

1. Los cloroplastos. La fotosíntesis.

1.1. Los cloroplastos.

Orgánulos redondeados similares a las mitocondrias, de origen endosimbiótico, típicos de células vegetales. Su tamaño es de 3-19 μ m de longitud por 1-2 μ m de anchura. Están formados por una doble membrana; la membrana interna tiene pliegues longitudinales formando láminas. Los pliegues están unidos entre sí por pilas de sáculos aplanados, llamados **grana**. La membrana que forma las láminas y los sáculos aplanados se llama **tilacoide**, y en ella se encuentran partículas que contienen clorofila. El espacio que rodea a los grana se llama **estroma**, y está ocupado por un líquido semejante al del citoplasma que contiene ADN circular, ribosomas y enzimas. Su función consiste en realizar la fotosíntesis, gracias a que la clorofila se activa al recibir la luz solar, transformándose la energía luminosa en energía química, al sintetizarse materia orgánica a partir de materia inorgánica.

Los cloroplastos pueden tener otros pigmentos, pero siempre tienen clorofila. Tienen color verde, y se encuentran en los órganos verdes de los vegetales: hojas, tallos jóvenes, etc. Otros plastos son:

- **Cromoplastos**.- No tienen clorofila, pero sí otros pigmentos, como carotenos (color naranja) o xantofilas (color amarillo). Su estructura es similar a los cloroplastos, y se encuentran en órganos coloreados de los vegetales: flores, frutos, hojas en otoño, etc.
- **Leucoplastos**.- No tienen pigmentos, y por lo tanto no son coloreados. Contienen sustancias de reserva en los vegetales. Un tipo de leucoplasto es el **amiloplasto**, que contiene almidón y se encuentra en órganos reservantes como tubérculos (patatas), bulbos, etc.

1.2. El anabolismo autótrofo.

Anabolismo: síntesis de moléculas complejas a partir de otras sencillas.

En el anabolismo autótrofo las moléculas de partida son inorgánicas (H_2O , CO_2 , etc.). Si la energía utilizada es luminosa, hablamos de fotosíntesis, y si proviene de la energía desprendida en reacciones de oxidación, hablamos de quimiosíntesis. La fotosíntesis la realizan las plantas, algas, cianobacterias y bacterias fotosintéticas; la quimiosíntesis la realizan las bacterias quimiosintéticas. El anabolismo heterótrofo lo realizan todos los seres vivos.

1.3. La fotosíntesis.

Conversión de energía luminosa en energía química en forma de ATP. Este ATP se utiliza para sintetizar otras moléculas orgánicas. Este proceso es posible porque una molécula especial, un pigmento fotosintético, es capaz de excitarse con los fotones luminosos hasta perder un electrón y quedarse ionizado (oxidado). El electrón será repuesto por un dador de electrones, que se oxida a su vez. Los electrones que pierde el pigmento son captados por un aceptor de electrones, que se reduce, y luego a otros, en una cadena de aceptores que se reducen y oxidan sucesivamente. En este proceso se libera energía, que aprovechan las ATP-sintetasas para sintetizar ATP.

Los **pigmentos** pueden ser de dos tipos:

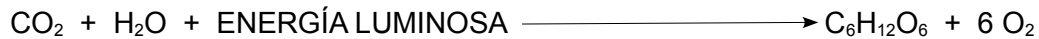
- ♦ Pigmentos antena, que captan energía luminosa y la pasan a otros pigmentos.
- ♦ Pigmentos diana. que reciben toda la energía captada por los anteriores y ceden el electrón al primer aceptor de electrones.

El **aparato fotosintetizador** está formado por:

- ♦ **Fotosistemas**, en que los pigmentos están asociados a proteínas de membrana. Un fotosistema está formado por una antena y un centro de reacción. La antena tiene 200-400 moléculas de pigmentos antena y no tiene pigmentos diana; el centro de reacción tiene una molécula de pigmento diana, el primer aceptor y el primer dador de electrones, y muy pocas moléculas antena. En las plantas superiores, algas y cianobacterias el dador de electrones es el agua, y al descomponerse ésta, se desprende oxígeno. Por eso se llama **fotosíntesis oxigénica**. En algunas bacterias el dador de electrones suele ser el H_2S , y no se desprende oxígeno, sino azufre. Se llama **fotosíntesis anoxigénica**.

- ♦ Cadena de transporte de e⁻. Es un conjunto de moléculas que se oxidan y reducen sucesivamente. Al hacerlo se produce un bombeo de protones hacia el espacio interno tilacoidal que crea un gradiente electroquímico. (Teoría quimiosmótica de Mitchell)
- ♦ ATP-sintetasas. Son proteínas transmembranosas a través de las cuales los H⁺ regresan al estroma a favor de gradiente; en este proceso se sintetiza ATP.

1.4. Fotosíntesis oxigénica.



Convierte materia inorgánica (dióxido de carbono y agua) en materia orgánica (glucosa u otras moléculas) utilizando como energía la luz solar. Durante el proceso se desprende oxígeno como sustancia de desecho. La materia orgánica formada, entre otras cosas, formará nuevos tejidos y hará crecer a la planta.

a) Fase luminosa acíclica.-

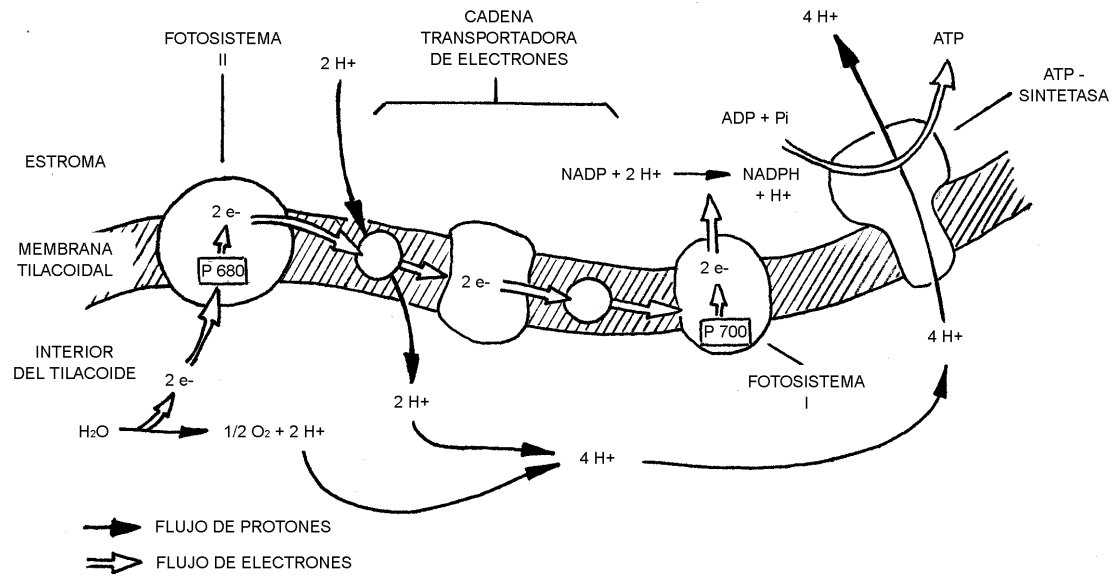
Ocurre en presencia de la luz. Intervienen moléculas de clorofila. Se produce en los tilacoides de los cloroplastos. Se forman ATP (energía) y NADPH (poder reductor), que se utilizarán en la fase siguiente.

Se produce la fotoexcitación de los pigmentos fotosintéticos; ésta hace que los electrones alcancen orbitales de mayor energía. Algunas moléculas (P-680 o P-700) reciben la energía suficiente para expulsar el electrón fuera de la molécula, y otra molécula, el **aceptor primario de electrones**, lo recoge y se reduce, a la vez que la molécula de clorofila se oxida (pierde electrones). El electrón desprendido será transportado de molécula en molécula a lo largo de la **cadena de transportadores de electrones**. La energía desprendida en este proceso es utilizada para la síntesis de moléculas de ATP. La última molécula de la cadena es el NADPH (poder reductor), que cederá los electrones al **aceptor último de electrones** en la siguiente fase. El **donador primario de electrones** es el H₂O, que repone los electrones perdidos por la clorofila; la ruptura (fotólisis) del agua también produce H⁺ y O₂, que se libera como desecho. Intervienen los dos fotosistemas, PSII y PSI.

A) PSII

- ♦ Los fotones luminosos inciden en el PSII.
- ♦ P680 se excita y pierde electrones.
- ♦ Fotólisis del agua: $\text{H}_2\text{O} \longrightarrow \frac{1}{2} \text{O}_2 + 2 \text{H}^+ + 2 \text{e}^-$. Los electrones de la fotólisis reponen los que ha perdido P680. En la cara interna de la membrana del tilacoide.
- ♦ Transporte de electrones a través de la cadena transportadora.

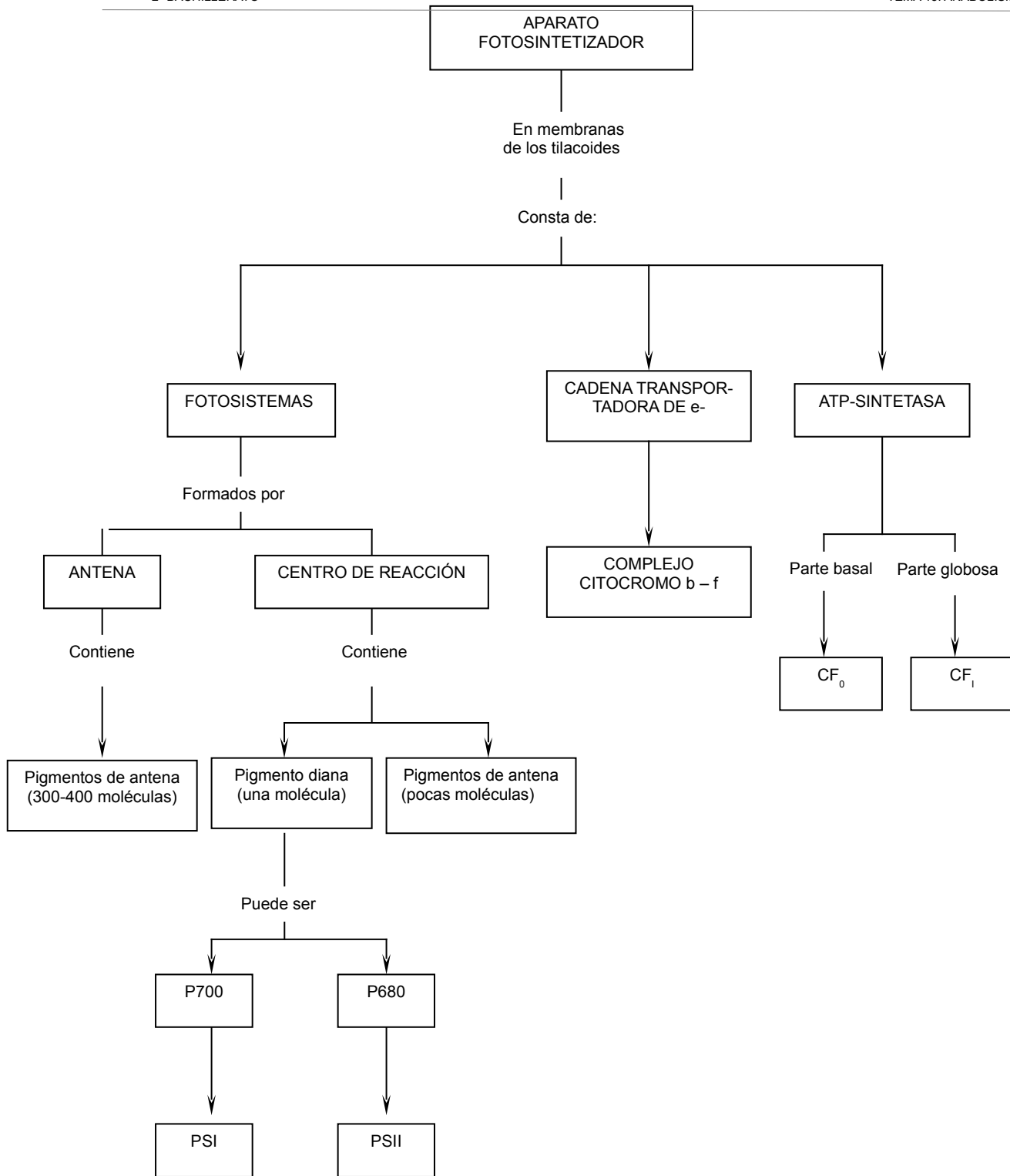
- ♦ Los protones (H⁺) salen al estroma a través de las ATP- sintetasas, y se sintetiza ATP (Fotofosforilación del ATP: $\text{ADP} + \text{P}_i \longrightarrow \text{ATP} + \text{H}_2\text{O}$). Este ATP no es suficiente para la síntesis de glucosa: se necesita fase luminosa cíclica.



B) PSI

- ♦ Fotones luminosos inciden en el PSI.
- ♦ P700 pierde electrones.
- ♦ Los electrones son repuestos de la cadena transportadora.
- ♦ los electrones perdidos reducen al NADP⁺:

$$\text{NADP}^+ + 2\text{H}^+ + 2 e^- \longrightarrow \text{NADPH} + \text{H}^+ .$$



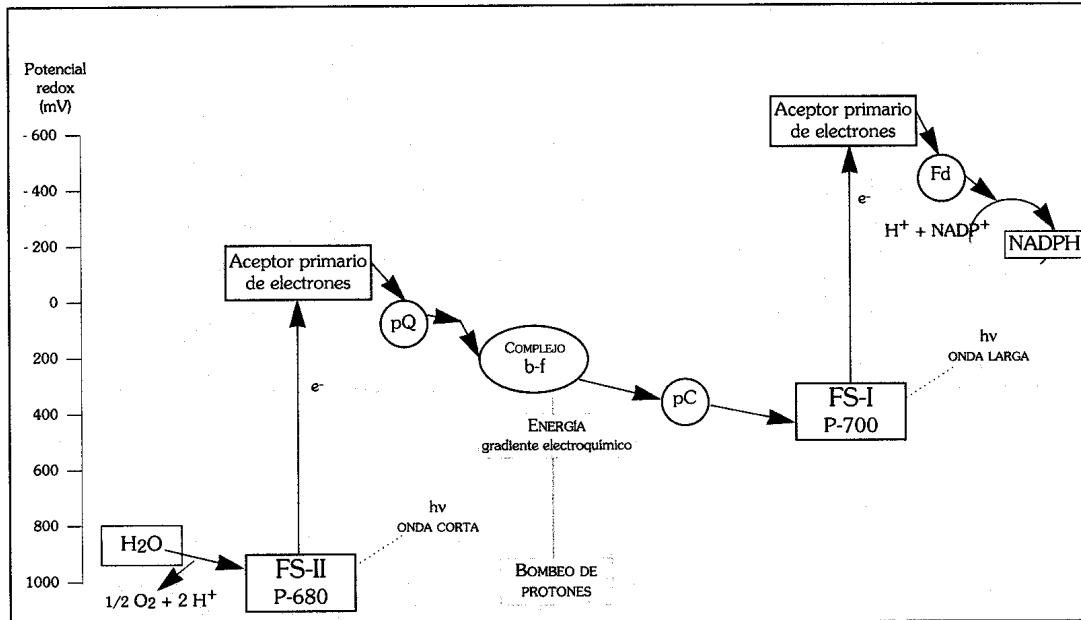
-Abundante en tilacoides de estroma.
-Partículas esféricas de 8-10 nm.

-Abundante en tilacoides de grana.
-Partículas ovaladas de 12-16 nm.

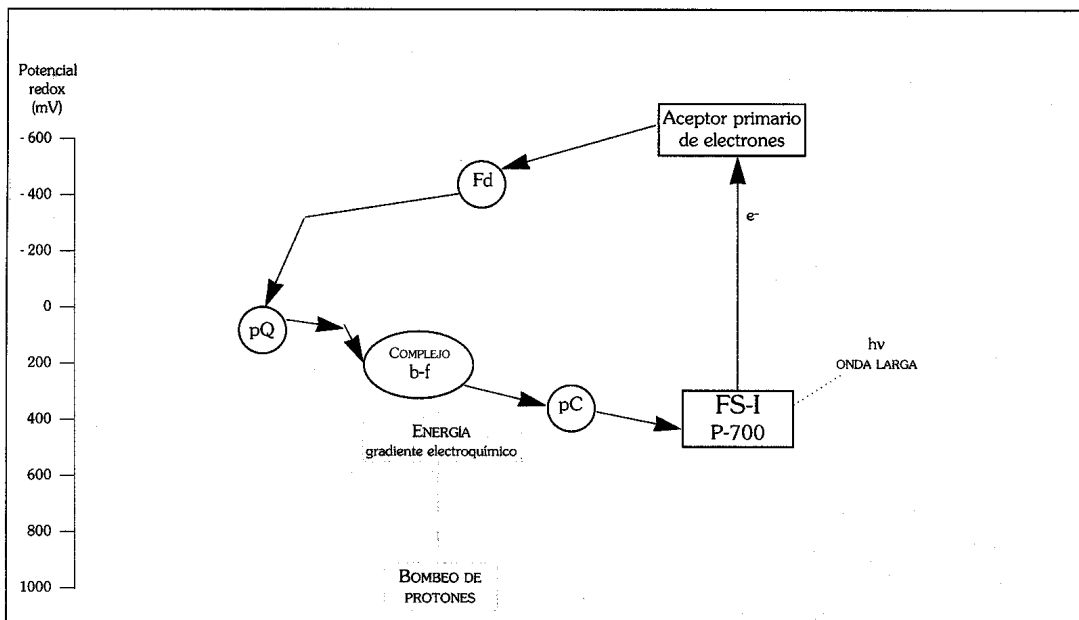
b) Fase luminosa cíclica.-

- ♦ Interviene sólo el PSII.

- ♦ No hay fotólisis de H₂O.
- ♦ No hay reducción de NADP⁺.
- ♦ No se desprende O₂.
- ♦ Se obtiene ATP.
- ♦ P700 se excita y cede electrones al citocromo bf, y de éste al P700 otra vez.



Flujo electrónico no cíclico.



Flujo electrónico cíclico.

c) Fase oscura

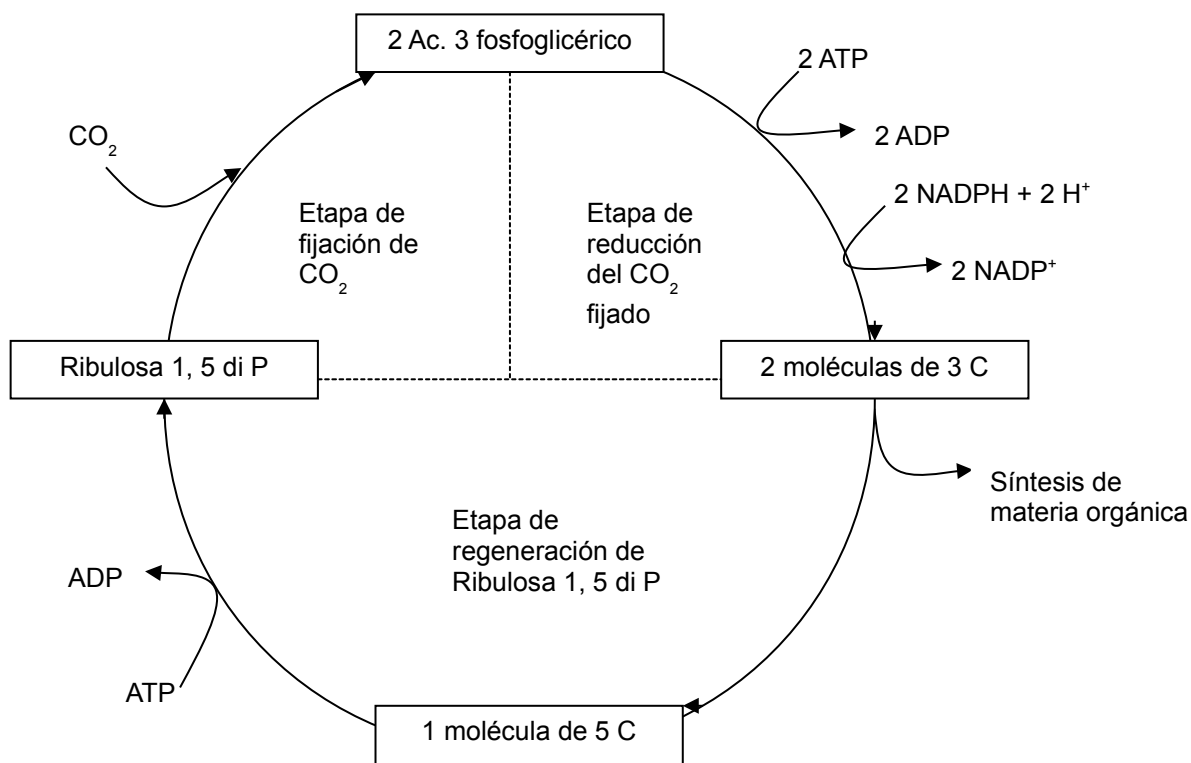
- ♦ Se utilizan los ATP y NADPH obtenidos en la fase anterior para sintetizar materia orgánica a partir de sustancias inorgánicas.
- ♦ Ciclo de Calvin. Cadena de reacciones metabólicas que ocurre en el estroma del cloroplasto.

Pueden distinguirse tres etapas:

Fijación del CO₂.

Reducción del CO₂ fijado.

Regeneración de la Ribulosa 1,5 difosfato.



d) Balance de la fotosíntesis.-

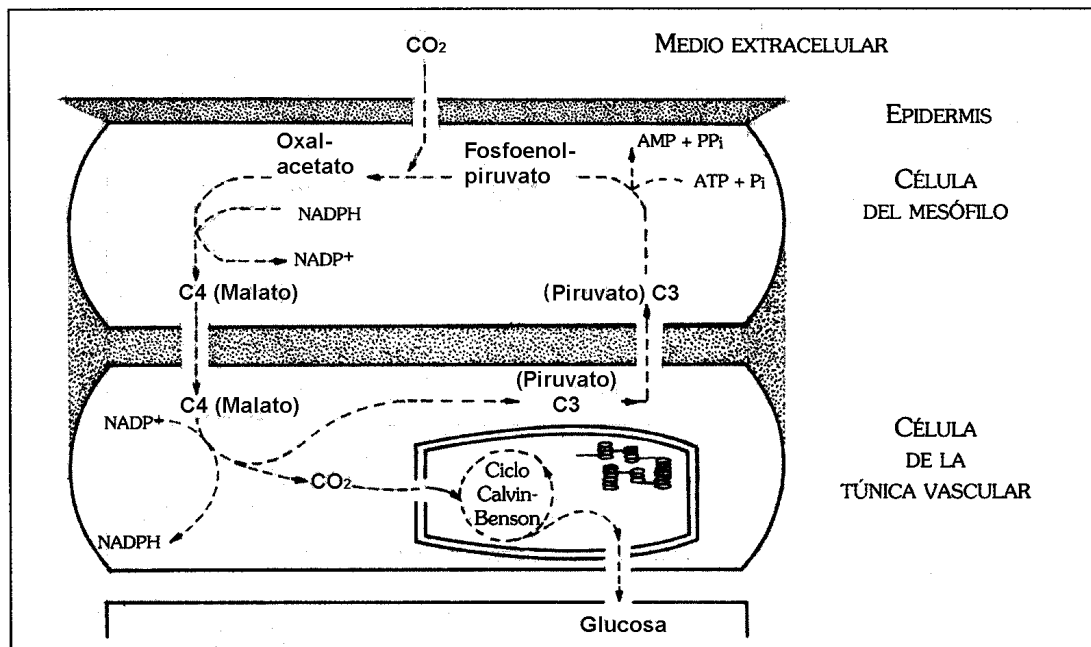
- ♦ Para sintetizar 1 molécula de glucosa hacen falta 6 CO₂ y 12 H₂O.
- ♦ 12 H₂O: 6 O₂ se liberan a la atmósfera, y de los 24 H, 12 se incorporan a la glucosa, y otros 12 se unen al O₂ del CO₂ para formar agua.
- ♦ Los 24 H suponen 24 e⁻ y 24 H⁺; cada electrón necesita el impacto de 2 fotones, uno en cada fotosistema (en total, 48 fotones).
- ♦ En la fase luminosa acíclica, por cada 3 H⁺ se sintetiza 1 ATP; como por una molécula de agua se introducen en el tilacoide 4 H⁺ (dos del agua y dos de la plastoquinona reducida), por cada molécula de agua hidrolizada se sintetizan 1,33 ATP. Como se gastan 12 H₂O, se producen 15,96 ATP.
- ♦ En la fase oscura (ciclo de Calvin) se necesita, por cada CO₂ incorporado, 2 NADPH y 3 ATP. Para una glucosa son necesarios, pues, 12 NADPH y 18 ATP.
- ♦ No hay suficiente ATP con la fase luminosa acíclica; la diferencia se supone que se obtiene de la fase luminosa cíclica

1.5. Plantas C4

- ♦ En ambientes cálidos y secos, los estomas de las hojas se cierran para evitar la pérdida de agua; el oxígeno generado por la fotosíntesis comienza un proceso llamado fotorrespiración que oxida a la ribulosa 1,5 difosfato y reduce un 50 % la capacidad fotosintética. Para evitar esta fotorrespiración, algunas plantas presentan una estructura distinta y un metabolismo distinto:
- ♦ En los cloroplastos de las células del parénquima asimilador se fija el CO₂ y da lugar a una molécula de 4 carbonos (C4). El enzima que realiza esta reacción no es perjudicado por altas

concentraciones de O₂.

- ♦ Esta molécula, convertida en ac. málico (C₄) pasa a otras células que rodean a los vasos conductores, y en sus cloroplastos se libera el CO₂ y entra en el ciclo de Calvin. La molécula queda convertida en otra de 3C, que vuelve a la célula inicial.



Esquema de la fotosíntesis del CO₂ en plantas C₄. Ciclo de Hatch y Slack. Reelaborado sobre Lehninger (1980).

1.6. La quimiosíntesis.

Realizada por organismos quimioautótrofos. Todos son bacterias. Pueden vivir en ausencia de luz y de materia orgánica. La quimiosíntesis tiene dos fases:

- ♦ Fase de obtención de ATP y coenzima reducido (en este caso NADH). Para ello se produce la oxidación de sustancias inorgánicas en la cadena respiratoria. Estas sustancias inorgánicas reducidas proceden de la descomposición de materia orgánica.

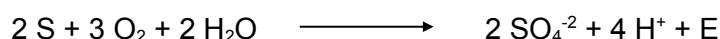
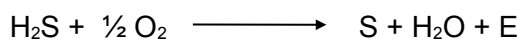


- ♦ Fase de síntesis de compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos. Igual que en la fase oscura de la fotosíntesis.

Su importancia radica en que cierran los ciclos biogeoquímicos. Convierten compuestos reducidos, procedentes de la descomposición de la materia orgánica, en materia mineral oxidada, asimilable por las plantas.

Bacterias del azufre:

Oxidan compuestos de azufre, utilizando oxígeno.



Bacterias del nitrógeno:

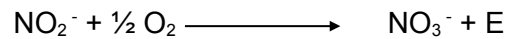
Oxidan compuestos reducidos del N: transforman amoníaco en nitratos, que pueden ser

absorbidos por las plantas.

- ♦ Bacterias nitrosificantes: *Nitrosomonas*. Oxidan amoníaco a nitritos.



- ♦ Bacterias nitrificantes: *Nitrobacter*. Oxida nitritos a nitratos.



Bacterias del hierro: Oxidan compuestos ferrosos a férricos.

Bacterias del hidrógeno: Pueden oxidar el hidrógeno molecular.

2. El anabolismo heterótrofo.

Formación de moléculasz orgánicas complejas a partir de moléculas orgánicas más simples, llamadas precursores. Se realiza en todas las células.

Fases:

- ♦ Biosíntesis de monómeros
- ♦ Biosíntesis de polímeros.

Los **precursores** proceden:

- ♦ Del catabolismo de sustancias de reserva (autótrofos y heterótrofos).
- ♦ De la digestión de alimentos orgánicos (sólo heterótrofos).
- ♦ De la fotosíntesis o quimiosíntesis (sólo autótrofos)

