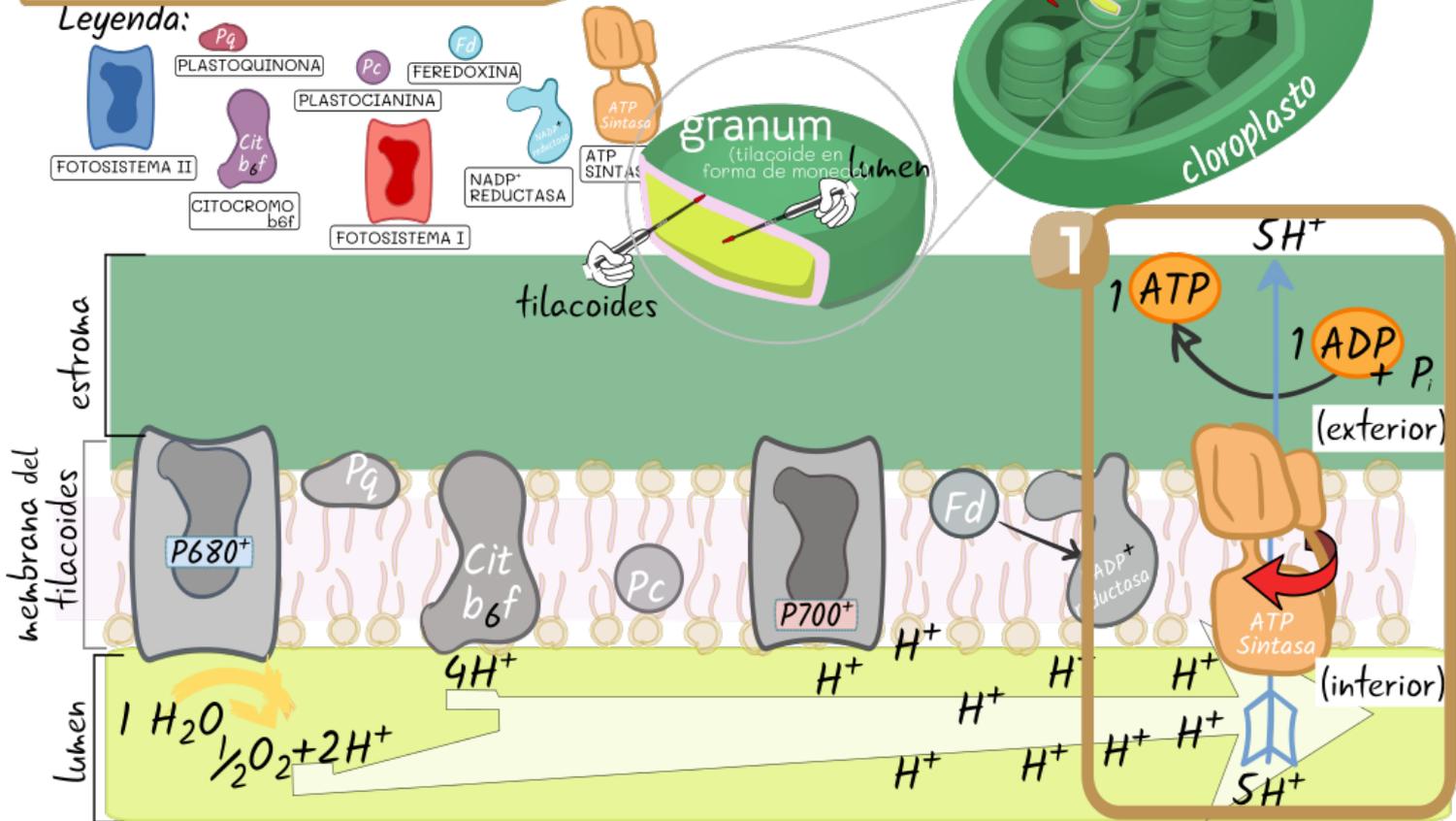
Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: Los electrones del PS II pasan a la cadena transportadora de electrones hasta llegar al NADP⁺ reductasa que los utiliza para reducir el NADP⁺ a NADPH+H⁺ que queda libre en el estroma.

$P700^+ \rightarrow (2e^-) \rightarrow \text{ferredoxina} \rightarrow (2e^-) \rightarrow \text{NADP}^+ \text{ reductasa} \rightarrow (2e^- + 2H^+) \rightarrow \text{NADPH} + H^+$



A continuación, se muestra una imagen de todo lo que ocurre en la fase luminosa acíclica de la ATP sintetasa. En los recuadros de abajo te explico lo que ocurre en cada etapa.

Fase luminosa acíclica del ATP sintetasa

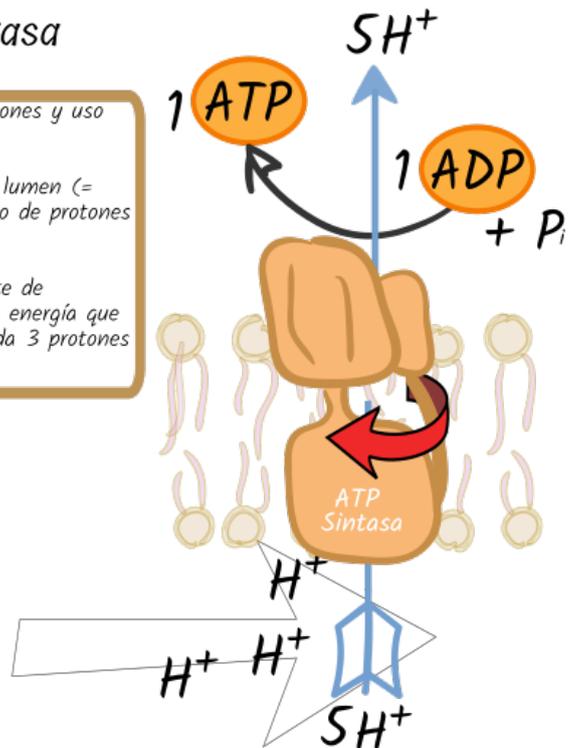


ETAPA LUMINOSA ACÍCLICA del ATP sintetasa

SÍNTESIS del ATP

- La síntesis de ATP ocurre en dos etapas: formación de gradiente de protones y uso de gradiente para sintetizar ATP.

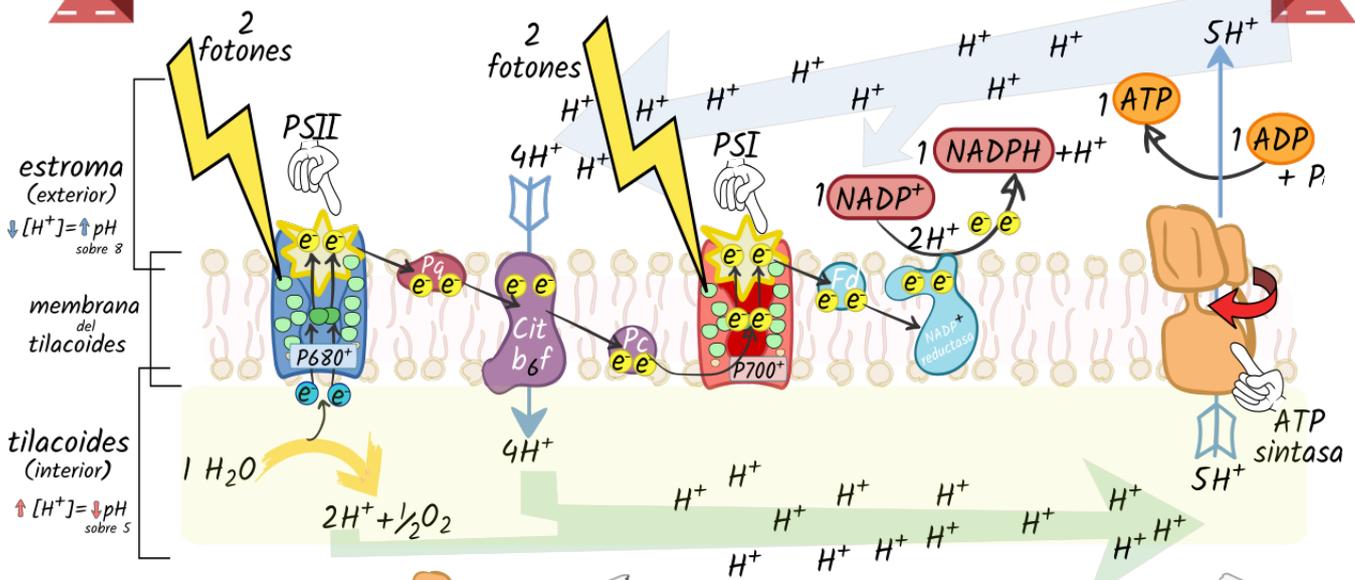
 - Formación del gradiente de protones. Los protones se acumulan en el lumen (= espacio intratilacoidal) debido a la rotura de la molécula de agua y al bombeo de protones del citocromo b₆f
 - Uso de los gradientes para sintetizar ATP. El flujo a favor de gradiente de protones de regreso al estroma a través del complejo ATP sintetasa genera energía que se acumula en enlace químico que une ADP + P_i formando ATP. Por cada 3 protones se forma 1 ATP.



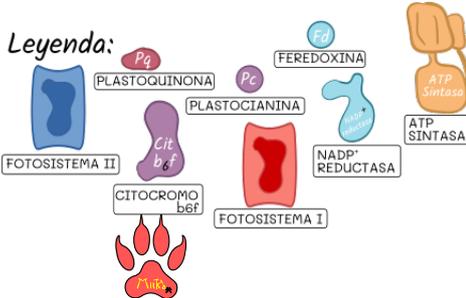


Elabora un resumen que te quepa en este espacio, donde se explique la etapa luminosa acíclica de la fotosíntesis. Nota: El dibujo de abajo apoya tu explicación

Fase luminosa acíclica (transporte en Z)



Legenda:

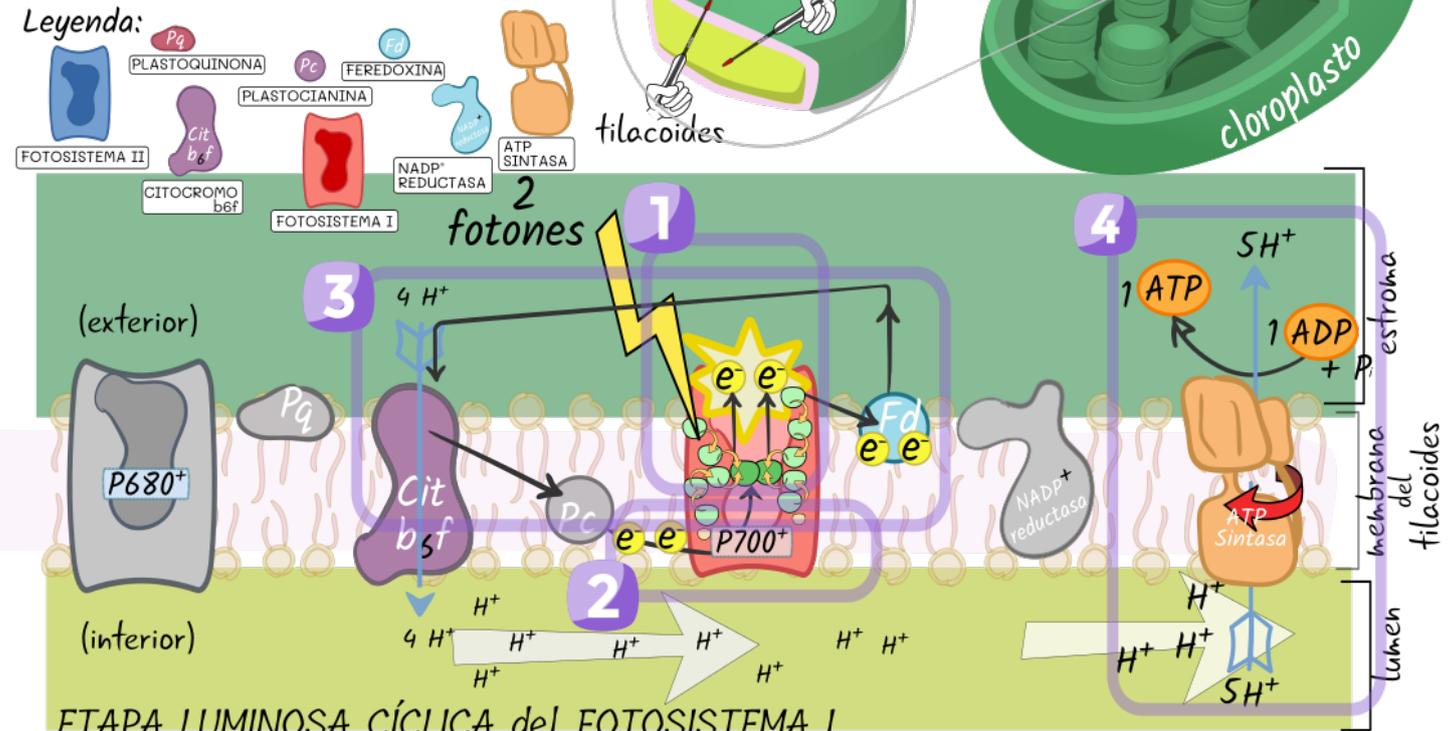


Ten en cuenta que ...

- Los números romanos de cada fotosistema hace referencia al orden en el que fueron descubiertos y no a que se dé uno primero y luego el otro después (lo normal es empezar por el II y luego pasar al I)
- El electrón que es arrancado del fotosistema I es repuesto por los electrones que vienen del fotosistema II (fase acíclica).
- El ATP sintasa funciona como un molino de agua, al pasar un flujo de protones por ella, permite fabricar ATP a partir de ADP + Pi.

A continuación, se muestra una imagen de todo lo que ocurre en la fase luminosa cíclica del fotosistema I. En los recuadros de abajo te explico lo que ocurre en cada etapa.

Fase luminosa cíclica del PS I



ETAPA LUMINOSA CÍCLICA del FOTOSISTEMA I

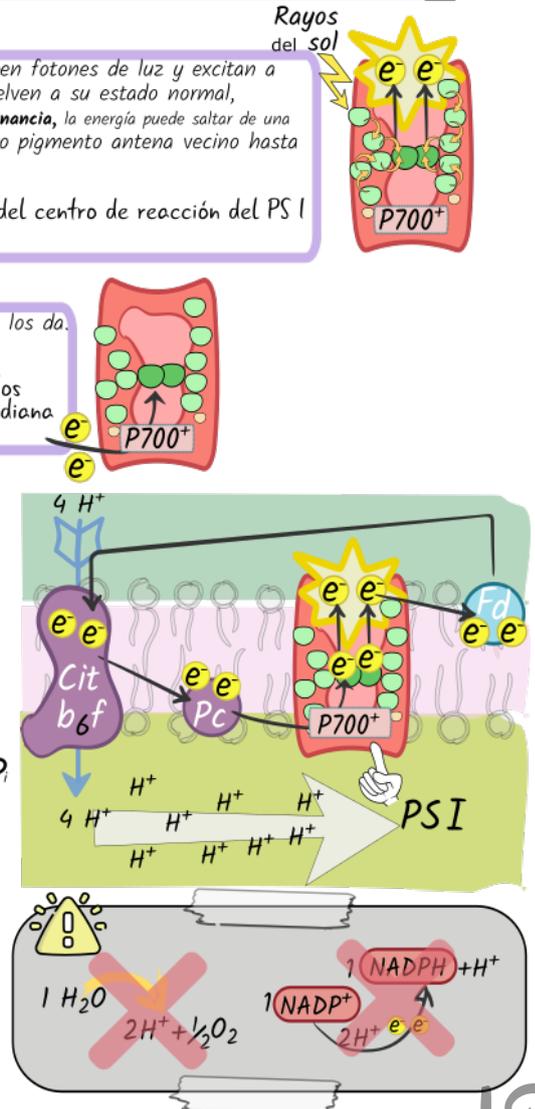
1 CONVERTIR LA ENERGÍA LUMÍNICA del SOL en ENERGÍA QUÍMICA en el PS I
 Los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, la clorofila b y los carotenoides) del anillo del fotosistema I absorben fotones de luz y excitan a sus electrones, los cuales pasan a un nivel de energía superior. Cuando estos electrones vuelven a su estado normal, desprende otro tipo de energía lumínica, la cual se transfiere (transferencia de energía por resonancia, la energía puede saltar de una molécula a otra, siempre que estén lo suficientemente cerca una de la otra) de un pigmento antena a otro pigmento antena vecino hasta llegar a la clorofila diana o par P700+, que se oxida y pierde dos electrones.
 Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: La clorofila diana del centro de reacción del PS I se oxida y pierde dos electrones debido a la energía de los fotones del sol.

2 REPONER LOS ELECTRONES PERDIDOS por la CLOROFILA DIANA del PS I
 La clorofila a diana o par P700+ recupera los electrones perdidos, porque la plastocianina se los da. ¿Cómo ocurre esto? Los electrones generados en el PS I vuelven otra vez.
 Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: El PS I suministra dos electrones al PSI de manera cíclica y repone los electrones perdidos por la clorofila diana del PSI.

3 TRANSPORTAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA del PS I de manera cíclica
 La clorofila diana del PSI cede / dona los dos electrones a ferredoxina, ésta dona los electrones a al citocromo b6/f que al recibirlos hace dos cosas: (1) bombear protones del estroma al lumen y (2) transferir los electrones a la plastocianina que a su vez le devuelve los electrones al fotosistema I que los recupera

$$P700+ \text{ -- } (2e^-) \text{ --> ferredoxina -- } (2e^-) \text{ --> citocrom b6/f ---- } (2e^-) \text{ --> P700+ } SH^+$$

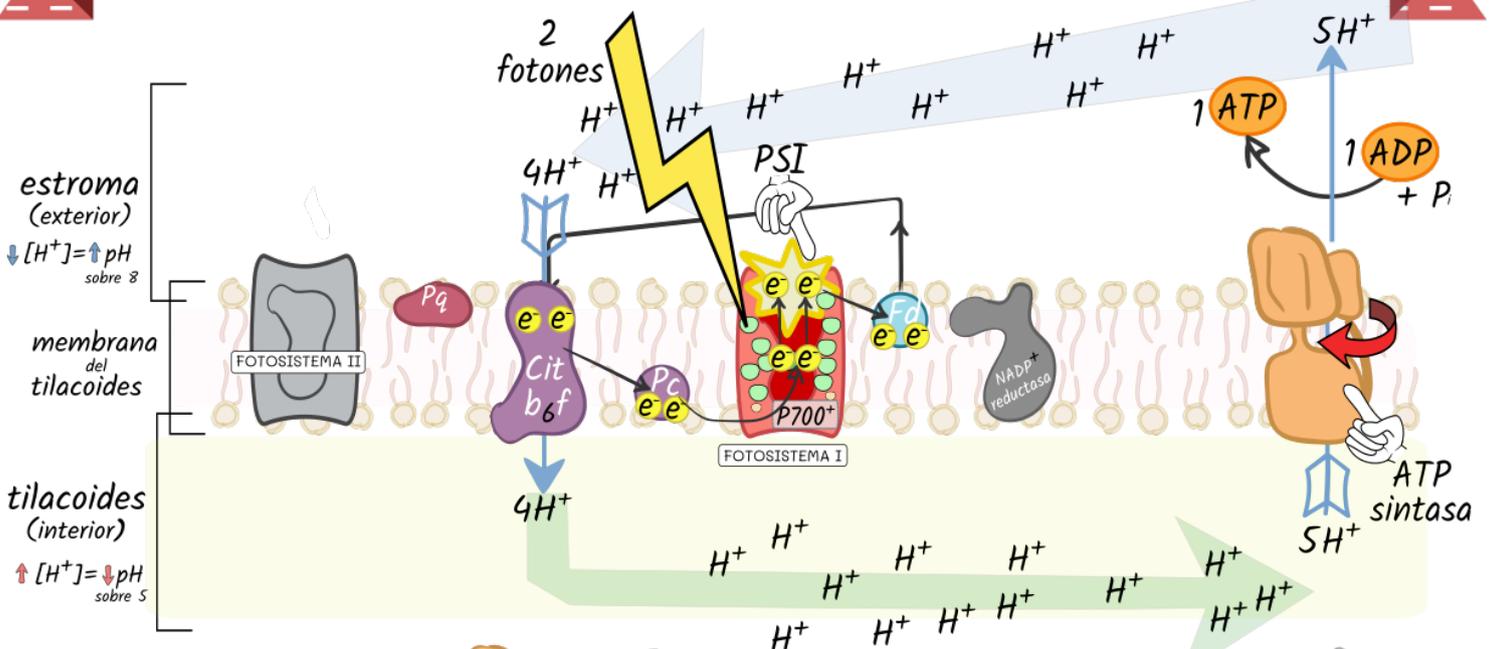
4 SÍNTESIS del ATP
 La síntesis de ATP ocurre en dos etapas: formación de gradiente de protones y uso de gradiente para sintetizar ATP.
 · Formación del gradiente de protones. Los protones se acumulan en el lumen (= espacio intratilacoidal) debido a la fotólisis del agua y el bombeo de protones del citocromo b6/f
 · Uso de los gradientes para sintetizar ATP. El flujo a favor de gradiente de protones de regreso al estroma a través del complejo ATP sintasa genera energía que se acumula en enlace químico que une ADP + Pi formando ATP. Por cada 3 protones se forma 1 ATP.



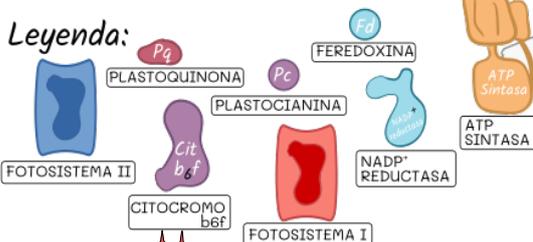


Elabora un resumen que te quepa en este espacio, donde se explique la etapa luminosa acíclica de la fotosíntesis. Nota: El dibujo de abajo apoya tu explicación

Fase luminosa cíclica (transporte en D)



Legenda:



Ten en cuenta que ...

- El electrón que es arrancado del fotosistema I es repuesto por los electrones que vienen del propio fotosistema I (por eso recibe el nombre de fase cíclica)
- El ATP sintasa funciona como un molino de agua, al pasar un flujo de protones por ella, permite fabricar ATP a partir de ADP + Pi.

2.1.2 Fase oscura o biosintética (independiente de la luz) [en el estroma del cloroplasto]

¿QUÉ ES LA FASE OSCURA o BIOSINTÉTICA?

La fase oscura o biosintética es el segundo conjunto de reacciones bioquímicas, que son independientes de la luz y tienen lugar en el estroma de los cloroplastos. Estas reacciones utilizan el ATP y los nucleótidos reducidos (NADPH+H⁺) para sintetizar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas como dióxido de carbono (CO₂), azufre inorgánico (S) y ácidos nítricos (NO₃).

Nos vamos a centrar en el caso del dióxido de carbono (CO₂), el cual puede transformarse en moléculas orgánicas siguiendo tres vías diferentes según la especie de planta: Vía C₃, C₄ o CAM. Nosotros vamos a estudiar lo que ocurre en la vía C₃ o ciclo de Calvin.

Ciclo de Calvin (transformar CO₂ en glucosa)

¿Cómo se genera materia orgánica a partir del CO₂?

EL TIPO de FASE OSCURA más UTILIZADO

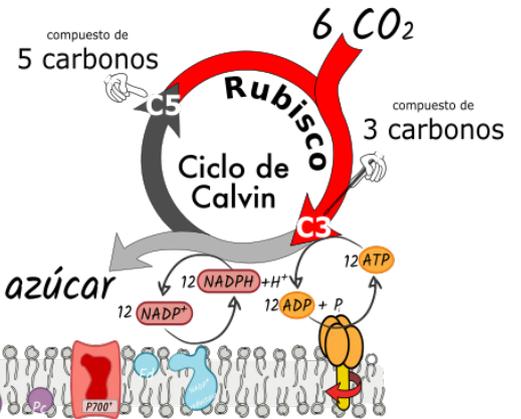
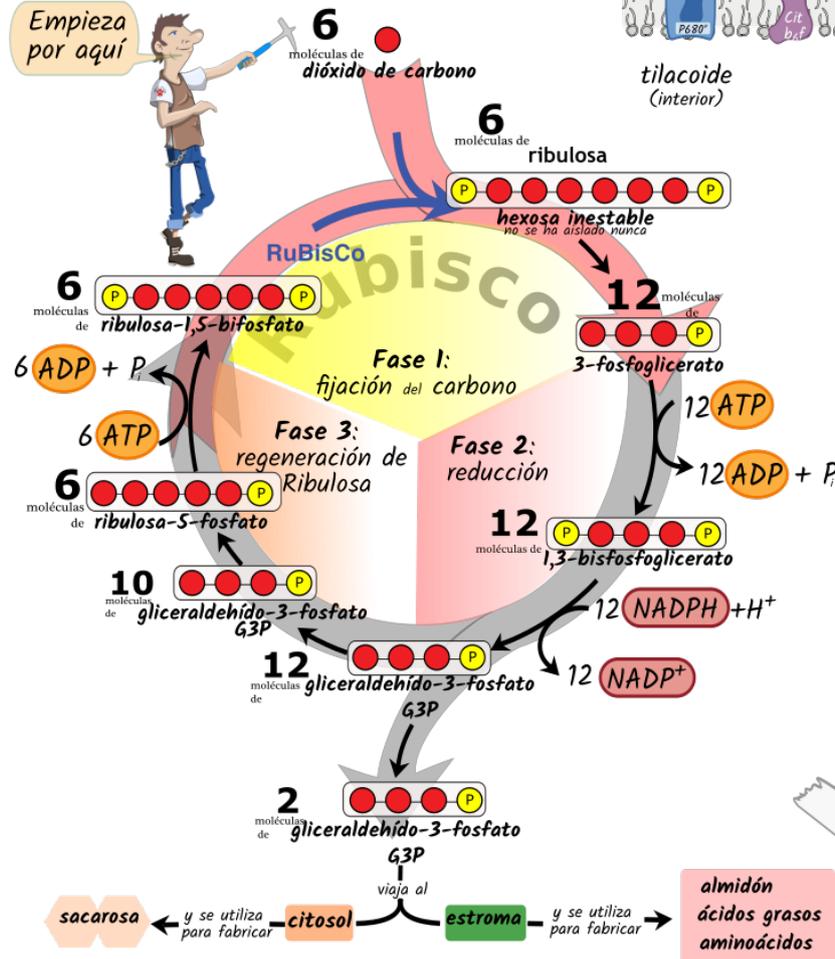
El ciclo de Calvin-Benson-Bassham (o simplemente ciclo de Calvin) es el conjunto de reacciones bioquímicas cíclicas catalizadas por enzimas presentes en el estroma de los cloroplastos que reciben el nombre de vía C₃ (toma el nombre de C₃, porque el primer compuesto estable en formarse es un compuesto de 3 carbonos (fosfoglicerato)).

El ciclo de Calvin, para un mejor estudio y comprensión del mismo, la dividimos en tres fases: (1) fase de la fijación del dióxido de carbono por ribulosa-1, 5-bisfosfato (RuBP); (2) fase de la reducción del CO₂ y (3) fase de la regeneración de RuBP consumida. ¿Qué tipo tipos de organismos autótrofos realizan esta vía? La vía C₃ la realizan las cianobacterias, las algas verdes y el 89 % de las plantas casi todos los árboles (todas las angiospermas) y todos los cultivos agrícolas como arroz, patata, trigo, hortalizas, soja,

Fase oscura

Ciclo de Calvin

Empieza por aquí



¿Dónde ocurre?
en las **planta C₃**

Todas las plantas menos el maíz, cactus, cara de azúcar y hierbas gramíneas

· células eucariotas que tengan cloroplastos, recuerda en el estroma
· células procaríotas que tengan clorosomas

Ten en cuenta que...

- El ATP fabricado en la fase acíclica y cíclica se emplea para transformar el G3P en G3BP y transformar RuP en RuBP
- EL NADPH+H⁺ fabricado en la fase acíclica sirve para transformar el G3BP en G3P
- El G3P puede seguir tres vías:
 - Regeneración de la ribulosa-1,5-fosfato
 - Síntesis de sacarosa (= glucosa + fructosa)
 - Síntesis de almidón, ácidos grasos y aminoácidos



José Manuel Huertas Suárez



3 La FOTOSÍNTESIS en las BACTERIAS 🐾

Las bacterias pueden realizar dos tipos de fotosíntesis: fotosíntesis oxigénica y fotosíntesis anoxigénica

3.1 FOTOSÍNTESIS OXIGÉNICA de las BACTERIAS (cianobacterias)

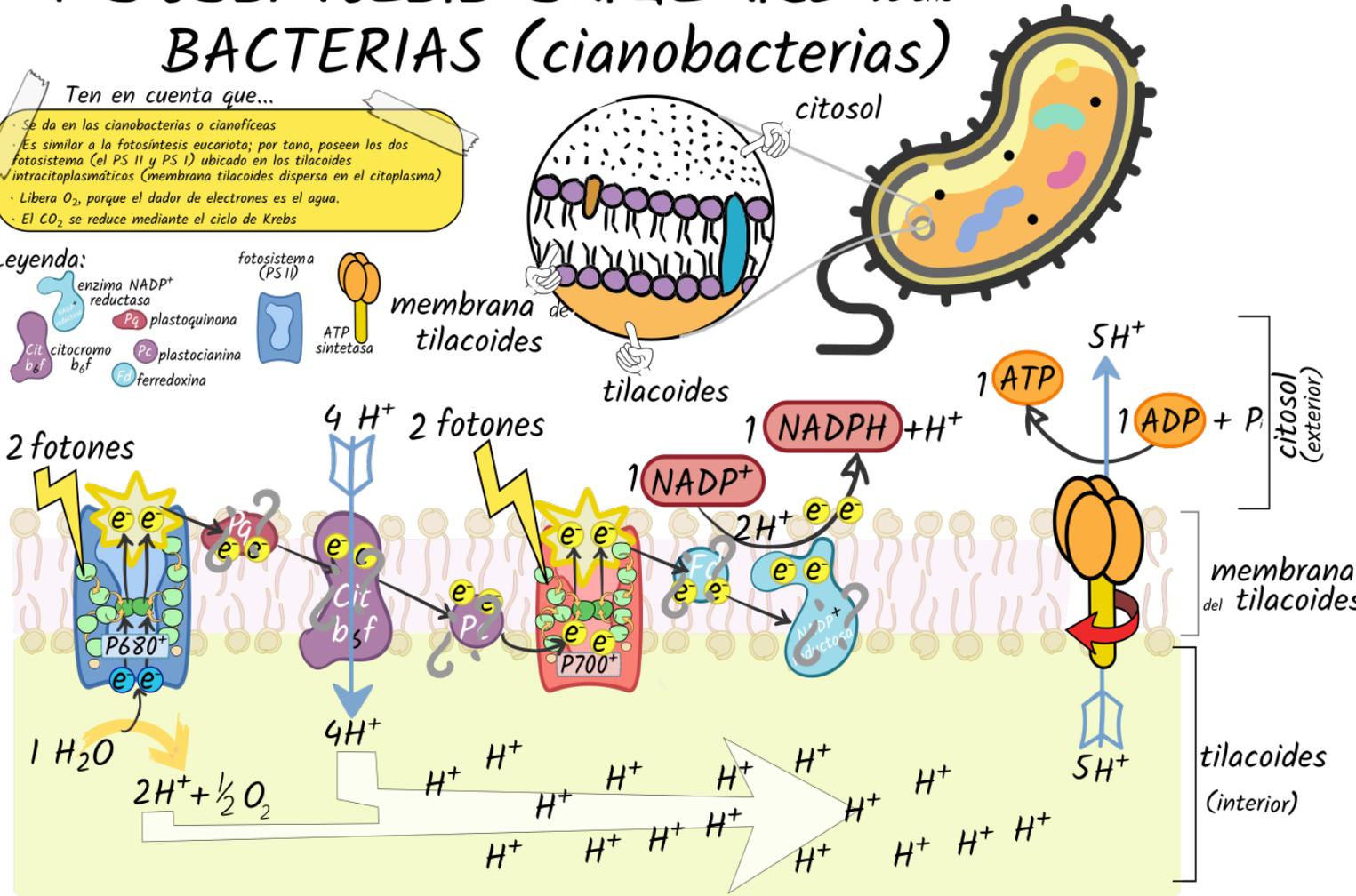
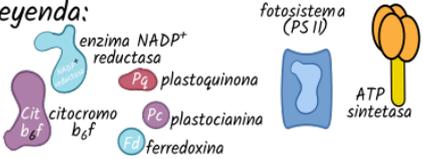
La fotosíntesis oxigénica es un proceso anabólico cuya función es convertir la luz en energía química, la cual se emplea para sintetizar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas generando oxígeno molecular (O₂). La fotosíntesis oxigénica es similar a la fotosíntesis eucariota; por tanto, poseen los dos fotosistemas (el PS II y PS I). La novedad es el lugar donde ocurre, pues estas bacterias tienen un tilacoides intracitoplasmáticos; es decir, tienen una membrana de tilacoides dispersa en el citoplasma

Fotosíntesis oxigénica DE LAS BACTERIAS (cianobacterias)

Ten en cuenta que...

- Se da en las cianobacterias o cianofíceas
- Es similar a la fotosíntesis eucariota; por tanto, poseen los dos fotosistemas (el PS II y PS I) ubicado en los tilacoides intracitoplasmáticos (membrana tilacoides dispersa en el citoplasma)
- Libera O₂, porque el dador de electrones es el agua.
- El CO₂ se reduce mediante el ciclo de Krebs

Legenda:



3.2 FOTOSÍNTESIS ANOXIGÉNICA de las BACTERIAS del AZUFRE

La fotosíntesis anoxigénica es un proceso anabólico cuya función es convertir la luz en energía química, la cual se emplea para sintetizar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas generando azufre (S). El dador de electrones es el sulfuro de hidrógeno (H₂S). La fotosíntesis anoxigénica ocurre en la membrana plasmática de las células procariotas y solo hay un tipo de fotosistema: el fotosistema I; o bien, el fotosistema II nunca los dos juntos.

4 La IMPORTANCIA de La FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es importante por las siguientes razones: sustento de la cadena trófica, mantiene los niveles de oxígeno atmosférico, forma y mantiene la capa de ozono, mantiene los niveles de CO₂ atmosféricos y es el origen de los recursos energéticos fósiles (carbón, petróleo y gas natural).

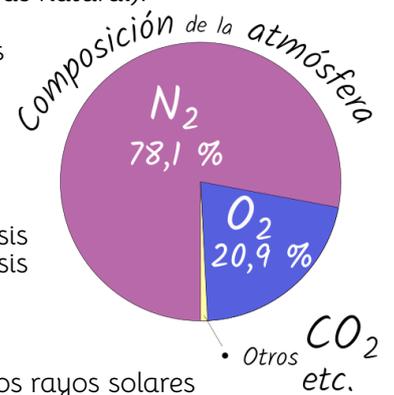
➤ Mantiene los niveles de O₂ constantes en torno al 21 %, pues en la fotosíntesis (fase luminosa acíclica) se libera oxígeno molecular al romper la molécula de agua. Se estima que entre el 50 -80% del oxígeno emitido proviene del fitoplancton (cianobacterias y algas unicelulares). Los seres vivos aeróbicos consumen O₂, el cual es repuesto por organismos fotosintéticos

➤ Mantiene los niveles de CO₂ constante en torno al 1 %; ya que en la fotosíntesis (fase oscura) el CO₂ se transforma en otras moléculas orgánicas. La fotosíntesis consume/ absorbe CO₂, lo que permite que NO se acumule en la atmósfera.

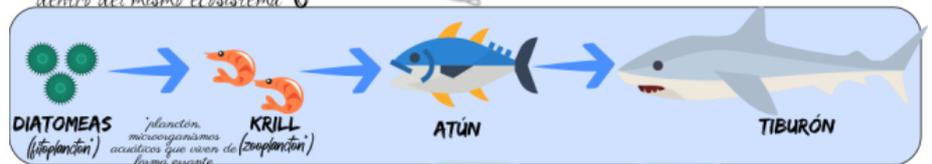
➤ Ha permitido la formación de la capa de ozono (O₃), la cual nos protege de los rayos solares ultravioleta del sol (UVA). El ozono (O₃) surge cuando O₂ + O → O₃ Sabemos que oxígeno molecular (O₂) viene de la fotosíntesis, pero ¿el oxígeno atómico (O) de dónde viene? Pues O₂ + luz → O + O

➤ Los organismos que realizan la fotosíntesis son el primer eslabón de la cadena trófica, pues son los productores de materia orgánica, la cual es consumida por los consumidores primarios. Por ejemplo, el fitoplancton es el primer eslabón de la cadena trófica marina.

➤ Fuente de combustibles fósiles, pues los organismos que realizan la fotosíntesis cuando mueren pueden transformarse en combustibles fósiles como carbón, petróleo y gas natural.



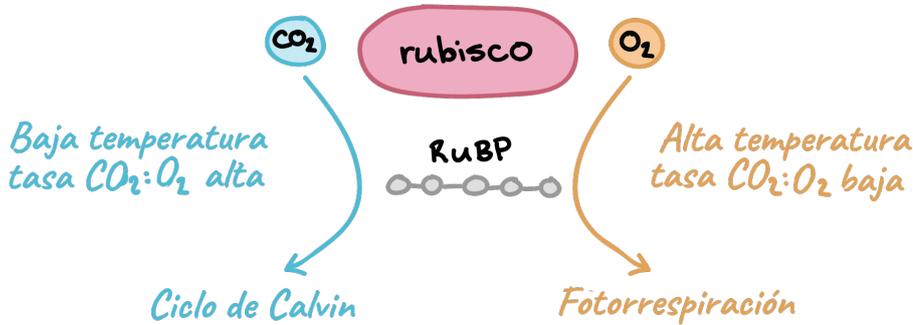
Quién come a quién  dentro del mismo ecosistema 



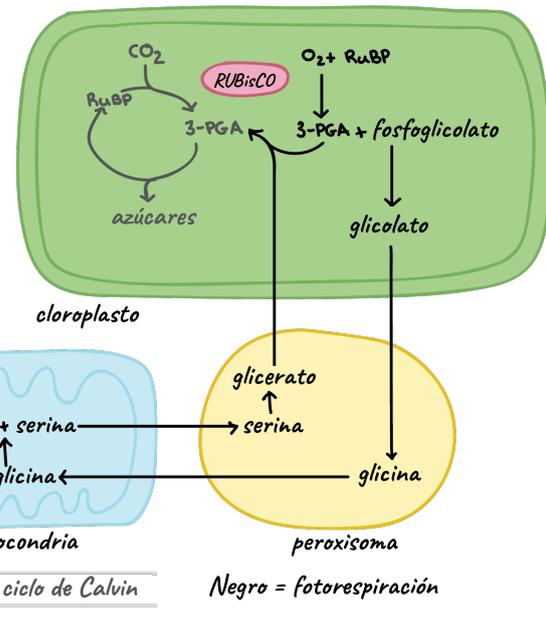
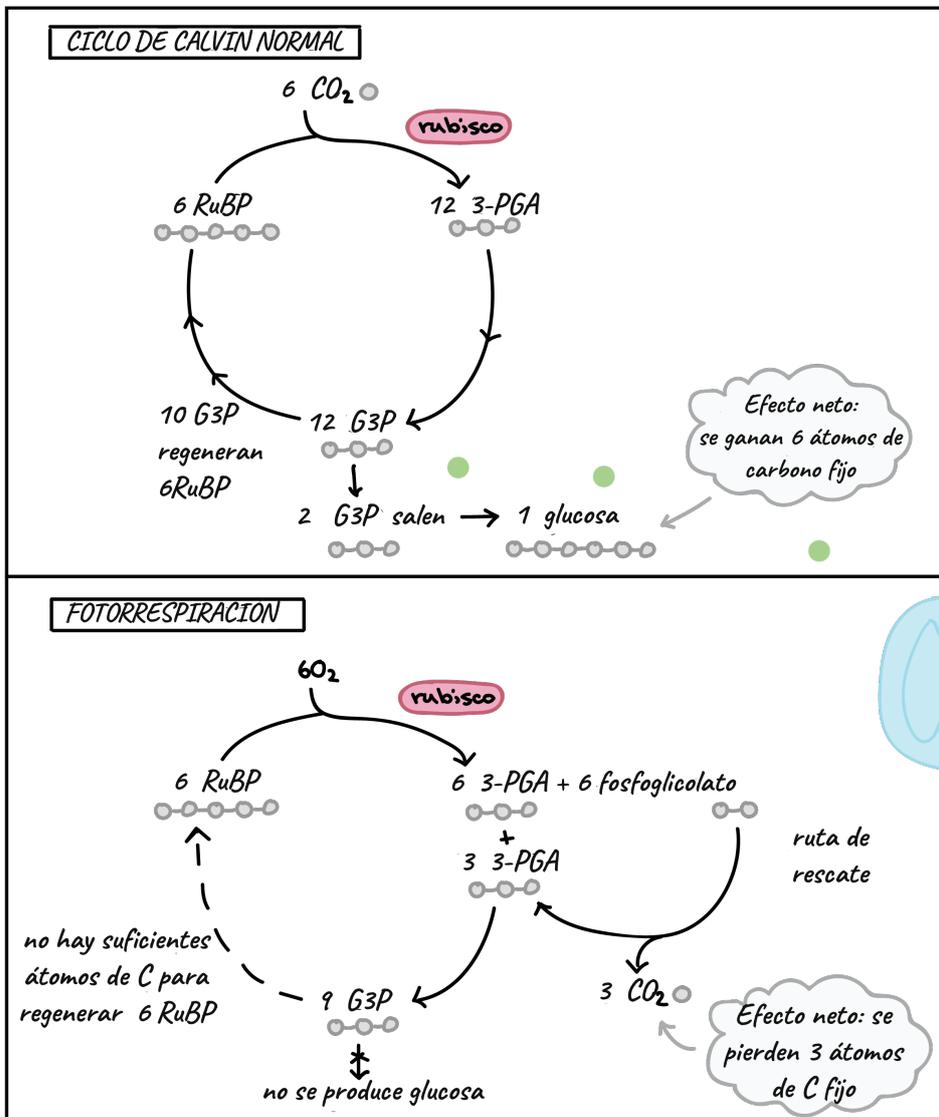
5 La FOTORRESPIRACIÓN

La fotorrespiración es la ruta metabólica de las plantas encargada del procesamiento del 2-fosfoglicolato hasta 3-fosfoglicerato, con una recuperación de carbono de hasta 75%; este proceso ocurre en el mesófilo de la hoja, en presencia de luz, y en donde la concentración de O₂ es alta. Se realiza en plantas C₃ principalmente, y C₄ en menor medida, y necesita de la maquinaria enzimática de 3 orgánulos: el cloroplasto, el peroxisoma y la mitocondria, además del citosol.

El O₂ y el CO₂ compiten por la enzima RuBisCO (= ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/ oxigenasa) ¿Por qué ocurre?



Cuando una planta tiene sus estomas (= poros de las hojas) abiertos, el CO₂ se introduce dentro de la planta y el O₂ y vapor de agua salen; entonces, la fotorrespiración se reduce al mínimo. Sin embargo, cuando una planta cierra sus estomas –por ejemplo, para reducir la pérdida de agua por evaporación– el O₂ de la fotosíntesis se acumula dentro de la hoja. En estas condiciones, la fotorrespiración aumenta debido a la mayor proporción O₂-CO₂.



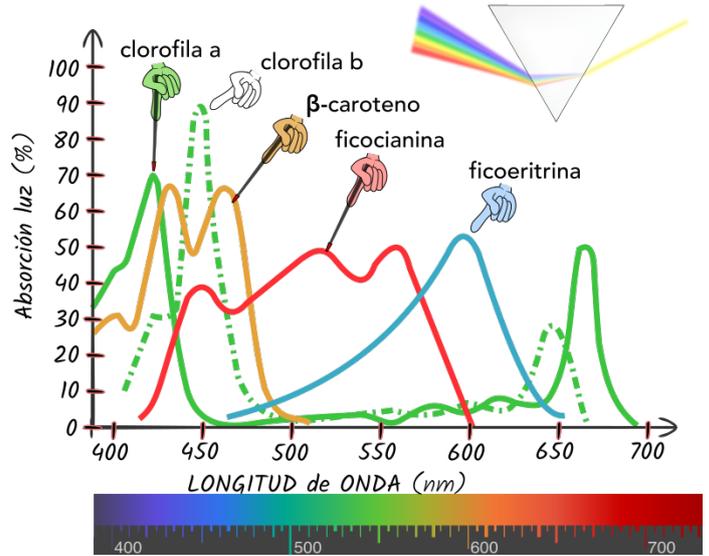
6 Factores que influyen en la intensidad fotosintética

El rendimiento de la fotosíntesis se mide en función del CO₂ consumido o el O₂ producido. El que se consuma o produzca más depende: de la temperatura ambiente, de la longitud de la onda (= color de la luz) y de la cantidad de dióxido de carbono, agua y tiempo de iluminación luz disponible. ¿Por qué hay tantos factores limitantes? Porque la fotosíntesis es un proceso multietapas; es decir, cada factor está relacionado con una parte de la fotosíntesis.

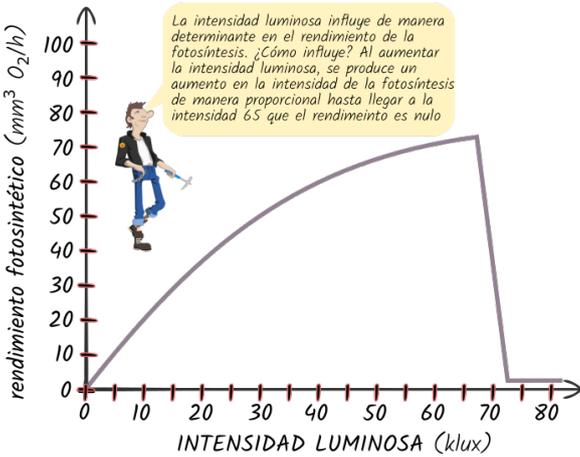
La intensidad luminosa. Cada especie está adaptada a vivir dentro de un intervalo de intensidad de luz (hay especies de penumbra y especies fotoófilas). Independientemente del intervalo, se ha comprobado que a mayor intensidad luminosa, mayor rendimiento fotosintético, hasta superar ciertos límites, en los que se produce la fotooxidación irreversible (pigmentos dejan de ser activos y sin ellos el rendimiento es nulo).

El color de la luz. Cada pigmento fotosintético absorbe una longitud de onda determinada: la clorofila a y b absorben ondas de la región del violeta, azul y rojo; caroteno ondas de la región azul; ficocianina ondas de la región del azul, verde y amarillo y ficoeritrina ondas verdes, amarillas y naranjas.

Influencia de la LONGITUD de ONDA en la fotosíntesis



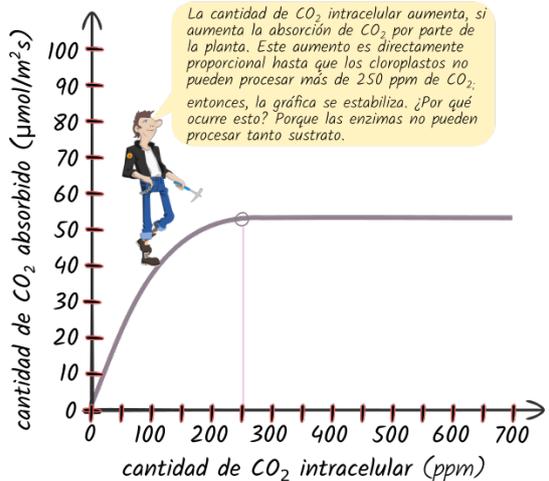
Influencia de la INTENSIDAD LUMINOSA en la fotosíntesis



La concentración de O₂. Cuanto mayor es la concentración de oxígeno, menor es el rendimiento fotosintético, debido a la fotorrespiración.

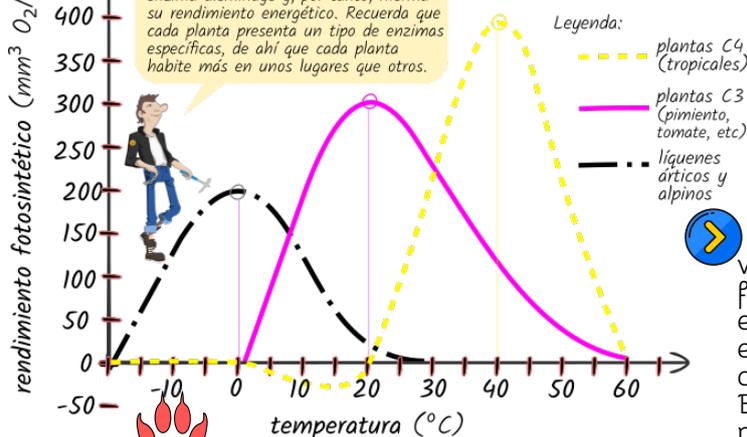
La concentración de CO₂. Si la intensidad luminosa es elevada y constante, el rendimiento del proceso fotosintético aumenta en relación directa con la concentración de CO₂ en el aire, hasta llegar a un valor a partir del cual se estabiliza.

Influencia de la concentración de CO₂ AMBIENTAL en la fotosíntesis



La temperatura. Cada especie presenta unas enzimas características, cada una de las cuales tienen una temperatura óptima de trabajo.

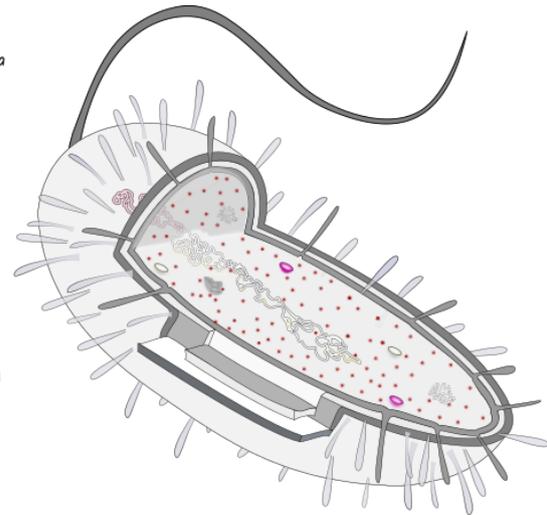
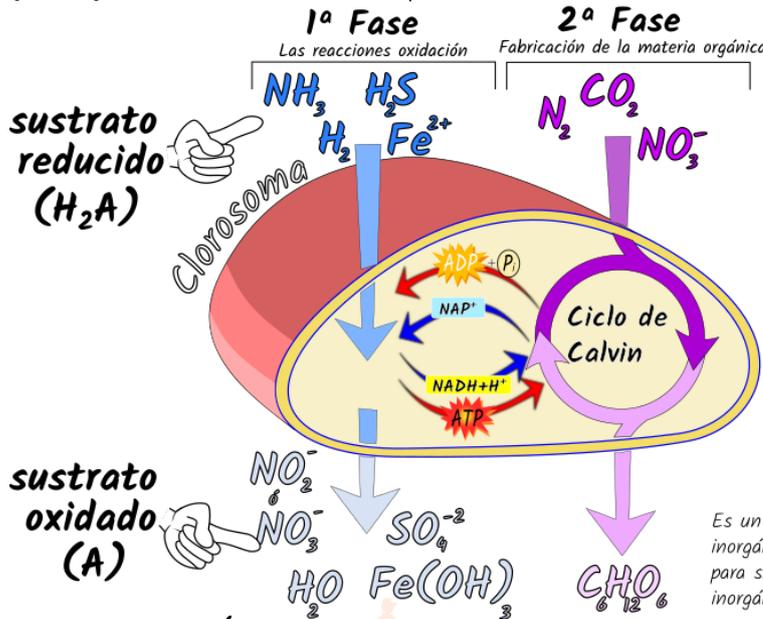
Influencia de la TEMPERATURA AMBIENTAL en la fotosíntesis



La escasez del agua. La escasez del agua en el suelo y de vapor de agua en el aire disminuye el rendimiento fotosintético debido a que, ante la falta de agua, se cierran los estomas para evitar la desecación de la planta, y entonces la entrada de CO₂ se ve dificultada. Además, el aumento de la concentración de oxígeno interno provoca la fotorrespiración. Ello explica que, en estas circunstancias, las plantas C₄ sean más eficaces que las C₃.

7 ANABOLISMO QUIMIOAUTÓTROFO

La quimiosíntesis es un proceso anabólico donde se utiliza la energía desprendida en reacciones exortérmicas (ATP, [NADH+H⁺]) para fabricar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas (CO₂, NO⁻³, SO₂⁻⁴, etc). Este conjunto de reacciones ocurren dentro de los clorosomas (complejo de pigmentos antenas, rodeados por una monocapa galactolípídica) que hay en algunas bacterias) de células procaríotas.



Es un proceso anabólico donde primero se oxidan compuestos inorgánicos para fabricar ATP y NADH+H⁺ y luego se utilizan para sintetizar moléculas orgánicas a partir de compuestos inorgánicos.

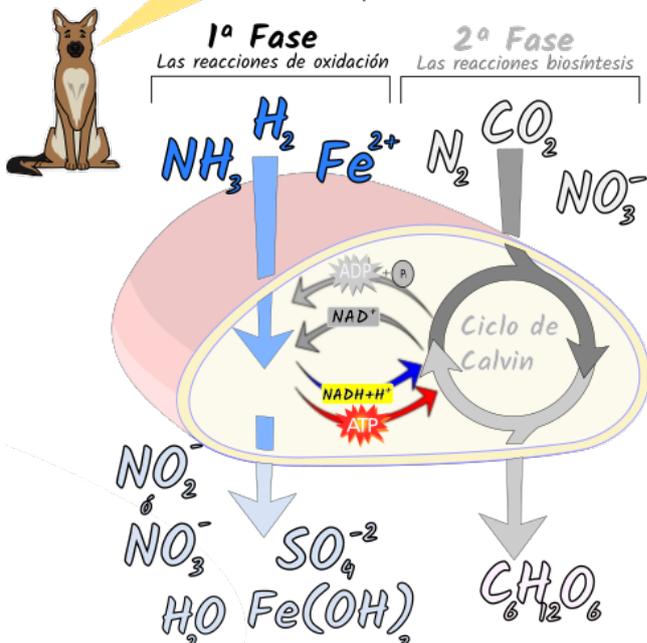
7.1 Las FASES de la QUIMIOSÍNTESIS

En la quimiosíntesis, se pueden distinguir dos fases: la primera en la que se obtiene ATP y la coenzima reducida [NADH+H⁺], y la segunda en la que se emplea el ATP y el [NADH+H⁺] anteriores para sintetizar compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos (CO₂, NO⁻³, SO₂⁻⁴, etc.).

- Primera fase o fase oxidativa: obtención de energía. Se produce la oxidación del sustrato reducido y se obtiene energía en forma de ATP y [NADH+H⁺].
- Segunda fase o fase biosintética: obtención de materia orgánica. Se utiliza el ATP y el [NADH+H⁺] de la fase anterior para la síntesis de materia orgánica a partir de materia inorgánica utilizando el ciclo de Calvin. Por tanto, siguen las mismas vías metabólicas que en la fase oscura de la fotosíntesis. Por ejemplo, el carbono se incorpora a partir de CO₂ mediante el ciclo de Calvin y el nitrógeno lo hace a partir de nitratos. Algunas especies de bacterias incorporan nitrógeno en forma de nitrógeno atmosférico (N₂).

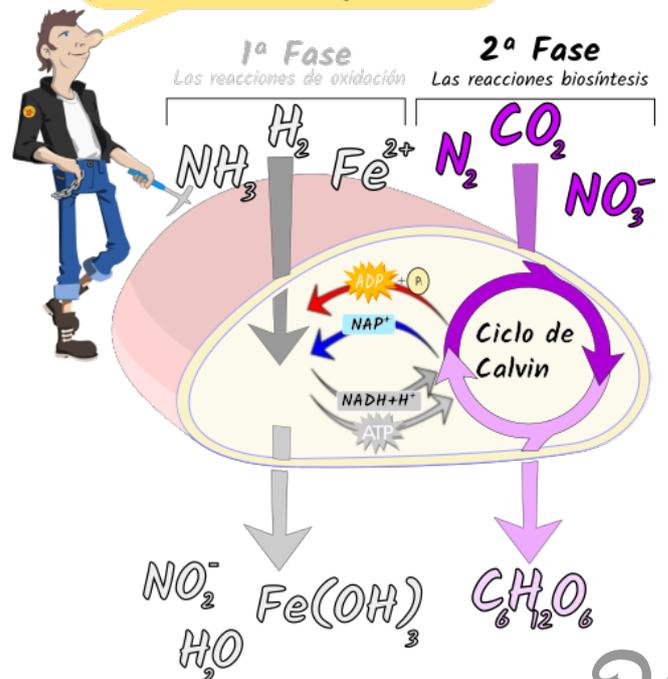
1ª Fase

Las reacciones de oxidación liberan energía y fuentes de electrones. Parte de la energía liberada se utiliza para fabricar ATP a partir de ADP + Pi y fabricar NADH+H⁺ a partir del NAD⁺.



2ª Fase

Se sintetiza materia orgánica a partir de materia inorgánica.

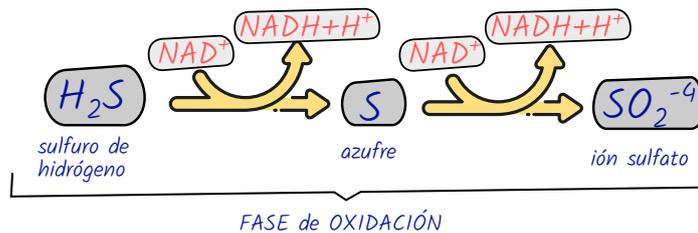
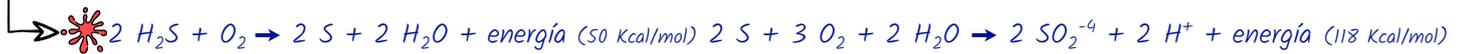


7.2 BACTERIAS QUIMIOAUTÓTROFAS

Los quimioautótrofos, quimiolitótrofos o quimiosintéticos son organismos quimiosintéticos, porque realizan la quimiosíntesis; lo de quimio- se refiere a que su fuente de energía proviene de reacciones químicas en lugar de la luz; y lo de síntesis, porque sintetiza compuestos orgánicos usando como fuente de carbono al CO₂; y es también litótrofo porque su fuente reductora o donadora de hidrógeno y electrones es inorgánica. Todos ellos son procariontes que usan como fuente de carbono el dióxido de carbono en un proceso similar al ciclo de Calvin de las plantas.

Se clasifican, según el compuesto inorgánico que utilicen en la fase primera o fase de oxidación, en: bacterias incoloras del azufre, bacterias del nitrógeno, bacterias del hierro y bacterias del hidrógeno.

Bacterias incoloras del azufre. Oxidan azufre o compuestos que contienen azufre y, al hacerlo, utilizan oxígeno molecular. Al utilizar oxígeno molecular para la oxidación, estas bacterias son aeróbicas. Por ejemplo, el sulfuro de hidrógeno (H₂S) procedente de la descomposición de la materia orgánica (que abunda en las aguas residuales y emanaciones hidrotermales).



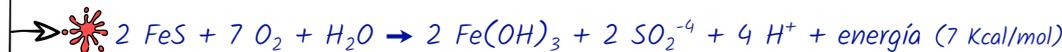
Bacterias del nitrógeno. Oxidan compuestos reducidos del nitrógeno como aminoácidos y nucleótidos. Por ejemplo:

Nitrosificación de las bacterias del género Nitrosomonas: oxidación del amoníaco (NH₃) a nitrito (NO₂⁻) de la siguiente manera: $\text{NH}_3 + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_2^- + 2 \text{H}^+ + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{energía (70 Kcal/mol)}$.

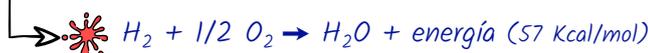
Nitrificación llevadas a cabo por las del género Nitrobacter: oxidan el nitrito (NO₂⁻) a nitrato (NO₃⁻) de la siguiente manera: $2 \text{NO}_2^- + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^- + \text{energía (17 Kcal/mol)}$. Estos nitratos son asimilados por las plantas.



Bacterias del hierro. Oxidan compuestos ferrosos (Fe²⁺) a férricos (Fe³⁺) y obtienen energía química en forma de NADH+H⁺. Son abundantes en las charcas de agua dulce y son las responsables de las manchas pardas de la cisterna del retrete.

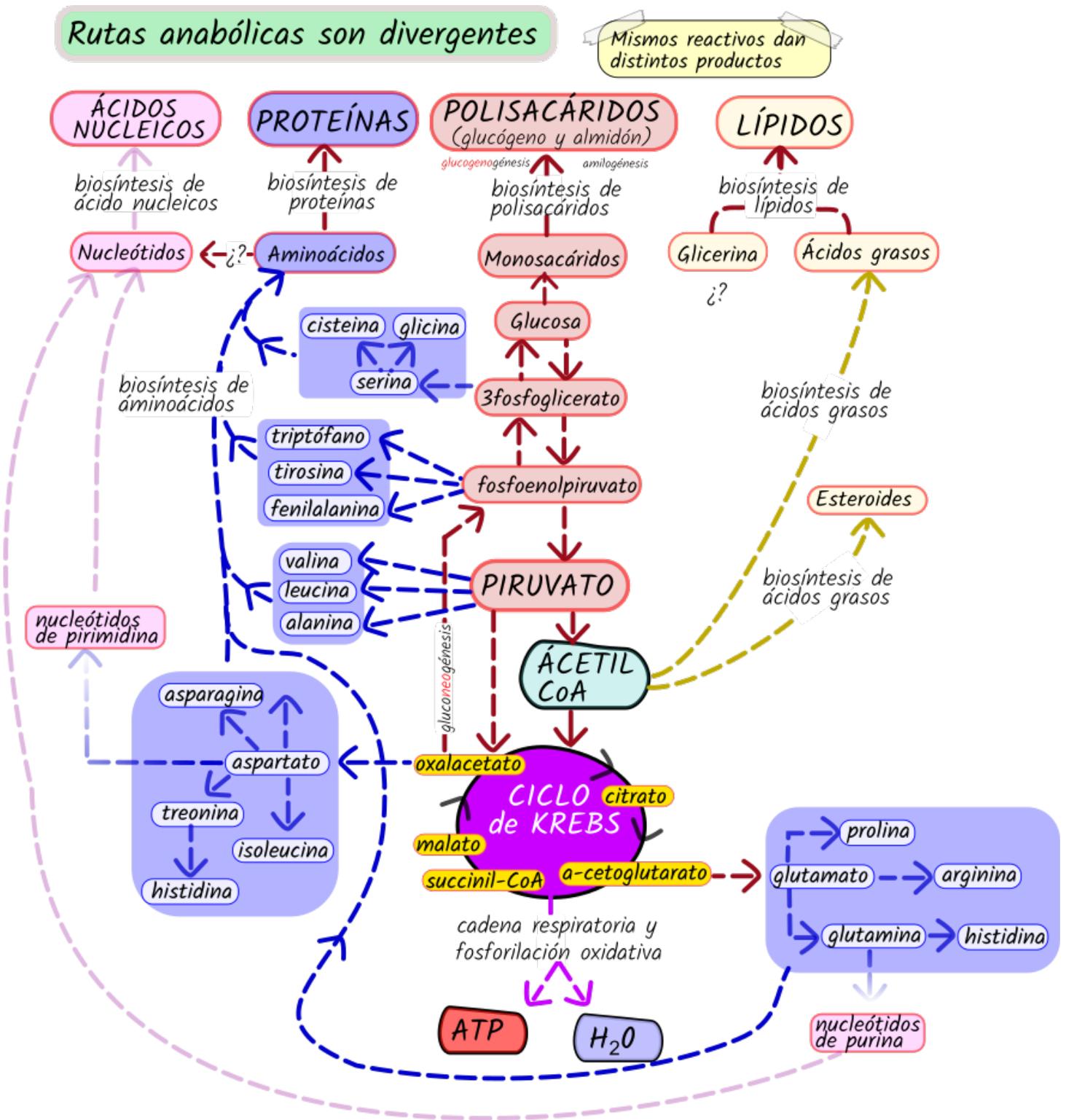


Bacterias del hidrógeno. Utilizan el hidrógeno gaseoso como fuente de energía



8 ANABOLISMO QUIMIOHETERÓTROFO

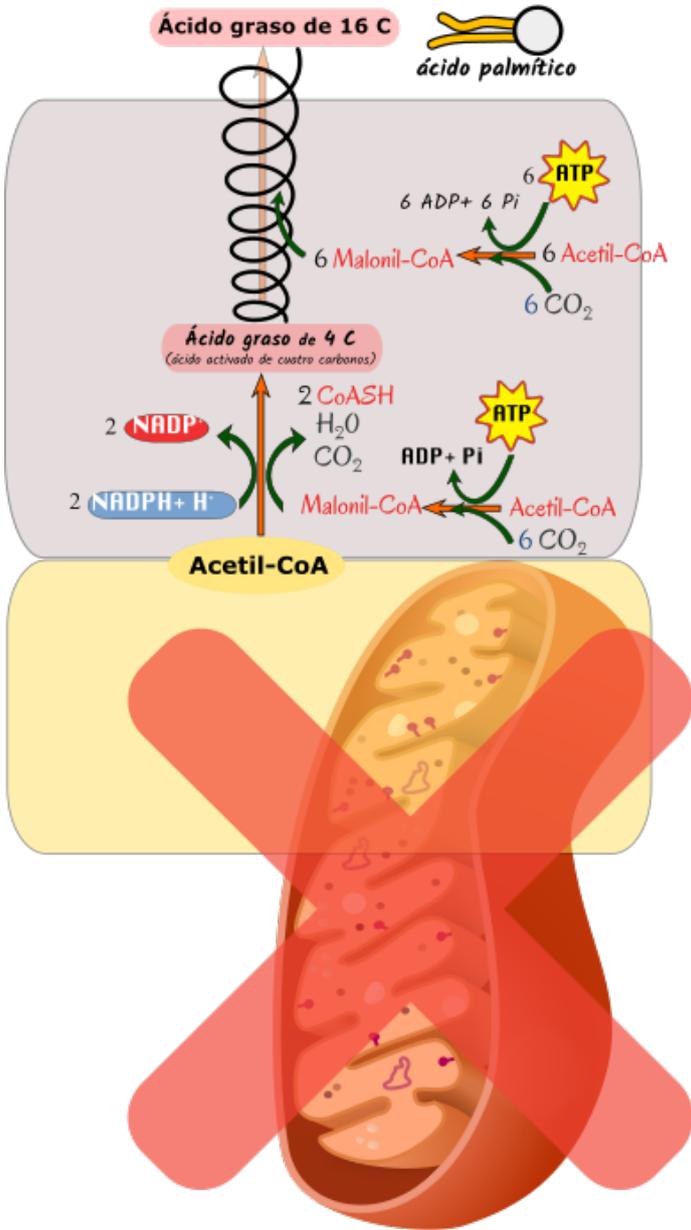
El anabolismo heterótrofo es un conjunto de reacciones bioquímicas donde se sintetiza moléculas orgánicas complejas a partir de moléculas orgánicas sencillas. Este proceso ocurre tanto en las células autótrofas como en las heterótrofas. Las cuatro rutas anabólicas más importantes son: gluconeogénesis, biosíntesis de polisacáridos, biosíntesis de lípidos y biosíntesis de aminoácidos - bases nitrogenadas



La mayoría de las vías anabólicas heterótrofas se dan en el citosol. Las excepciones más importantes son: la síntesis de ácidos nucleicos que se dan en el núcleo, cloroplastos y mitocondrias; la síntesis de proteínas, que se da en los ribosomas; la síntesis de fosfolípidos y colesterol que se dan en el retículo endoplasmático, especialmente en el liso, y la glucosilación de lípidos y proteínas, que se da en el retículo endoplasmático y continúa en el aparato de Golgi.

8.1 Anabolismo de los ácidos grasos

El anabolismo de los ácidos grasos se realiza en el citosol de la célula y se produce gracias a la energía suministrada por el ATP, las deshidrogenaciones y la adición de malonil-CoA. No piense el lector que hay cierto paralelismo con la beta-oxidación, pues hay tres grandes diferencias: el lugar donde ocurre en el citosol (no en la mitocondria), se producen hidrogenaciones (no deshidrogenaciones) y los carbonos que se incorporan en cada vuelta provienen del malonil-CoA (no acetil-CoA).



¿Cuáles son las diferencias entre catabolismo y anabolismo de los ácidos grasos?



La biosíntesis no es lo inverso a la β-oxidación o hélice de Lynnen porque:

- Se realiza en el citosol no en la mitocondria
- Los dos carbonos en que varía cada vuelta de la hélice son debidos al malonil-CoA y no al Acetil-CoA.
- Se producen dos hidrogenaciones por parte del NADPH y no deshidrogenaciones en las que intervenia el NADP⁺ y FAD.



Biosíntesis de ácidos grasos



Ideas clave del PS II

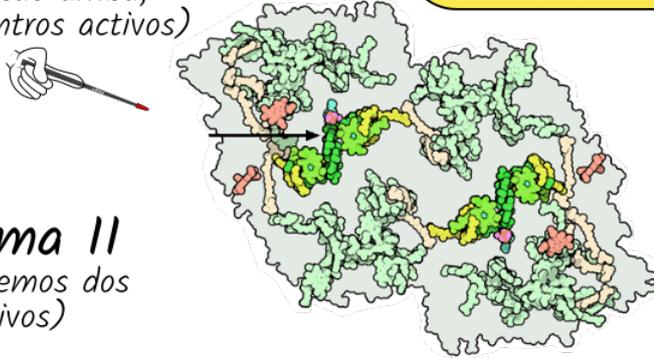
Cero. En el corazón del fotosistema II hay dos centros de reacción fotosintética. Cada centro está formado por un conjunto de pigmentos de clorofila y isoprenoides de plastoquinona

Primero. Se captura fotones de 678 nm para extraer electrones de las moléculas de agua.

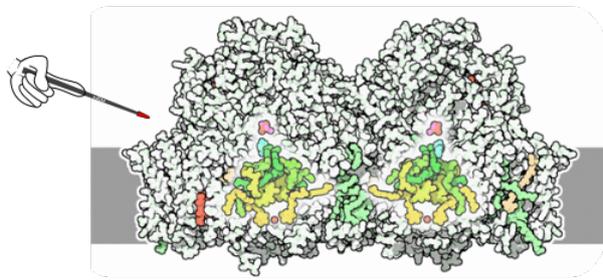
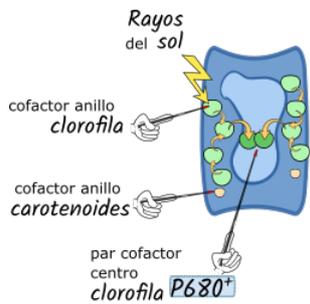
Segundo. A medida que estos electrones fluyen por la cadena, se utilizan para bombear iones de hidrógeno a través de la membrana, proporcionando aún más energía para la síntesis de ATP

Tercero. los electrones se colocan en una molécula portadora, NADPH, que los entrega a las enzimas que construyen azúcar a partir de agua y dióxido de carbono.

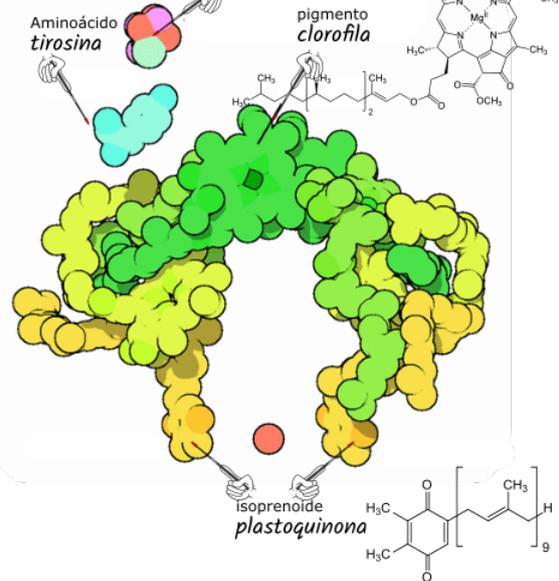
Fotosistema II (visto desde arriba, vemos 2 centros activos)



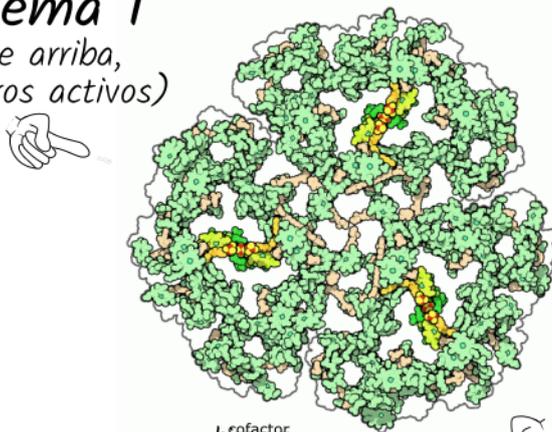
Fotosistema II (vista lateral, vemos dos centros activos)



Centro de evolución del oxígeno
(= agua + manganeso + ión calcio)



Fotosistema I (visto desde arriba, vemos 3 centros activos)



Cero. Tener claro qué es el fotosistema I y conocer los elementos que constituyen (= proteínas + cofactores).

Primero. Los cofactores capturan fotones de 678 nm para extraer electrones de las moléculas de agua.

Segundo. A medida que estos electrones fluyen por la cadena, se utilizan para bombear iones de hidrógeno a través de la membrana, proporcionando aún más energía para la síntesis de ATP

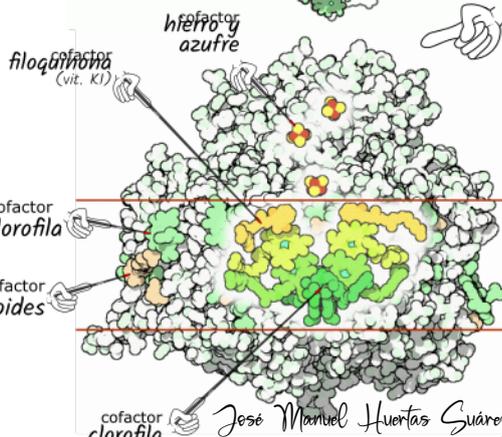
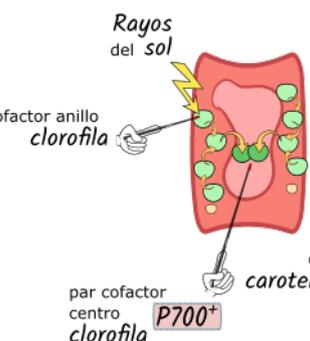
Tercero. los electrones se colocan en una molécula portadora, NADPH, que los entrega a las enzimas que construyen azúcar a partir de agua y dióxido de carbono.

Fotosistema I (vista lateral, vemos un centro activo)

Ten en cuenta que...

El fotosistema I es un agregado de una docena de proteínas (lo que aparece en blanco), que juntas, sostienen y posicionan a más de 100 cofactores (lo que aparece en colores). El fotosistema I visto desde arriba podemos distinguir 3 partes parecidas que reciben el nombre de trímero.

- En cada trímero, observamos proteínas (lo que aparece en blanco), que juntas, sostienen y posicionan:
 - un anillo de cofactores de clorofila (de color verde, pues absorben la luz roja y azul) y carotenoides (de color naranja, ya que absorbe luz azul), que actúan como antenas de captura de fotones y
 - un centro de reacción conformado por cofactores de clorofila que actúa como receptor de electrones y filoquinona que transporta electrones fuera del fotosistema).

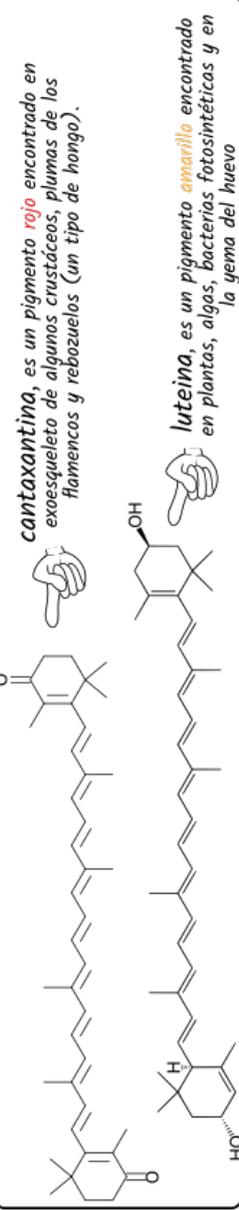


ANEXO 2

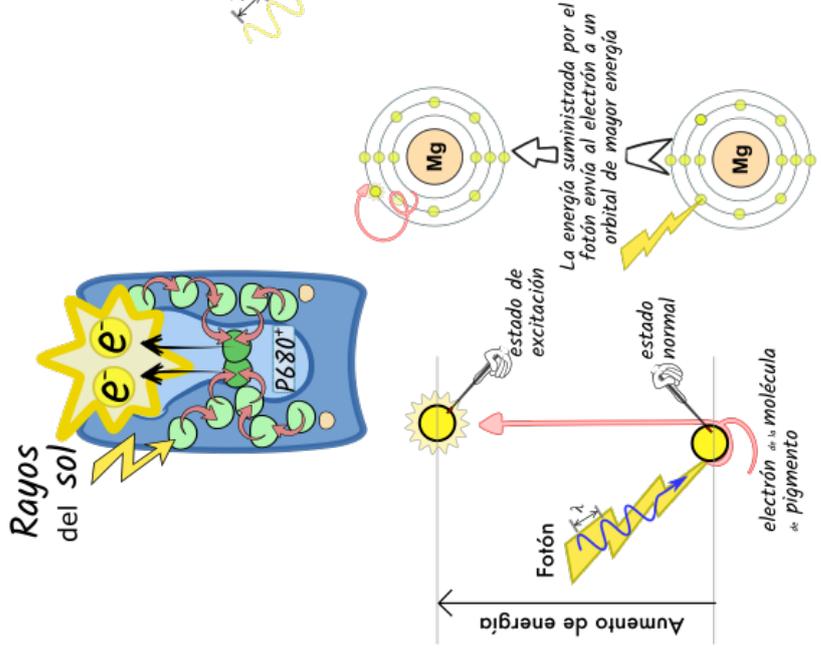
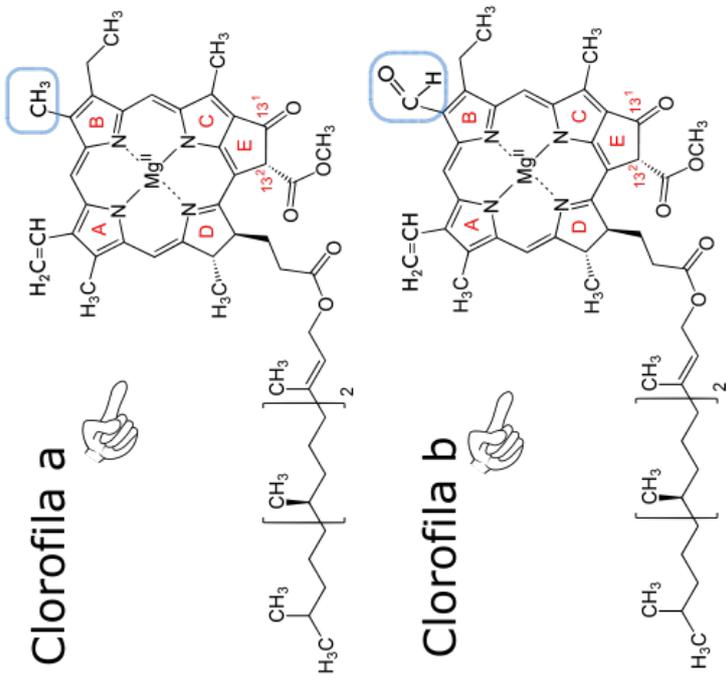
Carotenoides, son pigmentos orgánicos que pertenecen al grupo de los isoprenoides (son tetraterpenos!) que se encuentran de forma natural en plantas y otros organismos fotosintéticos como algas, algunas clases de hongos y bacterias. Absorben la luz de 440 nm correspondiente a la violeta y verde azulada.



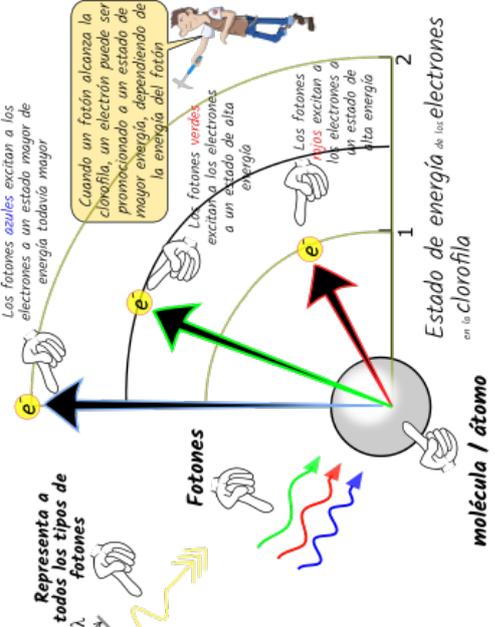
Xantófilas (del griego "rubio" y "planta"), son pigmentos orgánicos que contiene uno o varios átomos de oxígeno en su estructura química. Los xantófilas son derivados oxigenados de los carotenos. Las xantófilas son más resistentes a la oxidación que las clorofilas.



Clorofila, son pigmentos orgánicos de color verde que pertenecen al grupo de los isoprenoides (son tetraterpenos!) que se encuentran de forma natural en plantas, algas y cianobacterias. Absorben la luz que va del espectro de 400 a 500 nm y el espectro 600-700 nm. (lo que no absorbe es el espectro de 500 a 600 nm que corresponde al del verde!)



Excitación de los electrones



Objetivo: energizar electrones



Fotosíntesis en plantas C3, C4 y CAM

