

## UNIDAD 2: Analizando la relación entre servicios ecosistémicos y la sociedad.

### FOTOSINTESIS.

#### OBJETIVOS.

- 1.- Conocer las etapas de la fotosíntesis.
- 2.- Describir las vías fotosintéticas C3-C4 y Cam.
- 3.- Conocer los factores que afectan la fotosíntesis.
- 4.- Discutir porqué es necesario que al salir de la Enseñanza Media saber qué es y para qué sirve la fotosíntesis.

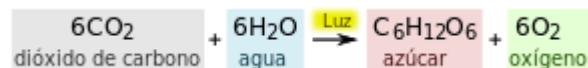
La vida en nuestro planeta se mantiene fundamentalmente gracias a la fotosíntesis que realizan en el medio acuático las algas, las cianobacterias, las bacterias rojas, las bacterias púrpuras, bacterias verdes del azufre, y en el medio terrestre las plantas, que tienen la capacidad de sintetizar materia orgánica (imprescindible para la constitución de los seres vivos) partiendo de la luz y la materia inorgánica.

La fotosíntesis es la conversión de materia inorgánica a materia orgánica gracias a la energía que aporta la luz del sol.

Los organismos que tienen la capacidad de llevar a cabo la fotosíntesis son llamados, fotoautótrofos (otra nomenclatura posible es la de autótrofos, pero se debe tener en cuenta que bajo esta denominación también se engloban aquellas bacterias que realizan la quimiosíntesis).

En este proceso la energía lumínica se transforma en energía química estable, siendo el NADPH (nicotín adenín dinucleótido fosfato) y el ATP (adenosín trifosfato) las primeras moléculas en la que queda almacenada esta energía química. Con posterioridad, el poder reductor del NADPH y el potencial energético del grupo fosfato del ATP se usan para la síntesis de hidratos de carbono a partir de la reducción del dióxido de carbono.

La más importante función realizada en los cloroplastos es la fotosíntesis, proceso en la que la materia inorgánica es transformada en materia orgánica (fase oscura) empleando la energía bioquímica (ATP) obtenida por medio de la energía solar, a través de los pigmentos fotosintéticos y la cadena transportadora de electrones de los tilacoides (fase luminosa).



	<p style="text-align: center;">Control del Proceso Educativo Guía de Biología de los Ecosistemas</p> <p style="text-align: center;"><i>Instituto San Lorenzo</i></p>		<p style="text-align: center;">7. 5. 1.</p> <p style="text-align: center;">Página 2 de 7 Rev. 02</p>
--	--	--	--

Los cloroplastos, unas estructuras polimorfas y de color verde (esta coloración es debida a la presencia del pigmento clorofila) propias de las células vegetales.

Los cloroplastos están delimitados por una envoltura formada por dos membranas (externa e interna)

En el interior y delimitado por la membrana interna, se ubica una cámara que alberga un medio interno con un elevado número de componentes (ADN circular y de doble hélice, ribosomas, enzimas e inclusiones de granos de almidón y las inclusiones lipídicas); es lo que se conoce por el nombre de **estroma**. Inmerso en él se encuentran una gran cantidad de sáculos denominados tilacoides.

Los pigmentos fotosintéticos se hallan alojados en las membranas de los tilacoides, forman unos conjuntos denominados fotosistemas, en los que se distinguen dos unidades diferentes: la antena y el centro de reacción.

En la antena existen muchos pigmentos: clorofila b carotenoides, xantofila etc.

En el centro de reacción hay dos moléculas de clorofila a

**El Fotosistema I (PSI)** capta la luz cuya longitud de onda es menor o igual a 700 nm y en las plantas superiores, su antena se caracteriza por encerrar dentro de sí una gran proporción de clorofila  $\alpha$ , y **una menor de clorofila  $\beta$ . Se hallan presentes en los tilacoides .**

**El Fotosistema II (PSII)** capta luz cuya longitud de onda es menor o igual a 680 nm.

## Los pigmentos fotosintéticos y la absorción de la luz

Los pigmentos fotosintéticos son lípidos unidos a proteínas presentes en algunas membranas plasmáticas, y que se caracterizan por presentar alternancia de enlaces sencillos con enlaces dobles. Esto se relaciona con su capacidad de aprovechamiento de la luz para iniciar reacciones químicas, y con poseer color propio. En las plantas estos pigmentos son las clorofilas y los carotenoides.

La clorofila está formada por un anillo porfirínico con un átomo de magnesio en el centro, asociado a un metanol y a un fitol (monoalcohol de compuesto de veinte carbonos).

Los carotenoides absorben luz de 440 nm, pudiendo ser de dos clases: los carotenos, que son de color rojo, y las xantófilas, derivados oxigenados de los nombrados anteriormente, que son de color amarillento. Las ficocianinas y las ficoeritritinas, de color azul y rojo respectivamente, son lípidos asociados a proteínas.

Cuando incide un fotón sobre un electrón de un pigmento fotosintético de antena, el electrón capta la energía del fotón y asciende a posiciones más alejadas del núcleo atómico. En el supuesto

	Control del Proceso Educativo Guía de Biología de los Ecosistemas  Instituto San Lorenzo		7. 5. 1.  Página 3 de 7 Rev. 02
--	---	--	--

caso de que el pigmento estuviese aislado, al descender al nivel inicial, la energía captada se liberaría en forma de calor o de radiación de mayor longitud de onda (fluorescencia). Sin embargo, al existir diversos tipos de pigmentos muy próximos, la energía de excitación captada por un determinado pigmento puede ser transferida a otro al que se induce el estado de excitación.

## Fase luminosa o fotoquímica

La energía lumínica que absorbe la clorofila excita a los electrones externos de la molécula, los cuales pueden pasar a otra molécula, y producen una especie de corriente eléctrica (transporte de electrones) en el interior del cloroplasto a través de la cadena de transporte de electrones.

La energía (procedente de la luz) de los electrones que se transportan es empleada indirectamente en la síntesis de ATP mediante la fotofosforilación (precisa transporte de protones desde el lumen tilacoidal al estroma), y directamente en la síntesis de NADPH (el NADP recibe los electrones procedentes del agua, al final de la cadena de transporte y se reduce a NADPH). Ambos compuestos son necesarios para la siguiente fase o Ciclo de Calvin.

Los electrones que ceden las clorofilas son repuestos mediante la oxidación del H<sub>2</sub>O, proceso en el cual se genera el O<sub>2</sub> que las plantas liberan a la atmósfera.

Existen dos variantes de fotofosforilación: acíclica y cíclica, según el tránsito que sigan los electrones a través de los fotosistemas. Las consecuencias de seguir un tipo u otro estriban principalmente en la producción o no de NADPH y en la liberación o no de O<sub>2</sub>.

### Fotofosforilación acíclica (oxigénica)

Los fotones inciden sobre el fotosistema II, excitando y liberando dos electrones, que pasan al primer acceptor de electrones. Los electrones los repone el dador último de electrones, el dador Z, con los electrones procedentes de la fotólisis del agua en el interior del tilacoide (la molécula de agua se divide en 2H<sup>+</sup> + 2e<sup>-</sup> + ½ O<sub>2</sub>). Los protones de la fotólisis se acumulan en el interior del tilacoide, y el oxígeno es liberado.

Los electrones pasan a una cadena de transporte de electrones, que invertirá su energía liberada en la síntesis de ATP.

La síntesis de ATP en la fase fotoquímica se denomina fotofosforilación.

	Control del Proceso Educativo <b>Guía de Biología de los Ecosistemas</b>		7. 5. 1.
<i>Instituto San Lorenzo</i>	<i>Coordinación Enseñanza Media</i>		Página 4 de 7 Rev. 02

La enzima NADP+-reductasa, que capta también dos protones del estroma. Con los dos protones y los dos electrones, reduce un NADP+ en NADPH + H+.

### **Fase luminosa cíclica (Fotofosforilación anoxigénica)**

En la fase luminosa o fotoquímica cíclica interviene de forma exclusiva el fotosistema I, generándose un flujo o ciclo de electrones que en cada vuelta da lugar a síntesis de ATP. Al no intervenir el fotosistema II, no hay fotólisis del agua y, por ende, no se produce la reducción del NADP+ ni se desprende oxígeno (anoxigénica). Únicamente se obtiene ATP.

El objetivo que tiene la fase cíclica tratada es el de subsanar el déficit de ATP obtenido en la fase acíclica para poder afrontar la fase oscura posterior.

Cuando se ilumina con luz de longitud de onda superior a 680 nm solamente se produce el proceso cíclico. Al incidir los fotones sobre el fotosistema I, la clorofila P700 libera los electrones. Sirve para compensar el hecho de que en la fotofosforilación acíclica no se genera suficiente ATP para la fase oscura.

### **Fase oscura o sintética.**

Esta fase se llama oscura, no porque ocurra de noche, sino porque no requiere de energía solar para poder concretarse.

En la fase oscura, que tiene lugar en el estroma de los cloroplastos, tanto la energía en forma de ATP como el NADPH que se obtuvo en la fase luminosa se usa para sintetizar materia orgánica por medio de sustancias inorgánicas.

Síntesis de compuestos de carbono, descubierta por el bioquímico norteamericano Melvin Calvin, por lo que también se conoce con la denominación de ciclo de Calvin, se produce mediante un proceso de carácter cíclico en el que se pueden distinguir varios pasos o fases.

En primer lugar se produce la fijación del dióxido de carbono. En el estroma del cloroplasma, el dióxido de carbono atmosférico se une a la pentosa ribulosa-1,5-bifosfato, gracias a la enzima Rubisco, (RuBisCO) y origina un compuesto inestable de seis carbonos, que se descompone en dos moléculas de ácido 3-fosfoglicérico. Se trata de moléculas constituidas por tres átomos de carbono, por lo que las plantas que siguen esta **vía metabólica se llaman C3**.

Con posterioridad se produce la reducción del dióxido de carbono fijado. Por medio del consumo de ATP y del NADPH obtenidos en la fase luminosa, el PGA se reduce a PGAL, que puede seguir caminos diversos.

La primera vía consiste en la regeneración de la ribulosa 1-5-difosfato (la mayor parte del producto se invierte en esto). Otras rutas posibles involucran biosíntesis alternativas: el PGAL que queda en el estroma del cloroplasma puede destinarse a la síntesis de aminoácidos, ácidos grasos y almidón.

El que pasa al citosol origina la glucosa y la fructosa, que al combinarse generan la sacarosa, azúcar de transporte de la mayoría de las plantas, presente en la savia elaborada, conducida por el floema.

	Control del Proceso Educativo Guía de Biología de los Ecosistemas  Instituto San Lorenzo		7. 5. 1.  Página 5 de 7 Rev. 02
--	---	--	--

Una revisión cuantitativa de esta vía fotosintética permite ver que son necesarias 6 vueltas de este ciclo, con la incorporación de 6 átomos de carbono para producir un tipo de azúcar de 6 carbonos como es la glucosa.

Para fijar 6 moléculas de CO<sub>2</sub> son necesarias 6 moléculas de RuBP. De la unión de estas moléculas, y su ruptura posterior, resultan 12 moléculas de 3 carbonos, como el PGA. Transformar las moléculas de PGA en PGAL requiere 12 ATP y 12 NADPH. De las 12 moléculas de PGAL se usan 2 para formar glucosa, de las 10 restantes con el aporte de 6 ATP se transforman en 6 moléculas de RuBP para completar el ciclo.

## VIA FOTOSINTETICA C- 4 o CICLO DE Hatch y SLACK.

En los vegetales propios de las zonas con clima tropical, se distinguen dos variedades de cloroplastos: existen unos que se hallan en las células internas, contiguos a los vasos conductores de las hojas, y otros que están en las células del parénquima clorofílico periférico, lo que se llama mesófilo. Es en este último tipo de cloroplasto en el que se produce la fijación del dióxido de carbono.

La molécula aceptora de este compuesto químico es una molécula de 3 C, fosfoenolpiruvato o PEP, y la enzima que actúa es la fosfoenolpiruvato carboxilasa, que no se ve afectada por una alta concentración de oxígeno.

Partiendo del ácido fosfoenolpirúvico y del dióxido de carbono se genera el ácido oxalacético, constituido por cuatro carbonos (es de aquí de donde proviene el nombre de plantas C4).

El ácido se transforma en ácido málico, y este pasa a los cloroplastos propios de las células internas a través de los plasmodesmos. En estos se libera el dióxido de carbono, que será apto para proseguir el ciclo de Calvin.

## VIA FOTOSINTETICA CAM

La sigla CAM es empleada como abreviación de la equívoca expresión inglesa crassulacean acidic metabolism, que puede ser traducida al español como metabolismo ácido de las crasuláceas.

	Control del Proceso Educativo <b>Guía de Biología de los Ecosistemas</b>		7. 5. 1.
<i>Instituto San Lorenzo</i>	<i>Coordinación Enseñanza Media</i>		Página 6 de 7 Rev. 02

Esta denominación se acuñó dado que en un principio este mecanismo únicamente fue atribuido a las plantas pertenecientes a esta familia, es decir, a las crasuláceas. No obstante, en la actualidad se conocen a varias especies de plantas CAM, que pertenecen a diferentes familias de plantas crasas o suculentas. Por norma general, las plantas CAM son vegetales originarios de zonas con unas condiciones climáticas desérticas o subdesérticas, que se encuentran sometidas a una intensa iluminación, a altas temperaturas y a un déficit hídrico permanente.

Las plantas CAM están adaptadas a las condiciones de aridez extremas, por lo que resulta lógico que sus estomas se abran durante la noche, para evitar en la medida de lo posible la pérdida de agua por transpiración, fijando dióxido de carbono en oscuridad por una reacción de carboxilación de PEP (ácido fosfoenolpirúvico) catalizada por la enzima PEP-carboxilasa en el citosol.

Como resultado, se produce la formación de oxalacetato y malato que es almacenado en la vacuola, sobreviniéndose una acidificación nocturna de la hoja. El malato almacenado en la vacuola es liberado durante el día mientras los estomas que permanecen cerrados, siendo llevado al cloroplasto. Una vez en este orgánulo, el malato es descarboxilado por la enzima málico NADP dependiente y el dióxido de carbono que se desprende es fijado en el ciclo de Calvin.

El ácido pirúvico se convierte nuevamente en azúcares, para finalmente convertirse en almidón. La fijación y reducción del carbono en las plantas CAM presenta unos requerimientos energéticos, en términos de ATP, mayores que en las plantas C3 y C4. Su rendimiento fotosintético por unidad de tiempo es menor y su crecimiento es más lento.

## **Factores externos que influyen en la fotosíntesis.**

Mediante la comprobación experimental, los científicos han llegado a la conclusión de que la temperatura, la concentración de determinados gases en el aire (tales como dióxido de carbono y oxígeno), la intensidad luminosa y la escasez de agua son aquellos factores que intervienen aumentando o disminuyendo el rendimiento fotosintético de un vegetal.

La temperatura: cada especie se encuentra adaptada a vivir en un intervalo de temperaturas. Dentro de él, la eficacia del proceso oscila de tal manera que aumenta con la temperatura, como consecuencia de un aumento en la movilidad de las moléculas, en la fase oscura, hasta llegar a una temperatura en la que se sobreviene la desnaturización enzimática, y con ello la disminución del rendimiento fotosintético.

La concentración de dióxido de carbono: si la intensidad luminosa es alta y constante, el rendimiento fotosintético aumenta en relación directa con la concentración de dióxido de carbono en el aire, hasta alcanzar un determinado valor a partir del cual el rendimiento se estabiliza.

La concentración de oxígeno: cuanto mayor es la concentración de oxígeno en el aire, menor es el rendimiento fotosintético.

	<p style="text-align: center;">Control del Proceso Educativo <b>Guía de Biología de los Ecosistemas</b></p>		<p style="text-align: center;">7. 5. 1.</p>
	<p style="text-align: center;"><i>Instituto San Lorenzo</i></p>		<p style="text-align: center;"><i>Coordinación Enseñanza Media</i></p>

La intensidad luminosa: cada especie se encuentra adaptada a desarrollar su vida dentro de un intervalo de intensidad de luz, por lo que existirán especies de penumbra y especies fotófilas. Dentro de cada intervalo, a mayor intensidad luminosa, mayor rendimiento, hasta sobrepasar ciertos límites, en los que se sobreviene la fotooxidación irreversible de los pigmentos fotosintéticos. Para una igual intensidad luminosa, las plantas C4 (adaptadas a climas secos y cálidos) manifiestan un mayor rendimiento que las plantas C3, y nunca alcanzan la saturación lumínica.

La escasez de agua: ante la falta de agua en el terreno y de vapor de agua en el aire disminuye el rendimiento fotosintético. Esto se debe a que la planta reacciona, ante la escasez de agua, cerrando los estomas para evitar su desecación, dificultando de este modo la penetración de dióxido de carbono