

# TEMA 11 ANABOLISMO

## ÍNDICE de CONTENIDOS

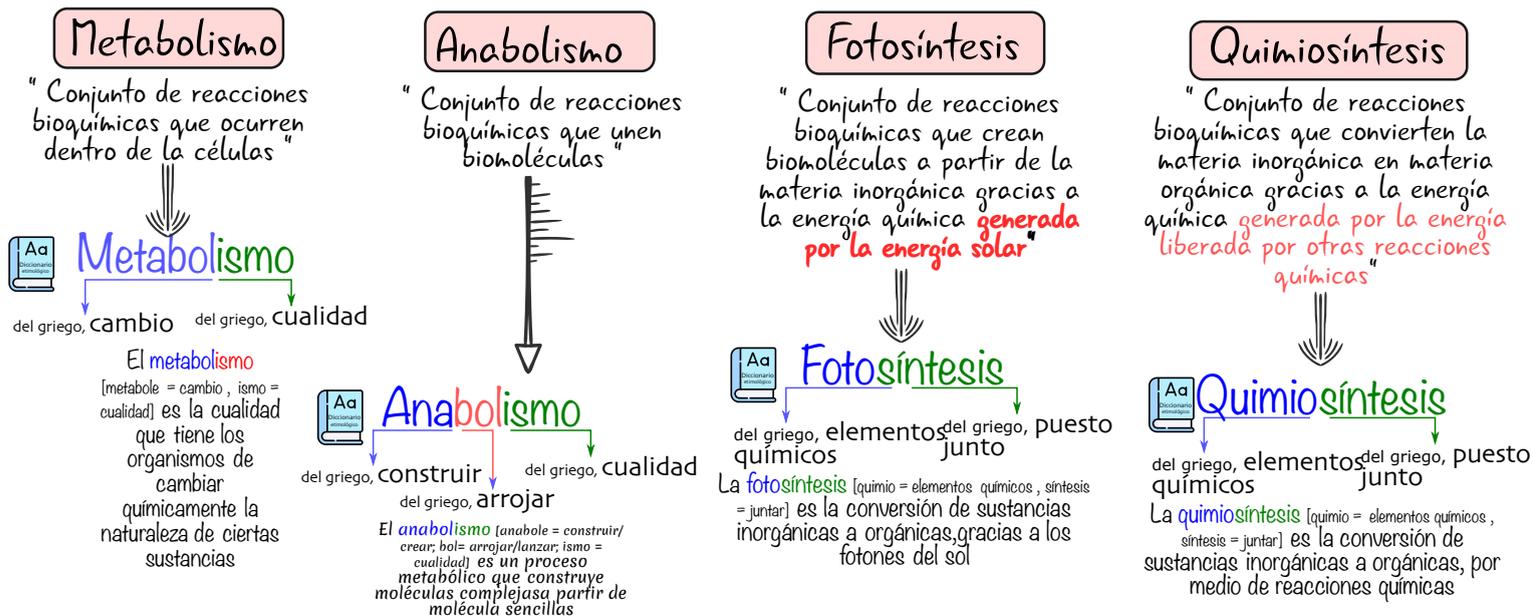
1. El anabolismo
2. Anabolismo fotoautótrofo: fotosíntesis
3. Fotosíntesis en bacterias
4. Importancia de la fotosíntesis
5. Fotorrespiración
6. Factores que influyen en la intensidad fotosintética
7. Anabolismo quimioautótrofo: quimiosíntesis
8. Anabolismo quimioheterótrofo



José Manuel Huertas Suárez

## CRITERIOS de EVALUACIÓN

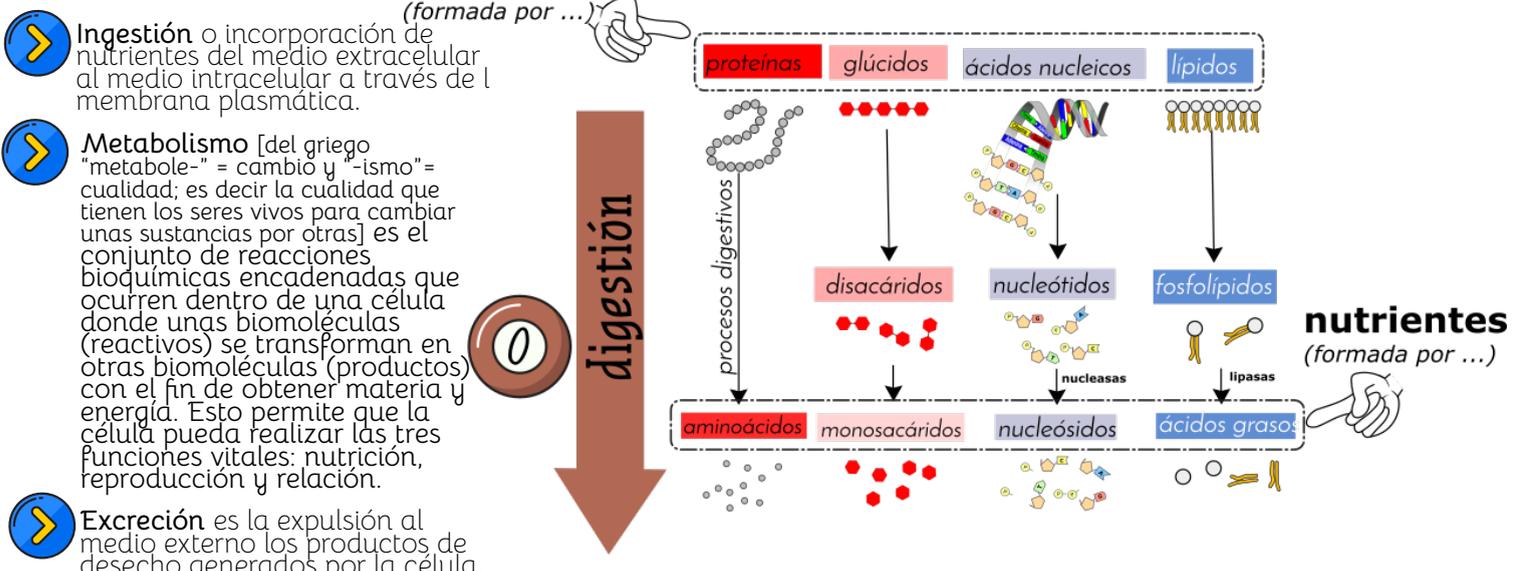
- B.2.7. Comprender los procesos de catabolismo y anabolismo estableciendo la relación entre ambos.
- B.2.10. Pormenorizar los diferentes procesos que tienen lugar en cada fase de la fotosíntesis.
- B.2.11. Justificar su importancia biológica como proceso de biosíntesis, individual para los organismos,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



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



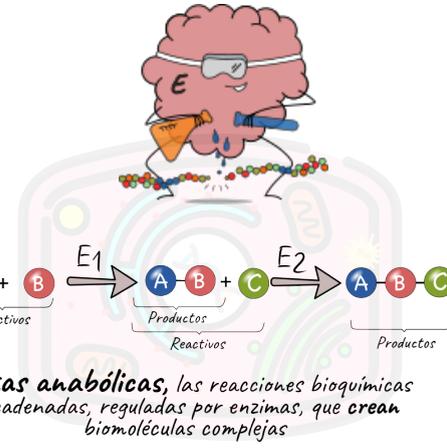
- Ingestión** o incorporación de nutrientes del medio extracelular al medio intracelular a través de la membrana plasmática.
- Metabolismo** [del griego "metabole-" = cambio y "-ismo" = cualidad; es decir la cualidad que tienen los seres vivos para cambiar unas sustancias por otras] es el conjunto de 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.



# 1 Anabolismo

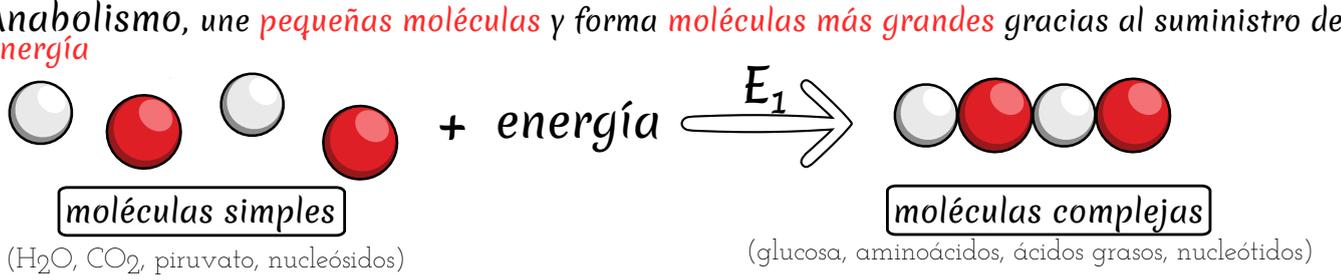
El anabolismo [del griego ana 'hacia arriba, y ballein 'lanzar'] es el conjunto de reacciones químicas metabólicas encadenadas donde moléculas orgánicas simples (reactivos como átomos, aminoácidos, nucleósidos, etc.) se juntan/ unen en una/s molécula/s más compleja/s (productos como glucosa, aminoácidos, 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.

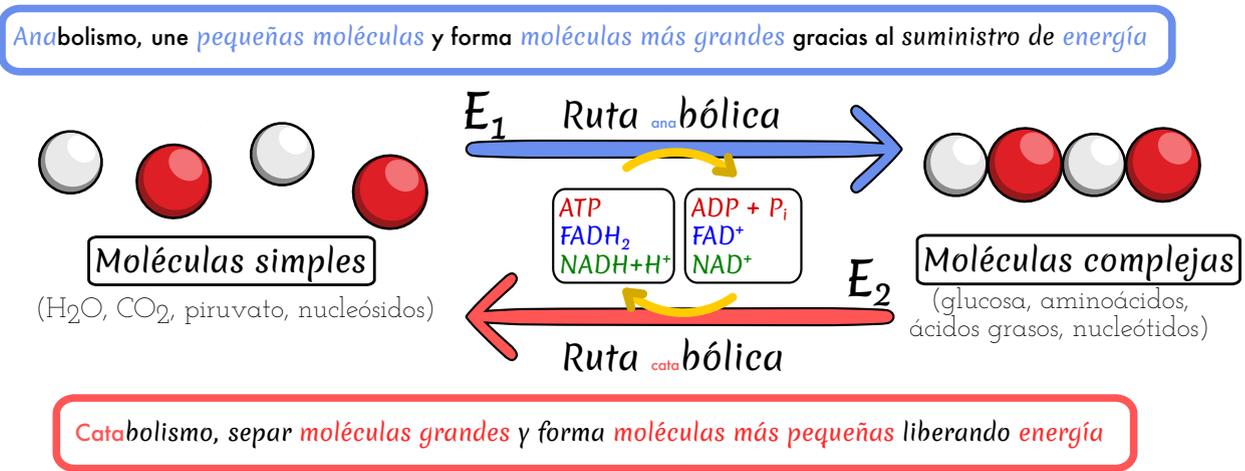


*Rutas anabólicas, las reacciones bioquímicas encadenadas, reguladas por enzimas, que crean biomoléculas complejas*

**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:



**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:

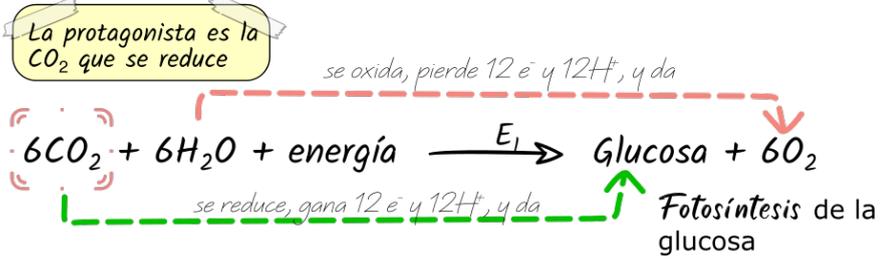


## 1.1 Características de las reacciones anabólicas

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

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**



➤ 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 encontrarlos con dos procesos distintos: fotosíntesis y quimiosíntesis.

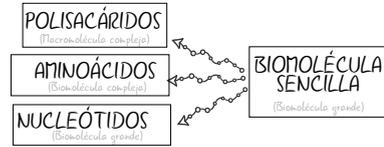
**Rutas anabólicas son endergónicas**

El protagonista es la energía se suministra para fijar el CO<sub>2</sub>



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

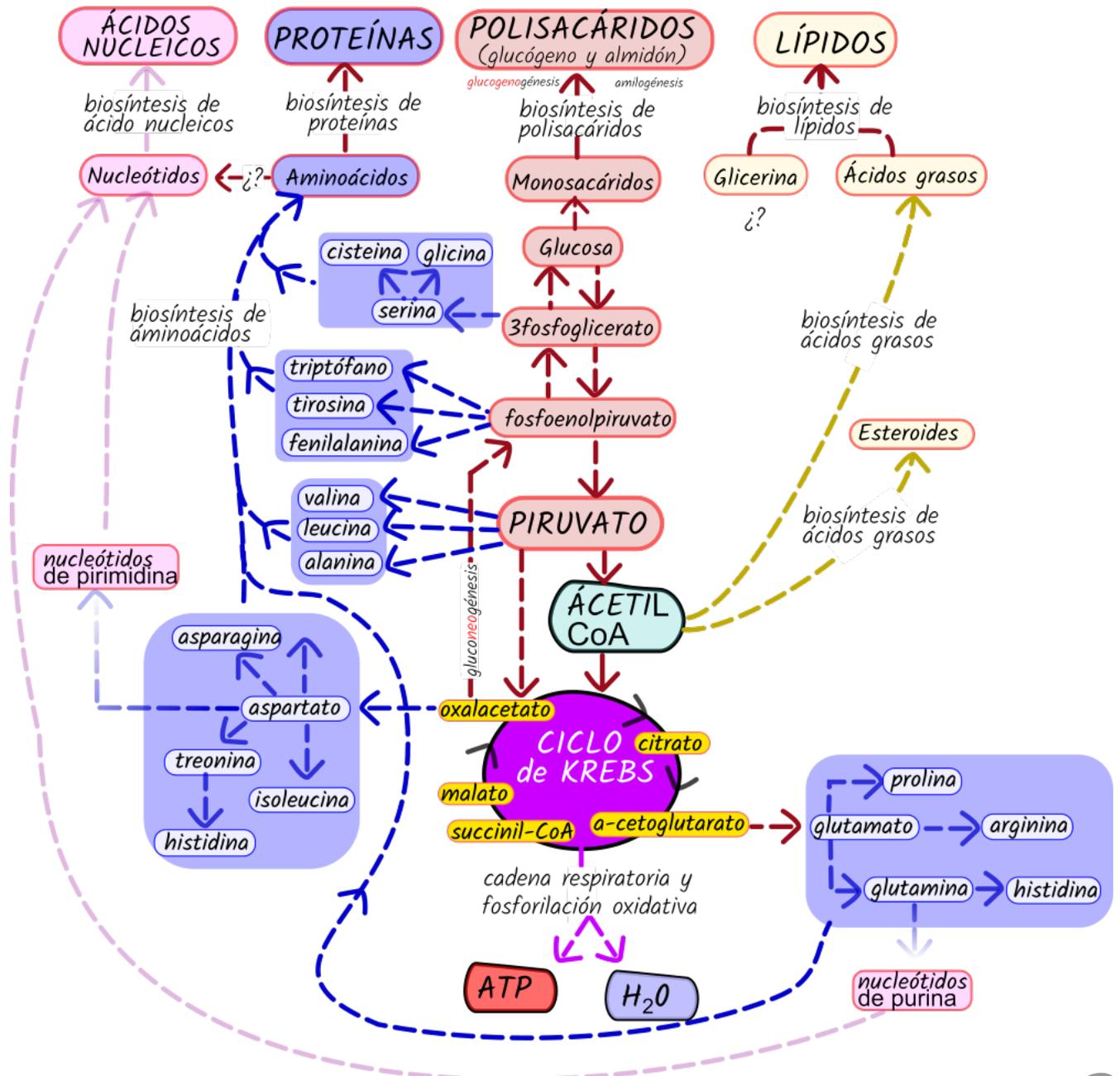
(2) **Quimiosíntesis**, si se trata de energía desprendida en reacciones químicas (generalmente la oxidación de compuestos inorgánicos) para producir sustancias orgánicas



➤ 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 ANABOLISMOS, según fuente de materia, energía y electrones.

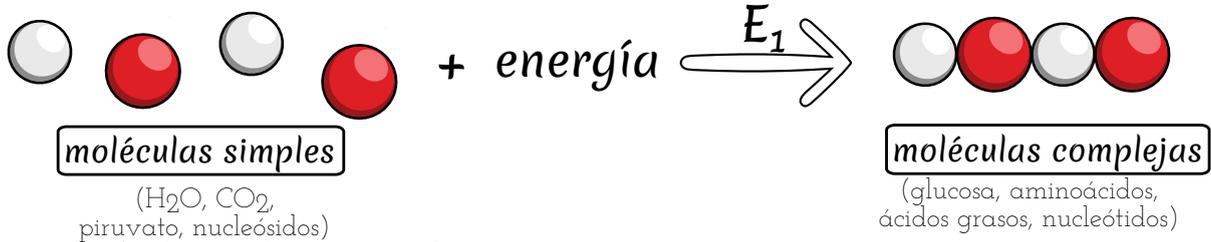
TIPO de ANABOLISMO	FUENTE de MATERIA	FUENTE de ENERGÍA	FUENTE de ELECTRONES
Plantas <b>Anabolismo de FOTOAUTÓTROFO</b> Cianobacterias Bacterias fotosintéticas Algas	CARBONO (CO <sub>2</sub> )	LUZ SOLAR (fotones)	BIOMOLÉCULAS INORGÁNICAS (H <sub>2</sub> O o H <sub>2</sub> S)
<b>Anabolismo de QUIMIOAUTÓTROFO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

## 1.2 Rutas anabólicas más importantes

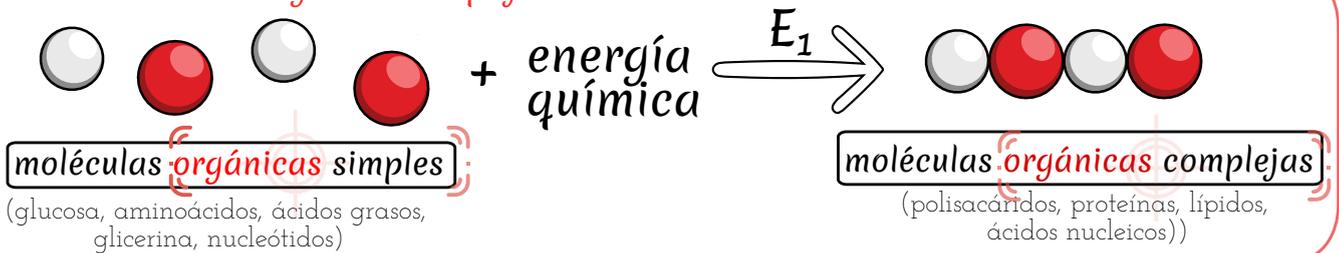
Las rutas anabólicas más importantes son la **síntesis** (reducción) de los **glúcidos** (estudiaremos la glucosa), **reducción** (síntesis) de los **lípidos** (estudiaremos los ácidos grasos), **anabolismo** (reducción) de las **proteínas**.

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 y utilizamos síntesis; [...]

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



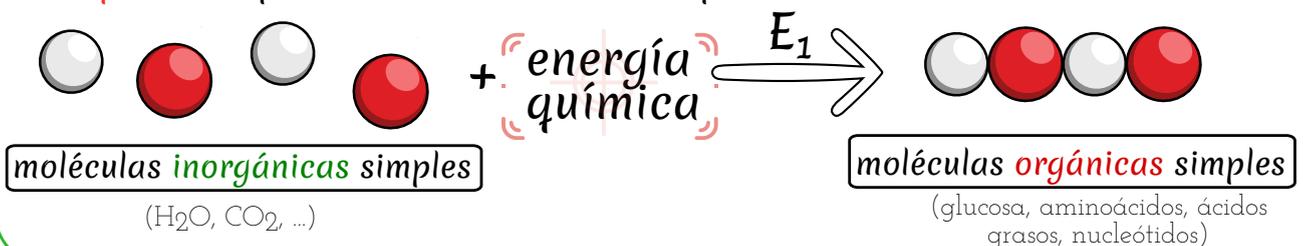
**Anabolismo heterótrofo**, transforma las **moléculas orgánicas sencillas** en **moléculas orgánicas complejas**



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



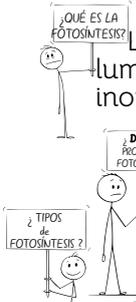
**Anabolismo autótrofo quimiosintético (quimiosíntesis)**, transforma las **moléculas inorgánicas** en **moléculas orgánicas sencillas** gracias a la **energía química** desprendidas en **otras** reacciones químicas



**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: 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

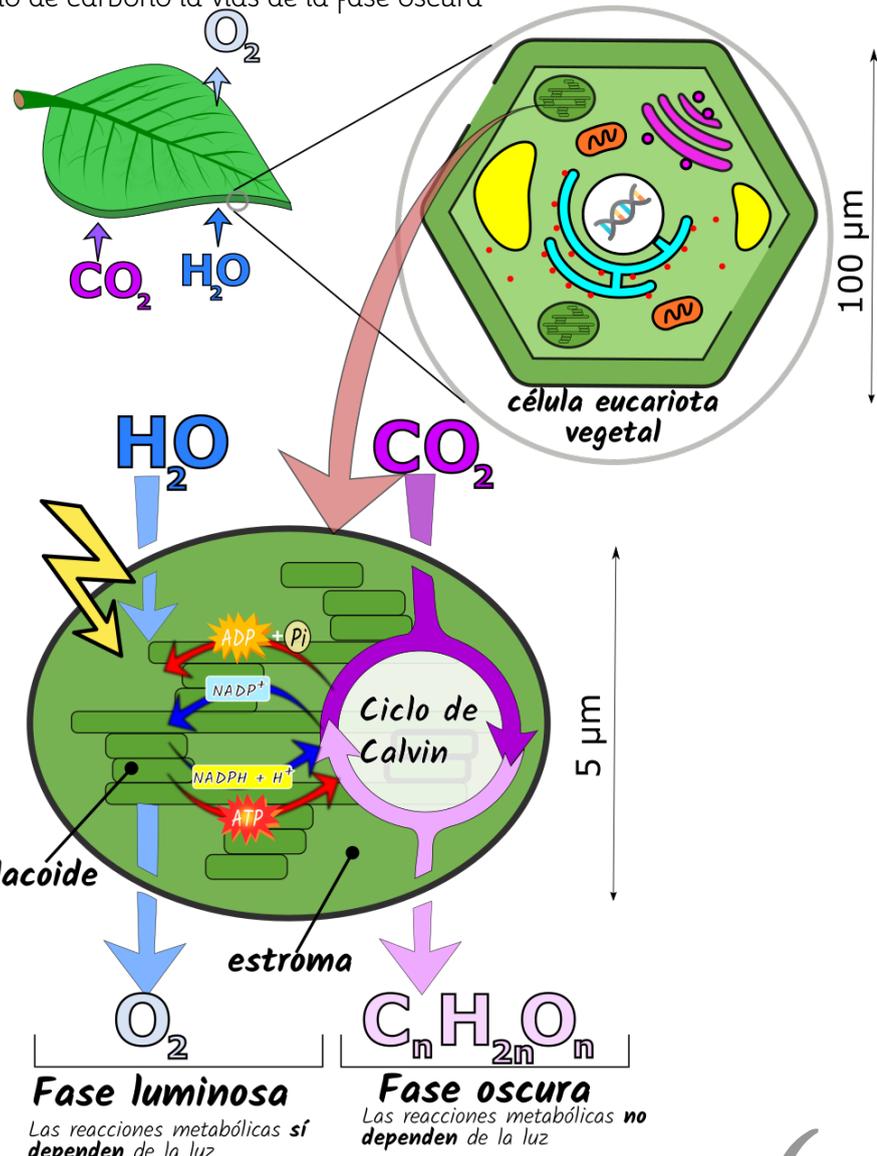
La **fotosíntesis oxigénica** es un conjunto de reacciones que se pueden agrupar, atendiendo a su dependencia o no a la luz, en dos fases encadenadas: (1) Fase luminosa o fotoquímica (dependiente de la luz) y (2) fase oscura o biosintética (independiente de la luz). Vamos a explicar lo que ocurre en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



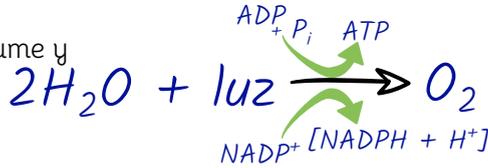
## 2.1.1 Fase luminosa o fotoquímica (dependiente de la luz) [en el tilacoide del cloroplasto]

¿QUÉ ES LA FASE LUMINOSA o FOTOQUÍMICA?

La **fase luminosa o fotoquímica** es el primer conjunto de reacciones de la fotosíntesis, las cuales son dependientes de la luz y ocurren en la membrana de los tilacoide dentro de los cloroplastos. En estas reacciones, la energía lumínica se convierte en energía eléctrica, que posteriormente se transforma en energía química, almacenada en los enlaces de ATP y NADPH.

Dicho de otra manera, la energía del Sol excita los electrones de las moléculas de clorofila, generando un flujo de electrones a través de una serie de proteínas transportadoras en la membrana tilacoidal. Este flujo libera energía, que se utiliza para bombear protones (H<sup>+</sup>) hacia el interior del tilacoide, creando un gradiente electroquímico. Finalmente, estos protones regresan al estroma a través de la ATP sintasa, impulsando la síntesis de ATP.

Gráficamente se resume y se expresa así:



ETAPAS de la FASE LUMINOSA

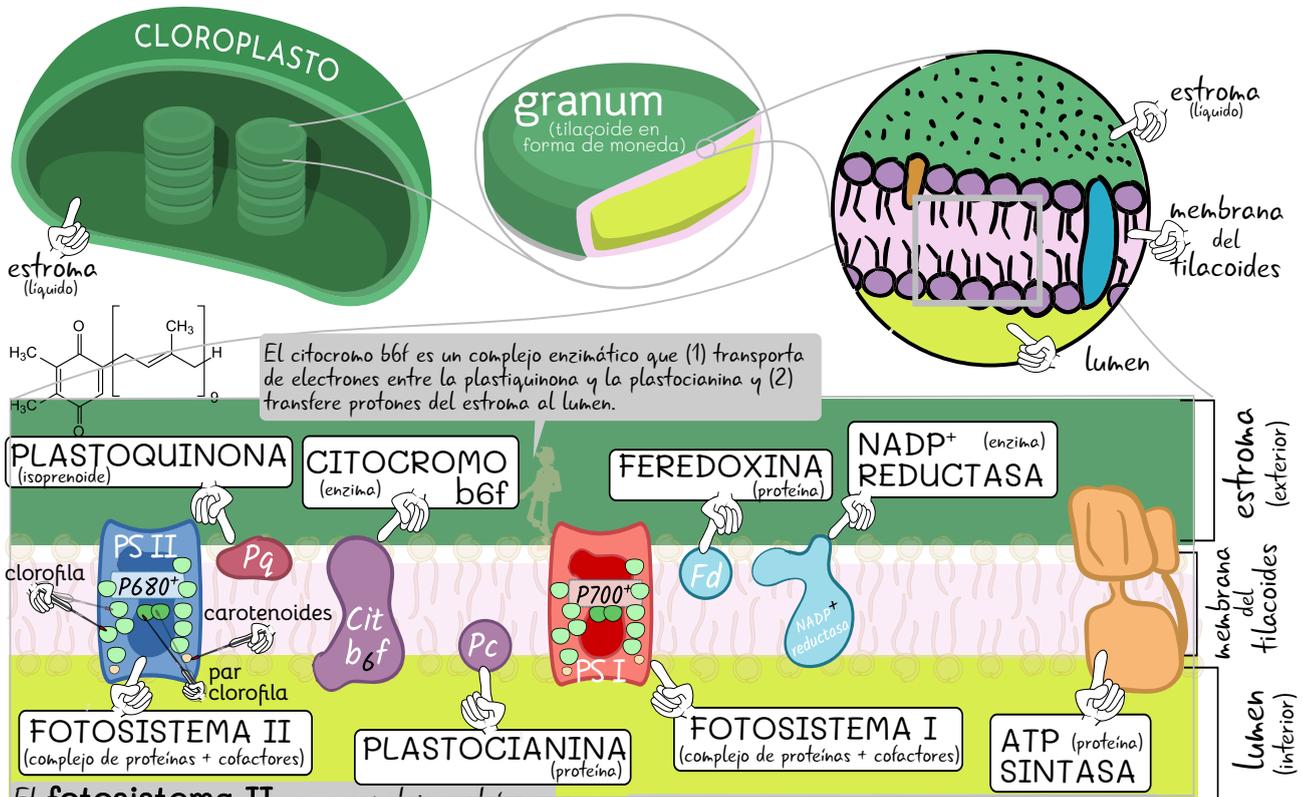
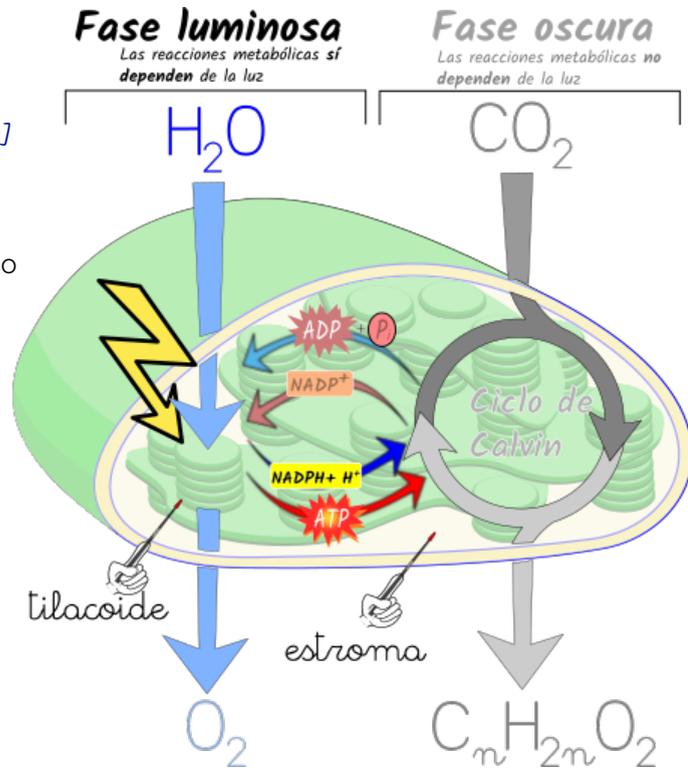
Hay dos tipos rutas distintas a lo largo de la cadena de proteínas en la membrana plasmática.

➤ la **etapa luminosa acíclica o transporte en Z** ocurren cinco procesos: (1) la transformación de la energía luminosa en energía eléctrica, (2) la **fotoólisis del agua**, (3) bombeo de protones del estroma al lumen (4) la **fotorreducción del NADP<sup>+</sup> a (NADPH+H<sup>+</sup>)** 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) bombeo 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.



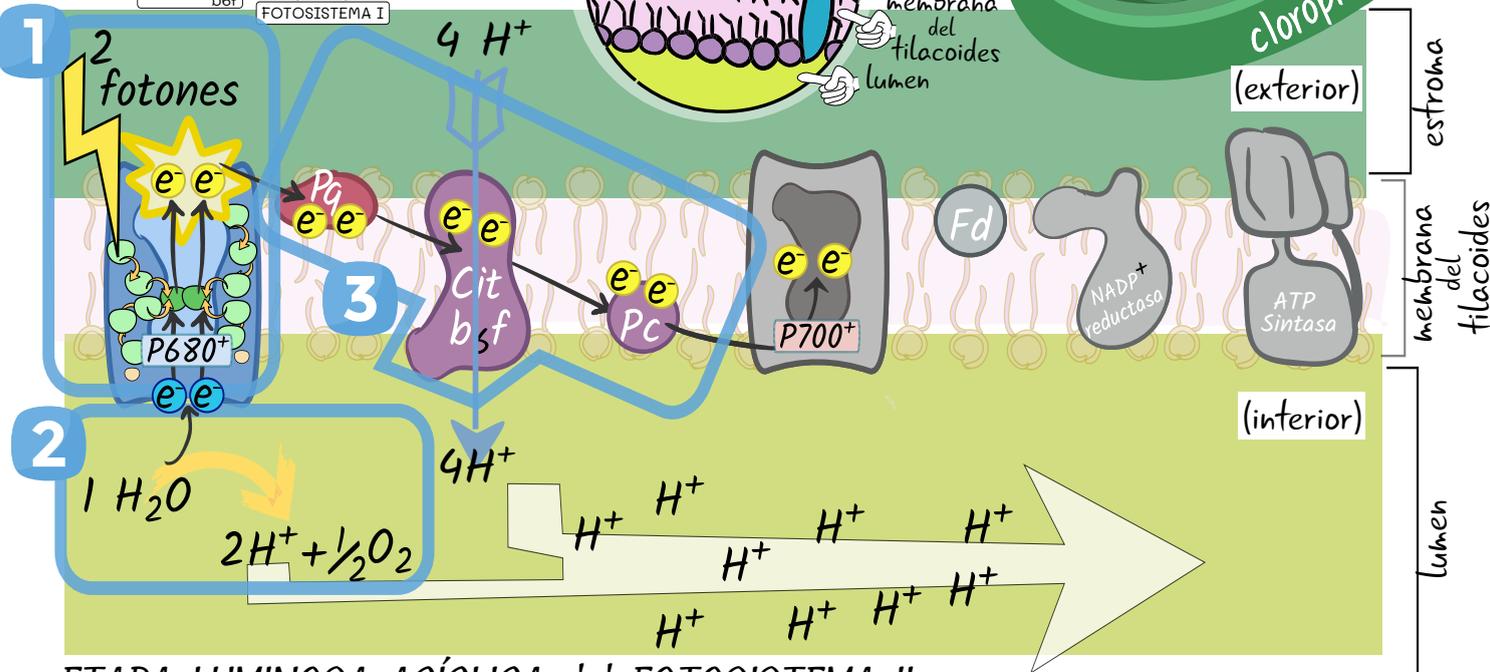
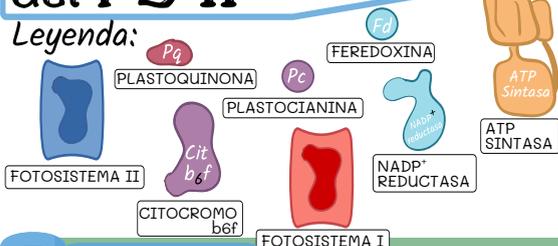
**El fotosistema II** es un complejo proteico que (1) captura la energía de la luz solar (longitud de onda igual o inferior a 680 nm); (2) transforma la energía solar en energía eléctrica; (3) le quita electrones, protones a la molécula de agua y (4) transporta los electrones a la cadena de transporte de 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

Legenda:

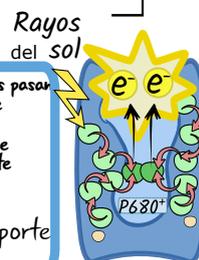


## ETAPA LUMINOSA ACÍCLICA del FOTOSISTEMA II

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, también conocida como P680, ubicada en el centro de reacción del fotosistema II. La clorofila P680 se oxida, perdiendo dos electrones, que son transferidos a la cadena de transporte de electrones. Como resultado, P680<sup>+</sup> (la forma oxidada) se vuelve extremadamente electronegativa.

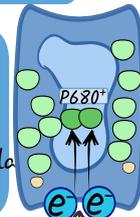
Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: La clorofila a diana (P680) del centro de reacción del PS II se oxida y pierde dos electrones debido a la energía de los fotones del sol, que son transferidos a la cadena de transporte de electrones.



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

La clorofila a diana o par P680<sup>+</sup> recupera los electrones perdidos, porque el agua se la da. ¿Cómo ocurre esto? El agua es oxidada por el complejo de evolución del oxígeno (OEC), una estructura asociada al fotosistema II que contiene átomos de manganeso (Mn) y calcio (Ca<sup>2+</sup>), esenciales para la reacción. Lo que hace la enzima es coger dos moléculas de agua y romperla, generándose oxígeno molecular gaseoso, cuatro protones y 4 electrones. Por simplicidad, razonamos como si fuese una sola molécula de agua, lo que producirá 1/2 oxígeno molecular gaseoso, 2 protones y 2 electrones.

Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: El complejo de evolución del oxígeno (OEC), asociado al fotosistema II, oxida la molécula de agua y genera oxígeno molecular, protones y electrones.



**3** TRANSPORTAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA del PS II al PSI

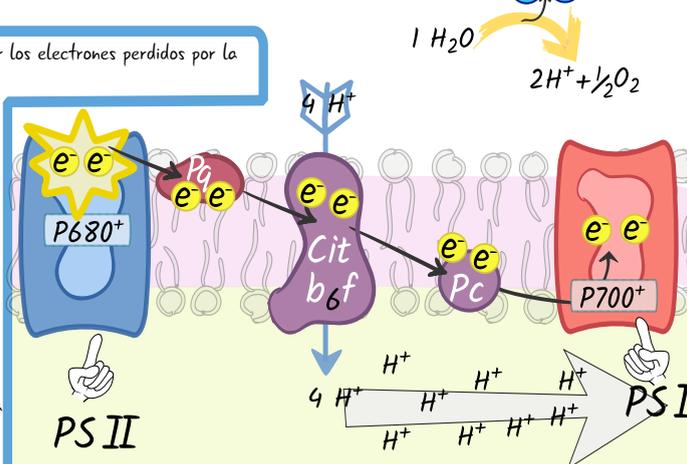
Los electrones del PS II pasan a la cadena transportadora de electrones, cuyo fin es reponer los electrones perdidos por la clorofila a del PS I. ¿Cómo funciona la cadena transportadora de electrones?

Los electrones del fotosistema II (P680) son transferidos a la cadena de transporte de electrones, pasando por una serie de transportadores hasta llegar al fotosistema I (P700). Durante este proceso, se libera energía que permite bombear protones (H<sup>+</sup>) desde el estroma hacia el lumen del tilacoide.

(\*) PSII (P680) cede / dona los dos electrones a la plastoquinona (Pq), la cual los dona al citocromo b6/f (Cit b6/f). El cit b6/f al ceder los electrones a la plastocianina (Pc) bombea 4 protones del estroma al lumen. A continuación, la plastocianina pasa los electrones al fotosistema PS I.

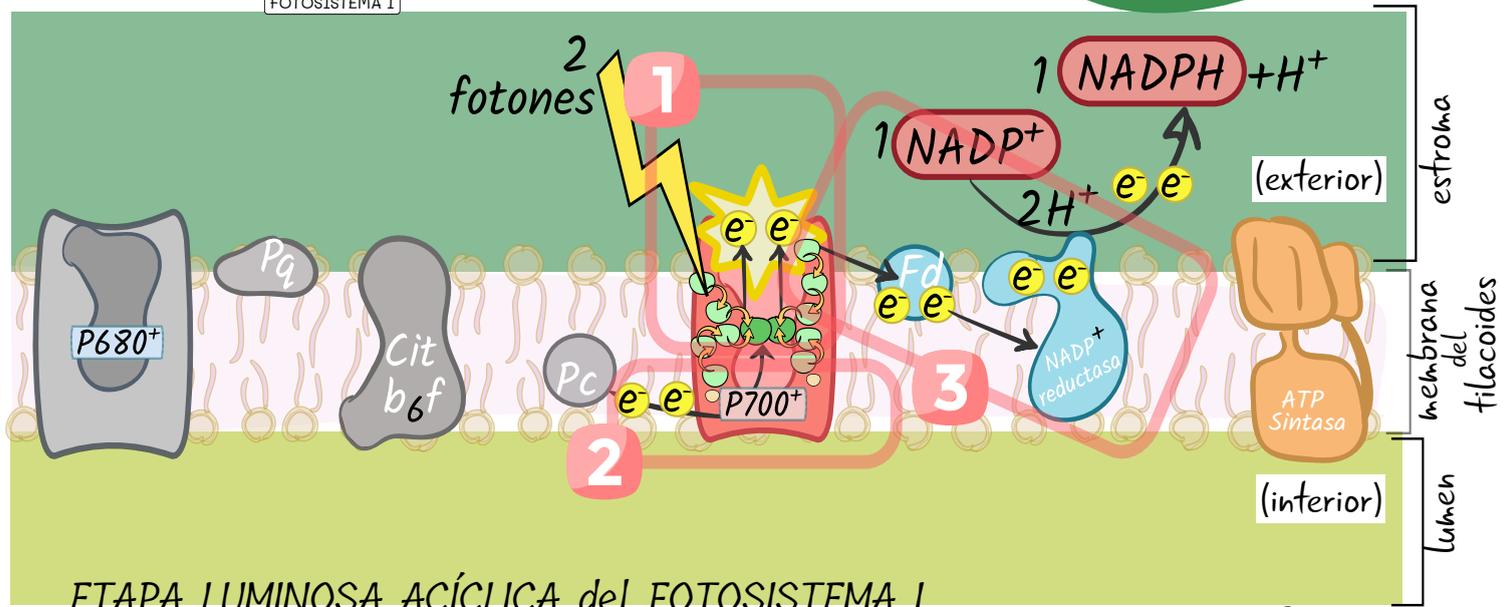
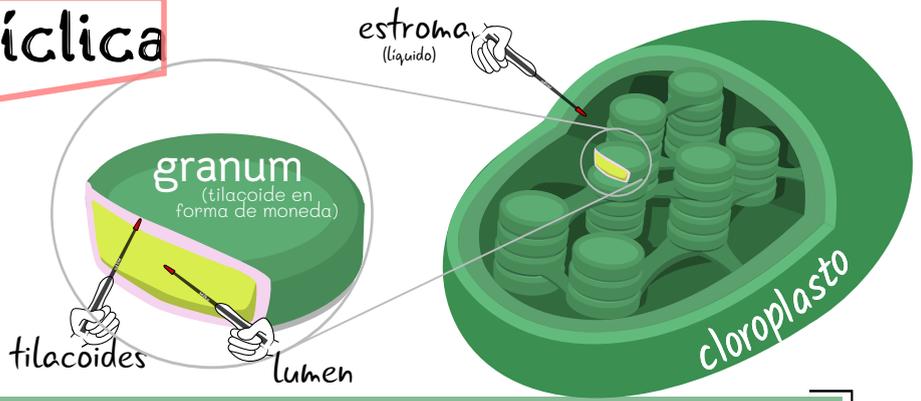
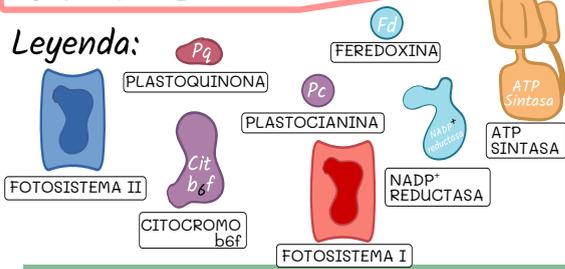
P680<sup>+</sup> → (2e<sup>-</sup>) → Feofitina → (2e<sup>-</sup>) → Plastoquinona QA → (2e<sup>-</sup>) → Plastoquinona QB → (2e<sup>-</sup> + 2H<sup>+</sup>) → Plastohidroquinona QBH → (2e<sup>-</sup>, se liberan 4H<sup>+</sup> al lumen) → Complejo citocromo b6/f → (2e<sup>-</sup>) → Plastocianina (Pc) → (2e<sup>-</sup>) → Fotosistema I (P700)

Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: Los electrones del fotosistema II (PS II) pasan a través de la cadena de transporte de electrones hasta llegar al fotosistema I (PSI), liberando energía en el proceso, la cual se utiliza para bombear protones desde el estroma hacia el lumen del tilacoide.



# Fase luminosa acíclica del PS I

Leyenda:

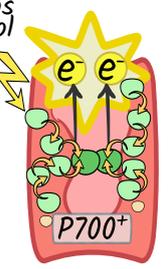


## ETAPA LUMINOSA ACÍCLICA del FOTOSISTEMA I

**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, también conocida como P700, ubicada en el centro de reacción del fotosistema I. La clorofila P700 se oxida, perdiendo dos electrones, que son transferidos a la cadena de transporte de electrones. Como resultado, P700<sup>+</sup> (la forma oxidada) se vuelve extremadamente electronegativa.

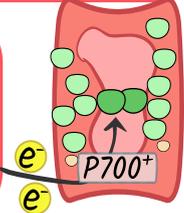
Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la siguiente oración: La clorofila diana del centro de reacción del PS I (P700) se oxida y pierde dos electrones debido a la energía de los fotones del sol, que son transferidos a la cadena de transporte de electrones.



**2** REPONER LOS ELECTRONES PERDIDOS por la CLOROFILA DIANA del PS I

La clorofila a diana o par P700<sup>+</sup> 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 receptor 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.



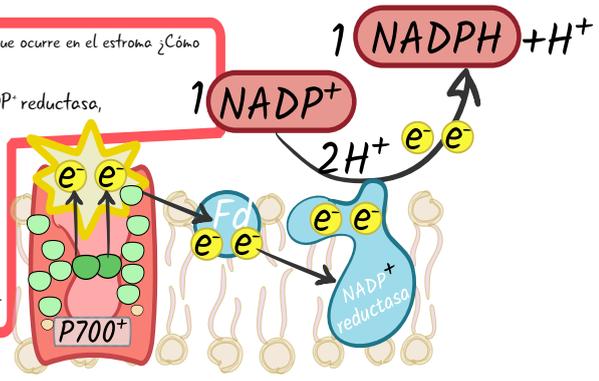
**3** TRANSPORTAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA del PS I al NADP+ reductasa

Los electrones del PS I pasan a la cadena transportadora de electrones, cuyo fin es generar NADPH+H<sup>+</sup> 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<sup>+</sup> 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<sup>+</sup> que queda libre en el estroma.

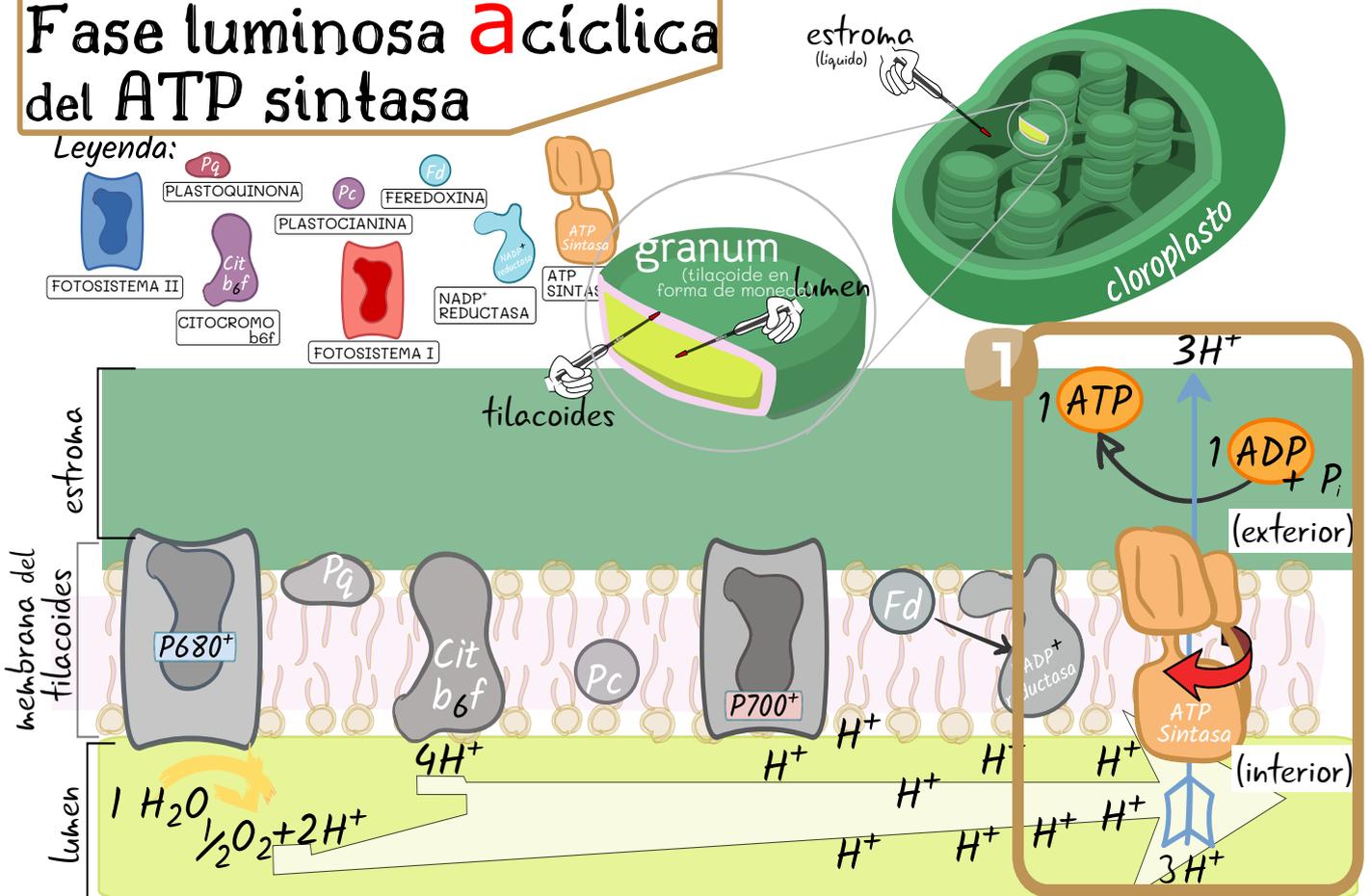
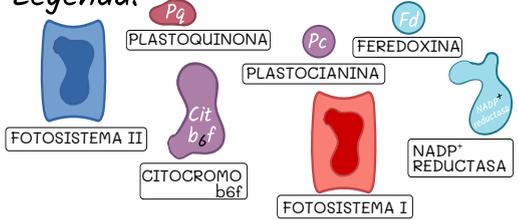
$P700^+ \rightarrow (2e^-) \rightarrow \text{ferredoxina} \rightarrow (2e^-) \rightarrow \text{NADP}^+ \text{ reductasa} \rightarrow (2e^- + 2H^+) \rightarrow \text{NADPH} + H^+$



A continuación, se muestra una imagen de todo lo que ocurre en la fase luminosa acíclica de la ATP sintetasa.

# Fase luminosa **acíclica** del ATP sintetasa

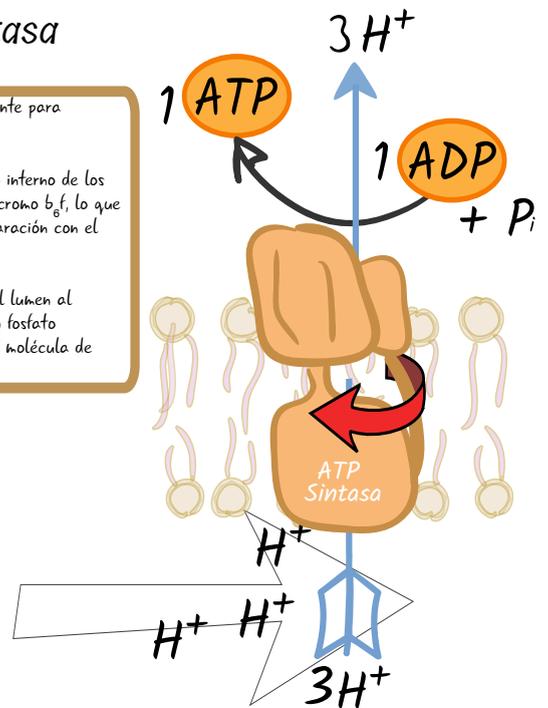
Leyenda:



## ETAPA LUMINOSA **ACÍCLICA** del ATP sintetasa

SÍNTESIS del ATP

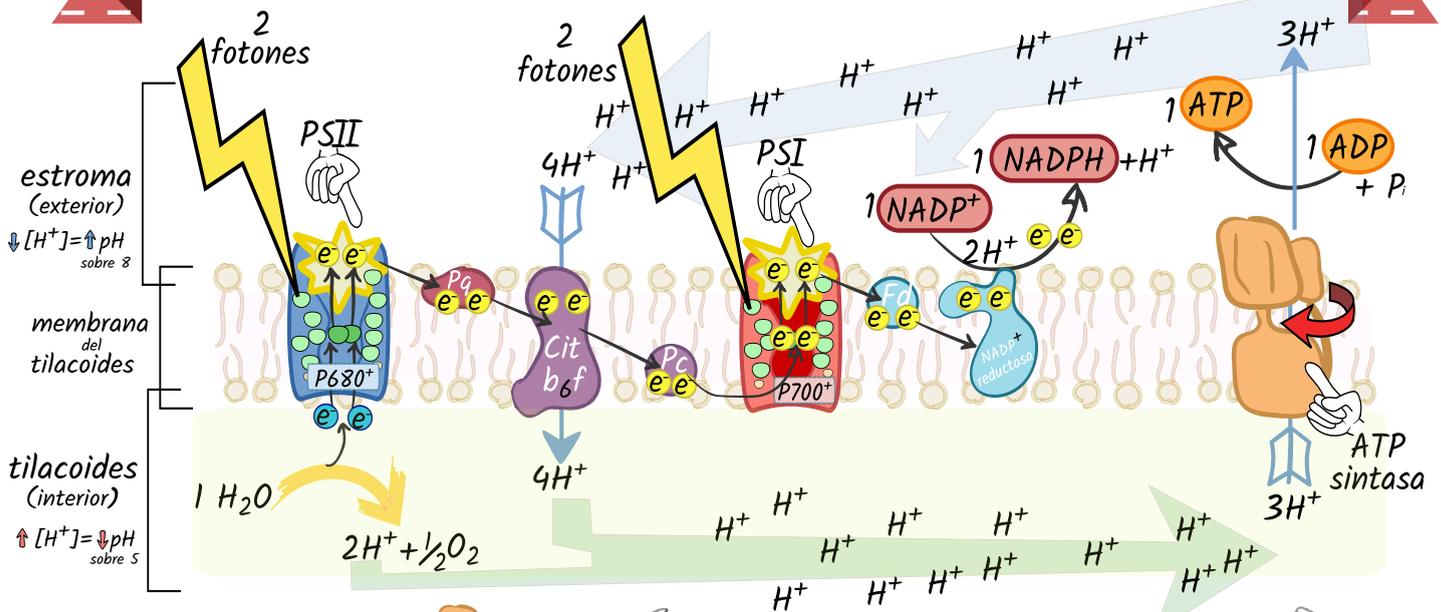
- 1 La síntesis de ATP ocurre en dos etapas: formación de gradiente de protones y uso de gradiente para sintetizar ATP.
  - **Formación del gradiente de protones.** Los protones (H<sup>+</sup>) se acumulan en el lumen (el espacio interno de los tilacoides) debido a la fotólisis del agua y al bombeo de protones a través del complejo citocromo b<sub>6</sub>/f, lo que genera un gradiente de protones (una mayor concentración de protones en el lumen en comparación con el estroma).
  - **Uso de los gradientes para sintetizar ATP.** El flujo de protones a favor de su gradiente (del lumen al estroma) a través de la ATP sintetasa genera energía. Esta energía se utiliza para unir ADP y fosfato inorgánico (P<sub>i</sub>) formando ATP. Por cada 3 protones que fluyen hacia el estroma, se sintetiza 1 molécula de ATP.



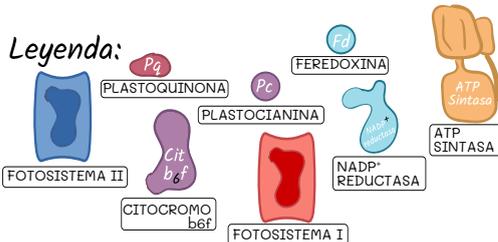


Elabora un resumen que te quepa en este espacio, donde se explique la etapa luminosa acíclica de la fotosíntesis. Nota: El dibujo de abajo apoya tu explicación

# Fase luminosa acíclica (transporte en Z)



Legenda:



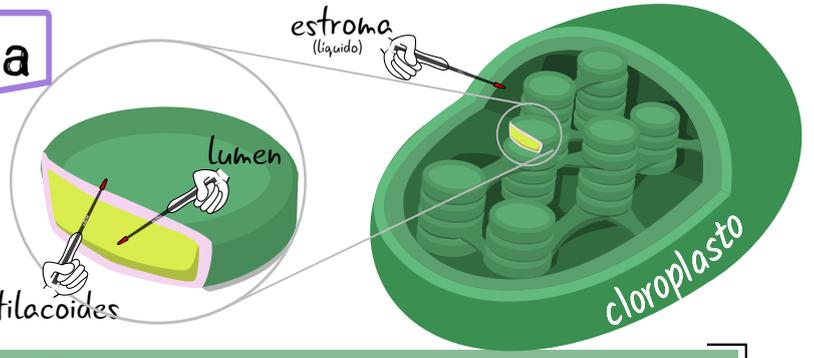
Ten en cuenta que ...

- 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.

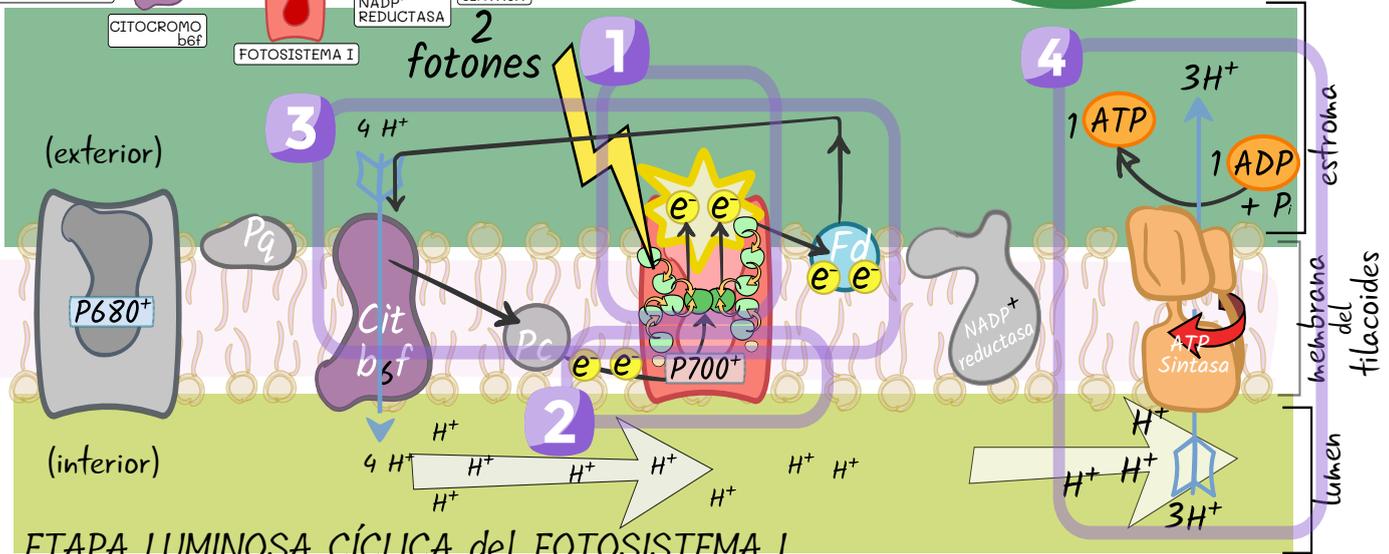
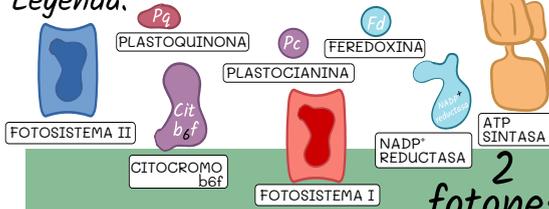


A continuación, se muestra una imagen de todo lo que ocurre en la fase luminosa cíclica del fotosistema I. En los recuadros de abajo te explico lo que ocurre en cada etapa.

# Fase luminosa cíclica del PS I

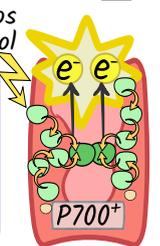


Legenda:

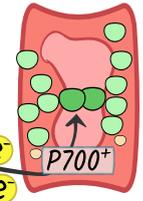


## ETAPA LUMINOSA CÍCLICA del FOTOSISTEMA I

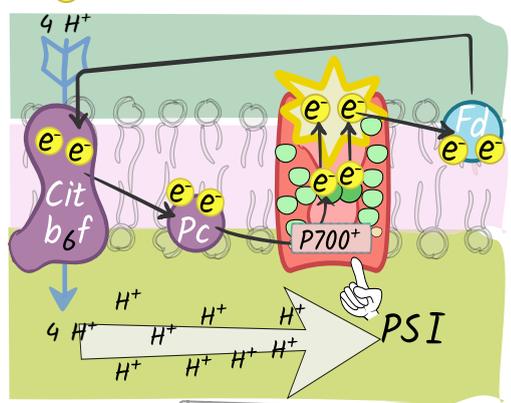
**1** CONVERTIR LA ENERGÍA LUMÍNICA del SOL en ENERGÍA QUÍMICA en el PS I  
 Los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, la clorofila b y los carotenoides) del anillo del fotosistema I (PS I) absorben fotones de luz y excitan a sus electrones, los cuales pasan a un nivel de energía superior. Cuando estos 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.



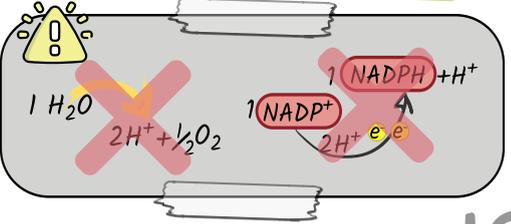
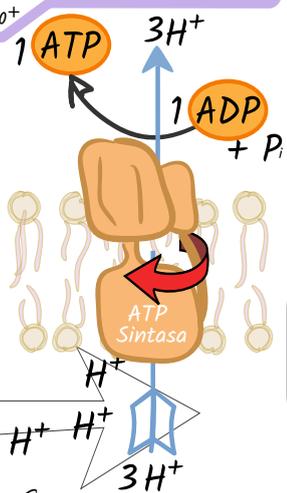
**2** REPONER LOS ELECTRONES PERDIDOS por la CLOROFILA DIANA del PS I  
 La clorofila a diana o par P700+ recupera los electrones perdidos, porque la plastocianina se los da. ¿Cómo ocurre esto? Los electrones generados en el PS I vuelven otra vez.  
 Todo lo dicho anteriormente, puede resumirse en la 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 la cadena de transportadores de electrones y eventualmente regresa al P700, completando así un ciclo.  
 ¿Cómo lo hace? El fotosistema I transfiere los electrones a la ferredoxina, ésta dona los electrones a al citocromo b6/f que al recibirlos hace dos cosas: (1) bombar 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  
 $P700^+ \rightarrow (2e^-) \rightarrow \text{ferredoxina} \rightarrow (2e^-) \rightarrow \text{citocromo b6/f} \rightarrow (2e^-) \rightarrow P700^+$



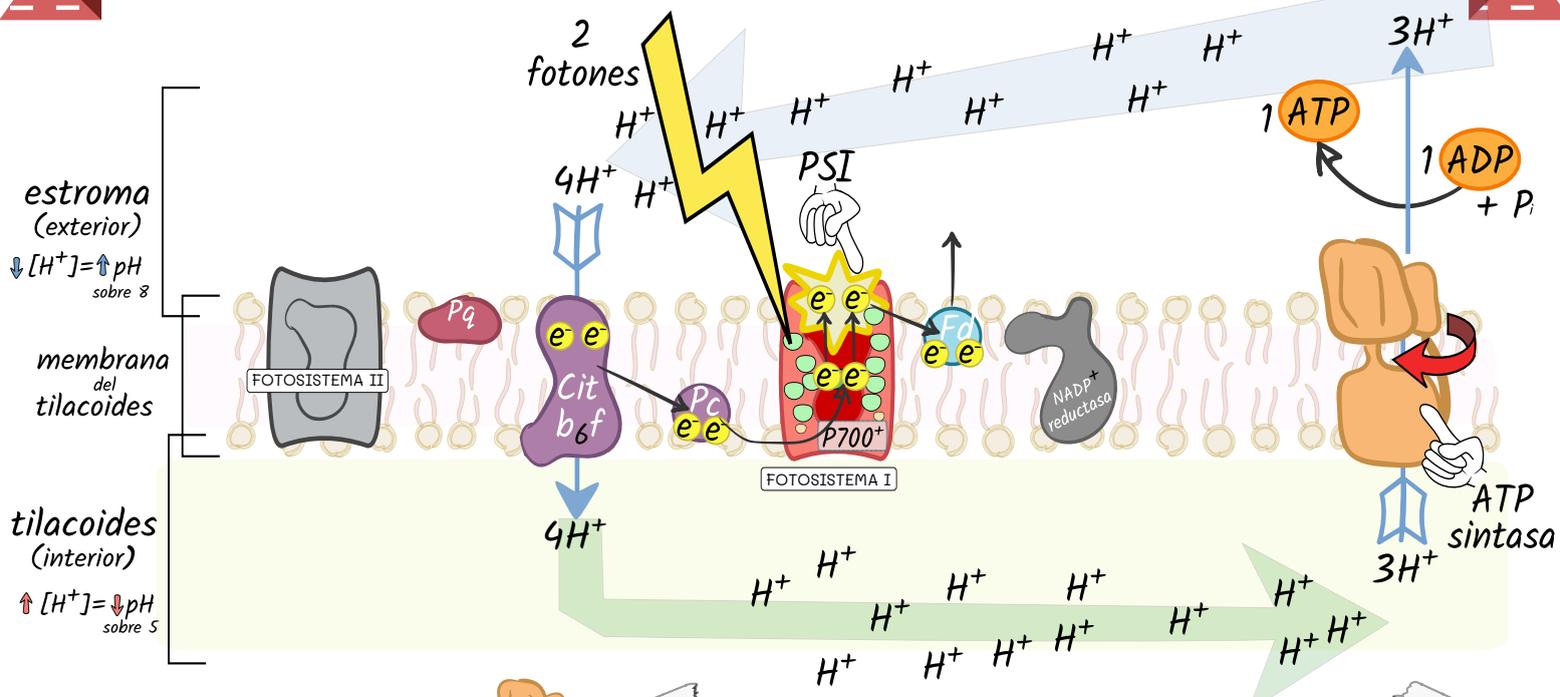
**4** SÍNTESIS del ATP  
 La síntesis de ATP ocurre en dos etapas: formación de gradiente de protones y uso de gradiente para sintetizar ATP.  
 · Formación del gradiente de protones. Los protones se acumulan en el lumen (= espacio intratilacoideal) debido a la fotólisis del agua y el bombeo de protones 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.



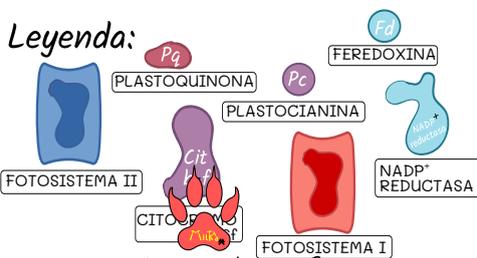


Elabora un resumen que te quepa en este espacio, donde se explique la etapa luminosa cíclica de la fotosíntesis. Nota: El dibujo de abajo apoya tu explicación

# 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 + P<sub>i</sub>.

## 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<sup>+</sup>) para sintetizar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), azufre inorgánico (S) y ácidos nítricos (NO<sub>3</sub>).

Nos vamos a centrar en el caso del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el cual puede transformarse en moléculas orgánicas siguiendo tres vías diferentes según la especie de planta: Vía C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> o CAM. Nosotros vamos a estudiar lo que ocurre en la vía C<sub>3</sub> o ciclo de Calvin

¿Cómo se genera materia orgánica a partir del CO<sub>2</sub>?

### Ciclo de Calvin (transformar CO<sub>2</sub> en glucosa)

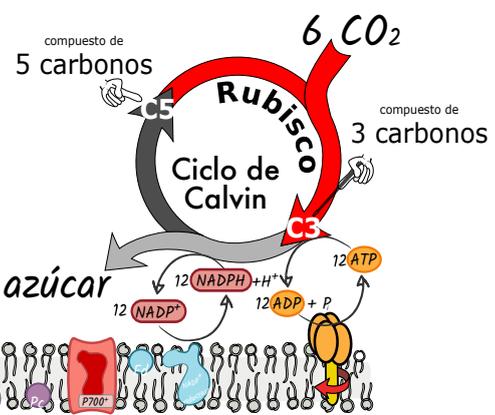
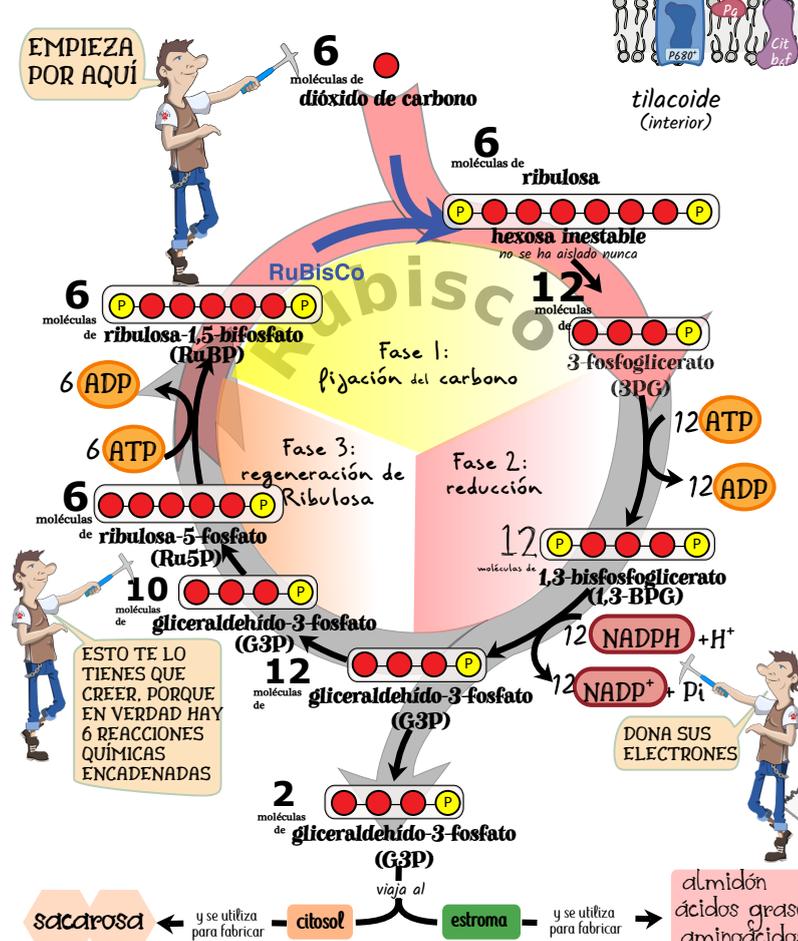
EL TIPO DE FASE OSCURA MÁS UTILIZADO

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 C<sub>3</sub> (toma el nombre de C<sub>3</sub>, 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, lo 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 CO<sub>2</sub> y (3) fase de la regeneración de RuBP consumida. ¿Qué tipo de organismos autótrofos realizan esta vía? La vía C<sub>3</sub> 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



¿Dónde ocurre?  
en las **planta C<sub>3</sub>**

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

- células eucariotas que tengan cloroplastos, recuerda en el estroma
- células procariotas 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<sup>+</sup> 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 la fotosíntesis oxigénica (utilizando los dos fotosistemas es el caso de la cianobacterias o un solo fotosistema, el PS I, como las bacterias púrpuras no del azufre y bacterias verdes no del azufre); o bien, la fotosíntesis anoxigénica que utilizan el fotosistema I como las bacterias púrpuras y bacterias verdes

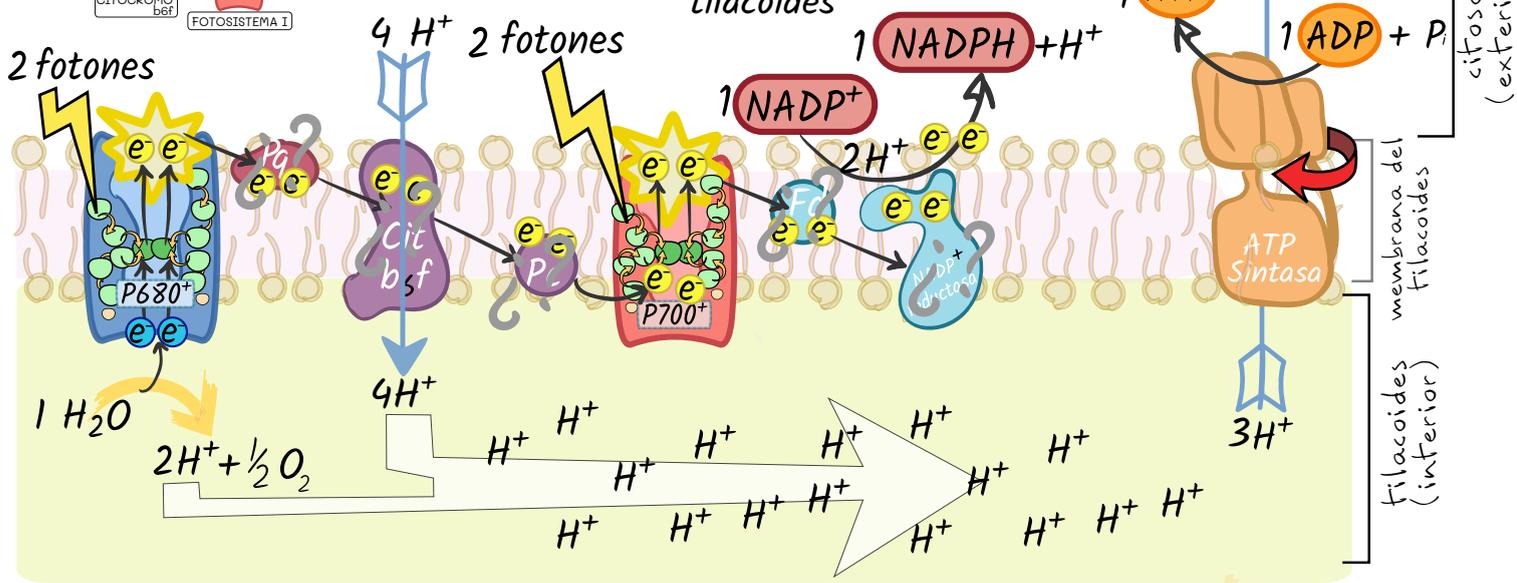
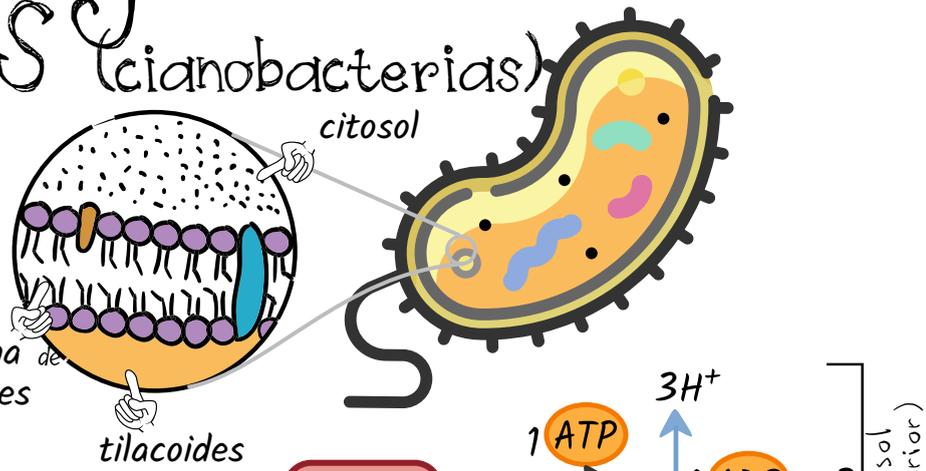
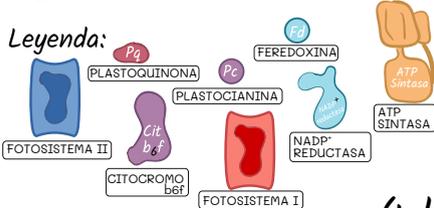
## 3.1 FOTOSÍNTESIS OXIGÉNICA de Las BACTERIAS (cianobacterias)

La fotosíntesis oxigénica de las cianobacterias 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 (O<sub>2</sub>). La fotosíntesis oxigénica cianobacterias 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 O<sub>2</sub>, porque el dador de electrones es el agua.
- El CO<sub>2</sub> se reduce mediante el ciclo de Krebs



## 3.2 FOTOSÍNTESIS ANOXIGÉNICA de Las BACTERIAS del AZUFRE

La fotosíntesis anoxigénica de las bacterias del azufre 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). ¡Y lo más importante! No libera oxígeno molecular (O<sub>2</sub>). El dador de electrones más común (no es el único) es el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S) el azufre elemental (S) o el hidrógeno gaseoso (H<sub>2</sub>). La fotosíntesis anoxigénica ocurre en la membrana plasmática de las células procariontas y solo utilizan el fotosistema I (el fotosistema II está ausente)

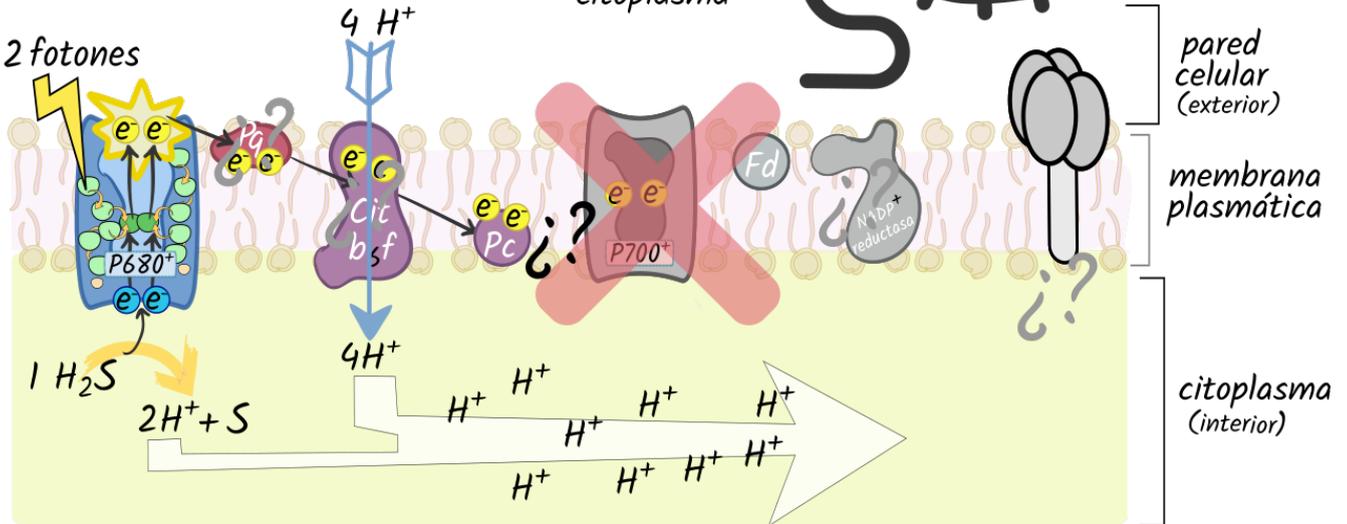
# Fotosíntesis anoxygenic

## DE LAS BACTERIAS ROJAS del AZUFRE

Ten en cuenta que...

- Habitan en zonas anóxicas de lagos bien iluminados
- Poseen solo el PS II, ubicado en los pliegues de la membrana plasmática
- Usan como dadores de electrones compuestos reducidos de azufre inorgánico, como el H<sub>2</sub>S. En vez de oxígeno, liberan azufre.
- Reducen el CO<sub>2</sub> mediante el ciclo de Calvin.

Leyenda:



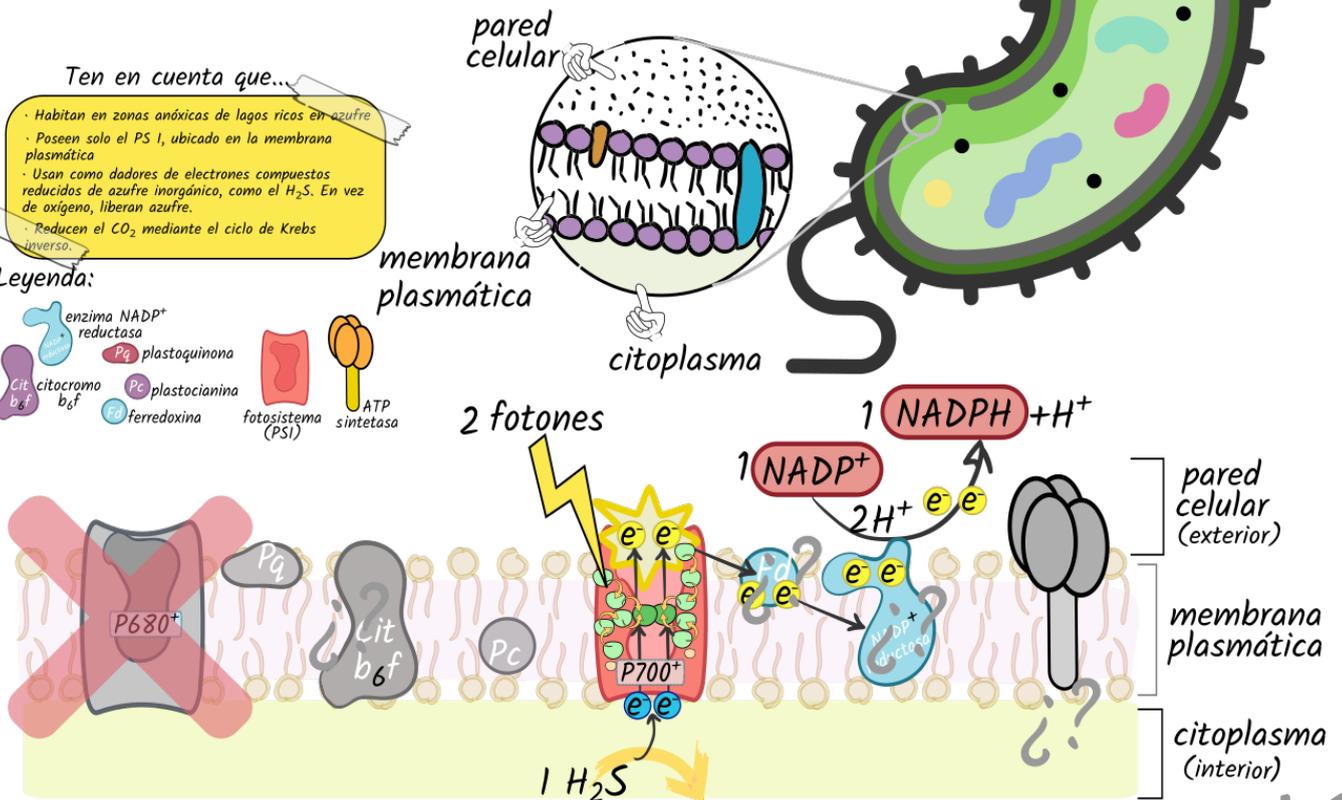
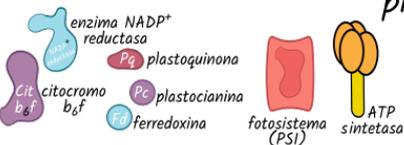
# Fotosíntesis anoxygenic

## DE LAS BACTERIAS VERDES del AZUFRE

Ten en cuenta que...

- Habitan en zonas anóxicas de lagos ricos en azufre
- Poseen solo el PS I, ubicado en la membrana plasmática
- Usan como dadores de electrones compuestos reducidos de azufre inorgánico, como el H<sub>2</sub>S. En vez de oxígeno, liberan azufre.
- Reducen el CO<sub>2</sub> mediante el ciclo de Krebs inverso.

Leyenda:



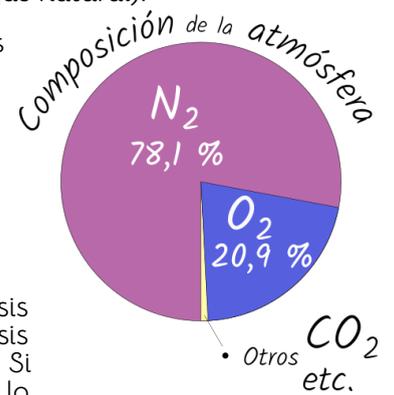
José Manuel Huertas Suárez



# 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 CO<sub>2</sub> atmosféricos y es el origen de los recursos energéticos fósiles (carbón, petróleo y gas natural).

➤ **Mantiene los niveles de O<sub>2</sub> 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, incluyendo plantas, animales y muchos microorganismos, consumen oxígeno durante la respiración celular. Sin embargo, la fotosíntesis repone constantemente el oxígeno utilizado, manteniendo así un equilibrio relativamente estable en la atmósfera.



➤ **Mantiene los niveles de CO<sub>2</sub> constante** en torno al 1 %; ya que en la fotosíntesis (fase oscura) el CO<sub>2</sub> se transforma en otras moléculas orgánicas. La fotosíntesis consume/ absorben CO<sub>2</sub>, lo que permite que NO se acumule en la atmósfera. Si no fuera por la fotosíntesis, los niveles de CO<sub>2</sub> aumentarían significativamente, lo que provocaría un calentamiento global más intenso.

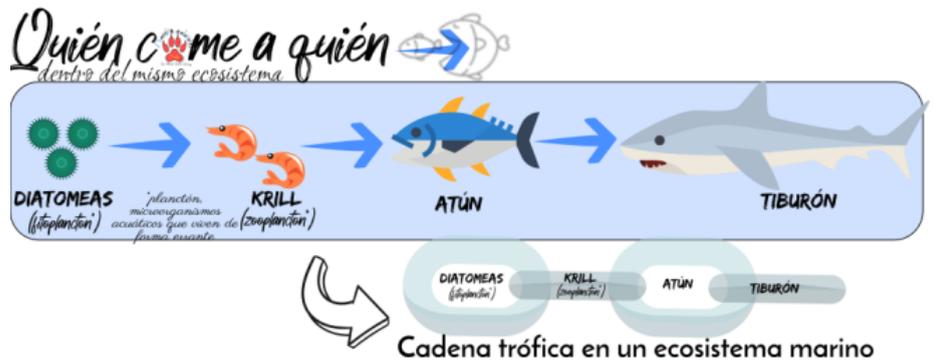
➤ **Ha permitido la formación de la capa de ozono (O<sub>3</sub>)**, la cual nos protege de los rayos solares ultravioleta del sol (UVA). El ozono (O<sub>3</sub>), al absorber la radiación UV, se descompone en O<sub>2</sub> (oxígeno molecular) y O (oxígeno atómico). El oxígeno molecular y el atómico se combina y forma de nuevo ozono, iniciándose el ciclo continuo del ozono (O<sub>2</sub> + O → O<sub>3</sub>). Sabemos que oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) viene de la fotosíntesis, pero ¿el oxígeno atómico (O) de dónde viene? Pues de dos vías:

- **la fotodisociación del oxígeno molecular**, donde la radiación UVA rompe las moléculas de oxígeno molecular, generando dos átomos de oxígeno atómico. Gráficamente se resume así:  $O_2 + luz \rightarrow O + O$
- **fotodisociación del agua**, donde la radiación UVA rompe las moléculas de agua, generando una molécula de hidrógeno y un oxígeno atómico. Gráficamente se resume así:  $H_2O + luz \rightarrow H_2 + O$

➤ Los organismos que realizan la fotosíntesis son el **primer eslabón de la cadena trófica**. Esto se debe a que son capaces de convertir la energía solar y los nutrientes inorgánicos en materia orgánica a través de la fotosíntesis.

La materia orgánica producida por los organismos fotosintéticos sirve como alimento para otros organismos, iniciando así las cadenas tróficas. Por ejemplo, el fitoplancton es consumido por el zooplancton, que a su vez es alimento para peces más grandes y así sucesivamente.

La fotosíntesis es la base de prácticamente todos los ecosistemas de la Tierra. Desde los bosques terrestres hasta los océanos, la vida depende directa o indirectamente de la energía capturada por los organismos fotosintéticos.



La fotosíntesis no solo es esencial para la producción de oxígeno y la regulación del clima, sino que también es el motor que impulsa la vida en nuestro planeta al proporcionar la materia orgánica necesaria para alimentar a todos los demás organismos

➤ La fotosíntesis no solo es el origen de la vida en la Tierra, sino que también ha dado lugar a una de las principales fuentes de energía que utilizamos hoy en día. La formación de combustibles fósiles es un proceso a largo plazo que se inicia con la fotosíntesis y que ha tenido un profundo impacto en la historia de la humanidad.

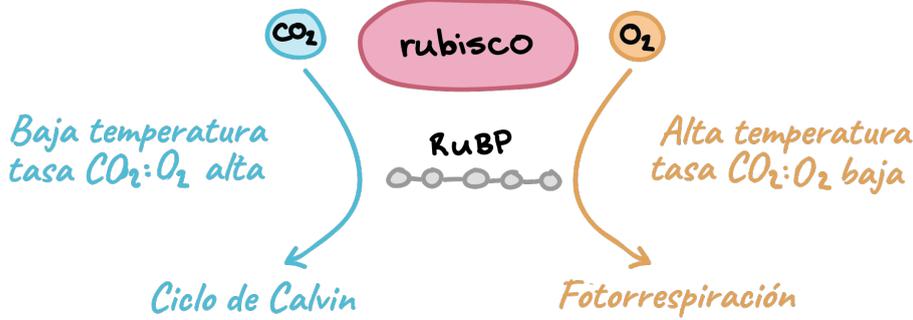
- **Materia orgánica acumulada.** Los organismos fotosintéticos, al morir y descomponerse en condiciones específicas (como en el fondo de antiguos océanos o lagos), pueden acumular grandes cantidades de materia orgánica.
- **Formación de combustibles fósiles.** A lo largo de millones de años, esta materia orgánica enterrada y sometida a altas temperaturas y presiones se transforma en combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos combustibles fósiles almacenan la energía solar capturada originalmente por las plantas a través de la fotosíntesis.



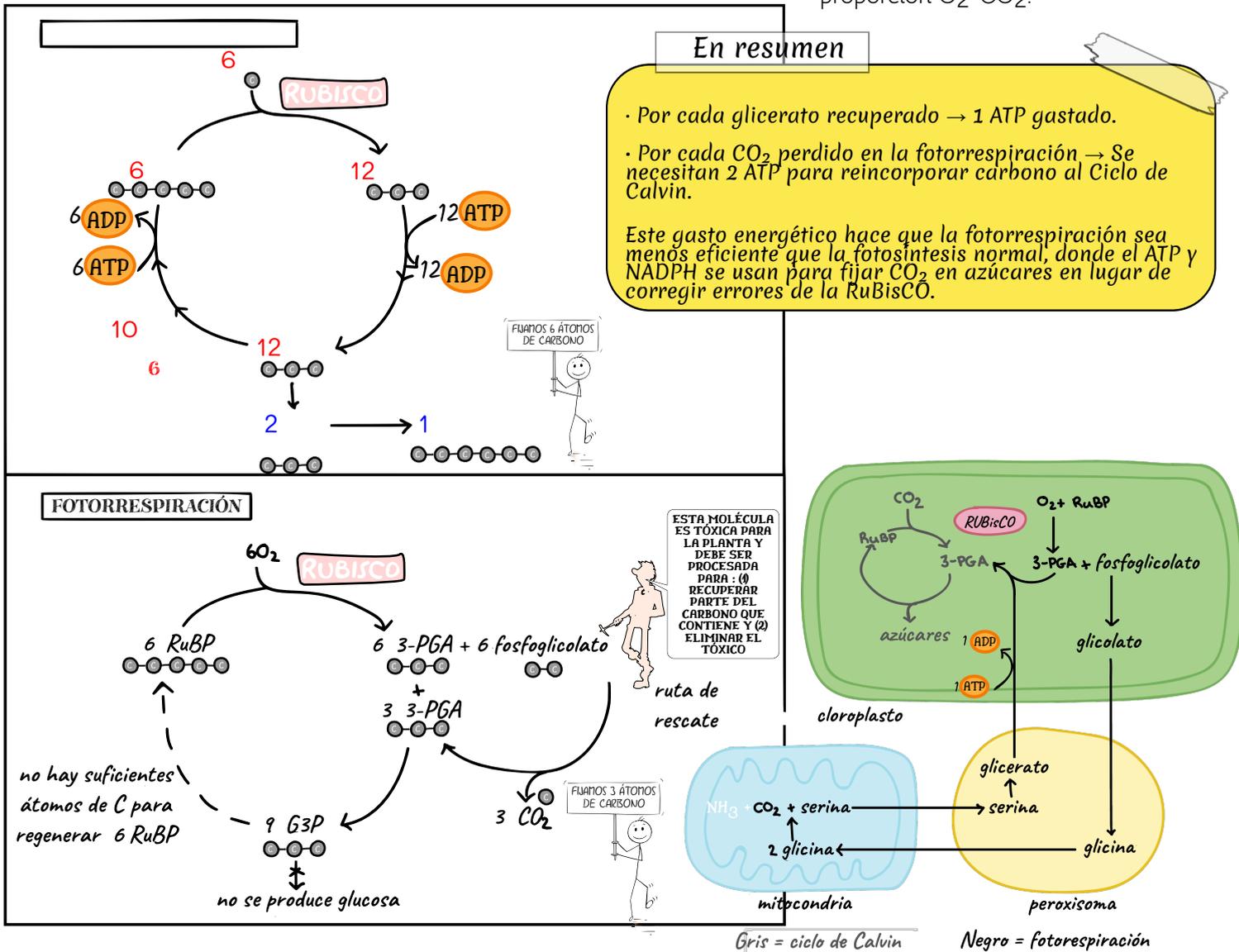
# 5 La FOTORRESPIRACIÓN

La fotorrespiración es un proceso metabólico que ocurre en las plantas cuando la enzima RuBisCO fija oxígeno en lugar de dióxido de carbono (la planta consume oxígeno y libera dióxido de carbono, en lugar de fijar dióxido de carbono) durante la fotosíntesis. Este proceso puede ocurrir cuando la concentración de CO<sub>2</sub> es baja y la concentración de O<sub>2</sub> es alta, como en condiciones de alta temperatura. Se necesita de la maquinaria enzimática de 3 orgánulos: el cloroplasto, el peroxisoma y la mitocondria, además del citosol. Se realiza en plantas C3 principalmente, y C4 en menor medida.

El O<sub>2</sub> y el CO<sub>2</sub> compiten por la enzima RuBisCO (= ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa/ oxigenasa) ¿Por qué ocurre esto?



Cuando una planta tiene sus estomas (= poros de las hojas) abiertos, el CO<sub>2</sub> se introduce dentro de la planta y el O<sub>2</sub> 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 O<sub>2</sub> de la fotosíntesis se acumula dentro de la hoja. En estas condiciones, la fotorrespiración aumenta debido a la mayor proporción O<sub>2</sub>-CO<sub>2</sub>.



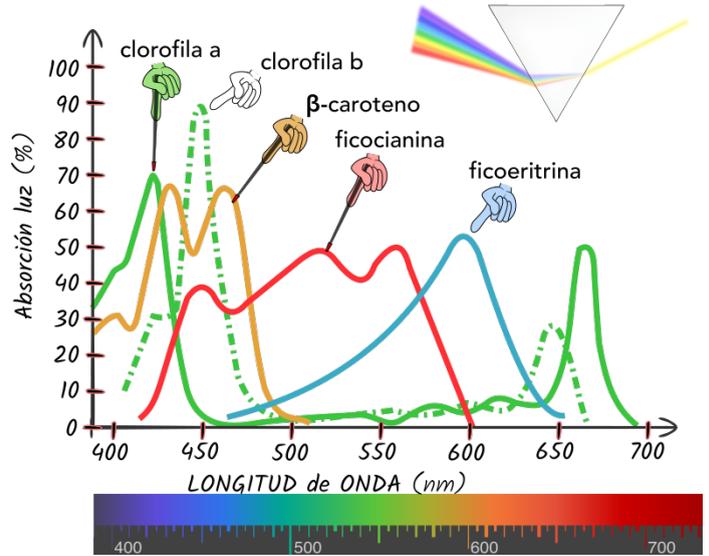
# 6 Factores que influyen en la intensidad fotosintética

El rendimiento de la fotosíntesis se mide en función del CO<sub>2</sub> consumido o el O<sub>2</sub> 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.

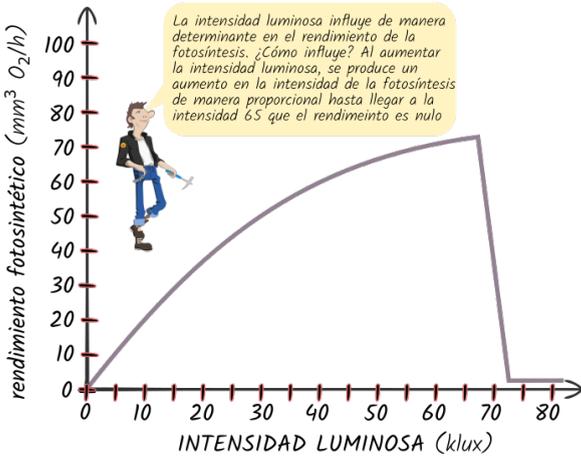
**La intensidad luminosa.** Cada especie está adaptada a vivir dentro de un intervalo de intensidad de luz (hay especies de penumbra y especies fotófilas). Independientemente del intervalo, se ha comprobado que a mayor intensidad luminosa, mayor rendimiento fotosintético, hasta superar ciertos límites, 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



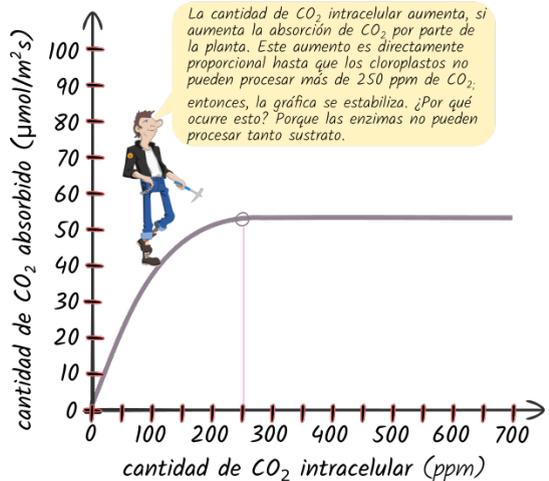
Influencia de la INTENSIDAD LUMINOSA en la fotosíntesis



**La concentración de O<sub>2</sub>.** Cuanto mayor es la concentración de oxígeno, menor es el rendimiento fotosintético, debido a la fotorrespiración.

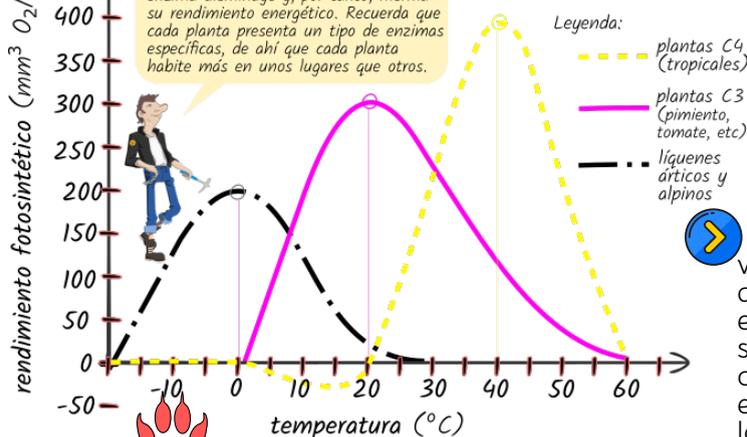
**La concentración de CO<sub>2</sub>.** Si la intensidad luminosa es elevada y constante, el rendimiento del proceso fotosintético aumenta en relación directa con la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire, hasta llegar a un valor a partir del cual se estabiliza.

Influencia de la concentración de CO<sub>2</sub> AMBIENTAL en la fotosíntesis



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

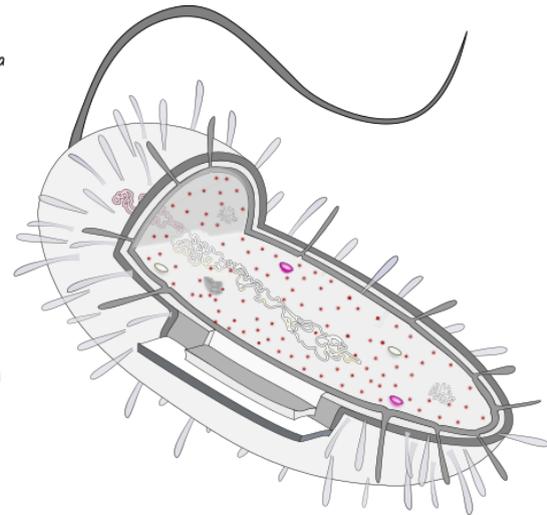
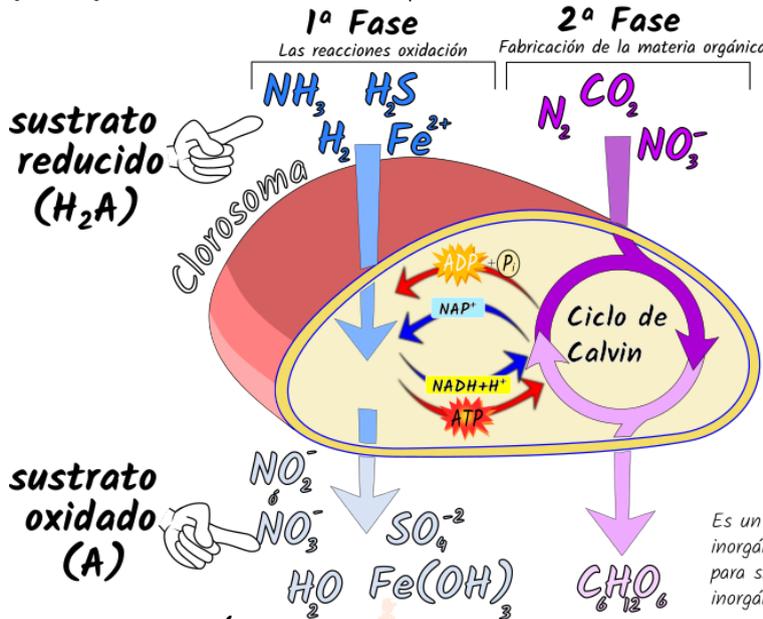
Influencia de la TEMPERATURA AMBIENTAL en la fotosíntesis



**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 CO<sub>2</sub> se ve dificultada. Además, el aumento de la concentración de oxígeno interno provoca la fotorrespiración. Ello explica que, en estas circunstancias, las plantas C<sub>4</sub> sean más eficaces que las C<sub>3</sub>.

# 7 ANABOLISMO QUIMIOAUTÓTROFO

La quimiosíntesis es un proceso anabólico donde se utiliza la energía desprendida en reacciones exortérmicas (ATP, [NADH+H<sup>+</sup>]) para fabricar moléculas orgánicas a partir de moléculas inorgánicas (CO<sub>2</sub>, NO<sup>-3</sup>, SO<sub>2</sub><sup>-4</sup>, 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<sup>+</sup> y luego se utilizan para sintetizar moléculas orgánicas a partir de compuestos inorgánicos.

## 7.1 Las FASES de la QUIMIOSÍNTESIS

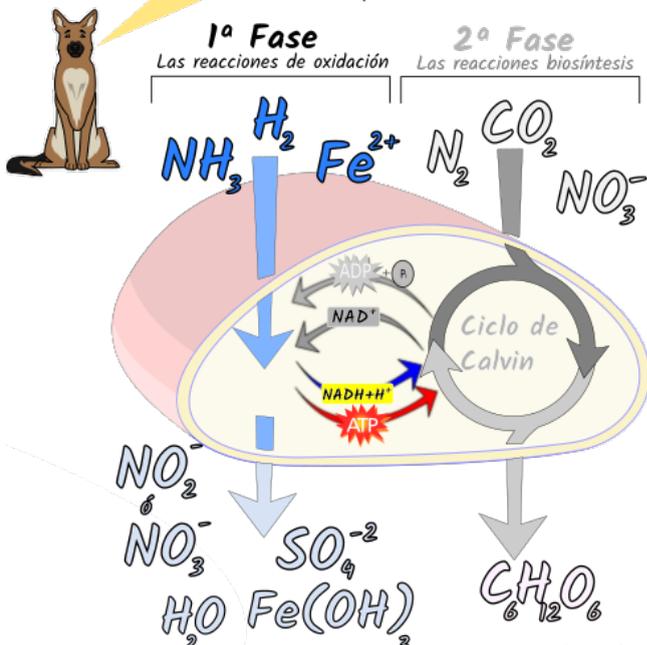
En la quimiosíntesis, se pueden distinguir dos fases: la primera en la que se obtiene ATP y la coenzima reducida [NADH+H<sup>+</sup>], y la segunda en la que se emplea el ATP y el [NADH+H<sup>+</sup>] anteriores para sintetizar compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos (CO<sub>2</sub>, NO<sup>-3</sup>, SO<sub>2</sub><sup>-4</sup>, 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<sup>+</sup>].

➤ Segunda fase o fase biosintética: obtención de materia orgánica. Se utiliza el ATP y el [NADH+H<sup>+</sup>] 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 CO<sub>2</sub> 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 (N<sub>2</sub>).

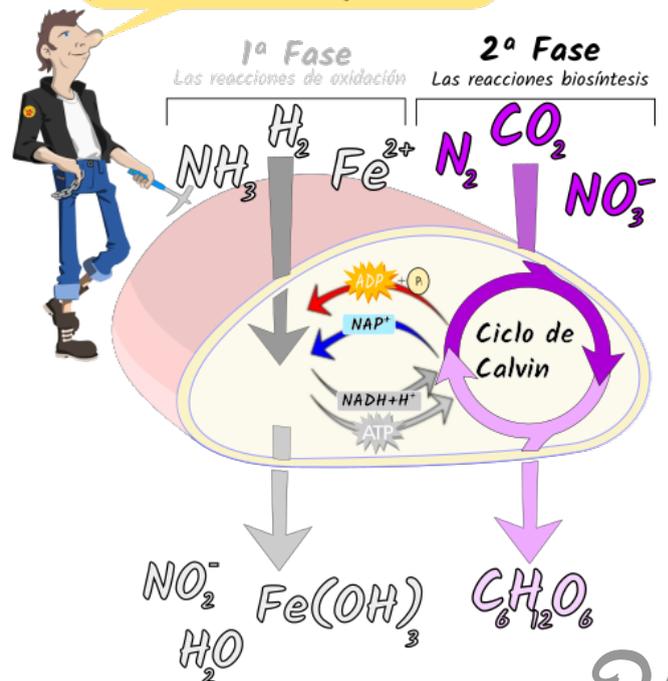
### 1ª Fase

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<sup>+</sup> a partir del NAD<sup>+</sup>.



### 2ª Fase

Se sintetiza materia orgánica a partir de materia inorgánica.

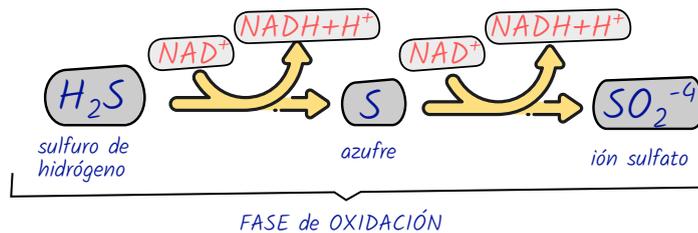


## 7.2 BACTERIAS QUIMIOAUTÓTROFAS

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 CO<sub>2</sub>; 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 (H<sub>2</sub>S) procedente de la descomposición de la materia orgánica (que abunda en las aguas residuales y emanaciones hidrotermales).



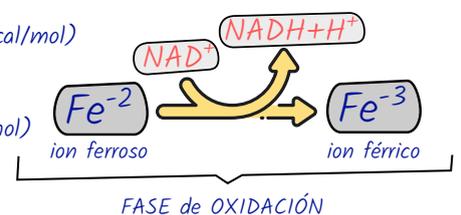
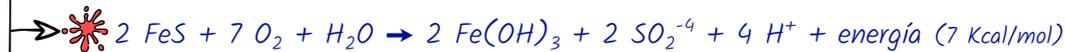
**Bacterias del nitrógeno.** Oxidan compuestos reducidos del nitrógeno como aminoácidos y nucleótidos. Por ejemplo:

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

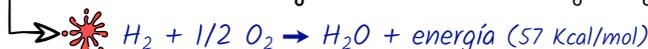
**Nitrificación llevadas a cabo por las del género Nitrobacter:** oxidan el nitrito (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) a nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) de la siguiente manera:  $2 \text{NO}_2^- + 3 \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{NO}_3^- + \text{energía (17 Kcal/mol)}$ . Estos nitratos son asimilados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



**Bacterias del hierro.** Oxidan compuestos ferrosos (Fe<sup>2+</sup>) a férricos (Fe<sup>3+</sup>) y obtienen energía química en forma de NADH+H<sup>+</sup>. 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

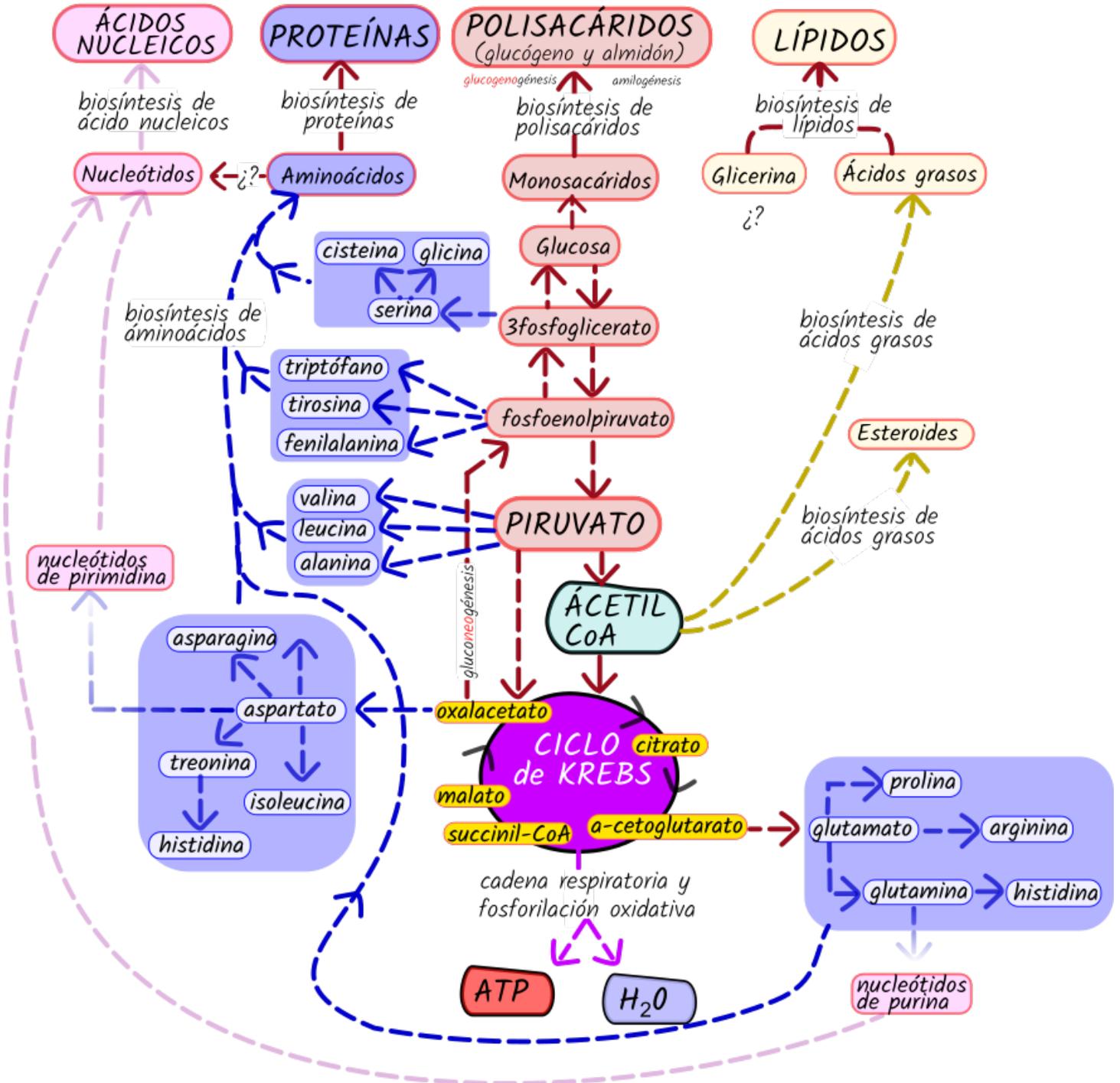


# 8 ANABOLISMO QUIMIOHETERÓTROFO

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

Rutas anabólicas son divergentes

Mismos reactivos dan distintos productos

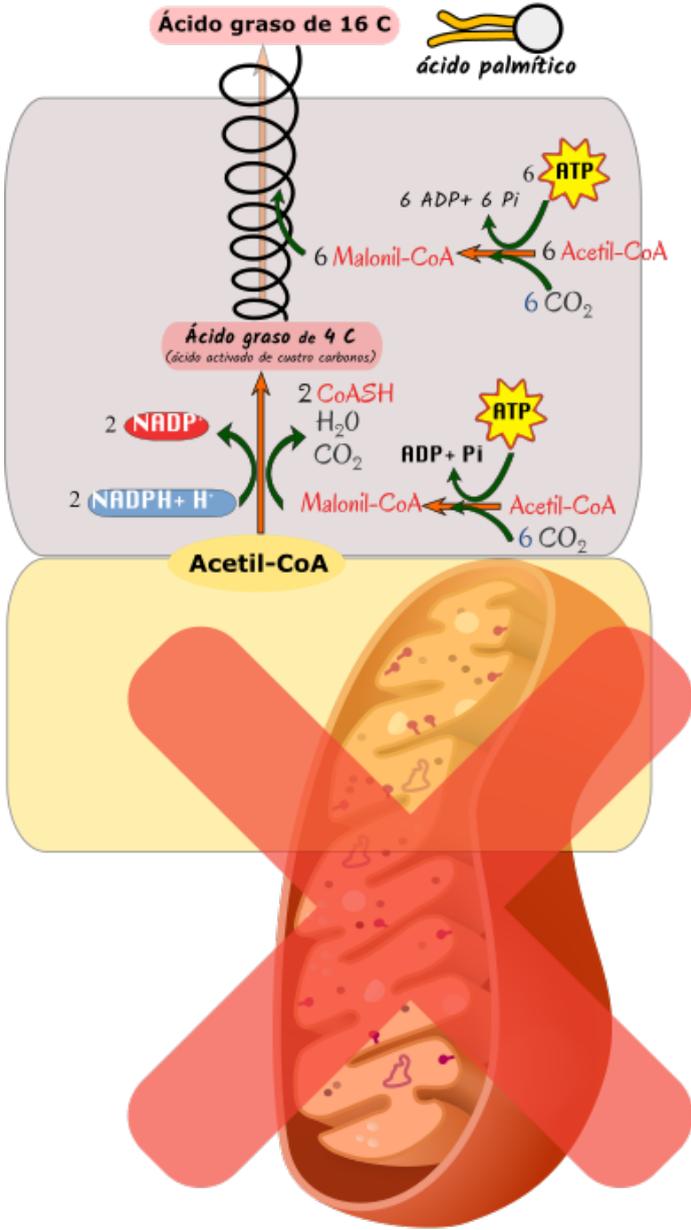


La mayoría de las vías anabólicas heterótrofas se dan en el citosol. Las excepciones más importantes son: la síntesis de ácidos nucleicos que se dan en el núcleo, cloroplastos y mitocondrias; la síntesis de proteínas, que se da en los ribosomas; la síntesis de fosfolípidos y colesterol que se dan en 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<sup>+</sup> y FAD.



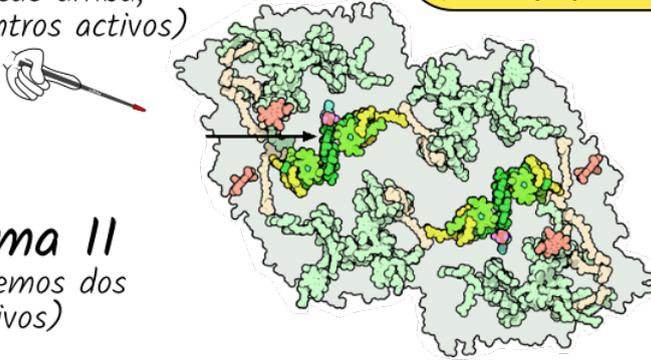
# Biosíntesis de ácidos grasos



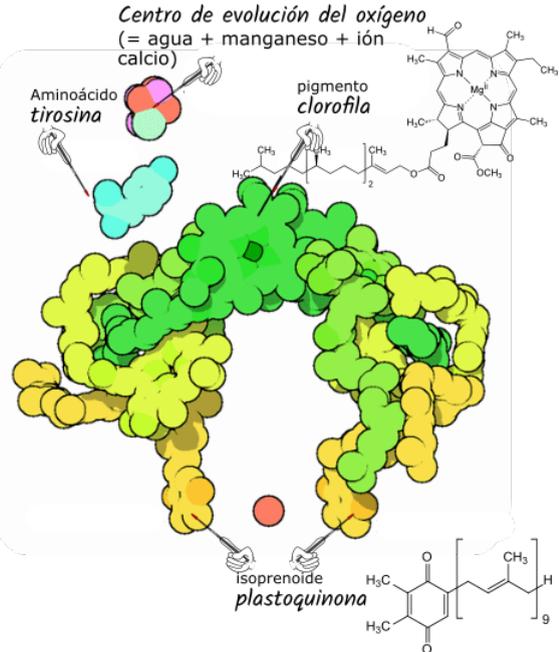
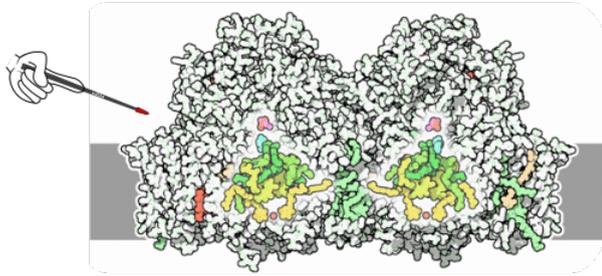
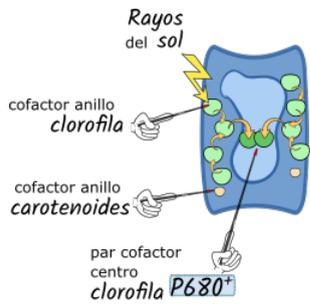
## Ideas clave del PS II

**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)



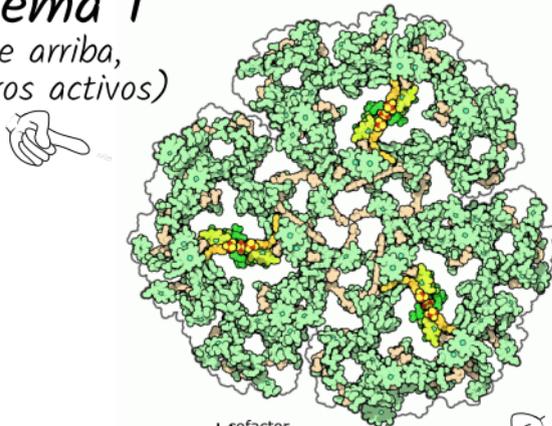
### Fotosistema II (vista lateral, vemos dos centros activos)



## Ideas clave del PS I

**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 (visto desde arriba, vemos 3 centros activos)

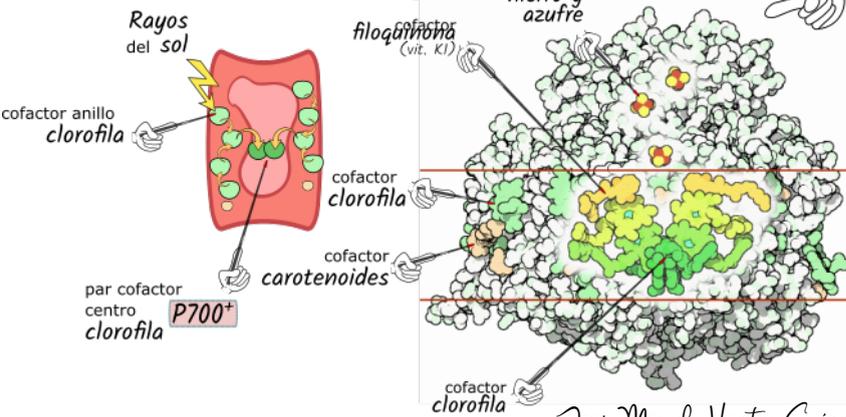


### Fotosistema I (vista lateral, vemos un centro activo)

#### 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).

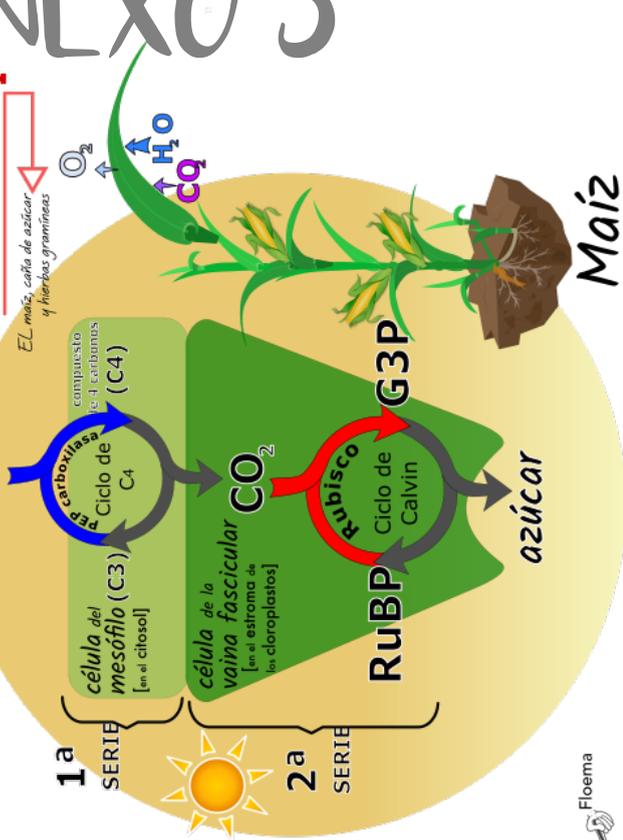


José Manuel Huertas Suárez

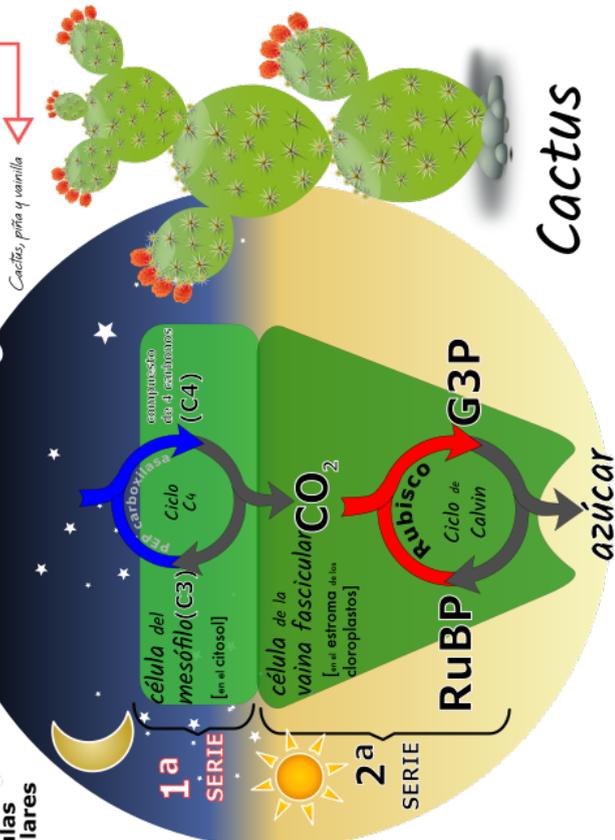




## Fijación del CO<sub>2</sub> en las plantas C<sub>4</sub>



## Fijación del CO<sub>2</sub> en las plantas CAM



# Fotosíntesis en plantas C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub> y CAM

## Fijación del CO<sub>2</sub> en las plantas C<sub>3</sub>

