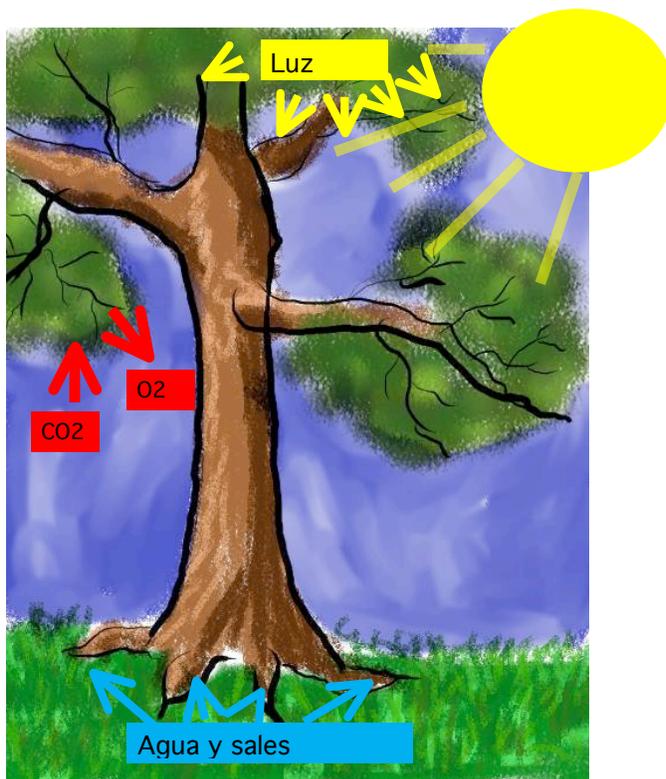


La fotosíntesis I

Habitualmente, todo aquello que se relacione con la vida “extraterrestre” genera curiosidad. Las películas con protagonistas de otros planetas despiertan emociones diversas, intriga, miedo, asombro, etc. Sin embargo, casi pasa inadvertido el hecho que la vida en la Tierra depende de energía “extraterrestre”. Suena extraño, pero... ¿qué es la energía solar sino energía que llega desde el medio extraterrestre?

No todos los seres vivos tienen la capacidad de captar la energía de sol, y aprovecharla. Solo algunos organismos pueden absorber y utilizar la energía luminosa del sol en el proceso de la fotosíntesis, en el cual fabrican materia orgánica a partir de sustancias simples. La fotosíntesis ocurre cuando la luz solar es capturada por la clorofila, y esa energía lumínica se emplea en las células para la ruptura de moléculas de agua, que se combinan con CO_2 y forman hidratos de carbono. Además, como producto adicional hay liberación de O_2 al entorno, un gas vital para la respiración de la mayoría de los seres vivos. La captación de sales minerales, también contribuye en la fabricación del resto de los componentes del organismo.



Se representa el intercambio gaseoso y la absorción de agua, sales minerales y luz, involucrados en el proceso de la fotosíntesis.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Los organismos que llevan a cabo el proceso de fotosíntesis se denominan *autótrofos* (del griego: autos = propio; trophe = nutrición) porque tienen la capacidad de “fabricar” su propio alimento a partir de sustratos inorgánicos. En la cadena alimenticia los organismos autótrofos son los productores sobre los que se sustentan el resto de los seres vivos que se nutren de la materia orgánica y obtiene la energía química que esas sustancias almacenan.

La ecuación que resume el proceso de la fotosíntesis es:



Fórmula general de la fotosíntesis.

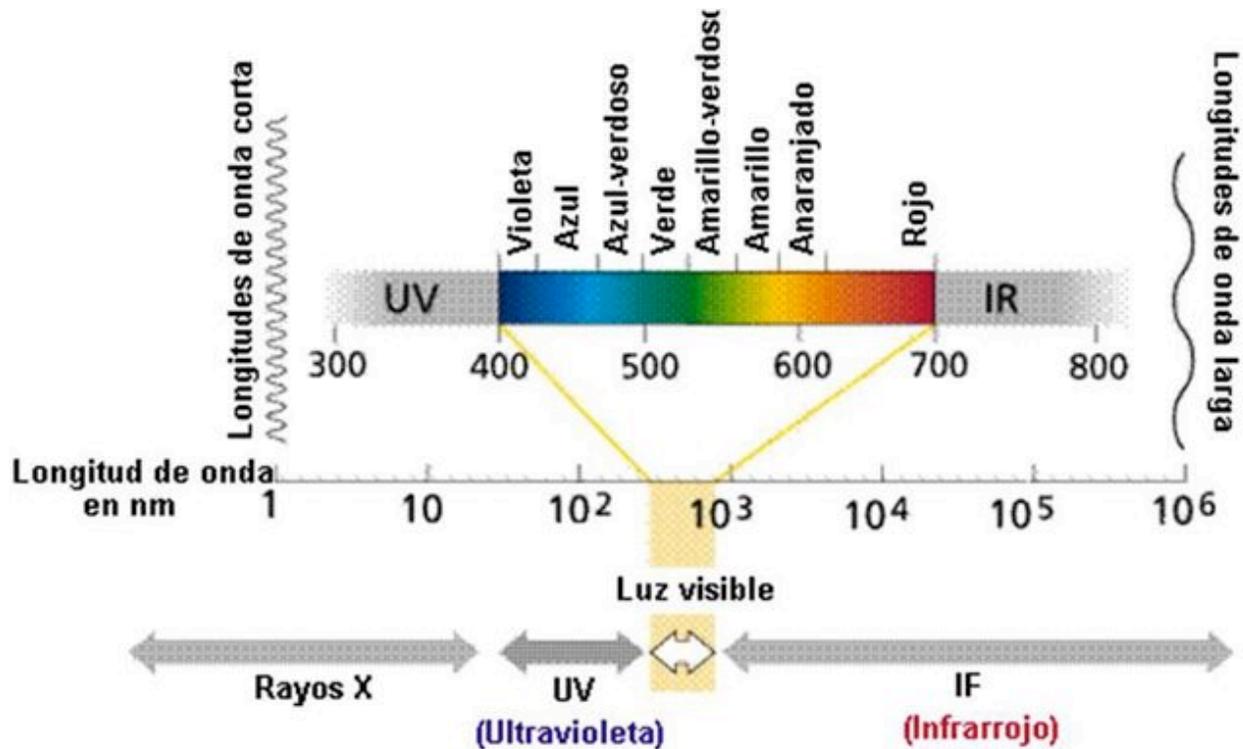
Este tipo de fotosíntesis se denomina oxigénica y no está restringida a las plantas, ya que ocurre en algas y organismos procariotas, como las cianobacterias. También existen ciertas bacterias anaerobias que llevan a cabo otro tipo de fotosíntesis, la anoxigénica. Se cree que hace, aproximadamente, 3400 millones de años surgieron en la Tierra los organismos fotosintéticos. Hasta ese momento la atmósfera carecía de oxígeno gaseoso (O_2). La conversión gradual de la atmósfera hacia el estado oxidante actual, a medida que se fueron multiplicando los organismos autótrofos, permitió el surgimiento del metabolismo aerobio y la evolución de otros seres vivos que hoy en día habitan la Tierra. Mediante la fotosíntesis, la energía solar absorbida y asimilada se utiliza para transformar grandes cantidades de biomasa. Anualmente en la Tierra se almacena el equivalente energético a 80 mil millones de toneladas de carbón, lo cual corresponde a la asimilación de 100 mil millones de toneladas de carbono de azúcares y otras fuentes de materia orgánica. Aproximadamente la mitad de esa biomasa es producida por el ecosistema terrestre (cultivos agrícolas, bosques, sabanas y matorrales), mientras que la otra mitad es sintetizada por los ecosistemas acuáticos, en las capas superiores de lagos y océanos (fitoplancton y macrofitas). La energía acumulada en esta biomasa es luego distribuida al resto de los organismos vivos a través de las redes alimenticias.

Las plantas absorben luz

La luz tiene características de partícula y de onda. Las ondas luminosas, llamadas electromagnéticas, se pueden propagar a través del vacío. Se propaga en línea recta y en todas las direcciones. Si un rayo de luz blanca atraviesa un prisma se descompone en siete colores, cada uno correspondiente a un rango de longitudes de onda. La longitud de onda (λ) se define como *la distancia entre dos crestas o dos valles de una onda*. La luz visible para el ojo humano está conformada por el rango de energías con longitudes

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

de onda entre 400 y 700 nanómetros, aproximadamente. Esta es una región muy angosta del espectro electromagnético (ver figura).



La luz visible sólo representa una pequeña porción del espectro electromagnético. La distribución de los colores en el espectro está determinada por la longitud de onda de cada uno de ellos, a mayor longitud de onda más tendiente al rojo es el color. Los pigmentos de los cloroplastos de las hojas pueden absorber más del 90% de las longitudes de onda del violeta y del azul y un porcentaje casi tan elevado de las correspondientes al rojo y el anaranjado.

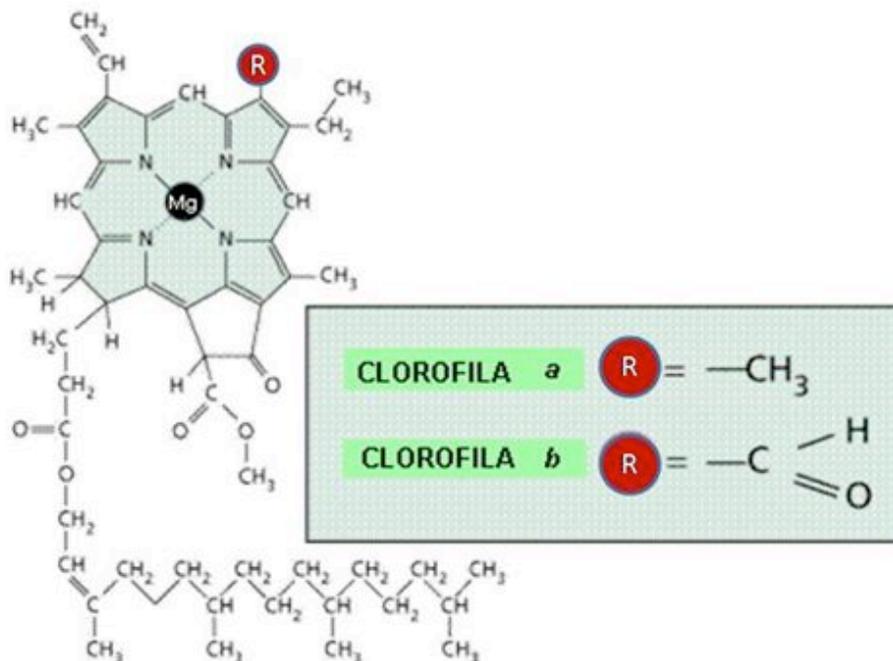
Fuente: <http://www.efn.uncor.edu/dep/biologia/intrbiol/fotosint.htm>

Se hace referencia a la naturaleza particulada de la luz cuando se dice que tiene forma de *cuantos* o *fotones*, es decir, paquetes discretos de energía. Las moléculas solo pueden absorber de a un fotón a la vez, y ese fotón causa la excitación de un sólo electrón. Cada uno de esos electrones se aleja de su estado basal, respecto al núcleo, una distancia equivalente a la energía del fotón absorbido. Una molécula de pigmento en esta situación se encuentra en su estado excitado y dicha energía de excitación es la que se utiliza en la fotosíntesis.

Pigmentos y clorofila

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

Los colores de la vegetación son muy variados, y son conferidos a los vegetales por compuestos químicos llamados **pigmentos**. Una sustancia que absorbe luz se denomina **pigmento** y su color está definido por la longitud de onda que éste no es capaz de absorber, es decir por la longitud que refleja. Dos pigmentos emparentados, la **clorofila a** y la **clorofila b**, le otorgan a las plantas ese color verde tan característico porque tienen la capacidad de absorber todas las longitudes de onda de la luz visible excepto el verde, el cual es reflejado y percibido por el ojo humano. La fotosíntesis ocurre en organismos que poseen clorofila, ya que ésta absorbe y convierte la energía luminosa en energía química. La clorofila es una molécula compleja, formada por cuatro anillos pirrólicos, un átomo de magnesio y una cadena de fitol larga.



Estructura molecular de la **clorofila a** y de la **clorofila b**.

Adaptado de <http://www.efn.uncor.edu/dep/biologia/intrbiol/fotosint.htm>

En las células vegetales, los pigmentos implicados en la fotosíntesis, se localizan en organelas denominadas **cloroplastos** y en particular están asociados a membranas lipídicas (tilacoidales). Dentro de la membrana fotosintética, se forman complejos de 200-300 moléculas de clorofila. La clorofila y otros pigmentos pueden permanecer en estado de excitación sólo por periodos muy cortos de tiempo, casi siempre de una mil millonésima de segundo. Para que ocurra la fotosíntesis se requiere que la energía de los electrones excitados de varios pigmentos se transfiera a un pigmento colector de energía, un centro de reacción. Estas pocas moléculas de clorofila del centro de

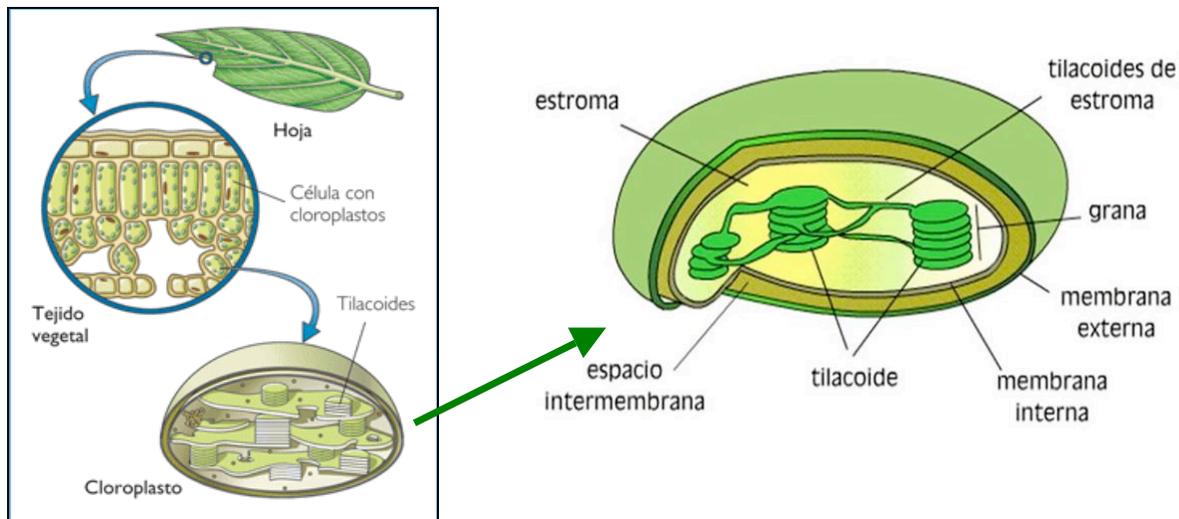
"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

reacción reciben la energía absorbida por la mayoría de las clorofilas que actúan como captadoras de luz o “antenas”. Los “complejos antena” funcionan como “embudos” que colectan los fotones y transfieren la energía hasta los centros de reacción donde está la forma especial de **clorofila a**. Una molécula de clorofila en el centro de reacción puede transferir su excitación como energía útil en reacciones de biosíntesis.

Además de la **clorofila a** hay otros pigmentos involucrados en la fotosíntesis: los **pigmentos accesorios**. Estos pigmentos aumentan la eficiencia de captación de la luz en las células fotosintéticas ya que son capaces de absorber las longitudes de onda que la clorofila no puede. Entre los pigmentos accesorios se encuentran la clorofila b, las xantofilas, los carotenos y la ficobilina.

Estructura del sistema fotosintético

La fotosíntesis en plantas superiores ocurre en las hojas, que son órganos especializados para esa función, con superficies capaces de aprovechar al máximo la luz solar. El intercambio gaseoso ocurre a través de los estomas, unas aberturas en las hojas que, al abrirse, absorben CO₂ y liberan O₂. Las hojas están constituidas principalmente por tejidos fotosintéticos, es decir, por células que tienen las estructuras necesarias para el desarrollo de la fotosíntesis. A nivel celular, la maquinaria fotosintética se localiza en los cloroplastos. Estas organelas se encuentran en plantas superiores, algas pluricelulares y unicelulares. En la siguiente figura se muestra los componentes del sistema fotosintético.



Estructura del sistema fotosintético: incluye desde el órgano fotosintético, la hoja, hasta las organelas celulares en las que ocurre la fotosíntesis, los cloroplastos. Fuentes:

www.kalipedia.com y
http://fai.unne.edu.ar/biologia/cel_euca/images/0416.gif

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Los cloroplastos presentan un sistema de membranas internas y externas llamadas **tilacoides**. Los tilacoides son sacos aplanados, que apilados como monedas toman colectivamente el nombre de **grana**. La membrana interna del cloroplasto rodea al **estroma**, que contiene a las enzimas implicadas en la fotosíntesis. En las membranas tilacoidales se encuentra toda la maquinaria molecular que lleva a cabo la primera fase de la fotosíntesis: proteínas captadoras de luz, centros de reacción, cadena de transporte de electrones y ATP sintasa.

Elementos del sistema fotosintético en membranas tilacoidales

En las membranas tilacoidales se encuentran insertos los cuatro complejos proteicos que llevan a cabo la primera fase de la fotosíntesis:

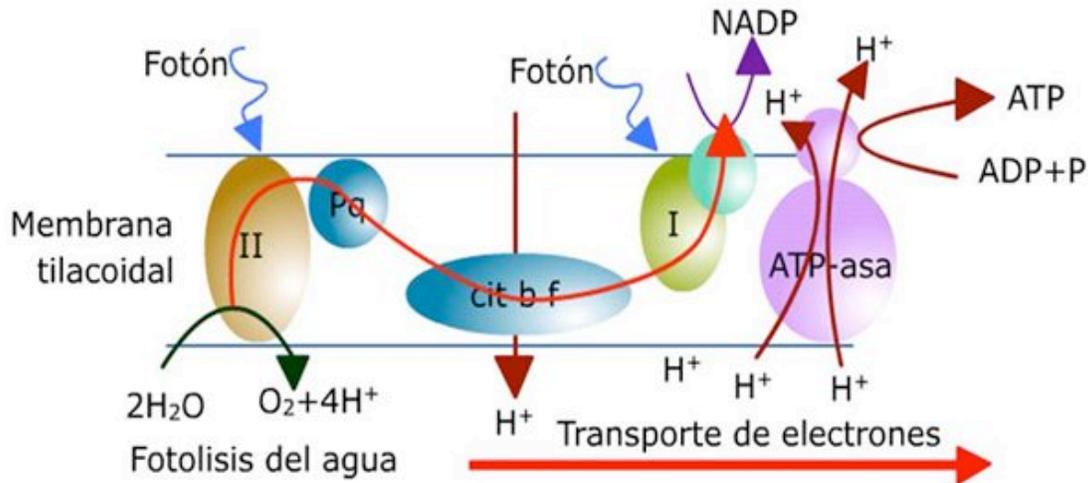
- Fotosistema I
- Fotosistema II
- Citocromo bf
- ATP sintasa

Fotosistemas: Los organismos que fotosintetizan poseen sistemas "trampa" o fotosistemas para optimizar la captación de luz. Los fotosistemas son grandes complejos de pigmentos y proteínas, constituidos por un centro de reacción y un complejo antena. Los fotosistemas son esenciales para la fotosíntesis ya que tienen la capacidad de absorber, transmitir y convertir la **energía lumínica** en un tipo de energía no radiante, estable y acumulable, como es la **energía química**. Existen dos tipos de fotosistemas (FS) cooperativos: el FSI y el FSII. Se distinguen por la **clorofila a** presente en sus centros de reacción.

El FSI está asociado a clorofilas que absorben a longitudes de onda de 700 nm, mientras que el FSII tiene un centro de reacción que absorbe a una longitud de onda de 680 nm (rojo). Muchos organismos procariotas solamente tienen el fotosistema I. Los organismos eucariotas poseen los dos fotosistemas. En el fotosistema II se produce la ruptura de la molécula de agua (fotólisis) y la liberación de oxígeno. En el fotosistema I se transfieren electrones a la molécula de NADP⁺ (ver Cuaderno n° 105) reduciéndola en el estroma.

Citocromo bf: Este complejo está implicado en la transferencia de electrones de la membrana tilacoidal. Su función principal es conectar a los dos fotosistemas. Además, el citocromo bf "bombea" protones del estroma del cloroplasto al lumen tilacoidal a medida que los electrones fluyen por la cadena transportadora.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Sistema fotosintético en membranas tilacoidales. Se representan los dos fotosistemas, el citocromo bf, el complejo ATP sintasa (síntesis de ATP), entre otros transportadores de electrones involucrados en la primera etapa de la fotosíntesis. Fuente:

http://www.juntadeandalucia.es/averroes/recursos_informaticos/concurso1998/accesit6/faseluminosa.html

ATP sintasa: Es un complejo enzimático anclado en la membrana tilacoidal, que cataliza la síntesis de ATP, a partir de ADP y Pi, con formación de agua. El proceso de síntesis de ATP se denomina **foto-fosforilación**. Al complejo ATP sintasa también se lo denomina *factor de acoplamiento* porque acopla la formación de ATP con el transporte de electrones.

Etapas de la fotosíntesis

La fotosíntesis es un proceso biológico complejo en el que pueden diferenciarse dos fases:

Etapas de foto-absorción: absorción y conversión de energía. La energía de la luz es captada por un sistema especializado de pigmentos y transformada en energía química (ATP) y en poder reductor (NADPH). Esta etapa ocurre en las membranas tilacoidales de los cloroplastos.

1. Los pigmentos antena absorben la energía luminosa y la transmiten a los centros de reacción de los dos fotosistemas. El par especial de clorofilas a se excita y desencadena el transporte de electrones a través de la cadena presente en la membrana tilacoidal.
2. En el lumen tilacoidal hay moléculas de agua, que en estrecha relación con el FSII, ceden sus electrones a la cadena de transporte al sufrir una ruptura

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

- molecular. Como resultado de la fotólisis del agua también se libera O_2 a la atmósfera.
- Los electrones provenientes del agua desencadenan una serie de reacciones redox (ver cuaderno 105). En la membrana tilacoidal hay una cadena de transportadores que se reducen y oxidan sucesivamente conduciendo los electrones desde el agua al $NADP^+$ que se encuentra en el estroma del cloroplasto, reduciéndolo. Los electrones fluyen (entre otros transportadores) por el PSII, la Plastoquinona (Pq), el citocromo bf y el PSI hasta el $NADP^+$.
 - El transporte de electrones está acoplado a la síntesis de ATP. A medida que los electrones fluyen por la cadena van decreciendo en su nivel energético. En ciertos puntos de la cadena la energía de oxido-reducción liberada se utiliza para “bombear” protones desde el estroma al lumen tilacoidal. De esta forma, en la fotosíntesis se genera un gradiente de protones a través de la membrana tilacoidal. Esto también se traduce en la formación de un gradiente de pH: la concentración de protones (H^+) en el lumen tilacoidal (pH=5) es unas mil veces mayor que la del estroma (pH=8). Este potencial es utilizado como fuerza protón-motriz, es decir, los protones vuelven del lumen al estroma a favor de gradiente a través del complejo enzimático ATP sintasa. La energía del flujo de protones a través de la ATP sintasa se traduce en la síntesis de ATP. Finalmente los electrones son cedidos al $NADP^+$ (un transportador de poder reductor), que se encuentra del lado del estroma.
 - Durante la etapa de foto-absorción se produce ATP y NADPH hacia el estroma del cloroplasto, que es donde ocurrirá la segunda etapa de la fotosíntesis.

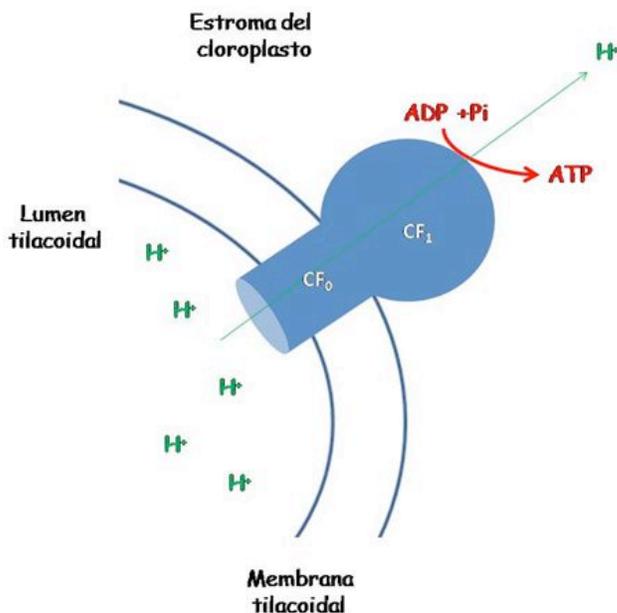


Figura 8

La fuerza protón-motriz generada en la membrana tilacoidal dirige la síntesis de ATP. El complejo ATP sintasa cataliza dicha reacción.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

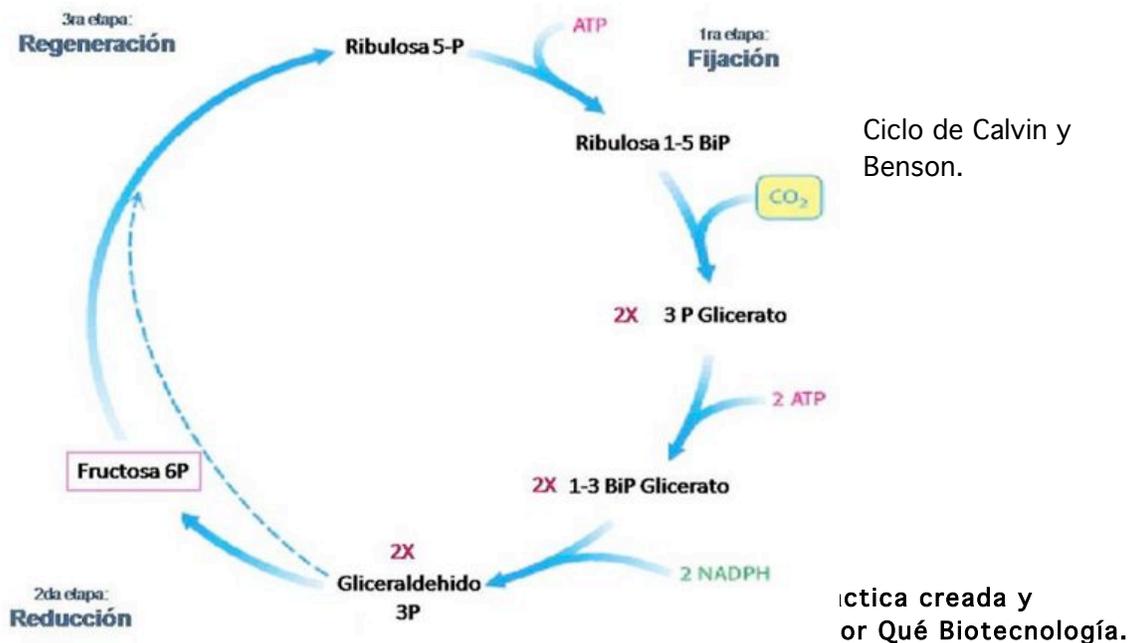
Etapa de foto-asimilación: captura y asimilación de los elementos constitutivos de la materia orgánica. El ATP y NADPH fabricados en la etapa anterior de la fotosíntesis son utilizados para la foto-asimilación del CO_2 hasta su conversión en azúcares. Esta etapa ocurre en el estroma del cloroplasto, y es el primer paso en la producción de biomasa. Los primeros productos de la asimilación son azúcares de tres carbonos, que posteriormente se transforman en azúcares sencillos (glucosa y fructosa) o más complejos como la sacarosa y el almidón.

La ruta del carbono en la fotosíntesis fue descrita en la década de 1950, dando origen al ciclo de Calvin y Benson, llamado así en honor a los investigadores que la estudiaron. Este ciclo se divide en tres fases:

1ª Fase: Fijación del CO_2 : Durante esta etapa se incorpora (fija) el CO_2 en la **ribulosa-1,5-bisfosfato (RuBP)**. Esta reacción es catalizada por la enzima más abundante de la biosfera y una de las más importantes: la RUBISCO (ribulosa-1,5-bisfosfato carboxilasa). El producto de la fijación se fragmenta rápidamente en dos moléculas de tres carbonos (3-fosfoglicerato).

2ª Fase: Reducción: Con gasto de ATP y NADPH se sintetiza el primer azúcar del ciclo: el Gliceraldehído fosfato (GAP) a partir de la reducción del ácido generado en la primer etapa del ciclo de Calvin.

3ª Fase: Regeneración: Luego de la obtención de azúcares es necesario regenerar a la RuBP, la primera molécula involucrada en el ciclo de Calvin y Benson. De esta forma el ciclo podrá iniciarse nuevamente. Esta fase también consume energía en forma de ATP.



Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Los principales productos finales de la fotosíntesis son el almidón y la sacarosa. Estos hidratos de carbono son polímeros de azúcares de seis carbonos. El almidón presente en las hojas es un polímero insoluble de glucosa que se acumula en los cloroplastos. La sacarosa, en cambio, es un disacárido soluble en agua que se sintetiza en el citosol a partir de precursores de tres carbonos generados en el cloroplasto. La sacarosa es transportada desde las hojas a través del floema hasta los tejidos no fotosintéticos de la planta.

A partir de estos azúcares, y con intervención de las sales minerales captadas del suelo, la planta fabrica el resto de los componentes del organismo: lípidos, proteínas, ácidos nucleicos. Los mismos componentes que forman a todos los seres vivos y que aportará la materia orgánica que servirá de alimento a las mismas plantas y a otros organismos que se alimentan de ellas.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS

El Cuaderno aborda aspectos avanzados en la comprensión del proceso de la fotosíntesis, las moléculas y complejos que intervienen y las reacciones que se suceden. Para trabajar este tema en profundidad es imprescindible poner en común algunos conceptos erróneos que suelen asociarse a la fotosíntesis, y aclararlos. Si bien el tema de la fotosíntesis es recurrente en la enseñanza desde los niveles inferiores, suele ocurrir que los alumnos en la escuela secundaria manifiestan concepciones erradas acerca de este tema.

Por esto, se sugiere trabajar algunos aspectos básicos referidos a las plantas, como ejemplo de organismos autótrofos:

- La fotosíntesis es el proceso de ALIMENTACIÓN de los organismos autótrofos.
- Las plantas fabrican las sustancias orgánicas que nutren al cuerpo mediante la fotosíntesis, a diferencia de los heterótrofos, como los seres humanos, que ingerimos productos derivados de otros seres vivos.
- La fotosíntesis y la respiración son funciones diferentes, que ocurren simultáneamente en el organismo (un error común en los alumnos es considerarlos como “procesos opuestos”).
- Las plantas realizan ambos procesos, fotosíntesis y respiración, como parte del proceso de nutrición por el cual obtienen materia y energía, que utilizan en el crecimiento, la reparación de tejidos, como reserva y como fuente de energía.
- Las plantas respiran al igual que los animales, y que el resto de los seres vivos aeróbicos, durante las 24 horas del día, a través de la incorporación de oxígeno (que participará en la respiración celular para la obtención de energía de los nutrientes, con la consecuente liberación de dióxido de carbono).
- El oxígeno que las plantas producen como consecuencia del proceso de la fotosíntesis es liberado al exterior, es un desecho de la fotosíntesis.
- En la respiración, las plantas incorporan oxígeno del ambiente, al igual que los organismos heterótrofos. Es importante analizar este aspecto ya que frecuentemente, los alumnos creen que las plantas no necesitan incorporar oxígeno del ambiente ya que lo producen. A este respecto conviene agregar:
 - o La fotosíntesis y la respiración se realizan en compartimentos separados dentro de la célula (cloroplastos y mitocondrias, respectivamente).
 - o Si las plantas no liberaran oxígeno al exterior, no estaría disponible para el resto de los seres vivos.
 - o La cantidad de oxígeno que las plantas liberan es superior a la que incorporan y utilizan en la respiración; si no fuera así no quedaría oxígeno disponible para el resto de los seres vivos.
- Un concepto erróneo común entre los estudiantes es que las plantas fotosintetizan durante el día y llevan a cabo la respiración celular solo por las

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



noches. La respiración celular ocurre continuamente en las plantas, no solo durante la noche.

- Las "reacciones de oscuridad" de la fotosíntesis representan un nombre equívoco que a menudo lleva a los estudiantes a creer que la fijación del carbono ocurre durante la noche. "Reacciones de oscuridad" significa que para esa etapa no es necesaria la luz, es decir que ocurre a cualquier hora del día.

- Aunque la ecuación de la fotosíntesis se representa mediante una única flecha, y algunos reactivos y productos, es importante tener en cuenta que la fotosíntesis no es una única reacción. La fotosíntesis es un PROCESO, que involucra muchas reacciones, consecutivas y dependientes, muchas enzimas, y muchos metabolitos intermedios. La ecuación que se muestra es un "resumen" que muestra solo los reactivos entrantes y los productos salientes del proceso, pero no especifica qué ocurre paso por paso.

En este Cuaderno se puede ver con más detalle las etapas intermedias, algunas de las sustancias intermedias, la energía que interviene, y también determinar que el producto de la fotosíntesis es el almidón (que se obtiene a partir de muchas unidades de glucosa).

ACTIVIDADES

Las actividades que se sugieren son variadas y tienen por objetivo.

- Repasar conceptos teóricos.
- Analizar, a partir de los conocimientos adquiridos, algunas experiencias históricas que llevaron al conocimiento de la fotosíntesis.
- Comprobar mediante experiencias en el laboratorio la presencia de pigmentos que intervienen en la fotosíntesis.
- Analizar posibles aplicaciones biotecnológicas a partir de la capacidad de las plantas de absorber energía lumínica.

Actividad 1: Repaso de conceptos

En función de los contenidos explicados en el cuaderno completar la siguiente tabla:

	Etapa de Foto-absorción	Etapa de Foto-asimilación
Sustratos		
Productos		
Lugar en el que ocurre		
Objetivo central		

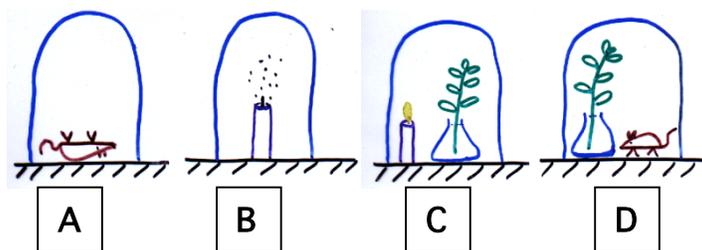
"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

Respuesta Actividad 1:

	Etapa de Foto- absorción	Etapa de Foto- asimilación
Sustratos	Luz, agua, ADP, NAD ⁺	ATP, NADPH
Productos	ATP, NADPH, O ₂	Azúcares
Lugar en el que ocurre	Membrana tilacoidal	Estroma del cloroplasto
Objetivo central	Producir ATP y NADPH para la segunda etapa de la fotosíntesis	Sintetizar azúcares a partir de CO ₂ . Para ello se utiliza la energía química (ATP) y reductora (NADPH) producidas en la primera etapa.

Actividad 2: Historia de la fotosíntesis

En esta actividad se propone analizar el experimento realizado por el investigador inglés Joseph Priestley en 1780. Sus investigaciones abrieron el camino en la comprensión de la fotosíntesis. Este investigador concluyó que *“las plantas producen un nuevo gas, el O₂, que es capaz de renovar el aire viciado por la combustión de una vela y que no es respirable por un ratón.”* A partir del análisis de las figuras, se intentará comprender las experiencias y responder a las preguntas orientativas.



Las experiencias de Priestley:

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



- En "A" se coloca un ratón dentro de una campana de vidrio transparente que impide el intercambio gaseoso con el exterior. El ratón después de cierto tiempo muere.
- En "B" se coloca una vela dentro de la campana de vidrio transparente. La vela se apaga.
- En "C" se coloca una vela y una planta (en agua) dentro de una campana de vidrio transparente. La vela puede permanecer prendida.
- En "D" se coloca una planta (en agua) junto con el ratón en la campana de vidrio transparente. Ambos organismos pueden coexistir dentro del dispositivo por un largo periodo de tiempo.

Preguntas:

- ¿Qué conclusiones se puede sacar de los resultados observados en cada una de las experiencias?
- ¿Cuál de las experiencias brinda información específica sobre la fotosíntesis?
- ¿Los resultados obtenidos en las cuatro experiencias se condicen con la ecuación general de la fotosíntesis? ¿Por qué?

Respuestas a la Actividad 1:

- En "A": El ratón de la figura 1 muere por el agotamiento del O_2 en la atmosfera del dispositivo. El ratón permanece con vida hasta consumir por completo el O_2 disponible para su respiración.
En "B": La vela se apaga cuando ya ha consumido todo el O_2 disponible. La combustión no puede proseguir en ausencia de O_2 .
En "C" la vela no se apaga porque el O_2 esta siendo consumido por la combustión pero simultáneamente es producido mediante la actividad fotosintética de la planta. Se establece un equilibrio en la atmósfera de la campana.
En "D" también se establece un equilibrio dinámico entre la producción de O_2 por fotosíntesis y su consumo por la respiración del ratón. Bajo estas condiciones el animal puede permanecer con vida.
- A partir del experimento "C" se puede deducir que la planta produce el gas que la vela necesita para proseguir con su proceso de combustión (oxígeno gaseoso). Además en el experimento "D", si la planta crece se puede inferir que la planta no sólo produce O_2 sino que también consume CO_2 de la atmósfera dentro de la campana y lo emplea en la fotosíntesis.
- Sí, los resultados obtenidos en las experiencias de Priestley se condicen con la ecuación general de la fotosíntesis:

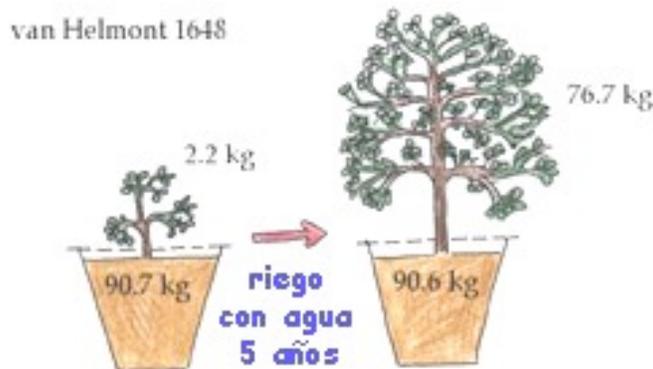
"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Entre los sustratos se considera al CO_2 que es consumido para su fijación por fotosíntesis, y entre los productos queda evidenciado que se libera O_2 a la atmósfera.

Actividad 3. La experiencia de van Helmont

En esta actividad se propone repasar algunos de los conceptos trabajados en el cuaderno a partir del debate de un experimento, realizado por el investigador belga Jan Baptista van Helmont en 1648.



El experimento consistió en plantar un pequeño sauce en una maceta. Van Helmont pesó el sauce y la tierra que había en la maceta. Regó rigurosamente y con abundante agua al sauce durante 5 años. Luego de 5 años volvió a pesar al sauce y a la tierra. El sauce había incrementado su peso en 75 kg., mientras que la tierra había disminuido su peso en aproximadamente 50 grs. Van Helmont explicó esta diferencia de peso argumentando que las plantas se alimentaban solo de

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



agua, con la que formaban materia orgánica, puesto que era lo único, además de la tierra, con lo que la planta había estado en contacto durante esos cinco años que duró el experimento.

- a) En función de lo explicado en el cuaderno, ¿dirías que las conclusiones son las correctas? ¿Por qué? ¿Cómo lo explicarías?
- b) ¿Te parece significativa la disminución en el peso del suelo? ¿Debería considerarse en las conclusiones de la experiencia?

Respuesta Actividad 3:

- a) Las conclusiones a las que arribó van Helmont no fueron correctas. El sauce no aumentó 75 Kg. a partir de sustancias extraídas del agua solamente, ni tampoco ese aumento de peso podía deberse a la incorporación de 75 Kg. de agua en la planta. La explicación correcta es que el sauce es un organismo autótrofo capaz de generar su propio “alimento” o materia orgánica mediante el proceso de la fotosíntesis. Aunque sí es cierto que el agua es un elemento indispensable para la subsistencia del sauce ya que transporta nutrientes necesarios para la planta, la mayor parte de los 75 Kg. que aumentó el sauce en 5 años se explican con la absorción y fijación del CO₂. El dióxido de carbono y el agua fueron utilizados en la síntesis de azúcares con los que además la planta pudo “fabricar” otros compuestos constitutivos de su propia masa.
- b) La disminución de peso en la tierra es fundamental, ya que de la tierra la planta extrae las sales minerales con las que puede fabricar el resto de los componentes del organismo, a partir de los azúcares que se forman inicialmente.

Actividad 4. Laboratorio. Extracción de pigmentos de plantas verdes

El objetivo de esta experiencia es extraer los pigmentos de las hojas de una planta verde y separarlos sobre distintas superficies, papel y tiza. Para eso emplearán una técnica que se denomina *cromatografía*. Los pigmentos se separan a diferentes alturas según su afinidad al papel (o tiza) o al alcohol.

Materiales

- ü Mortero
- ü Embudo
- ü Frasco
- ü Papel de filtro

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



- ü Tiza blanca
- ü Alcohol
- ü Hojas de espinaca
- ü Gotero
- ü Otras hojas verdes

Procedimiento:

1. Lavar las hojas de espinacas, cortarlas en pedacitos, y colocarlas en un mortero, junto con el alcohol.
2. Triturar la mezcla hasta que el disolvente adquiriera un color verde intenso.
3. Filtrar con un embudo y papel de filtro. Se puede colocar esta solución a baño María durante unos minutos para concentrarla.

A) Separación en tiza

1. Colocar medio centímetro de altura del filtrado en una placa de Petri.
2. Sumergir dentro del extracto la base ancha de la tiza, y dejarla entre 3 y 5 minutos.
3. Pasado ese lapso, retirar la tiza, y colocarla en un vaso que contenga $\frac{1}{2}$ centímetro de altura de alcohol.

Atención: es importante que la línea de extracto en la tiza no quede sumergida en el alcohol.

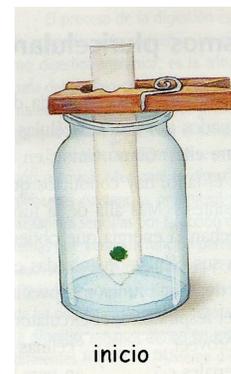
4. Dejar la tiza en el alcohol y observar qué sucede.

B) Separación en papel de filtro

1. Cortar una tira de papel de filtro de unos 10 centímetros de alto.
2. Colocar con el gotero una gota del extracto, a un centímetro del borde. Dejarlo secar. Colocar luego sobre esa gota otra, y dejarla secar. Repetir esto, colocando entre 8 y 10 gotas de extracto.
3. Sumergir la tira de papel en un frasco con alcohol y esperar una hora.

Atención: es importante que la línea de extracto en el papel no quede sumergida en el alcohol.

4. Observar los resultados.



Resultados y Conclusiones

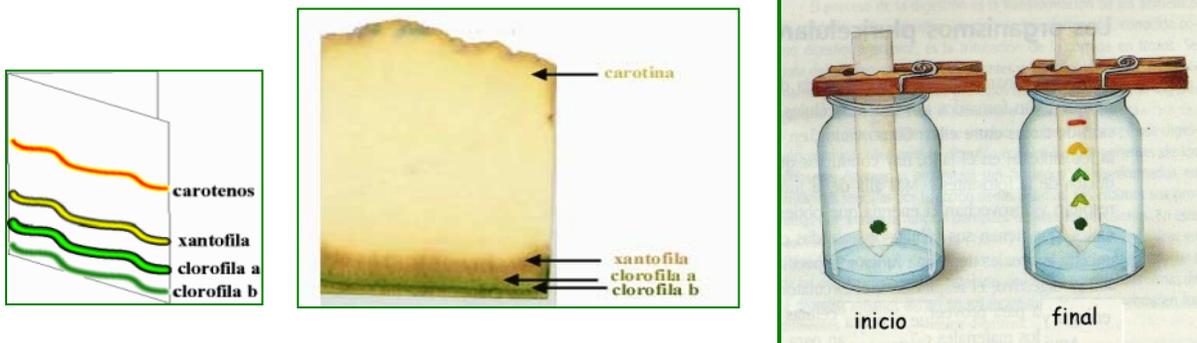
- a) ¿De qué color es el extracto obtenido de la planta?
- b) Según la respuesta anterior, ¿qué pigmento pueden asegurar que tiene este extracto?

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.

- c) Según los resultados, ¿podrían decir que esta planta verde tiene otros pigmentos? Averiguen los nombres de estos pigmentos.
- d) ¿Por qué no se ven normalmente estos pigmentos? ¿Qué función cumplen?

Respuestas

- a) El extracto es verde.
- b) El pigmento mayoritario en el extracto es la clorofila.
- c) Sí, hay pigmentos verdes (clorofila a y clorofila b), amarillos (xantofila) y anaranjados (carotenos). En la separación en tiza se suelen ver dos bandas: verde y amarillo-anaranjado. Al observar el papel se ven cuatro bandas que corresponden a los distintos pigmentos fotosintéticos presentes en las hojas de espinaca:



Este es el aspecto inicial y final de la cromatografía obtenida con el extracto de hojas de espinacas.

- d) Estos pigmentos se encuentran normalmente “ocultos” por la abundancia de la clorofila. Estos pigmentos actúan como accesorios, ayudando a la clorofila en la captación de la luz.

Actividad 5. Novedades en biotecnología

Leer la siguiente novedad referida al área de la Biotecnología, y responder a las preguntas.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



Nueva batería solar basada en cloroplastos de espinaca

Extraído de www.porquebiotecnologia.com.ar

Un grupo del Instituto de Tecnología de Massachusetts, liderado por Shuguang Zhang, consiguió integrar un complejo proteico derivado de cloroplastos de espinaca con semi-conductores orgánicos, para obtener una batería solar que podría ser aplicada en electrónica. Algo así como un aparatito electrónico que usa a los cloroplastos de la espinaca para convertir la luz en electricidad. Inspirado en las reacciones que ocurren durante la fotosíntesis en plantas, el sistema desarrollado por Zhang usa el mismo proceso para almacenar a los electrones en semi-conductores orgánicos alineados sobre una lámina de vidrio. Lo ingenioso del nuevo sistema es la manera en que este equipo de científicos lograron estabilizar artificialmente al complejo proteico, formado por 14 sub-unidades proteicas y unas 100 moléculas de clorofila, usando péptidos sintéticos. Las baterías resultantes son mucho más delgadas y livianas que las existentes y podrían emplearse para hacer paneles más eficientes. Aunque todavía no pueden competir con las baterías solares actuales de siliconas, constituyen una estrategia novedosa que vale la pena ser explorada en detalle.

- a) ¿Cuál sería la finalidad de usar clorofila en este caso?
- b) ¿Por qué la clorofila puede ser un buen material para este fin?
- c) ¿Qué tipo de energía se obtiene finalmente en este proceso a diferencia de la fotosíntesis en sí misma?

Respuestas:

- d) La clorofila se emplearía para fabricar baterías solares.
- e) Porque atrapa la energía solar.
- f) En este caso, la energía lumínica se convierte en energía eléctrica, mientras que en la fotosíntesis la energía lumínica se convierte en energía química.

Material de Consulta

“Fundamentos de Fisiología Vegetal”. Azcón-Bieto J. y Talón M. Editorial. McGrawHill/Interamericana. Barcelona, España. 2000

“Fisiología Vegetal”. Salisbury, F.B. y C.W. Ross. Grupo Editorial Ibero América, México. 1994.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.



“Bioquímica”. Lubert Stryer. Editorial Reverté. Cuarta Edición. Barcelona. 1995

“Molecular Biology of the Cell”. Alberts, et al. Fourth edition. Garland Science New York y London. 2002

http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_11.htm Descripción de la fotosíntesis. Universidad Politécnica de Valencia, España.

<http://www.efn.uncor.edu/dep/biologia/intrbiol/fotosint.htm> Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de Córdoba con una completa descripción de las etapas de la fotosíntesis

<http://www.biologia.edu.ar/animaciones/index.htm>. Animación de la etapa foto-absorción. Se accede a través del link “Generación de energía” de esta página de la Universidad Nacional del Nordeste.

<http://www.actionbioscience.org/esp/educacion/hershey.html> *Evite los Conceptos Erróneos cuando Enseñe sobre las Plantas. David R. Hershey.* Un artículo original de ActionBioscience.org.

"El Cuaderno de Por Qué Biotecnología" es una herramienta didáctica creada y desarrollada por el equipo pedagógico del Programa Educativo Por Qué Biotecnología. Su reproducción está autorizada bajo la condición de que se aclare la autoría y propiedad de este recurso pedagógico por parte del Programa Educativo Por Qué Biotecnología.