

## Tema 6

### UNIDAD DIDÁCTICA VI: La fotosíntesis.

#### 1. ÍNDICE:

- 6.1.- CONCEPTO DE FOTOSINTESIS.
- 6.2.- LOCALIZACIÓN INTRACELULAR DE LOS PROCESOS FOTOSINTÉTICOS.
- 6.3.- LA FASE LUMINOSA Y LA FASE OSCURA.
- 6.4.- IMPORTANCIA DEL PROCESO FOTOSINTÉTICO.

#### 2. INTRODUCCIÓN GENERAL A LA UNIDAD Y ORIENTACIONES PARA EL ESTUDIO

-En esta unidad se intentará que los alumnos/as conozcan cuál es la importancia biológica de la fotosíntesis y las vías anabólicas de los organismos fotoautótrofos. Haciendo especial hincapié en los mecanismos por los cuales utilizando la energía de la luz son capaces de sintetizar sustancias orgánicas a partir de sustancias inorgánicas.

#### 3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diferenciar en la fotosíntesis: las fases lumínicas y oscura, identificando las estructuras celulares en las que se lleva a cabo, los substratos necesarios, los productos finales y el balance energético obtenido, valorando su importancia en el mantenimiento de la vida. - Conocer las relaciones entre los elementos estructurales del cloroplasto y la función que se realiza en cada estructura. - Conocer las dos fases de la fotosíntesis y saber de una manera sencilla qué es lo que sucede en cada fase. - Conocer el papel que cumple la luz, el agua y el CO<sub>2</sub> en la fotosíntesis - Conocer la importancia de la fotosíntesis en la producción de oxígeno atmosférico. - Saber interpretar y completar esquemas sencillos de la fotosíntesis y saber encuadrarlos en un esquema del cloroplasto.

#### 4. DESARROLLO DE LOS CONTENIDOS

##### 6.1.- CONCEPTO DE FOTOSINTESIS.

-La fotosíntesis es un proceso en el que una serie de reacciones, activadas por medio de la energía luminosa, conducen a la obtención de moléculas orgánicas a partir de CO<sub>2</sub>, energía química (ATP) y poder reductor (NADPH).

-La fotosíntesis tiene lugar en los cloroplastos de las células eucariotas y en los mesosomas de las procariontas. Se produce gracias a la presencia de la clorofila, que es capaz de absorber energía luminosa y transformarla en energía química de enlace (ATP).

-Como proceso anabólico es un proceso reductor, y requiere una fuente dadora de electrones y protones para llevar a cabo esa reducción.

##### 6.2.- LOCALIZACIÓN INTRACELULAR DE LOS PROCESOS FOTOSINTÉTICOS.

- En las células vegetales (eucariotas), la fotosíntesis se lleva a cabo en unos orgánulos especiales llamados cloroplastos.

-Los **cloroplastos** están constituidos por tres elementos estructurales: envoltura, estroma y tilacoides.

### 1) **Envoltura:**

-Está formada por dos membranas separadas por una cámara externa o espacio intermembranoso:

#### a) **Membrana plastidial externa:**

muy permeable y que presenta, al igual que la interna, muchas proteínas translocadoras que facilitan el transporte de metabolitos en ambas direcciones.

#### b) **Membrana plastidial interna:**

menos permeable y que, a diferencia de lo que ocurre en las mitocondrias, no está replegada hacia el interior, ni contiene la cadena de transporte electrónico.

### 2) **Estroma:**

-Queda delimitado por la membrana plastidial interna y en él se encuentran:

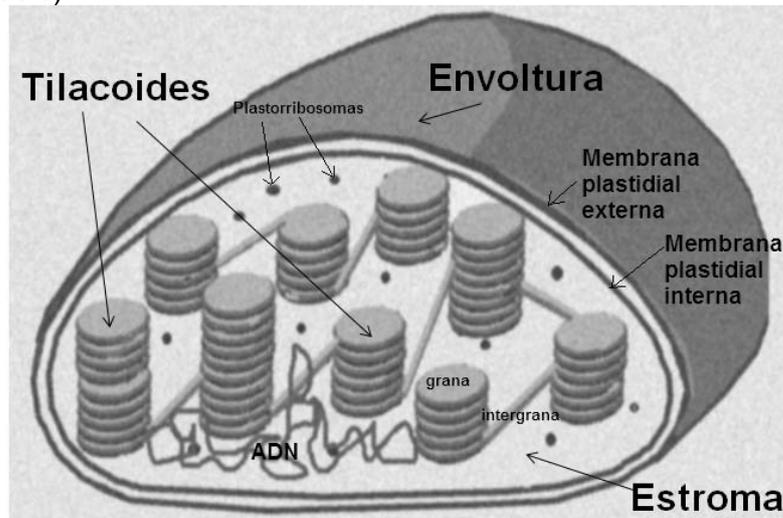
a) Moléculas de ADN circular bicatenario y de ARN plastidial.

b) Plastorribosomas e inclusiones lipídicas.

c) Iones, nucleótidos, azúcares, etc.

d) Todas las enzimas necesarias para la fase oscura de la fotosíntesis.

e) Su contenido proteico es muy elevado (50% del total de las proteínas del cloroplasto).



### 3) **Tilacoides:**

- Son sacos membranosos aplanados (dentro del estroma).

- Se apilan en número variable (hasta 50), constituyendo los grana (éstos se conectan entre sí mediante tilacoides que se llaman intergrana).

- También los tilacoides se hallan comunicados internamente, de modo que se puede hablar de un espacio tilacoidal.

- Las membranas tilacoideas contienen un 50% de proteínas y entre ellas se encuentran los pigmentos fotosintéticos o clorofilas; su contenido lipídico es muy bajo.

- Sobre las membranas tilacoideas, algunas proteínas constituyen los **complejos o fotosistemas PSI y PSII** que intervienen en la fase luminosa de la fotosíntesis, así como los complejos **ATP-sintetasa**, necesarios para la fotofosforilación.

## FUNCIÓN

- Los cloroplastos son los orgánulos encargados de realizar la fotosíntesis, que tiene lugar en dos fases:

- Luminosa, por la que se obtienen ATP y poder reductor.
- Oscura, en la que se emplea la energía obtenida en la fase anterior para la fijación del dióxido de carbono y en la síntesis de sustancias orgánicas.

## 6.3.- LA FASE LUMINOSA Y LA FASE OSCURA.

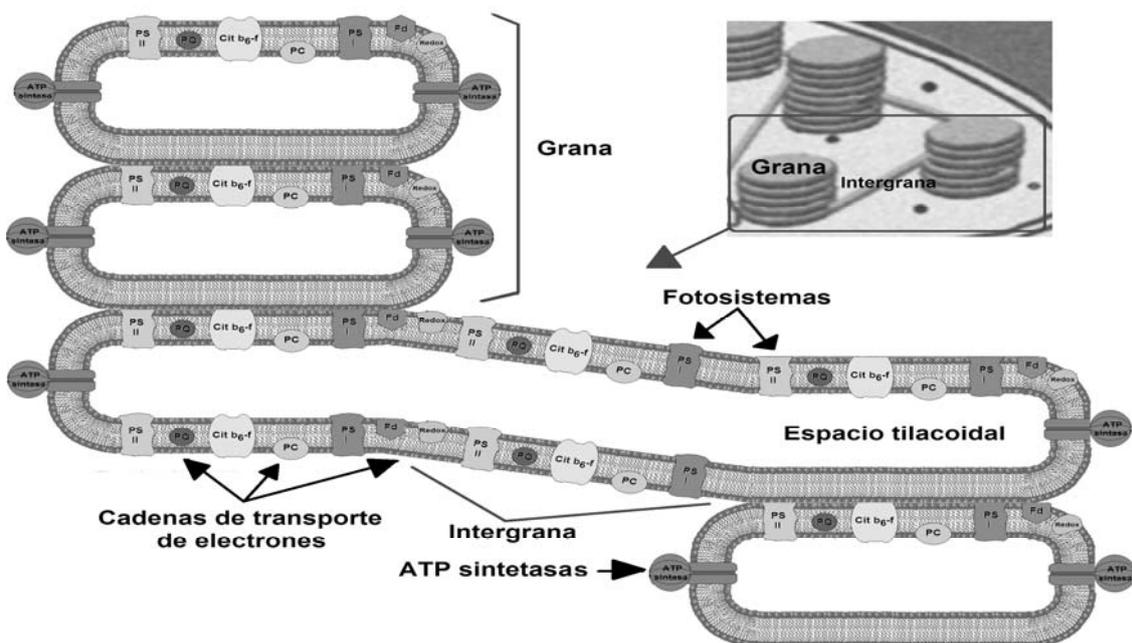
- En la fotosíntesis diferenciamos **dos fases**:

- Fase luminosa**: los pigmentos de la membrana tilacoideal, junto con una cadena transportadora de electrones, captan la energía solar que servirá para producir ATP y compuestos reducidos (NADPH).
- Fase oscura o sintética**: la energía (ATP) y el poder reductor (NADPH) producidos en la fase lumínica se emplean para reducir y asimilar el carbono que se encuentra en la naturaleza en un estado altamente oxidado ( $\text{CO}_2$ ).

6.3.1.- Fase Luminosa:

Caracteres generales:

- El dador de electrones es el  $\text{H}_2\text{O}$  (se libera  $\text{O}_2$ ) y que afecta a todos los vegetales eucariotas (excepto hongos) y a cianobacterias.
- En la membrana tilacoidea se encuentra la 'maquinaria molecular' que lleva a cabo las reacciones fotoquímicas y que está integrada por tres tipos de componentes:
  - Los **fotosistemas** (PS I y PS II).
  - La **cadena transportadora de electrones**.
  - La **ATP-sintetasa**.



**6.3.1.1.- Fotosistemas (PS I y PS II):**

-Cada fotosistema es un conjunto molecular muy complejo formado por un grupo de varios tipos de pigmentos, que está unido a la membrana tilacoidal a través de proteínas.

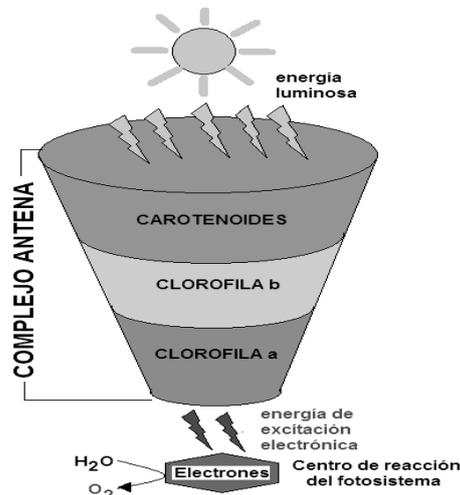
-Los pigmentos fotosintéticos son de dos clases en vegetales eucariotas:

**a) Clorofilas (a, b, c, d: dan coloraciones verdes)**

Se diferencian en los sustituyentes del anillo porfirínico (que posee  $Mg^{++}$  y una cadena de fitol). Absorben y fijan eficazmente la energía luminosa, quedando excitadas (lo cual implica la liberación de electrones y protones hacia un aceptor de los mismos y la necesidad de recuperarlos para restablecer su equilibrio o estabilidad).

**b) Carotenoides** (anaranjados, rojos, amarillos)

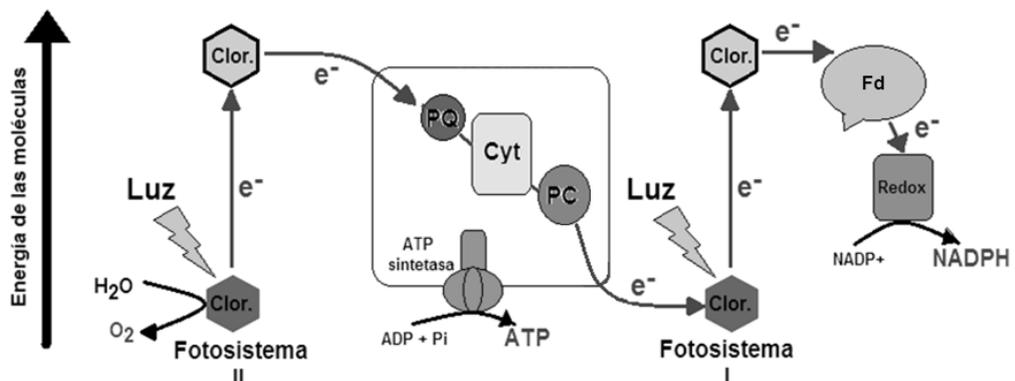
También absorben energía lumínica, aunque menos eficazmente que las clorofilas. La energía absorbida la transfieren a la clorofila del centro de reacción del fotosistema formando parte de los denominados **complejos antena**.



-Los fotosistemas son de dos tipos:

**a) PS II:** acepta protones y electrones del agua y por ello se asocia con la liberación de oxígeno. Junto con el oxígeno se liberan protones ( $H^+$ ), al espacio tilacoidal, generando un gradiente de  $H^+$  rico en energía electroquímica, que se utilizará en la síntesis de ATP.

**b) PS I:** es el responsable de la reducción del  $NADP^+$ , necesario para la fase oscura.

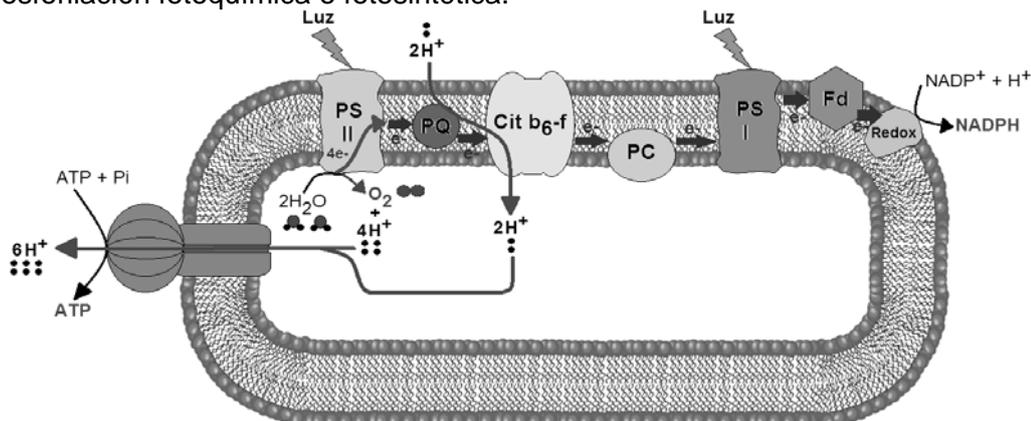


**6.3.1.2.- Cadena transportadora de electrones:**

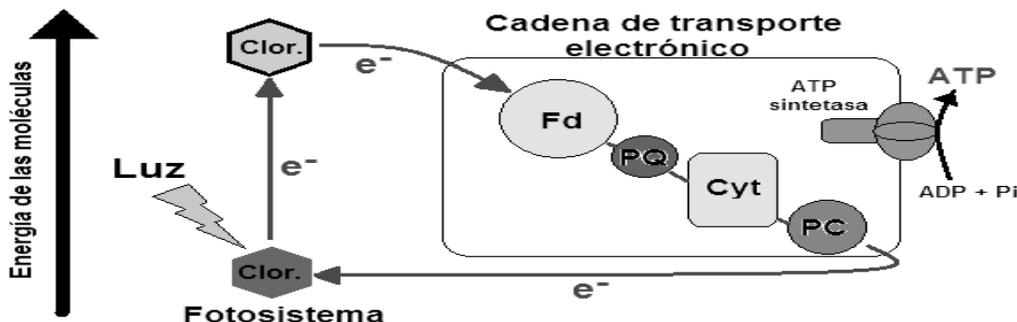
- Es similar a la de las mitocondrias.
- Los transportadores de  $e^-$  (que poseen iones metálicos que sufren óxido-reducciones), son la plastoquinona (PQ), el complejo citocromo  $b_6-f$  y la plastocianina (PC).
- El paso de  $e^-$  por el complejo citocromo  $b_6-f$  está acoplado a la entrada de  $H^+$  desde el estroma al tilacoide, a través de la membrana tilacoidal. De esta forma se genera un gradiente de  $H^+$  rico en energía electroquímica, que se utilizará en la síntesis de ATP (en concreto, cuando los  $H^+$  vuelvan a salir al estroma por medio de la ATP-sintetasa).

**6.3.1.3.- ATP sintetasa:**

- Es una proteína canal-bomba de la membrana tilacoidal, que genera ATP con la energía liberada por la salida de  $H^+$  desde el tilacoide al estroma.
- La salida de  $H^+$  por el canal origina la descarga de su gradiente electroquímico, y la energía producida por esta descarga se utiliza para sintetizar ATP en el estroma, lo que se conoce como fosforilación o fosforilación fotoquímica o fotosintética.



- El tipo de fosforilación que hemos descrito es la **fosforilación acíclica** (transporte no cíclico de electrones), en el que la fuente de electrones y protones que fluyen y generan energía química de enlace (ATP) es el agua ( $H_2O$ ).
- Actualmente sabemos que, simultáneamente y compatible con ese transporte no cíclico, se presenta otra modalidad llamada **fosforilación cíclica** (transporte cíclico de electrones), porque los  $e^-/H^+$  fluyen en un *circuito cerrado* al ser desviados desde la ferredoxina al citocromo  $b_6-f$ . En este caso: no se forma NADPH, no interviene el PS II (no hay fotólisis del agua), no se libera oxígeno (mecanismo anoxigénico) pero se produce igualmente ATP.



### 6.3.2.- Fase Oscura:

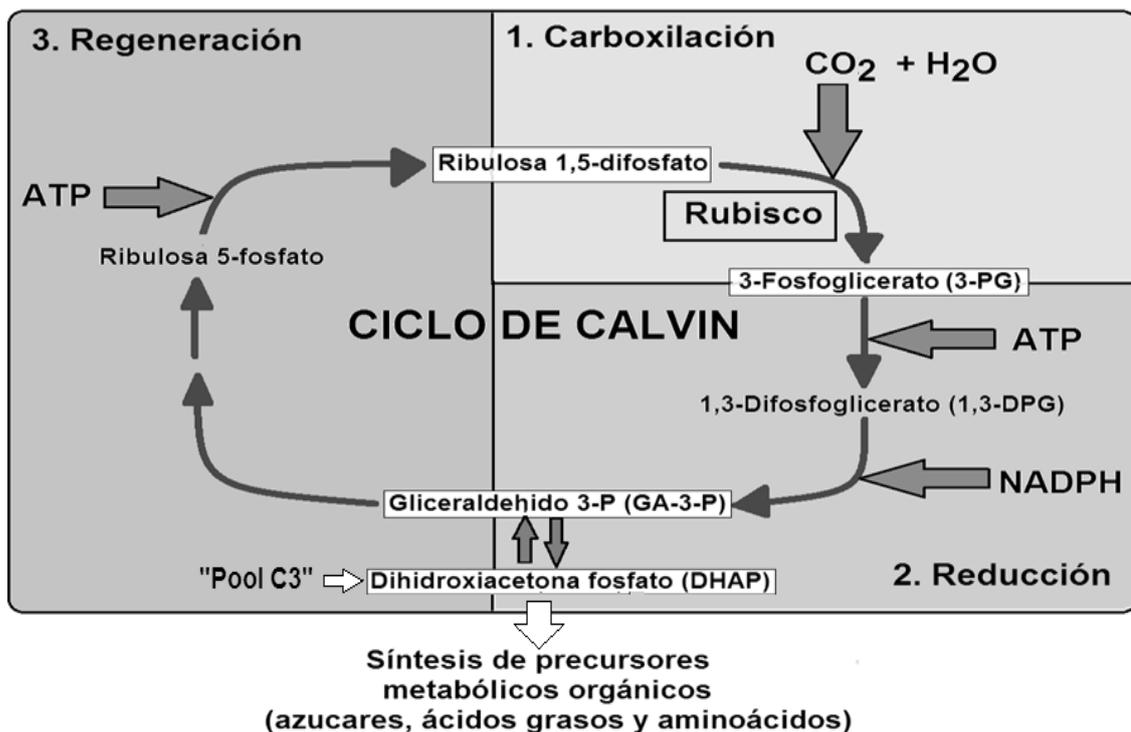
- Las células vegetales poseen las enzimas necesarias para reducir y asimilar los sustratos inorgánicos (minerales) oxidados, y transformarlos en las biomoléculas propias de la materia viva.

- La fase oscura consiste, básicamente, en la transformación de los compuestos de C, N y S ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_3^-$  y  $\text{SO}_4^{2-}$ ) en otros reducidos que se pueden incorporar a las rutas anabólicas de compuestos orgánicos.

#### - Caracteres generales de las reacciones:

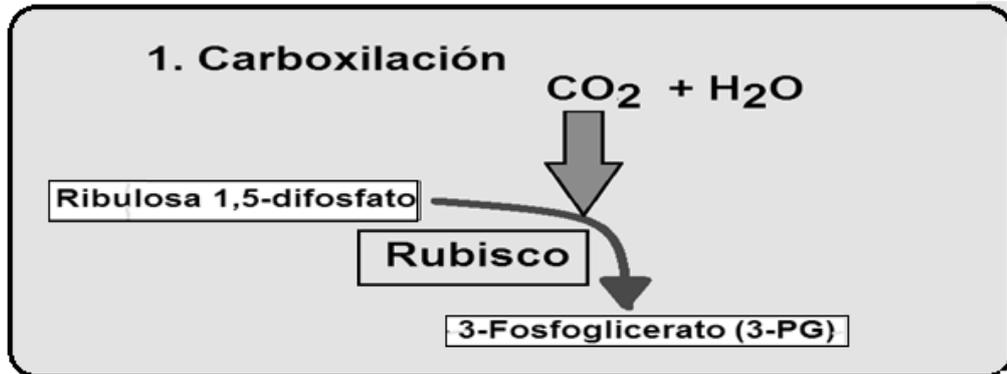
- Tienen lugar en el protoplasma de procariontes o en el estroma de los cloroplastos de eucariotas.
- Están controladas enzimáticamente y, por tanto, dependientes de la temperatura.
- Se pueden producir sin necesidad de presencia de luz.
- Requieren el aporte de NADPH y de ATP.
- Tienen por objeto la elaboración de precursores metabólicos orgánicos.
- Configuran una secuencia cíclica (ciclo de Calvin-Benson).
- Este ciclo reductivo implica la incorporación de  $\text{CO}_2$  por los cloroplastos hasta formar compuestos orgánicos  $(\text{CH}_2\text{O})_n$ .
- Las plantas en las que tiene lugar el ciclo de Calvin se denominan 'plantas C3' porque el primer compuesto de síntesis orgánica que se forma es el ácido 3-fosfoglicérico (compuesto con 3 átomos de carbono).

-En el ciclo de Calvin-Benson se distinguen tres etapas:



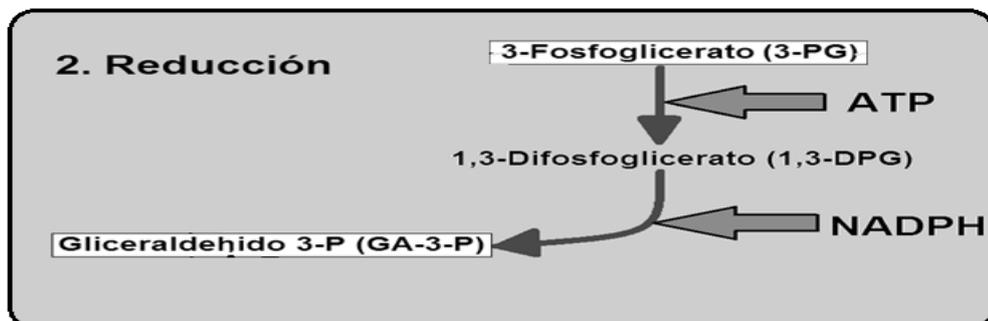
### 1) Fijación del CO<sub>2</sub> :

- Esta reacción está catalizada por la **enzima RuBisco** (ribulosa-1,5-di-P-carboxilasa-oxigenasa). Este enzima es esencial ya que supone la conversión del carbono inorgánico CO<sub>2</sub> en carbono orgánico, dando lugar a un compuesto de tres carbonos: el 3-Fosfoglicerato.

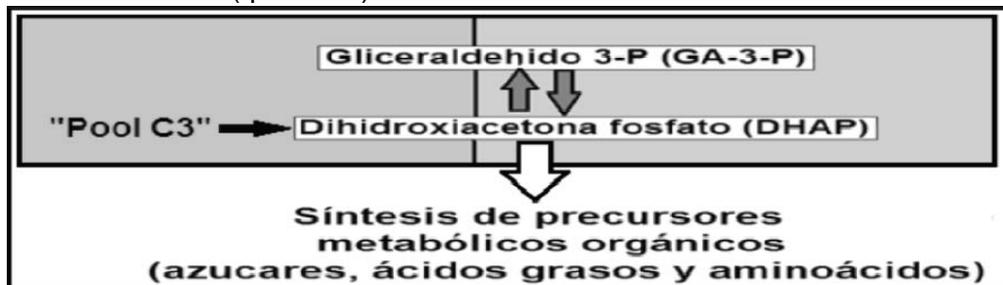


### 2) Reducción del 3-Fosfoglicerato :

- Se realiza utilizando **NADPH y ATP**.
- Se produce a lo largo de dos momentos sucesivos:
  - a).- El 3-Fosfoglicerato se transforma, con ATP, en 1,3-difosfoglicerato.
  - b).- Este último ácido, a su vez, se reduce con NADPH para formar gliceraldehído-3-P.



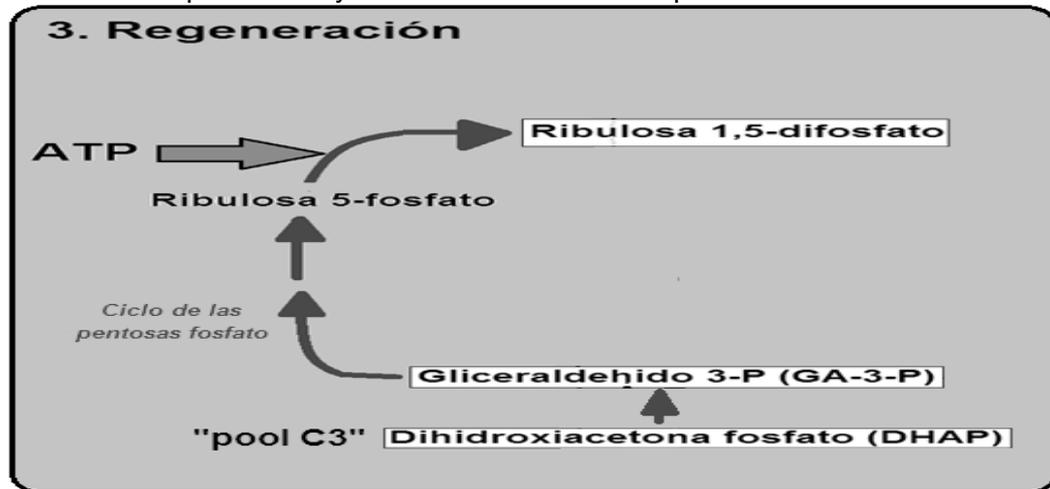
- c).- El gliceraldehído-3-P, mediante una isomerasa se transforma en dihidroxiacetona-3-P ("pool C3").



- Una sexta parte del "pool C3" es utilizada para la síntesis de monosacáridos, ácidos grasos y aminoácidos. Las cinco sextas partes restantes se emplean para la tercera etapa del ciclo de Calvin-Benson (la regeneración).

### 3) Regeneración de la ribulosa-5-P :

- Se realiza a partir de 5/6 partes del "pool C3", por medio de una serie de reacciones que constituyen la llamada 'vía de las pentosas'.



### 6.4.- IMPORTANCIA DEL PROCESO FOTOSINTETICO.

- La importancia biológica del proceso fotosintético reside en que es la forma en la que se produce la conversión de productos inorgánicos ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ ), en compuestos orgánicos aprovechables por los organismos heterótrofos. Paralelamente, la liberación de  $\text{O}_2$  como residuo del proceso resulta esencial en el mantenimiento de nuestra atmosfera respirable.

## 5. RESUMEN

### 6.1.- CONCEPTO DE FOTOSINTESIS.

### 6.2.- LOCALIZACIÓN INTRACELULAR DE LOS PROCESOS FOTOSINTETICOS.

-Cloroplastos:

#### 1) Envoltura:

a) membrana plastidial externa:

b) membrana plastidial interna:

#### 2) Estroma:

#### 3) Tilacoides:

### 6.3.- LA FASE LUMINOSA Y LA FASE OSCURA.

#### 6.3.1.- Fase Luminosa:

##### 6.3.1.1.- Fotosistemas (PS I y PS II):

a) Clorofilas (a, b, c, d: dan coloraciones verdes)

b) Carotenoides (anaranjados, rojos, amarillos)

##### 6.3.1.2.- Cadena transportadora de electrones:

##### 6.3.1.3.- ATP sintetasa:

#### 6.3.2.- Fase Oscura:

-Ciclo de Calvin-Benson

##### 1) Fijación del $\text{CO}_2$

##### 2) Reducción del 3-Fosfoglicerato

##### 3) Regeneración de la ribulosa-5-P

### 6.4.- IMPORTANCIA DEL PROCESO FOTOSINTETICO.



## 6. BIBLIOGRAFÍA

Biología / 2º Bachillerato ISBN: 978-84-675-3471-9	Editorial: J. Alcami (y otros) SM
BIOLOGÍA: Ed. Bruño (2009). ISBN: 978-84-216-6443-8	Editorial: Panadero Cuartero (y otros) Bruño, S,L.
Biología 2º Bto. ISBN: 978-84-982-6473-9	Editorial: Varios Autores ECIR
Biología ISBN: 978-84-977-1545-4	Editorial: Juan Manuel Velasco (y otros) EDITEX
Biología / 2º Bachillerato Método @pruebas ISBN: 978-84-481-6708-0	Editorial: Fernandez (y otros autores) McGraw-Hill

- Cualquiera de los libros recomendados actualmente en los institutos para la asignatura de Biología de 2º de Bachiller.

## 7. ACTIVIDADES

- Explicaciones de aula.
- Discusiones y debates.
- Planteamiento de trabajos en la biblioteca, buscando información (en libros, revistas, periódicos...) sobre los diversos temas.
- Consultar ciertas webs especializadas de Biología.
- Ayuda mediante el correo electrónico.

## 8. GLOSARIO

**-Fotosíntesis:** es un proceso en el que una serie de reacciones, activadas por medio de la energía luminosa, conducen a la obtención de moléculas orgánicas a partir de CO<sub>2</sub>, energía química (ATP) y poder reductor (NADPH).

**-Cloroplastos:** orgánulos especiales de las células vegetales eucarióticas encargados de la realización de la función fotosintética.

**-Tilacoides:** son sacos membranosos aplanados (dentro del estroma). Sobre las membranas tilacoideas, algunas proteínas constituyen los complejos PSI y PSII que intervienen en la fase luminosa de la fotosíntesis, así como los complejos ATP-sintetasa, necesarios para la fotofosforilación.

**-Fase luminosa:** fase en la que los pigmentos de la membrana tilacoidal, junto con una cadena transportadora de electrones, captan la energía solar que servirá para producir ATP y compuestos reducidos (NADPH).

**-Fase oscura o sintética:** la energía (ATP) y el poder reductor (NADPH) producidos en la fase lumínica se emplean para reducir y asimilar el carbono que se encuentra en la naturaleza en un estado altamente oxidado (CO<sub>2</sub>).



- Fotosistemas (PS I y PS II):** son un conjunto molecular muy complejo formado por un grupo de varios tipos de pigmentos (clorofilas y carotenoides), que está unido a la membrana tilacoidal a través de proteínas. Son de dos tipos PS I y PS II.
- Cadena tilacoidal transportadora de electrones:** es similar a la de las mitocondrias pero con otros transportadores.
- ATP sintetasa:** es una proteína canal-bomba de la membrana tilacoidal, que genera ATP con la energía liberada por la salida de  $H^+$  desde el tilacoide al estroma.
- Fosforilación acíclica** (transporte no cíclico de electrones), en el que la fuente de electrones y protones que fluyen y generan energía química de enlace (ATP) es el agua ( $H_2O$ ).
- Fosforilación cíclica** (transporte cíclico de electrones), porque los electrones y protones fluyen en un *circuito cerrado* al ser desviados desde la ferredoxina al citocromo  $b_6-f$ . En este caso: no se forma NADPH, no interviene el PS II (no hay fotólisis del agua), no se libera oxígeno (mecanismo anoxigénico) pero se produce igualmente ATP.
- Ciclo de Calvin-Benson:** es un ciclo que fija el  $CO_2$  atmosférico permitiendo obtener dihidroxiacetona fosfato, mediante gasto de ATP y NADPH, que se empleará para la biosíntesis de otros compuestos orgánicos.

## 9. EJERCICIOS DE AUTOCOMPROBACIÓN

- Durante el desarrollo de la clase el profesor interrogará frecuentemente a los alumnos con la finalidad de evaluar los conocimientos adquiridos y su propia labor con la finalidad de detectar los errores en el aprendizaje y en la enseñanza.

## 10. SOLUCIONES A LOS EJERCICIOS DE AUTOEVALUACIÓN