

## **BIOQUÍMICA**

### **Tema II: Metabolismo de los glúcidos, lípidos y aminoácidos**

#### **Título: Metabolismo de los Carbohidratos.**

**Conferencia N0: 6            actividad N0: 9**

#### **Método elaboración conjunta**

#### **Sumario:**

Anabolismo de los carbohidratos. Fotosíntesis.

Otras vías de fijar CO<sub>2</sub>.

Fotorrespiración

## **OBJETIVOS**

Describir las características generales de la fotosíntesis.

Identificar las etapas y procesos implicados en la absorción de la luz, su transformación en energía metabólica y la utilización de esta por el anabolismo celular.

Destacar la importancia biológica y económica de la fotosíntesis

## **OBJETIVOS METODOLÓGICO Y EDUCATIVOS.**

Estimular el desarrollo de la responsabilidad a través del cumplimiento de tareas  
Influir en el desarrollo de la responsabilidad social en la protección del medio ambiente.

Estimular el desarrollo de la expresión oral a través de los métodos activos y participativos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

Bioquímica para estudiantes de Ciencias Agropecuarias. Col. de autores. p 148 - 168

Temas Seleccionados de Bioquímica Vegetal T II p. 20 - 62

Bioquímica A.L. Lehninger. Cap. 20

## **Introducción**

### **Retoalimentación de los contenidos anteriores.**

Establecer nexos a través de preguntas.

Recordar que cuando comenzamos a estudiar este tema planteamos que el metabolismo presenta 2 vertientes.

-¿Cuáles eran y cómo se caracterizan?

¿qué procesos anabólicos hemos estudiado?

-Síntesis de almidón

-Síntesis sacarosa

-Gluconeogénesis

- ¿Describa las características de dichos procesos.?

## **MOTIVACIÓN**

¿ Qué significa la siguiente expresión: “ ...los árboles son los pulmones de la ciudad...?

¿ Existe algún proceso fisiológico que distingue a las plantas de los animales? ¿Cuál?

Realizar lluvia de ideas

Presentar temática y declarar los objetivos

## **Introducción**

La fotosíntesis ¿ocurre en cualquier parte de la planta, o en una parte determinada?

¿Cuáles son los elementos que intervienen en el proceso?

¿Qué pasa cuando el sol actúa?

¿Qué es necesario para que ocurra la fotosíntesis?

¿Qué ocurriría si no hubiese fotosíntesis?

¿Es importante la función del oxígeno?

Desarrollar a través de lluvia de idea.

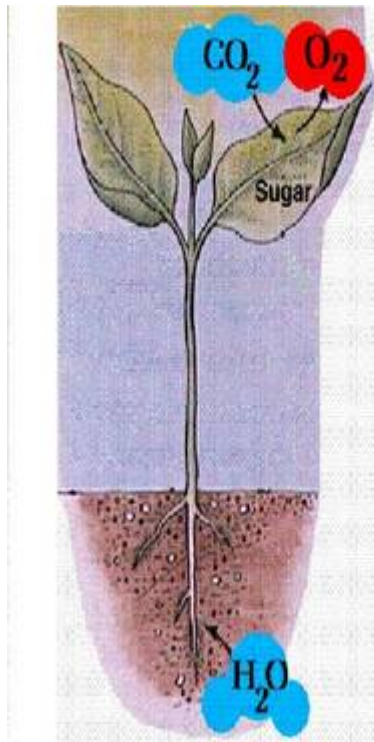
La fotosíntesis es el único proceso de importancia biológica que puede captar y utilizar la energía solar, por lo que la vida sobre la tierra está ligada de forma inseparable a la fotosíntesis.

Lo que equivale a decir que los organismos fotosintéticos usan la energía solar para sintetizar compuesto orgánicos que no pueden ser formados sin suministro de energía.

¿ Qué tipo de procesos son los que llevan a cabo la síntesis de las biomoléculas?

- Recordar características de procesos anabólicos
- Biosintéticos reductores
- Requieren energía

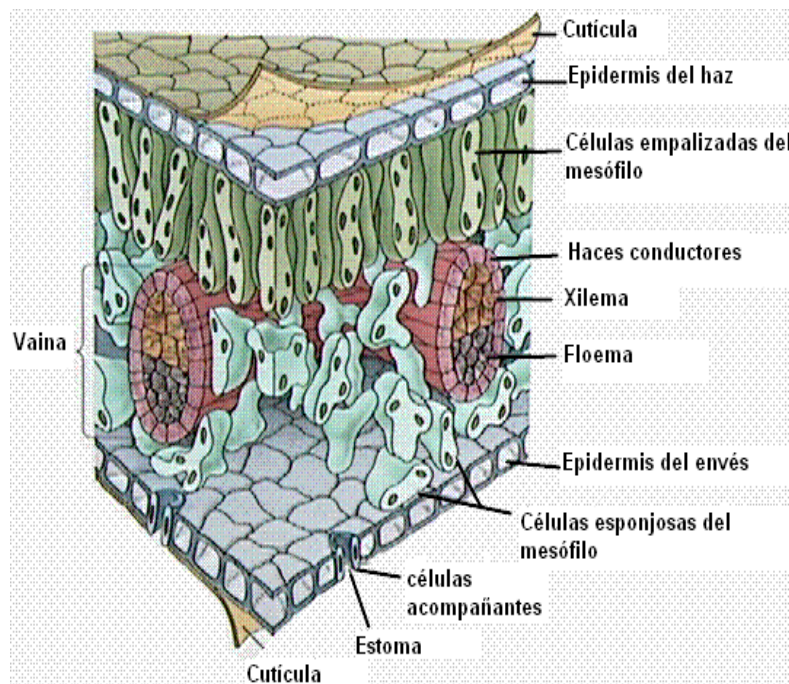
## INTRODUCCIÓN



### ¿Qué es la fotosíntesis?

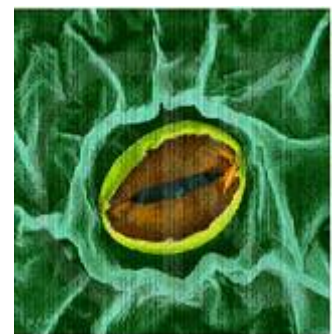
La fotosíntesis es el proceso por el cual las plantas, bacterias y algunos protistas usan la energía procedente de la luz para producir azúcar, la cual la respiración celular convierte en ATP, energía químicamente utilizable por los organismos vivos.

La fotosíntesis se lleva a cabo en las partes verdes de las plantas. A continuación se muestra la sección transversal de una hoja. Observe el alto contenido de cloroplastos de las células mesófilas.



Las plantas terrestres poseen estructuras especializadas conocidas como estomas que las protegen de la desecación y permiten la entrada y salida de gas a la hoja.

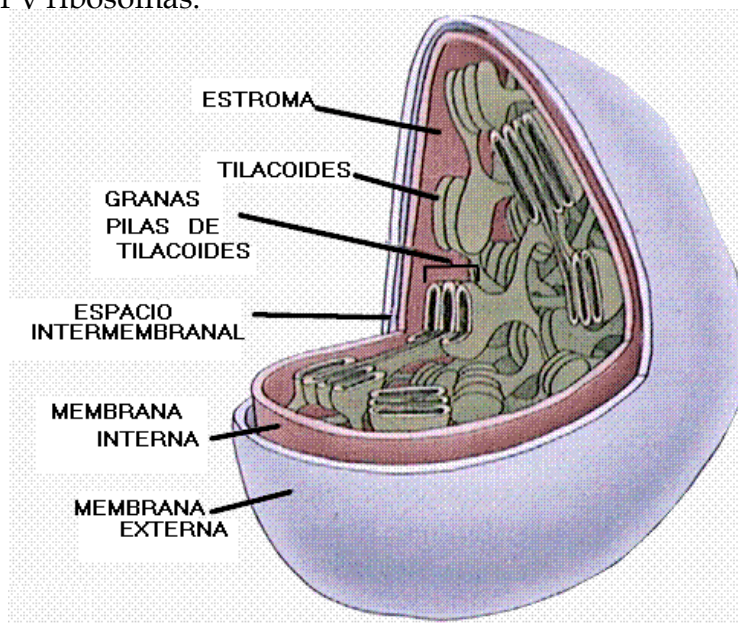
### Microfotografía de un estoma



El  $\text{CO}_2$  no puede pasar al interior de la hoja a través de la cutícula pero si lo puede hacer a través de una apertura, el estoma, el cual se encuentra por dos células acompañantes

## ESTRUCTURA DEL CLOROPLASTO Y DE LAS MEMBRANAS FOTOSINTETICAS.

La unidad estructural de la fotosíntesis es el cloroplasto. Los organismos fotosintéticos procariontes y eucariontes poseen sacos aplanados o vesículas llamadas tilacoides, que contienen los pigmentos fotosintéticos; pero solamente los cloroplastos de los eucariontes están rodeados por una doble membrana. Los tilacoides se disponen como una pila de monedas, que recibe el nombre de grana. El interior del cloroplasto, entre las granas es el estroma proteico, donde se encuentran las enzimas que catalizan la fijación del  $\text{CO}_2$ . Las mitocondrias constituyen un sistema con dos membranas como los cloroplastos, pero los cloroplastos tienen tres compartimentos: el estroma, el espacio tilacoidal y el espacio entre las membranas. El cloroplasto en su interior tiene un ADN circular y ribosomas.



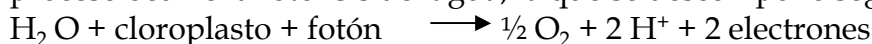
## FASES DE LA FOTOSÍNTESIS

La fotosíntesis es un proceso que ocurre en dos fases. La primera fase es un proceso que depende de la luz (reacciones luminosas), requiere la energía directa de la luz que genera los transportadores que son utilizados en la segunda fase. La fase independiente de la luz (reacciones de oscuridad), se realiza cuando los productos de las reacciones de luz son utilizados para formar enlaces covalentes carbono-carbono (C-C), de los carbohidratos. Las reacciones oscuras pueden realizarse en la oscuridad, con la condición de que la fuente de energía (ATP) y el poder reductor ( $\text{NADPH.H}^+$ ) formados en la luz se encuentren presentes. Investigaciones recientes sugieren que varias enzimas del ciclo de Calvin, son activadas por la luz mediante la formación de grupos -SH; de tal forma que el término reacción de oscuridad no es del todo correcto. Las reacciones de oscuridad se efectúan en el estroma; mientras que las de luz ocurren en los tilacoides.

El tilacoide es la unidad estructural de la fotosíntesis. Todos los organismos fotosintéticos poseen esas vesículas aplanadas que poseen los pigmentos fotosintéticos, pero sólo los eucariontes tienen cloroplastos con una membrana que los rodea.

## REACCIONES DE LUZ

En los procesos que dependen de la luz (reacciones de luz), cuando un fotón es capturado por un pigmento fotosintético, se produce la excitación de un electrón, el cual es elevado desde su estado basal respecto al núcleo a niveles de energía superior, pasando a un estado excitado. Después de una serie de reacciones de oxido-reducción, la energía del electrón se convierte en ATP y NADPH. En el proceso ocurre la fotólisis del agua, la que se descompone según la ecuación:



En la reducción de un mol de  $\text{CO}_2$  se utilizan 3ATP y 2 NADPH. $\text{H}^+$ , que a través de una serie de reacciones enzimáticas producen los enlaces C-C de los carbohidratos, en un proceso que se efectúa en la oscuridad.

En las reacciones de oscuridad, el  $\text{CO}_2$  de la atmósfera (o del agua en organismos fotosintéticos acuáticos/marinos) se captura y reduce por la adición de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) para la formación de carbohidratos  $[(\text{CH}_2\text{O})_n]$ . La incorporación del dióxido de carbono en compuestos orgánicos, se conoce como fijación o asimilación del carbono. La energía usada en el proceso proviene de la primera fase de la fotosíntesis. Los seres vivos no pueden utilizar directamente la energía luminosa, sin embargo a través de una serie de reacciones fotoquímicas, la pueden almacenar en la energía de los enlaces C-C de carbohidratos, que se libera luego mediante los procesos respiratorios u otros procesos metabólicos.

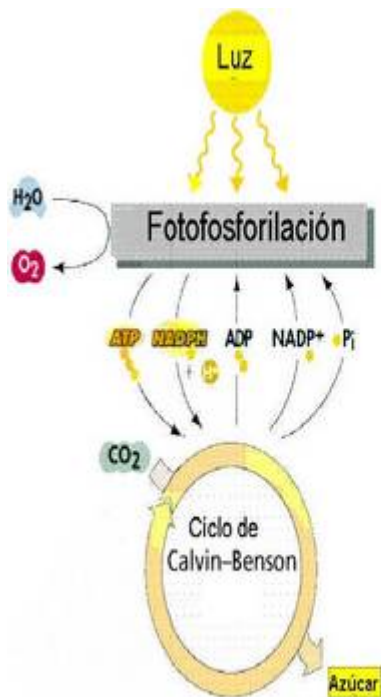
En la ecuación general de la fotosíntesis en las plantas el agua actúa como donante de electrones y el dióxido de carbono como aceptor.



6 moléculas de agua y 6 de dióxido de carbono producen una molécula de azúcar y 6 de oxígeno.

Revisar material complementario: Fotosíntesis libro Botánica online . Profundizar en características de la clorofila y los pigmentos fotosintéticos.





## REACCIONES LUMÍNICAS Y OSCURAS

### Las reacciones lumínicas

En la fase lumínica la luz es captada por la clorofila excitándose los electrones a un estado energético superior. Mediante una serie de reacciones de transporte electrónico la energía es convertida en ATP y NADPH. El agua es dividida en el proceso liberando oxígeno como producto de desecho de la reacción.

### Fase oscura

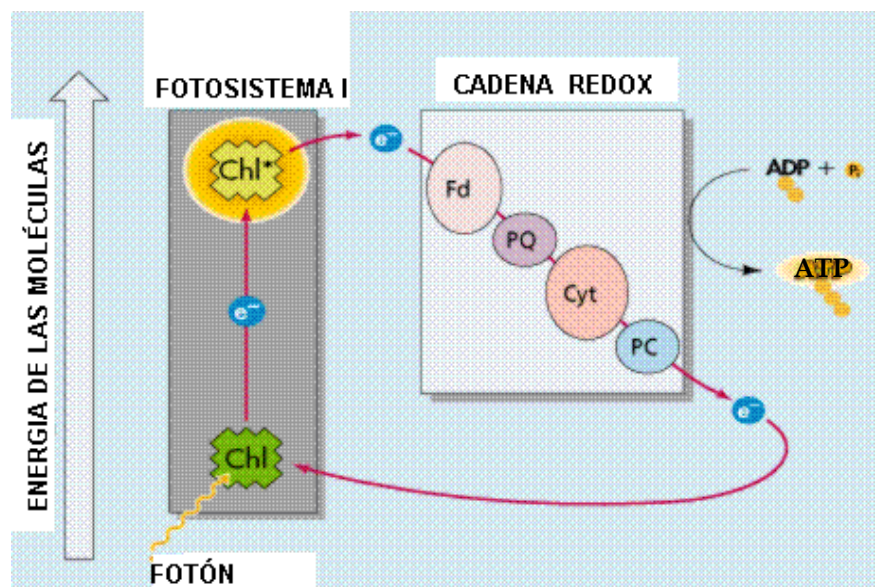
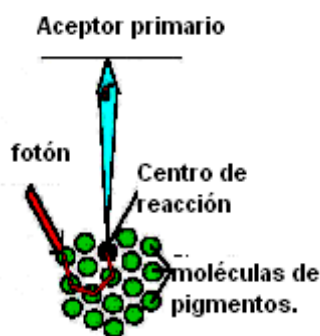
En la fase oscura se capta  $\text{CO}_2$ . El ATP y el NADPH, obtenidos en la fase lumínica, son utilizados para formar uniones C-C en esta fase.

Los cloroplastos consumen  $\text{CO}_2$  y fosfato inorgánico ( $\text{P}_i$ ) y con la ayuda de la energía capturada en las reacciones luminosas, producen triosas fosfatos, los cuales son exportados desde el cloroplasto al resto de la célula.

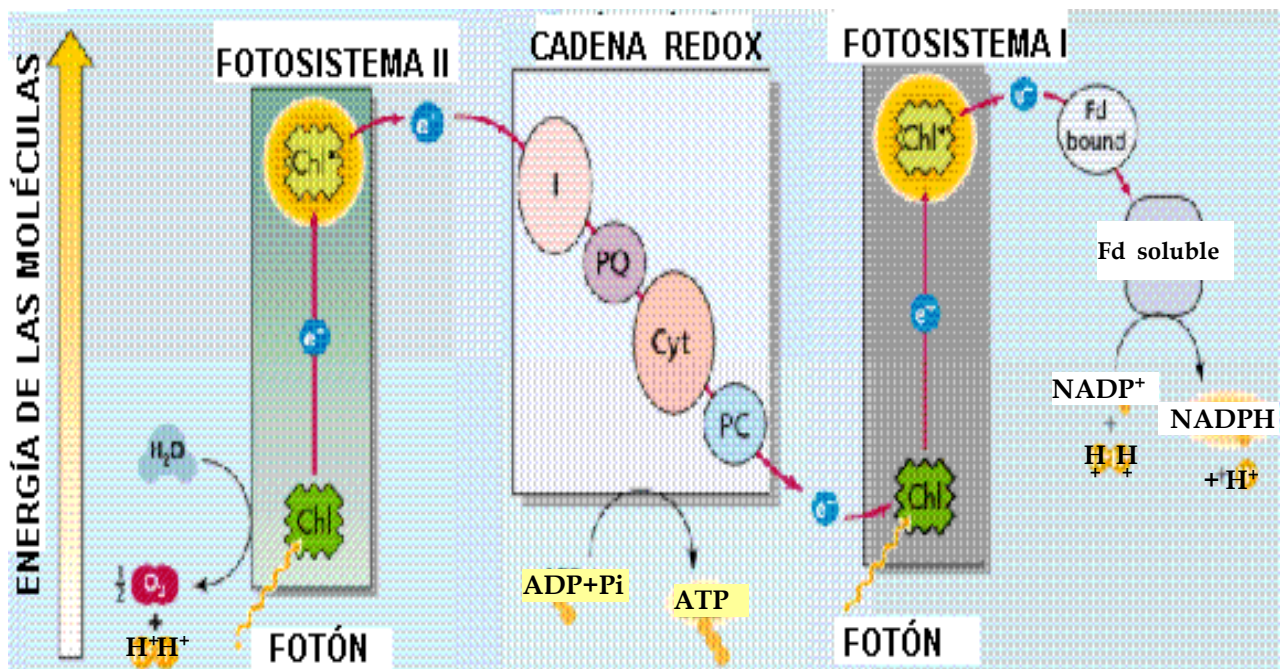
## FOTOSISTEMAS

En la fotosíntesis cooperan dos grupos separados de pigmentos o fotosistemas, que se encuentran localizados en los tilacoides. Muchos organismos procariontes solamente tienen el fotosistema I (es el más primitivo desde el punto de vista evolutivo).

### El fotosistema



Los organismos eucariontes poseen los fotosistemas I y II. El fotosistema I está asociado a las formas de clorofila a, que absorbe a longitudes de onda de 700 nm (P700), mientras que el fotosistema II tiene un centro de reacción que absorbe a una longitud de onda de 680 nm (P680). Cada uno de estos fotosistemas se encuentra asociado a polipéptidos en la membrana tilacoidal y absorben energía luminosa independientemente. En el fotosistema II, se produce la fotólisis del agua y la liberación de oxígeno; sin embargo ambos fotosistemas operan en serie, transportando electrones, a través de una cadena transportadora de electrones. En el fotosistema I se transfieren dos electrones a la molécula de  $\text{NADP}^+$  y se forma  $\text{NADPH.H}^+$ , en el lado de la membrana tilacoidal que mira hacia el estroma..



- El **fotosistema II** con su centro de reacción, sus pigmentos antena y sus proteínas de transporte electrónico asociados se localizan predominantemente en las regiones tilacoides asociadas (grana).
- El **fotosistema I** con su centro de reacción, sus pigmentos antena y sus proteínas de transporte electrónico, así como el factor enzimático acoplado que cataliza la formación de ATP se encuentran casi exclusivamente en las membranas no adosadas (estroma) o sea tanto en la superficie de los granas como en los tilacoides puentes.

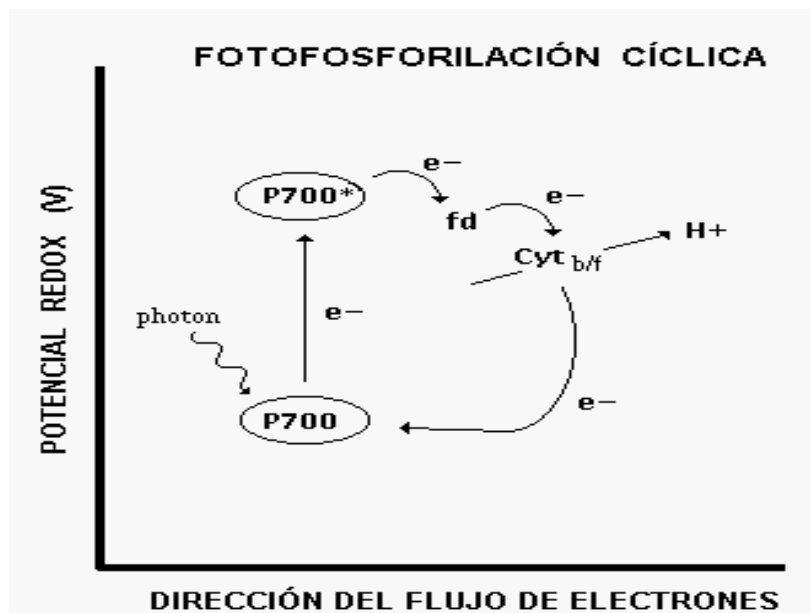
### MECANISMO DE TRANSPORTE ELECTRÓNICO

Estos complejos están en la membrana tilacoide orientados de forma que el agua es oxidada a oxígeno en el interior del tilacoide, el  $\text{NADP}^+$  es reducido sobre la cara estromal de la membrana y el ATP es liberado dentro del estroma por movimiento de  $\text{H}^+$  desde el interior del tilacoide (lumen) al estroma.

La mayoría de los procesos químicos que tienen lugar en las reacciones lumínicas de la fotosíntesis son llevadas a cabo por cuatro principales complejos proteicos: El fotosistema II, El complejo citocromo b6-f, El fotosistema I Y ATP sintetasa

### FOTOFOSFORILACIÓN

Es la síntesis de ATP que se produce cuando se exponen cloroplastos aislados a la acción de la luz, en presencia de ADP y fosfato. La formación de ATP a partir de la reacción de ADP y fosfato, es el resultado del acoplamiento energético de la fosforilación al proceso de transporte de electrones inducido por la luz, de la misma forma que la fosforilación oxidativa está acoplada al transporte de electrones y al consumo de oxígeno en las mitocondrias.

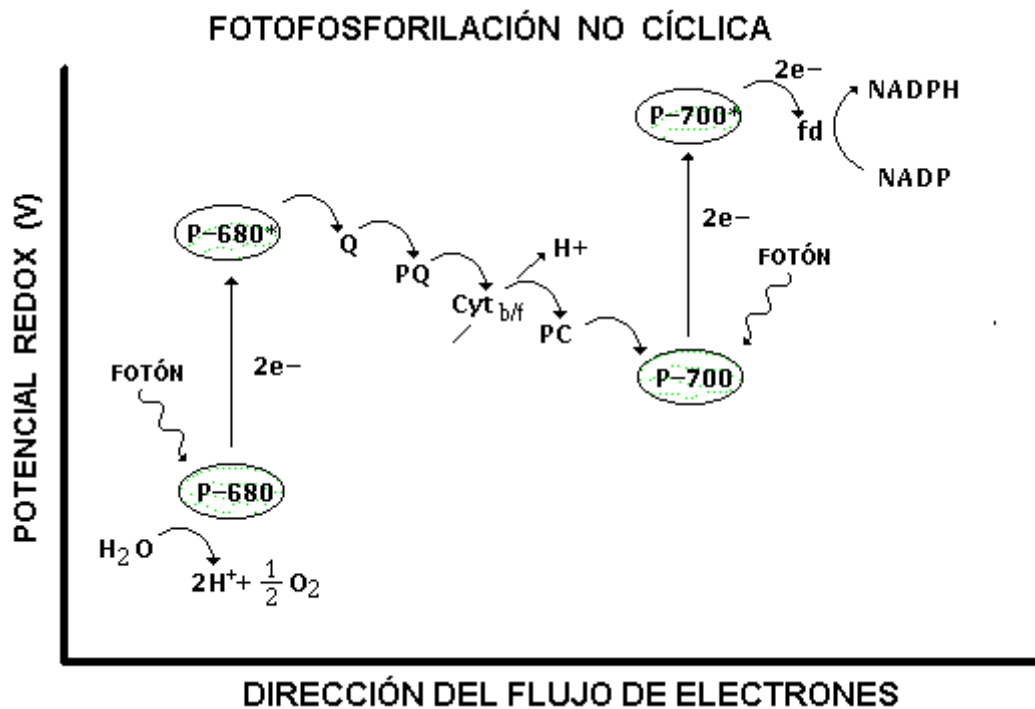


En el fotosistema I se realiza la síntesis cíclica de ATP, que es independiente de la fotólisis del agua y de la formación de NADPH.H<sup>+</sup>; mientras que la fotofosforilación no cíclica, está acoplada al transporte de electrones desde el agua, en el fotosistema II a través de una cadena transportadora de electrones hacia el fotosistema I, donde la ferredoxina cede dos electrones al NADP<sup>+</sup> para que se reduzca a NADPH.H<sup>+</sup>.



La molécula de H<sub>2</sub>O del lado izquierdo de la ecuación, cede los dos electrones necesarios para la reducción del NADP<sup>+</sup> y el átomo de oxígeno que se libera en forma de 1/2 O<sub>2</sub>. La molécula de H<sub>2</sub>O del lado derecho de la ecuación procede de la formación de ATP a partir de la reacción de ADP + Pi.



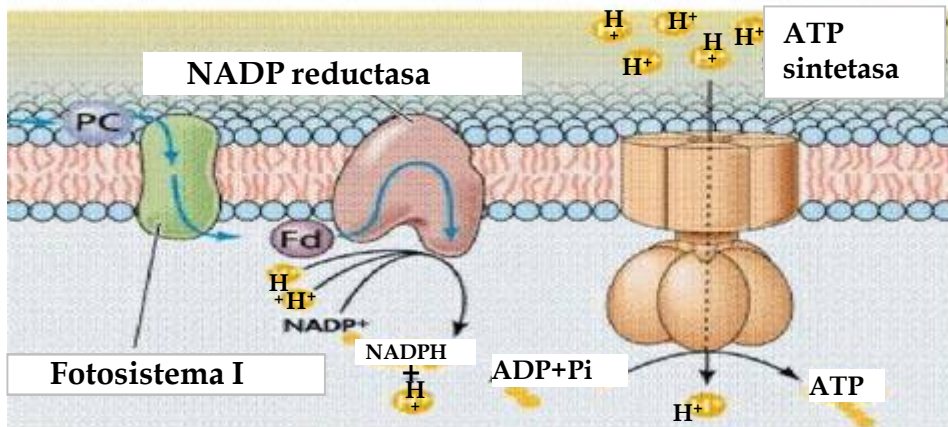


En la membrana tilacoidal como resultado de la fotólisis del agua y de la oxidación de la plastoquinona ( $PQH_2$ ) se generan protones ( $H^+$ ); que originan un fuerte gradiente de concentración de protones ( $H^+$ ) al ser transportados del lumen tilacoidal hacia el estroma. Este gradiente de pH a través de la membrana es responsable de la síntesis de ATP, catalizada por la ATP sintasa (o sintetasa) o conocida también como factor de acoplamiento; ya que acopla la síntesis de ATP al transporte de electrones y protones a través de la membrana tilacoidal. La ATP sintetasa existe en los tilacoides del estroma y consta de dos partes principales: un tallo denominado CF<sub>o</sub>, que se extiende desde el lumen de la membrana tilacoidal hasta el estroma y una porción esférica (cabeza) que se conoce como CF<sub>1</sub> y que descansa en el estroma. Esta ATPasa es similar a la de las mitocondrias donde sintetiza ATP.

El flujo cíclico de electrones tiene lugar en algunos eucariontes y bacterias fotosintéticas primitivas. No se produce  $NADPH.H^+$ , sino ATP solamente. Esto puede ocurrir cuando las células pueden requerir un suministro de ATP adicional, o cuando no se encuentra presente  $NADP^+$  para ser reducido a  $NADPH.H^+$ . En el fotosistema II, el bombeo de iones  $H^+$  dentro del tilacoide crea un gradiente electroquímico que culmina con la síntesis de ATP a partir de  $ADP + P_i$ .

## FASE LUMÍNICA

### TRANSPORTE ELECTRÓNICO Y FOTOFOSFORILACIÓN (I)



La síntesis de ATP se lleva a cabo por la enzima ATP sintetasa (Cfo- CF1), la cual consiste de dos partes:

Una porción hidrofóbica unida a la membrana llamada Cfo y una porción CF1 que se inserta en el estroma.

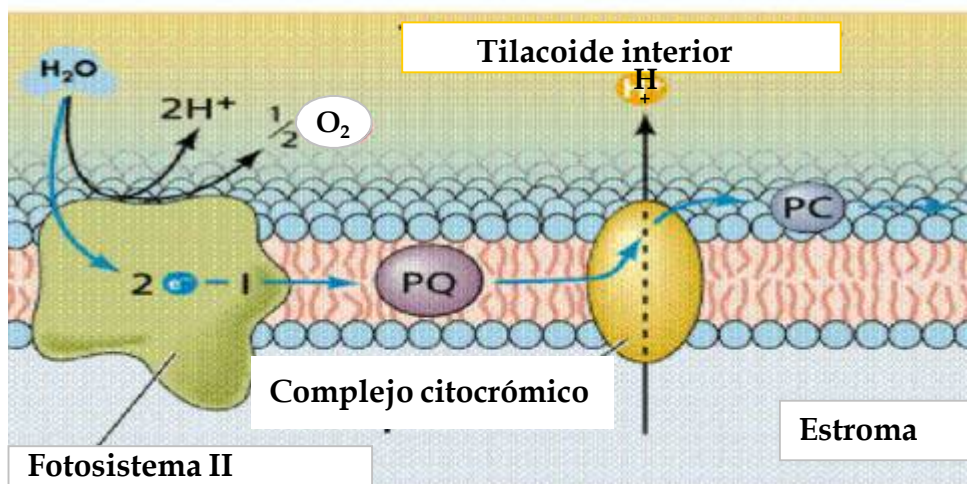
La porción Cfo parece ser un canal a través del cual pasan los protones de una lado al otro de la membrana.

La porción CF1, es el complejo que sintetiza el ATP.

CF1 consiste de 5 polipéptidos diferentes.

Cfo contiene probablemente 4 polipéptidos diferentes a, b, b1, c10.

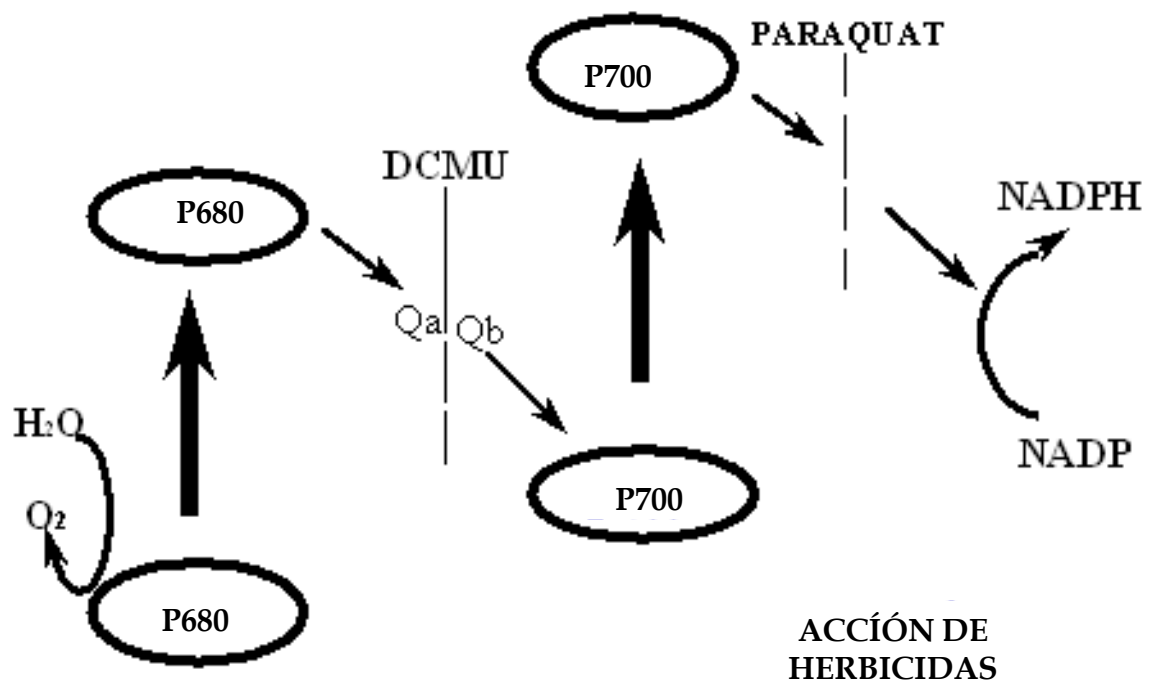
### TRANSPORTE ELECTRÓNICO Y FOTOFOSFORILACIÓN (II)



## EFFECTOS DE LOS HERBICIDAS EN EL TRANSPORTE FOTOSINTETICO DE LOS ELECTRONES.

Algunos derivados de la urea, como el monurón o CMU (3-p-clorofenil-1,1 di metil urea) y el DCMU [3-(3,4 di cloro fenil) -1,1 dimetil urea] , se aplican al suelo y se desplazan por el xilema hasta las hoja, donde bloquean el transporte de electrones entre las plastoquinonas QA y QB . Inhiben la reacción de Hill en el fotosistema II, por lo que no ocurre la fotólisis del agua ni la liberación de  $O_2$  .

Ciertos herbicidas a base de triazinas, como la simazina y atrazina bloquean el transporte de electrones entre QA y QB .El maíz y el sorgo son tolerantes a las triazinas, pero no así a los derivados de la urea; ya que contienen enzimas que detoxifican dichos compuestos. Los herbicidas como el diquat y paraquat ( gramoxone), actúan inhibiendo el flujo de electrones entre la ferredoxina y el  $NADP^+$ , y reduce el oxígeno a un radical superóxido ( $O_2^-$  ), que produce la pérdida de la actividad de los cloroplastos.



## FASE OSCURA

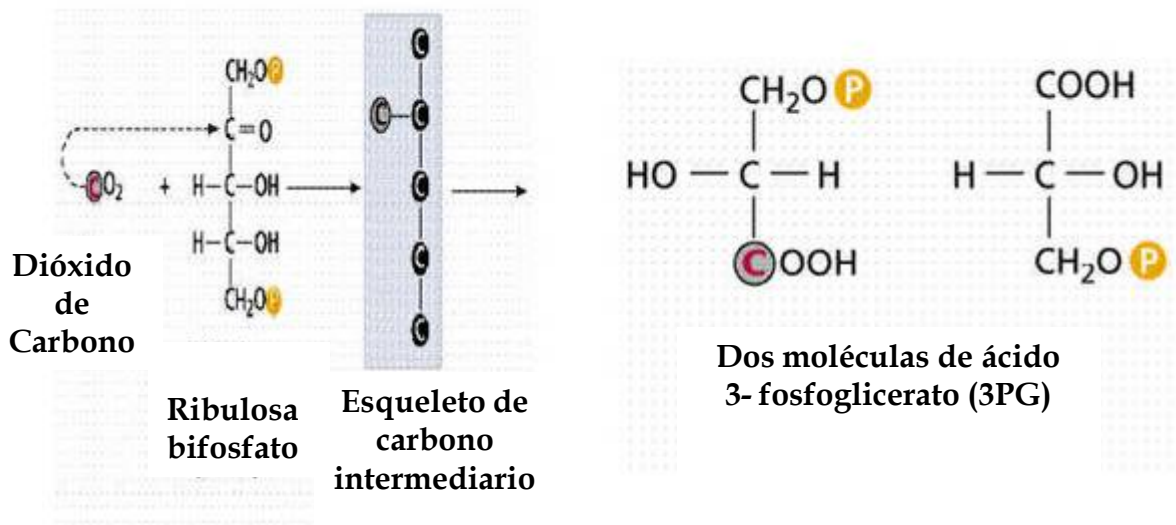
Las reacciones de fijación o reducción del carbono, son conocidas también como reacciones de oscuridad (son independientes de la luz), sin embargo dos sustancias producidas en la luz, como son el NADPH.H<sup>+</sup> y el ATP participan en la reducción del CO<sub>2</sub>.

El CO<sub>2</sub> pasa al interior de organismos unicelulares y de otros autótrofos acuáticos por difusión y no a través de estructuras especiales; mientras que las plantas terrestres deben protegerse de la desecación y en ese sentido han desarrollado estructuras llamadas estomas, que permiten el intercambio gaseoso.

En el estroma de los cloroplastos se encuentran presentes las enzimas que intervienen en el Ciclo de Calvin. El Ciclo de Calvin fue estudiado y descubierto en un alga verde unicelular, llamada Chlorella.

El CO<sub>2</sub> se combina con la ribulosa 1,5 bifosfato (RUBP- es un azúcar de 5 carbonos), mediante la acción de la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa oxigenasa o Rubisco. La Rubisco constituye aproximadamente el 50% de las proteínas del cloroplasto y se piensa que es la proteína más abundante en la tierra. El primer producto estable de la fijación de CO<sub>2</sub> es el ácido-3-fosfoglicérico (PGA), un compuesto de 3 carbonos. En el ciclo se fijan 6 moles de CO<sub>2</sub> a 6 moles de ribulosa 1,5 bifosfato, y se forman 12 moles de PGA. La energía del ATP, producido en la luz es utilizada para fosforilar el PGA y se forman 12 moles de ácido 1,3 difosfoglicérico, el cual es reducido luego mediante la acción de 12 NADPH a gliceraldehido-3-fosfato (PGAL). Dos moles de gliceraldehido-3-fosfato son removidas del ciclo para fabricar glucosa. El resto de los moles de PGAL se convierten en 6 moles de ribulosa-5-fosfato, que al reaccionar con 6 ATP, regenera 6 moles de ribulosa 1,5 bifosfato, que da comienzo al ciclo de nuevo.

El gliceraldehido-3-fosfato producido en los cloroplastos sirve de intermediario en la glucólisis. Una gran parte del PGAL que permanece en los cloroplastos se transforma en el estroma, en almidón, que es un carbohidrato de reserva. Otra parte del PGAL es exportado al citosol, donde se convierte en fructosa-6-fosfato y glucosa-1-fosfato. La glucosa-1-fosfato se transforma en el nucleótido UDP-glucosa, que al combinarse con la fructosa-6-fosfato forma la sacarosa fosfato, que es el precursor inmediato de la sacarosa. El disacárido sacarosa es la principal forma en que los azúcares se transportan a través del floema, desde las hojas hasta los sitios de la planta donde son requeridos. Es bueno hacer notar que todas las reacciones del Ciclo de Calvin, son catalizadas por enzimas específicas.

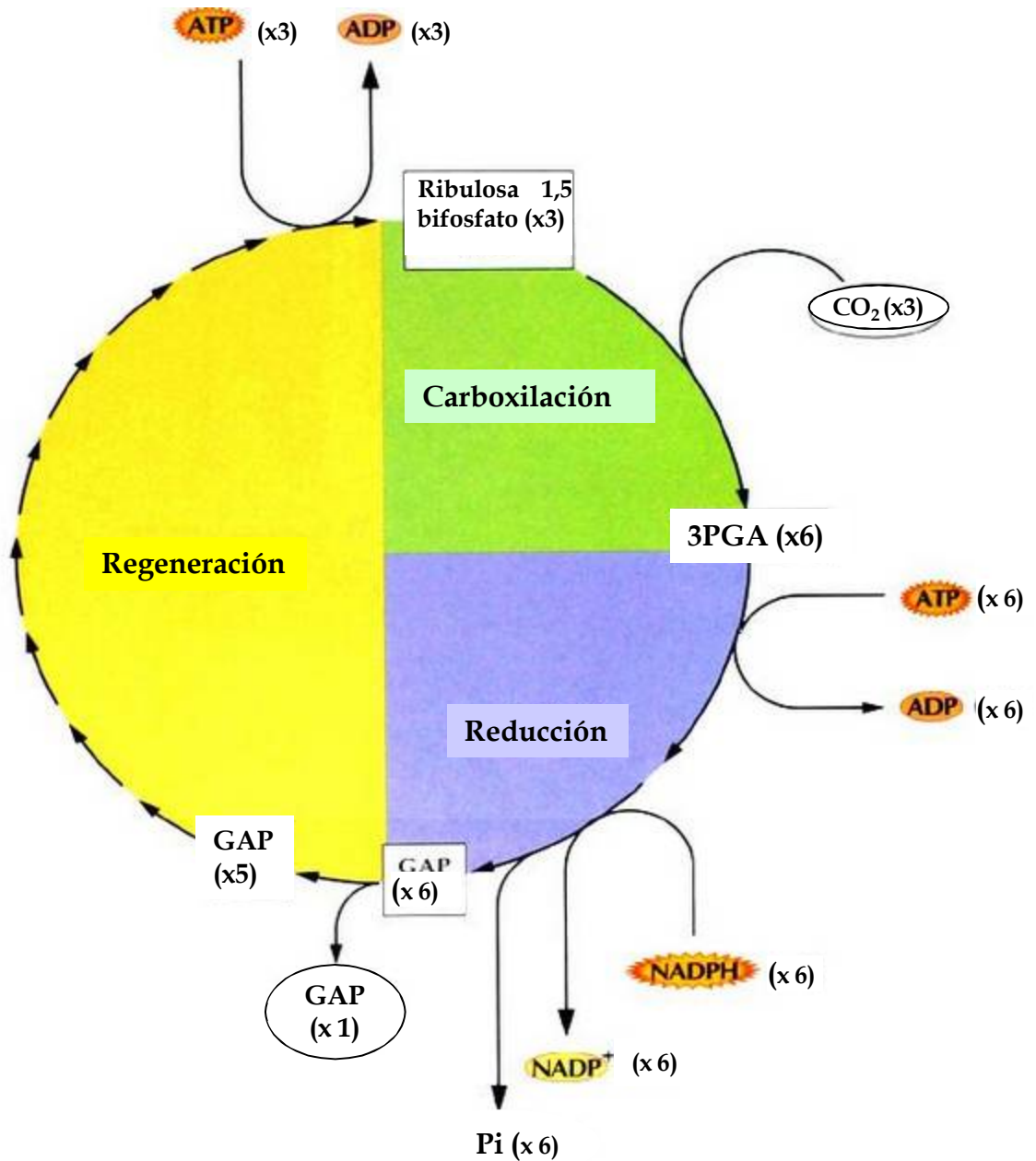


El primer producto estable que se forma en el ciclo de Calvin es el fosfoglicerato, una molécula de 3 átomos de carbono

La reacción es catalizada por la Ribulosa Bisfosfato Carboxilasa Oxigenasa (RUBISCO). La Enzima puede actuar como carboxilasa y como oxigenasa, en dependencia de las concentraciones de estos gases.



El Ciclo de Calvin se divide en tres fases: carboxilación, reducción y regeneración. La fijación de una molécula de  $\text{CO}_2$  requiere dos moléculas de  $\text{NADPH.H}^+$  y tres de ATP.



Una parte del Gliceraldehído 3 Fosfato (GAP) producido en el ciclo es convertido en almidón en el cloroplasto mientras que otra parte se transloca al citoplasma. En el este una parte es utilizado por la propia célula y el resto es convertido en sacarosa, la cual es suministrada por las células fotosintéticas al resto de las células como fuente de carbono y energía.

En el trabajo independiente ver formulas químicas

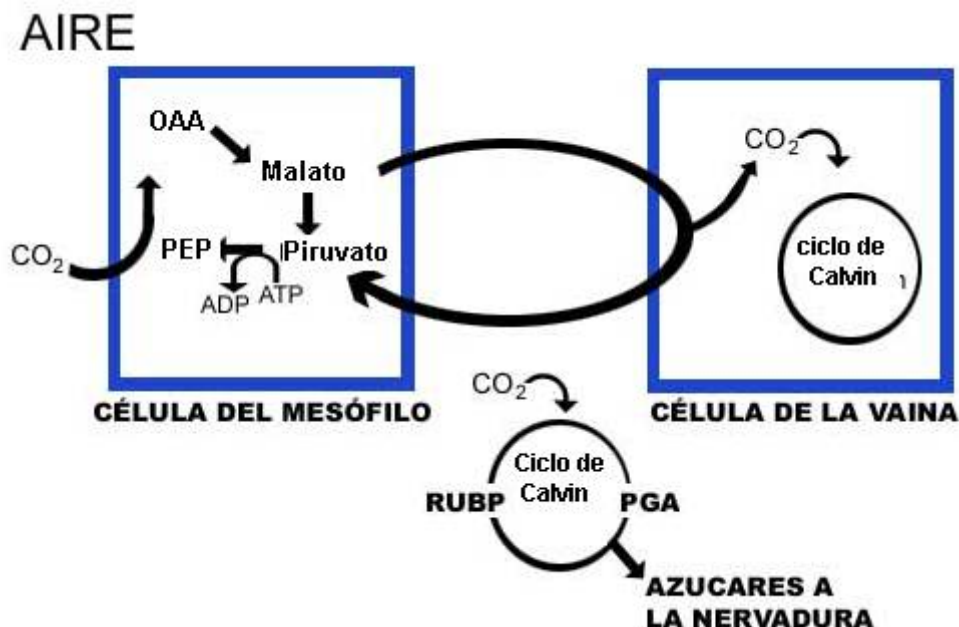


## PLANTAS CON EL CICLO DICARBOXÍLICO

Las plantas cuyo primer producto de la fijación de  $\text{CO}_2$  tiene tres átomos de carbono (C-3), como el ácido-3fosfoglicérico, poseen el Ciclo de Calvin. Sin embargo, existen otras especies en los que la fijación del  $\text{CO}_2$  tienen cuatro átomos de carbono (C-4), concretamente ácidos oxalacético, málico y aspártico. Entre las plantas con fotosíntesis C-4, se encuentran la caña de azúcar, el maíz, el sorgo y el amaranto (bledo o alegría).

Las plantas C-3 muestran en general, una anatomía foliar con mesófilo esponjoso en el envés y mesófilo en empalizada en el haz, con tejidos epidérmicos en ambas caras y con poros estomáticos para el intercambio gaseoso. Las plantas C-4 se caracterizan por presentar una anatomía en corona o con vaina amilífera, que rodea los conductos o haces vasculares. Los cloroplastos de las células de la vaina son más grandes que los del mesófilo, acumulan mucho almidón y poseen pocas granas o son agranales.

La captura del  $\text{CO}_2$  en las plantas C-4, comienza con la reacción del  $\text{CO}_2$  con el ácido fosfoenol pirúvico (PEP), catalizada por la enzima PEP-carboxilasa, con la formación de ácido oxalacético (OAA). El OAA se convierte a ácidos málico o aspártico (C-4), que luego son transportados desde las células del mesófilo, hacia las células de la vaina amilífera. En las células de la vaina el ácido málico (C-4) es descarboxilado, produciéndose  $\text{CO}_2$  y ácido pirúvico (C-3). Luego el  $\text{CO}_2$  entra al Ciclo de Calvin y el ácido pirúvico después se convierte en PEP que retorna a las células del mesófilo. Los azúcares formados durante este proceso, se transportan por las nervaduras en los conductos del floema a toda la planta.



## PLANTAS CON EL METABOLISMO ÁCIDO DE CRASULACEAS (MAC O CAM).

La fotosíntesis es el principal proceso en que el  $\text{CO}_2$  es fijado por las plantas verdes; sin embargo hay ciertas plantas suculentas y semisuculentas, que fijan el  $\text{CO}_2$  de noche o en la oscuridad, con un incremento de la acidez vacuolar, como resultado de la acumulación de ácido málico. Estas plantas pueden fijar el  $\text{CO}_2$  en la oscuridad, a velocidades superiores de la que lo expulsan mediante la respiración, resultando en una acumulación neta de  $\text{CO}_2$ . Si estas plantas se someten a la luz la acidez disminuye. La variación diurna en la acidez fue descubierta en *Bryophyllum calycinum*, especie perteneciente a la familia Crasuláceas y en consecuencia se denominó "Metabolismo ácido de crasuláceas (MAC o CAM)".

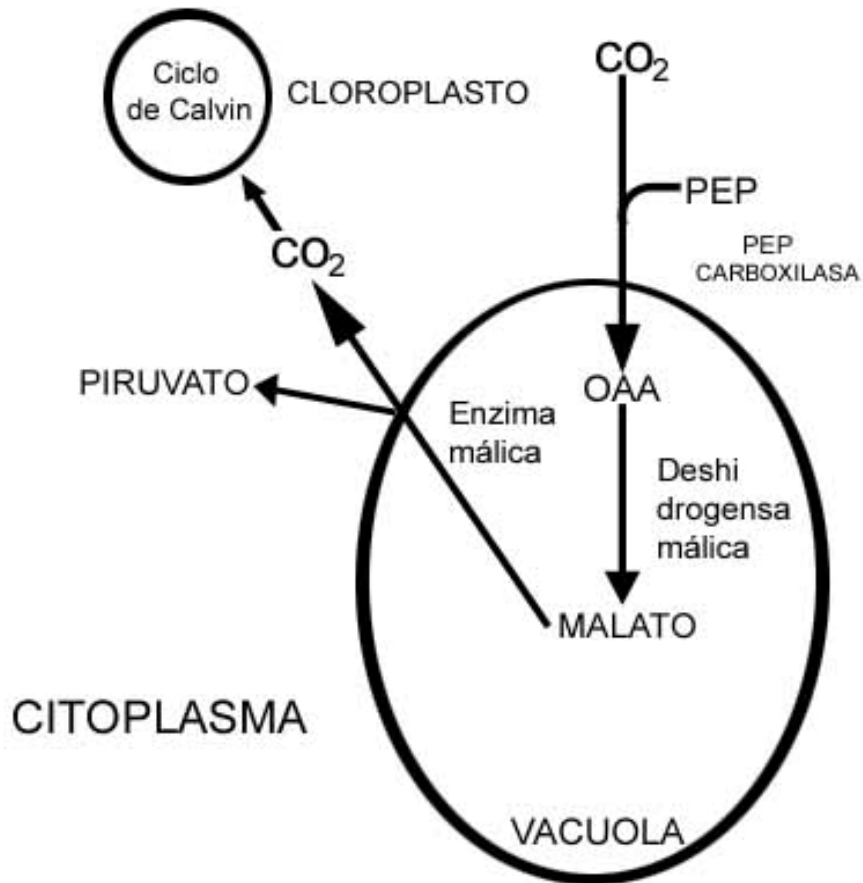
El MAC se encuentra presente en algunos géneros de las Bromeliaceae (piña, barba de palo), Agavaceae (sisal), Orchidaceae, Cactaceae, Compositas, Amarilidaceae, Euforbiaceae y por supuesto en la familia Crassulaceae. Hasta ahora se conocen más de 28 familias con plantas MAC, entre las monocotiledóneas y dicotiledóneas.

Las plantas con MAC habitan en regiones áridas y seca, donde el factor limitante es el agua, por lo que han desarrollado un mecanismo adaptativo, que les ofrece una ventaja ecológica, como es el cierre de los estomas de día y su apertura nocturna. Estas plantas presentan un ritmo circadiano (dura aproximadamente 24 horas), que consta de dos fases: 1) una oscura que produce una acidificación de la vacuola, por acumulación de ácido málico (C-4), con los estomas abiertos, 2) una luminosa en la que ocurre una desacidificación, producida por la descarboxilación del ácido málico (C-4), su conversión en ácido pirúvico (C-3) y  $\text{CO}_2$ , con los estomas cerrados.

El  $\text{CO}_2$  producido a partir del ácido málico, se fija en el ciclo de Calvin en la luz con los estomas cerrados. El  $\text{CO}_2$  se fija en la oscuridad a través de una reacción con PEP (C-3), catalizada por la PEP carboxilasa. El producto de esta reacción es el ácido oxalacético (OAA, C-4), el cual se reduce a malato (C-4). El PEP viene de la glucólisis, de tal forma que a medida que se forma malato, el almidón disminuye de noche.

El "truco" que emplean las plantas MAC, es que incorporan  $\text{CO}_2$  de noche, con los estomas abiertos y con el mínimo peligro de desecarse por evapotranspiración; ya que la humedad relativa es más alta y las temperaturas son más bajas. Durante el día, por el contrario, cuando la transpiración es mayor, las plantas MAC cierran los estomas, impidiendo la pérdida de agua.

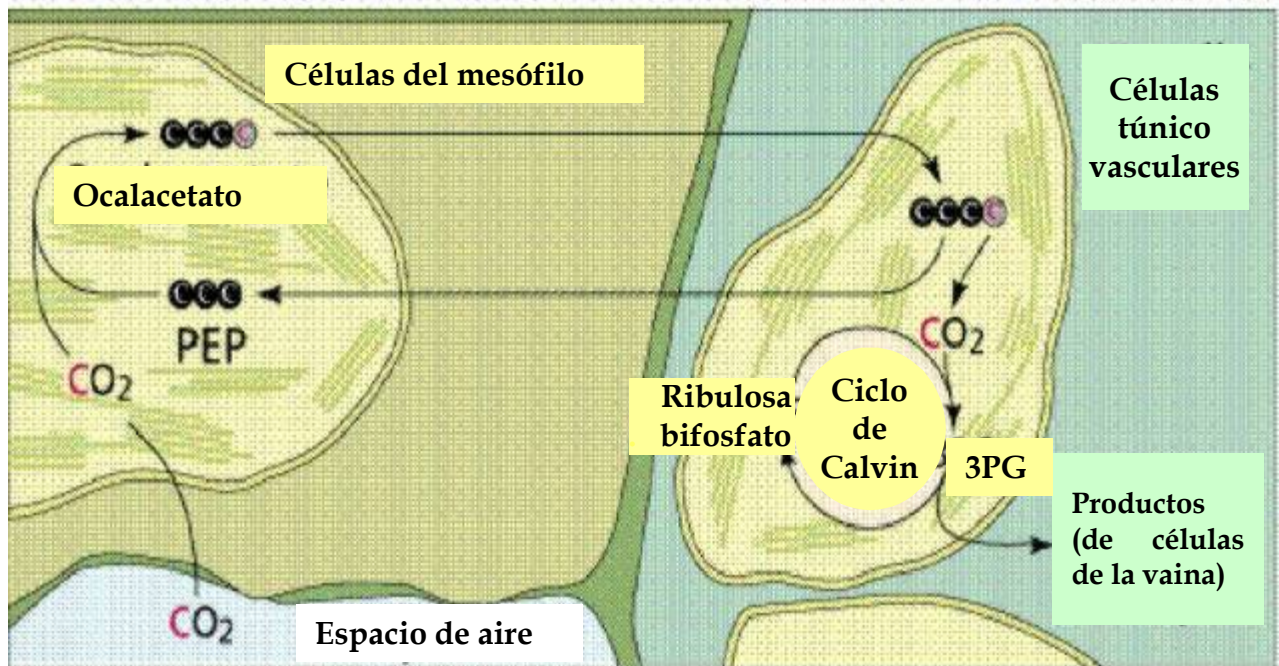
## REACCIONES DEL METABOLISMO ÁCIDO DE CRASSULACEAE.



### OTRAS VÍAS DE FIJACIÓN DEL $\text{CO}_2$ ( LA VÍA C4).

Algunas plantas han desarrollado un paso preliminar al Ciclo de Calvin, el cual es conocido como C-4. Aunque la mayoría de la fijación del carbono comienza con la ribulosa bifosfato, la vía C-4 comienza con una nueva molécula, el fosfoenolpiruvato (PEP), una molécula de tres átomos de carbonos que es convertida en oxalacetato (de 4 átomos de carbono), cuando el  $\text{CO}_2$  es combinado con PEP. El Oxalacetato es convertido en ácido Málico y entonces transportado desde las células del mesófilo a las células de la vaina. Allí es convertido en PEP y  $\text{CO}_2$  liberado es incorporado al ciclo de Calvin.

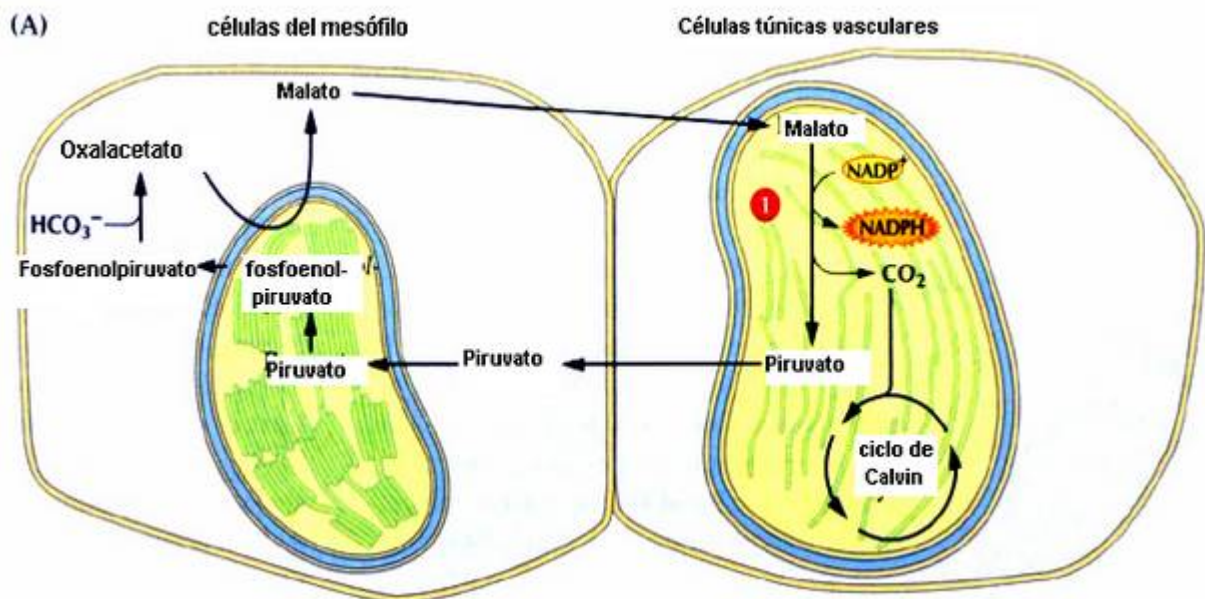
## Vía C4



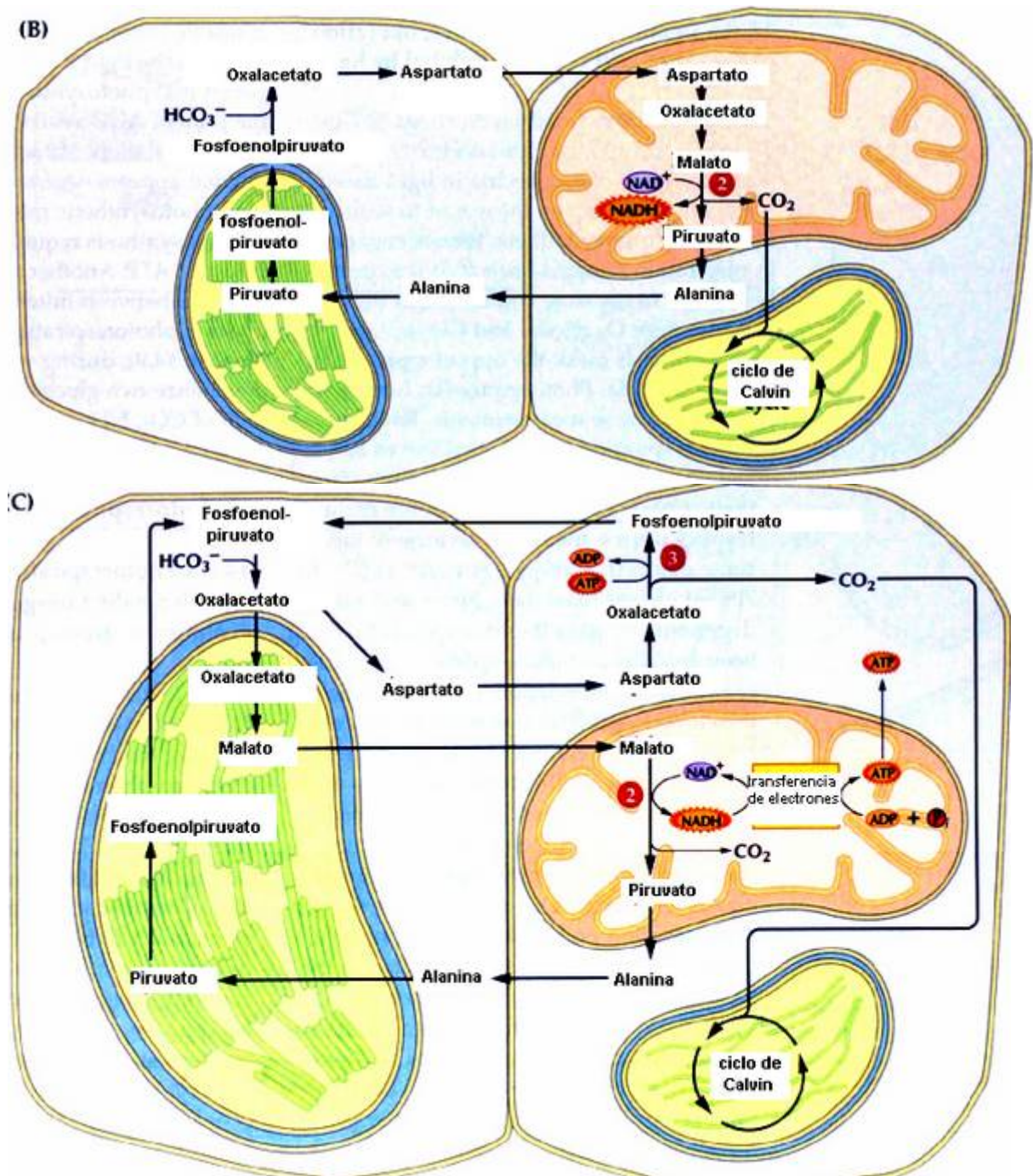
Existen tres tipos bioquímicamente diferentes de plantas C4:

- Enzima málica deshidrogenasa dependiente  $\text{NADP}^+$  (A).
- Enzima málica deshidrogenasa dependiente  $\text{NAD}^+$  (B).
- Enzima PEP carboxiquinasa (c).

A continuación se muestran los mecanismos de cada tipo.







Este grupo de plantas presenta una anatomía foliar tipo Kranz que les permite incrementar en sus hojas varias veces la concentración de  $\text{CO}_2$  ambiental. De esta manera se logra mayores tasas fotosintéticas y un uso más eficiente del agua. Este mecanismo fotosintético se ha desarrollado en plantas pertenecientes a ambientes cálidos y con baja disponibilidad de agua en el suelo. Las gramíneas tropicales y cultivos tales como el maíz, la caña de azúcar y el sorgo, son ejemplos típicos de este grupo.

## IMPORTANCIA DE LA FOTOSÍNTESIS.

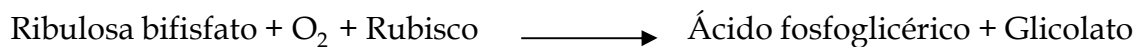
Fuente primaria de materia orgánica a partir de compuestos inorgánicos ( $\text{CO}_2$  Y  $\text{H}_2\text{O}$ ) y de la energía de la luz solar.

Producción de oxígeno.

Eliminación de  $\text{CO}_2$  atmosférico.

## FOTORESPIRACIÓN

Una de las propiedades más interesantes de la rubisco es que además de catalizar la carboxilación de la ribulosa 1,5 bifosfato, también produce su oxigenación; proceso conocido como fotorrespiración.



La fotorrespiración da como resultado la liberación de  $\text{CO}_2$ , después de una serie de reacciones enzimáticas. ¡Es admirable que la rubisco de bacterias anaeróbicas autótrofas, cataliza la reacción de la oxigenasa! La reacción de la carboxilación es favorecida a la oxigenación en una proporción de 3:1; lo que indica un 33% de ineficiencia en la carboxilación. El metabolismo del glicolato requiere la participación de las mitocondrias y de los peroxisomas. Sin embargo, es en las mitocondrias donde el aminoácido glicina, producido en los peroxisomas es descarboxilado liberando  $\text{CO}_2$ .

El ritmo de la fotorrespiración de las plantas C-3 es bastante elevado, siendo 5 veces superior al de la respiración en la oscuridad; lo cual es perjudicial para estas plantas. Las plantas C-4, que muestran muy poca o ninguna fotorrespiración, son considerablemente más eficientes; ya que realizan la fotosíntesis a concentraciones más bajas de  $\text{CO}_2$  y a más elevada presión de oxígeno.

Las plantas C-4 son de origen principalmente tropical, habitan en condiciones de alta luminosidad y altas temperaturas. Esto les permite competir más eficientemente con las plantas C-3, al tener que cerrar los estomas para economizar agua y evitar la desecación; sin embargo pueden realizar la fotosíntesis a bajas tensiones de  $\text{CO}_2$ , debido a que la enzima PEP-carboxilasa muestra una mayor afinidad por el  $\text{CO}_2$  que la rubisco.

En el caso de las plantas C4, al poseer un mecanismo adicional de captación del  $\text{CO}_2$ , no dependiente de la concentración de oxígeno, se plantea que no ocurre la fotorrespiración.

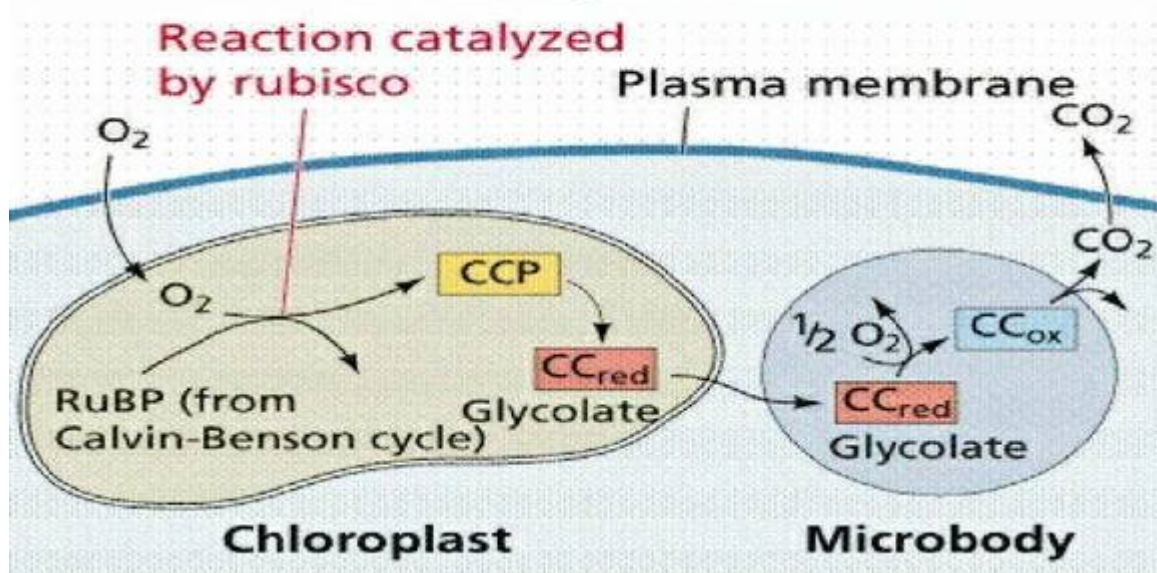
Las plantas C-3 muestran en general, una anatomía foliar con mesófilo esponjoso en el envés y mesófilo en empalizada en la haz, con tejidos epidérmicos en ambas caras y con poros estomáticos para el intercambio gaseoso.

Las plantas C-4 se caracterizan por presentar una anatomía en corona o con vaina amilífera, que rodea los conductos o haces vasculares. Los cloroplastos de las células de la vaina son más grandes que los del mesófilo, acumulan mucho almidón y poseen pocas granas o son agranales.



# FOTORRESPIRACION

## Photorespiration



La fotorrespiración es resultado de la actividad oxigenasa de la rubisco

La fotorrespiración o Ciclo C2 es un proceso donde participan varias estructuras celulares como los cloroplastos, los peroxisomas y las mitocondrias.

## CONCLUSIONES

Realizar a través de preguntas

Diga las características del procesos de fotosíntesis.

Mencione las características fundamentales de las dos fase de la fotosíntesis y cómo se interrelacionan

Fotosíntesis:      Procesos

Fase luminosa   Fotolisis del agua    $\longrightarrow$    Producción de oxígeno

Formación de equivalentes de reducción (NADPH.H<sup>+</sup>)

Fosforilación cíclica

Fosforilación acíclica.

Fase oscura      Carboxilación del aceptor de CO<sub>2</sub>

Reducción del 3Pglicerato

Regeneración de la Ribulosa 1,5 bifosfato

Identificar las etapas y procesos implicados en la absorción de la luz, su transformación en energía metabólica y la utilización de esta por el anabolismo celular.

Destacar la importancia biológica y económica de la fotosíntesis

Revisar: texto para estudiantes de Agronomía del colectivo de autores pp: 168-183 y el capítulo sobre FOTOSÍNTESIS en- Libro BOTANICA OnLine - FOTOSINTESIS.htm que tiene hipervínculo en Caroline.

Realizar cuestionarios y preguntas de autoevaluación que aparecen en la sección de ejercicios del curso del Caroline.

### Orientar próxima actividad

Prepararse para el laboratorio N0 1 : determinación de carbohidratos teniendo en cuenta las orientaciones que aparecen en la guía entregada

## CUESTIONARIO

Explique la importancia de los pigmentos fotosintéticos en la síntesis de los carbohidratos.

Describa las diferentes fases de la fotosíntesis.

Describa las reacciones que establecen la relación entre la fase oscura y la fase luminosa.

¿A partir de que metabolito se forma el O<sub>2</sub> que se desprende durante el proceso fotosintético?

¿En que consiste el ciclo de Hatch-Slack y cuál es su importancia? Explique.

## **FOTOSÍNTESIS**

**Escoge las opciones correctas (una, dos, tres o las cuatro).**

**Pregunta n° 1 (Múltiple Elección):** La fotosíntesis

- A) Es dependiente de la luz.
- B) Es un proceso exergónico.
- C) Es un proceso endergónico.
- D) Ocurre solamente en las plantas.
- E) Consume  $\text{CO}_2$  y libera  $\text{O}_2$ .

**Pregunta n° 2 (Múltiple Elección):** Las fases de la fotosíntesis

- A) Son dependientes de la luz.
- B) Se denominan fase lumínica y fase oscura.
- C) Ocurren ambas en el cloroplasto.
- D) Son independientes entre sí.

**Pregunta n° 3 (Múltiple Elección):** Los pigmentos fotosintéticos

- A) Son sustancias que absorben la luz.
- B) Son principalmente xantofilas.
- C) Se encuentran en los discos tilacoides.
- D) Son producidos en las mitocondrias.
- E) Forman parte de los fotosistemas.

**Pregunta n° 4 (Múltiple Elección):** En la fase lumínica

- A) El donante electrónico es el agua.
- B) El donante electrónico es el  $\text{CO}_2$ .
- C) Los productos son ATP, NADPH y  $\text{O}_2$ .
- D) Se obtiene glucosa.
- E) Se genera un flujo de protones.

**Pregunta n° 5 (Múltiple Elección):** En la fase oscura

- A) Se capta  $\text{O}_2$ .
- B) Se capta  $\text{CO}_2$ .
- C) Se consume ATP.
- D) Se producen azúcares.
- E) Se libera NADPH.

**Pregunta n° 6 (Múltiple Elección):** Las plantas C4

- A) Son generalmente de origen tropical.
- B) Fotorrespiran más intensamente.
- C) Son más adaptadas a las altas temperaturas.
- D) No presentan el Ciclo de Calvin.
- E) Presentan menor eficiencia que las C3.