

Unidad 9. La célula		Fase 3, semana 13
Contenido	La fotosíntesis	
Evaluación sugerida	Experimentemos en casa	

Orientación sobre el uso de la guía

Esta guía es un resumen de los contenidos y actividades que se desarrollan de forma virtual por el MINED (www.mined.gob.sv/emergenciacovid19/), incluyendo las tareas sugeridas para la semana. Tu docente podrá revisar estas tareas en el formato que se te indique.

A. ¿Qué debes saber?



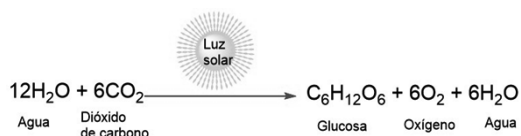
1. Introducción

La fotosíntesis es un proceso que realizan algunos organismos como plantas, algas y diversas bacterias. Todos ellos son organismos **autótrofos**. ¿Qué significa eso? Quiere decir que pueden obtener su carbono constitutivo (orgánico) a partir de una fuente inorgánica: el dióxido de carbono (CO₂); en otras palabras, elaboran sus propias moléculas que les sirven de alimento.

2. ¿Qué es la fotosíntesis?

Si bien existen varios mecanismos de autotrofia, el más extendido es la **fotosíntesis**. Consiste en una serie de reacciones mediante las cuales un organismo toma CO₂ y agua (H₂O) para producir carbohidratos simples, empleando para ello energía luminosa (normalmente del sol). Se puede decir entonces que una planta "transforma" la energía lumínica en energía química que luego almacena como azúcares o grasas. Ya que los carbohidratos son muy energéticos, pueden emplearse para formar otros macronutrientes, como los almidones, grasas y aminoácidos para las proteínas.

La fotosíntesis de las plantas puede resumirse con la siguiente ecuación química:



En realidad, el proceso es mucho más complejo, implicando varios subprocesos de **óxido-reducción**. Como recordarás, las reacciones óxido-reducción implican la transferencia de electrones. No obstante, en los sistemas

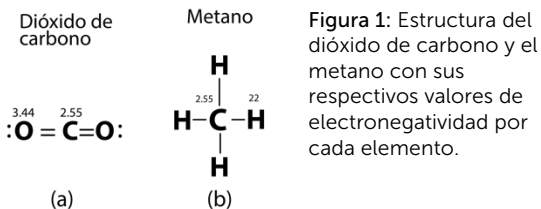
biológicos, ganar o perder un electrón puede ser un cambio bastante brusco y alterar completamente las propiedades de las biomoléculas, por lo que se debe hacer una consideración adicional. El estado de oxidación de un átomo de carbono dependerá del otro átomo con el que se encuentre enlazado. Podemos decir que un carbono está **más reducido** si el otro átomo permite que los electrones estén "más cerca" del átomo de carbono; por el contrario, estará **más oxidado** si los electrones se encuentran "más lejos" del átomo de carbono.

¿Por qué es esto importante? Porque **los seres vivos pueden extraer mayores cantidades de energía de aquellos compuestos con carbonos más reducidos**, pues es más fácil remover sus electrones. Veámoslo con un ejemplo: el CO₂ es una sustancia de residuo, inorgánica y que tiene un solo carbono. En el CO₂, el átomo que posee mayor electronegatividad es el oxígeno, por lo tanto los electrones en el enlace covalente se verán atraídos hacia el oxígeno (alejándose del carbono) (figura 1a).

Es muy difícil arrancar los electrones a un oxígeno. De esta forma, el CO₂, aunque es un compuesto a base de carbono, es difícil de utilizar para los seres vivos; al mismo tiempo, se considera un átomo muy oxidado.

Ahora consideremos un caso contrario. El metano (CH₄) es un compuesto orgánico, también con un único átomo de carbono. En esta molécula, el carbono tiene mayor electronegatividad que el hidrógeno; por tanto, los electrones se acercarán a él (figura 1b). Nuevamente, resulta más sencillo extraer los electrones del carbono para obtener su

energía; al mismo tiempo, decimos que este átomo de carbono está muy **reducido**. Este principio aplica a toda biomolécula y puede verse también fuera de los seres vivos.



3. El lugar donde ocurre la magia: los cloroplastos

En las plantas vasculares, la fotosíntesis sucede principalmente en las hojas; con más detalle, dentro de unas células que se encuentran en la capa intermedia de sus tejidos: el **mesófilo**.

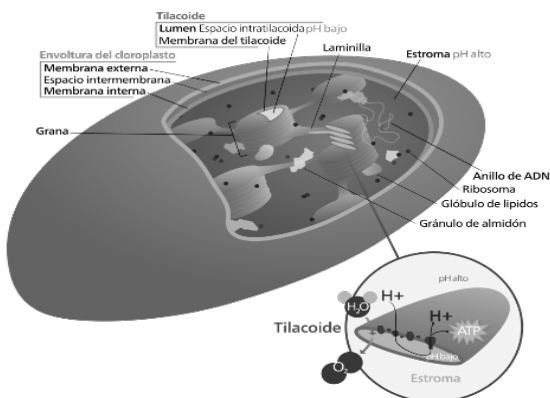


Figura 2: Estructura interna del cloroplasto. Cada una de las células del mesófilo contiene en su interior organelos llamados **cloroplastos** en los que ocurren todas las reacciones de la fotosíntesis.

Dentro de cada cloroplasto existen estructuras similares a discos llamadas **tilacoides**, que están dispuestos como una torre de panqueques que se denominan **grana**. El espacio alrededor de las granas se encuentra lleno de líquido, a este espacio se le llama **estroma**.

La composición química del estroma, del espacio entre las membranas de los tilacoides y dentro de un tilacoide (lumen tilacoidal) es bastante diferente, pues en cada compartimento se realizan diferentes reacciones. Asimismo, posiblemente lo más importante sea la misma membrana tilacoidal, es distinta a cualquier otra parte de la célula y ahí se localizan los pigmentos fotosintéticos.

4. Pigmentos fotosintéticos

Pareciera fácil tomar CO_2 y fabricar carbohidratos, pero el proceso requiere de mucha energía; desde luego, se trata de convertir una sustancia muy oxidada en otra muy reducida. Esta energía proviene de la luz, pero para poder usarla, antes deberá ser "capturada", esto es posible gracias a los **pigmentos**. Los pigmentos son sustancias que absorben longitudes de ondas específicas de la luz visible, reflejando las demás. Las longitudes de onda a la cual absorben los pigmentos se le conocen como **espectro de absorción**.

Otros pigmentos vegetales son los **carotenoides**, estos absorben la luz violeta y verde azulada, mientras que reflejan la luz roja y naranja. ¿Cómo funciona la absorción de luz en los pigmentos? Cuando un pigmento absorbe luz, lo que sucede es que **capta fotones**. Un fotón es "captado" si choca directamente con uno de los electrones de la molécula de pigmento. Este electrón pasa a un estado **excitado**, es decir, tiene energía extra; debido a ella, el electrón "salta" a un orbital de mayor energía.

Cuando la molécula tiene energía extra, se vuelve inestable y buscará la manera para recuperar su estabilidad, liberándola como luz visible, como calor o incluso podría **ceder su electrón**. Esto es justo lo que nos interesa. Sin embargo, hablamos de una oportunidad remota. El electrón permanece excitado por apenas una milmillonésima parte de segundo (10^{-9} s).

Increíblemente, un organismo fotosintético es capaz de transferir, en ese tiempo, los electrones excitados de sus pigmentos hacia una molécula cercana. Para maximizar la probabilidad de que un electrón sea excitado al chocar con un fotón, y luego donado, los pigmentos presentan regiones moleculares con nubes de electrones deslocalizados; por ejemplo, varios dobles enlaces alternados como en el anillo de la clorofila (figura 3).

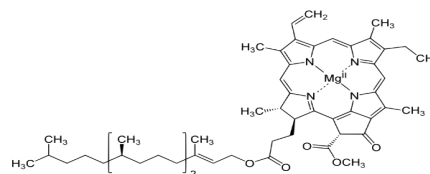


Figura 3: Estructura lineoangular de la clorofila a. El principal pigmento fotosintético es la **clorofila**.

Hay diferentes tipos de clorofila, por ejemplo, todas las plantas fotosintéticas, algas y cianobacterias poseen **clorofila a**, y solo las plantas y algas verdes contienen **clorofila b**. Las moléculas de clorofila tienen por espectro de absorción las ondas que vemos como color **rojo al azul**, reflejando el verde, por esa razón los seres humanos observamos que las plantas son de color verde.

5. ¿Cómo ocurre la fotosíntesis?

La fotosíntesis puede dividirse en dos fases o etapas, una que es dependiente de la luz, que se le conoce como "fase clara o luminosa"; y una etapa independiente de la luz, que se conoce como "fase oscura". Sin embargo, muchas enzimas que controlan reacciones en la "fase oscura" son reguladas por la luz, por lo que se prefiere dividir las "fases" de la fotosíntesis por los procesos que se realizan durante cada una, por ejemplo:

- Reacciones que capturan energía (fase clara o fotodependiente).
- Reacciones de fijación de carbono (fase oscura o fotoindependiente).

5.1. Reacciones que capturan energía

Las reacciones que capturan energía tienen como objetivo obtener electrones de alta energía que luego impulsarán la síntesis de compuestos (reacciones de fijación). Estas inician en dos complejos moleculares de la membrana tilacoidal: los **fotosistemas** (figura 4). En los organismos eucariotas hay dos tipos de fotosistemas:

- Fotosistema I (PSI).
- Fotosistema II (PSII).

Cada fotosistema es un conjunto de proteínas que portan la maquinaria para captar luz y transferir los electrones: a) los **pigmentos**, encargados de captar fotones y transferir electrones; y b) un **aceptor primario de electrones**, una molécula que acepta dichos electrones en primera instancia (figura 4). El **fotosistema II** es especial, pues conjunta además otro complejo encargado de "reponer" los electrones donados: c) el **complejo desarrollador de oxígeno**. Como su nombre lo indica, en él las moléculas de agua se rompen para extraer sus electrones, con lo cual se forma el oxígeno que respiramos.

¿Cómo es la secuencia de reacciones?

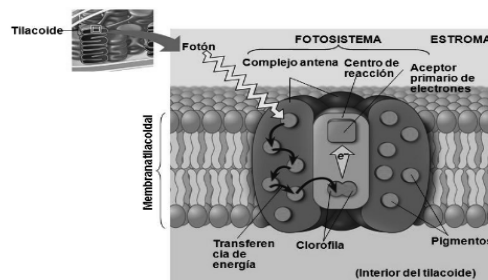
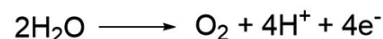


Figura 4: Diagrama de absorción luz en un fotosistema. Los pigmentos llamados "antena" del fotosistema II captan un fotón que se transmite a la clorofila centro de reacción. Un electrón de esta clorofila centro de reacción se "excita", lo cual le permite liberarse de la molécula; es decir, la clorofila "dona" un electrón, que inmediatamente se transfiere al aceptor primario de electrones (figura 4). Fuente: Pearson Education (2005).

El electrón faltante de la clorofila debe ser repuesto. ¿De dónde se obtiene? Del agua. Dos moléculas de agua se rompen formando una molécula de oxígeno (O_2) y cuatro iones hidrógeno (H^+), lo que libera cuatro electrones. Esta reacción redox se conoce como **fotoólisis del agua**. Las moléculas de oxígeno encuentran su camino al exterior por los estomas, y los iones hidrógeno serán útiles en otras reacciones de esta fase.



Que la clorofila centro de reacción acepte o done electrones se debe a su **potencial redox**. Como recordarás, entre más negativo es el potencial redox mayor es su capacidad donadora, y entre más positivo mayor es su capacidad aceptora. Esto quiere decir que el potencial redox de la clorofila centro de reacción es tan positivo que puede arrancar los electrones de una molécula tan estable como el agua. Para mediar este proceso crítico, es necesaria la presencia del complejo desarrollador de oxígeno.

El electrón donado por la clorofila centro de reacción es transferido a través de un conjunto de moléculas, formando una **cadena de transporte de electrones**. Durante el paso del electrón, las moléculas aceptan y donan electrones, también gracias a sus potenciales redox; es decir, que los electrones se mueven a moléculas con potenciales redox más positivos que la anterior,

hasta llegar al fotosistema I. En cada transferencia se libera energía, la cual facilitan el paso de protones (iones hidrógeno H^+) hacia el lumen tilacoidal I.

Una de las moléculas importantes en la cadena de transporte de electrones es la **plastoquinona**, que debido a sus reacciones redox irá incorporando más protones en el lumen tilacoidal. Esta alta concentración de protones provoca acidez y un gradiente electroquímico entre el lumen tilacoidal y el estroma, por la diferencia de concentraciones y cargas.

Consideraciones del fotosistema I

En el fotosistema I el proceso es semejante al antes visto para el fotosistema II. Los pigmentos antena captan un fotón que se transmite a la clorofila centro de reacción. Ésta pasará a un estado excitado y cederá electrones. Estos pasan a una molécula aceptora que, a su vez, los cederá a una molécula llamada **ferredoxina**. Finalmente, este flujo de electrones se empleará para formar el compuesto reducido: nicotinamida adenina dinucleótido fosfato (**NADPH**), en una reacción también catalizada dentro de la membrana tilacoidal. En el fotosistema I no ocurre fotólisis del agua, por lo que la deficiencia de electrones en la clorofila centro de reacción se suple con los electrones provenientes del fotosistema II. No obstante, existe otro camino de reacciones cíclicas dependientes de la luz, que ocurren cuando el único fotosistema que se usa es el fotosistema I.

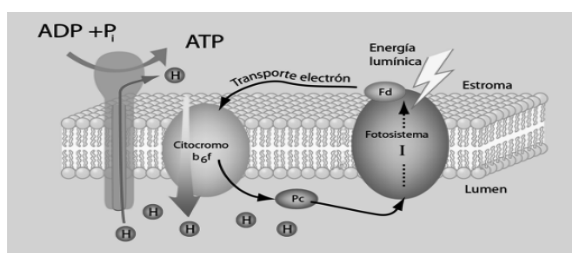


Figura 5: El fotosistema I excita electrones que pasan de la **ferredoxina** hasta la **plastocianina**, y de vuelta al fotosistema I. Durante el proceso se forma un gradiente de protones a través de la membrana tilacoidal a medida que los protones se transportan desde el estroma del cloroplasto al lumen tilacoidal. A través de la quimiosmosis, se produce ATP, donde la ATP sintasa se une a un grupo fosfato inorgánico a una molécula de ADP.

Se debe recordar que las transferencias de electrones más la acción de la plastoquinona continúan acumulando protones en el lumen

tilacoidal. Estos deben ser liberados en algún momento. Lo hacen a través de la ATP sintasa, por lo que aumentan la producción de ATP. Este ATP se consume dentro del cloroplasto para la fijación de carbono que veremos a continuación.

5.2. Reacciones de fijación de carbono

Una vez formadas las moléculas acarreadoras de energía ATP y NADPH, la célula puede comenzar a sintetizar carbohidratos simples. Como recuerdas, los carbohidratos son compuestos orgánicos cuya estructura base está compuesta por el carbono. ¿Y de dónde vienen esos átomos? El carbono necesario para sintetizarlos proviene del CO_2 . El conjunto de reacciones que describen el proceso de la fijación del carbono se le conoce como **ciclo de Calvin** o **ciclo de Calvin-Benson**.

El CO_2 entra a los cloroplastos a través de los estomas, que posteriormente se difunden hasta el **estroma**, donde ocurre todo el proceso. En el estroma también se encuentran dos compuestos químicos importantes: la enzima **RuBisCO** y la molécula de ribulosa bifosfato (**RuBP**), formada por 5 carbonos y dos grupos fosfatos.

La **RuBisCO** cataliza la reacción entre el CO_2 y la **RuBP**, obteniendo un compuesto de 6 carbonos inestable, por lo que rápidamente se transforma en dos compuestos de tres carbonos llamados **fosfoglicerato** (PGA). A este paso se le conoce como **fijación del carbono**, ya que el CO_2 , una molécula inorgánica, se "fija" a moléculas orgánicas. El **PGA** se convierte en gliceraldehído-3-fosfato (**G3P**), en una reacción de reducción que involucra al ATP con el NADPH. Como vimos, ambas moléculas son producto de las reacciones que capturan energía.

Primero el ATP fosforila; es decir, transfiere un grupo fosfato al **PGA**, formando un intermediario fosforilado. Luego, el NADPH, mediante otra enzima, reduce al compuesto fosforilado para formar gliceraldehído 3-fosfato (**G3P**). Como resultado de esta reacción, el ATP y NADPH se convierten en ADP y $NADP^+$ que pueden volver a ser utilizados en las reacciones que capturan energía. Una de las moléculas de **G3P** formada sale del ciclo de Calvin usualmente para formar moléculas de carbohidratos como la glucosa ($C_6H_{12}O_6$). En realidad, puede decirse que la fotosíntesis termina justo con el ciclo

de Calvin, así que la molécula final de la fotosíntesis es más bien el G3P.

Una molécula de G3P contiene 3 átomos de carbono fijados, por lo que se requiere 3 vueltas del ciclo de Calvin para obtenerla (ya que en cada ciclo se fija una molécula de carbono que viene del CO_2). Una molécula de glucosa tiene 6 átomos de carbono, por lo que se requieren 2 moléculas de G3P. Al final se necesitan 6 vueltas del ciclo de Calvin para obtener una molécula de glucosa. Tienes que tomar en cuenta que, aunque lo explicamos de forma individual, la célula se

encuentra haciendo ciclos de Calvin simultáneos, que se unen para formar los productos necesarios.

El G3P liberado del ciclo de Calvin también es el precursor de muchas reacciones para la síntesis de glúcidos, aminoácidos y ácidos grasos. ¿Y qué pasa con las otras moléculas de G3P formadas en el ciclo?

Estas moléculas siguen el camino de una serie de reacciones hasta formar ribulosa-fosfato, que con una molécula de ATP regenera la ribulosa bifosfato (RuBP), la cual puede usarse para fijar nuevas moléculas de CO_2 .

B. Ponte a prueba



- ¿Qué color(es) de la luz refleja la clorofila?
 - Rojo y azul
 - Anaranjado
 - Verde
 - Amarillo
- Durante la fotosíntesis, ¿qué molécula se encarga de absorber el fotón?
 - ATP
 - Glucosa
 - NADPH
 - Clorofila
- ¿En qué reacción se produce el oxígeno que libera la planta?
 - Fotólisis del agua
 - Fosforilación
 - Fijación de carbono
 - Quimiosmosis
- ¿Cuál de los siguientes enunciados describe correctamente el paso de fijación de carbono?
 - El CO_2 reacciona con RuBP para formar PGA
 - El uso de RubBisCO para formar G3P
 - La producción de moléculas de glucosa a partir de PGA
 - El uso de ATP y NADPH para reducir el CO_2

C. Tareas de la semana



Experimentemos en casa

1. Observemos la fotosíntesis (50%)

1.1. Para este experimento necesitarás los siguientes materiales:

- 1 jeringa de 10 ml
- 2 hojas de un árbol
- Agua
- Sacabocados (perforadora) o una pajilla
- Jabón líquido o detergente
- Bicarbonato de sodio
- Linterna o foco de luz blanca
- Vaso de plástico pequeño (puedes usar de los que tienes en casa)

1.2. Procedimiento

- Con ayuda del sacabocados o perforadora, forma 10 círculos con las hojas de las plantas;

si no tienes, puedes usar una pajilla para formar los círculos.

- Retira el émbolo de la jeringa y coloca los círculos al interior de la jeringa. Cuida de que no quede en las paredes, para eso agita un poco la jeringa para que caigan en el fondo.
- Coloca nuevamente el émbolo y empújalo hasta que quede un poco de aire y los círculos.
- Llena hasta la mitad el vaso con agua y agrega una cucharadita de bicarbonato, dos gotitas de jabón líquido o granitos de detergente y mezcla.
- Llena la jeringa hasta la marca de 5 ml y asegúrate de que no quede aire, empujando un poco el émbolo hasta que salga un poco del líquido. Agita la jeringa hasta que los círculos se encuentren flotando en la solución.

6. Coloca el dedo firmemente en la abertura de la jeringa y tira hacia atrás el émbolo lentamente, llegando a la marca de los 10 ml; mantenerlo así por 10 segundos.
7. Gira la jeringa para que quede en posición vertical y suelta el dedo, dejando que el émbolo retroceda lentamente.
8. Los círculos deben quedar al fondo en la punta del émbolo; si no funciona a la primera, repetir los 7 pasos.
9. Cuando los círculos ya se encuentran en el fondo, encender la linterna o foco, procurando que le dé directamente la luz a la jeringa: observa qué es lo que pasa.
10. Si no tienes los materiales, puedes hacerlo sin picar la hoja y colocarla directamente en un vaso con la solución. La observación será menos notoria.
11. Explica en tu cuaderno: ¿por qué ocurrió lo observado luego de que la luz incidiera en la jeringa?

- Una cucharada
- Alcohol 90
- Un vaso

2.2. Procedimiento

1. Recorta una tira del filtro de cafetera que tenga unos 4 cm de ancho y que sea de una altura un poco más larga que la altura del vaso a utilizar.
2. Enrolla un extremo de la tira a un bolígrafo o lápiz, asegurando que el otro extremo llegue al fondo del vaso.
3. En un recipiente, coloca las hojas con una pequeña cantidad de alcohol y tritúralas con la cuchara hasta que el alcohol haya obtenido una coloración fuerte.
4. Decanta el líquido obtenido, colocándolo en el vaso.
5. Introduce la tira del papel en el vaso, cuidando de que el extremo de la tira quede en el fondo y que el lápiz ayude a sostenerla en el borde.
6. Deja reposar hasta que el alcohol llegue al otro extremo no sumergido de la tira.
7. Investiga: ¿qué representan cada una de las diferentes tonalidades de color que se ven en la tira?
8. Investiga: ¿qué es la técnica de cromatografía de papel? ¿Para qué se usa?



2. Extracción de pigmentos fotosintéticos (50%)

2.1. Para este experimento necesitarás los siguientes materiales:

- Filtro de cafetera
- Hojas
- Un recipiente pequeño

D. ¿Saber más?



- Video 1: "La fábrica más pequeña de la naturaleza: el ciclo de Calvin". Para traducir el video, activa los subtítulos en YouTube. Disponible en: <https://bit.ly/3i5TCUi>
- Video 2: "La fotosíntesis". Disponible en: <https://bit.ly/30ypA5U>

E. Respuestas de la prueba



Respuestas a la pregunta: 1: c 2: d 3: a 4: a