



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

La fotosíntesis, concepciones, ideas alternativas y analogías. Unidad didáctica dirigida a estudiantes de los ciclos 3 y 4 de educación básica del colegio José María Carbonell

Jorge Enrique Sáenz Guarín

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Bogotá, Colombia
2012

La fotosíntesis, concepciones, ideas alternativas y analogías. Unidad didáctica dirigida a estudiantes de los ciclos 3 y 4 de educación básica del colegio José María Carbonell

Jorge Enrique Sáenz Guarín

Trabajo Final de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales

Directora: Martha Orozco de Amézquita Magister Scientiae, Bióloga

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ciencias
Bogotá, Colombia
2012

A mis padres, Carlos y Blanca por enseñarme el camino; a mis hijas, Sara Sofía y Gabriela Lizeth por ser mi norte, y a mi esposa Johanna por acompañarme incondicionalmente en la vida.

Agradecimientos

Martha Cecilia Orozco de Amézquita. Profesora de la Maestría en Enseñanza de las Ciencias Exactas y Naturales. Por los valiosos aportes en la dirección del presente trabajo.

Ana Juana Gómez de Rojas. Rectora del Colegio José María Carbonell I.E.D, Por su importante gestión educativa.

Estudiantes del Colegio José María Carbonell I.E.D. Por su participación, aportes en este trabajo y por permitirme aprender como docente y crecer como persona.

Resumen

Es conocido que los estudiantes del Colegio José María Carbonell IED, al igual que estudiantes de diferentes instituciones, tienen dificultades para el aprendizaje de procesos básicos de la biología, particularmente de la fotosíntesis. Por tanto, esta propuesta pretende reconocer las ideas previas, preconceptos o representaciones que tienen de ella quienes cursan los ciclos III (grado 7°) y IV (grado 9°) de educación Básica. Una vez establecidas y analizadas las ideas o representaciones y estudiada su relación con el proceso histórico de construcción de este concepto se procede a formular una unidad didáctica utilizando las analogías como recurso principal.

Palabras clave: Fotosíntesis, ideas alternativas, analogías en la enseñanza, unidades didácticas.

Abstract

It is known that the students of Colegio José María Carbonell FDI, as well as students from different institutions, have difficulty learning basic processes of biology, particularly of photosynthesis. Therefore, this proposal seeks to recognize the previous ideas, beliefs or representations with those undergoing it cycles III (grade 7°) and IV (grade 9 °) Basic education. Once established and tested ideas or representations and studied its relationship to the historical process of construction of this concept we proceed to develop a teaching unit using analogies as main resource.

Keywords: Photosynthesis, alternative ideas, analogies in teaching, teaching units.

Contenido

Resumen	V
Lista de figuras	VIII
Introducción.....	1
1. Objetivos	2
1.1 Objetivo General	2
1.1 Objetivos Específicos	2
2. Contextualización del Colegio José María Carbonell	3
3. Metodología.....	5
4. La fotosíntesis	6
4.1 Los cloroplastos	7
4.2 Los pigmentos fotosintéticos	16
4.2.1 La clorofila	8
4.2.2 Clorofilas a y b	10
4.2.3 Los carotenoides	11
4.2.4 Organización de los pigmentos en los tilacoides.....	11
4.3 Etapas de la fotosíntesis	191
4.4 Absorción de luz	202
4.5 Reducción y fijación de CO ₂	225
4.5.1 Ciclo de Calvin.....	15
4.5.2 C4: Metabolismo Hatch/Slack	24
4.5.3 Metabolismo ácido de las crasuláceas ó plantas MAC.....	17
4.6 Factores ambientales y fotosíntesis	18
4.6.1 CO ₂	18
4.6.2 Agua	19
4.6.3 Luz	19
4.6.4 Temperatura.....	19
5. Aspectos histórico-epistemológicos relacionados con el proceso de la fotosíntesis	20
5.1. Antigüedad y edad Media	20

5.2. Edad Moderna.....	20
5.3. Edad Contemporánea.....	21
6. Preconcepciones, ideas previas o ideas alternativas entorno al concepto de fotosíntesis	24
6.1. Acerca de las ideas alternativas de los estudiantes	24
6.2. Acerca de la génesis de las ideas alternativas	25
7. Las analogías y su uso en la enseñanza de la biología	27
7.1 Analogías relativas al cuerpo humano	27
7.2 Analogías relativas a biología celular	28
8. Encuesta sobre las ideas previas de los estudiantes	30
8.1 Aplicación de la prueba	30
8.2 Conclusiones sobre las ideas previas de los estudiantes.....	37
9. Unidad didáctica. La fotosíntesis.....	39
9.1 Contenidos.....	47
9.2 Actividades de aprendizaje	49
9.2.1 Exploración.....	49
9.2.2 Actividades de indagación iniciales	41
9.2.3 Aplicación de la analogía	50
9.2.4 Observación y análisis de de archivos virtuales.....	51
9.2.5 Análisis y afianzamiento de conceptos	43
9.3 Evaluación de la unidad didáctica.....	43
10. Conclusiones y recomendaciones	45
10.1 Conclusiones.....	45
10.2 Recomendaciones.....	46
11. Bibliografía	47
A. Anexo: Cuestionario de la encuesta.....	49
B. Anexo: Mapa conceptual en CmapTools.....	51
C. Anexo: Guía de trabajo para los estudiantes.....	52

Lista de figuras

Figura 4.1 Los cloroplastos y su ubicación celular	8
Figura 4.2 Estructura de la molécula de clorofila	9
Figura 4.3 Absorción del espectro de luz disponible para realizar fotosíntesis	10
Figura 4.4 Esquema global de la fotosíntesis.	12
Figura 4.5 Fotosistemas I, II	14
Figura 4.6 Resumen del ciclo de Calvin.	15
Figura 4.7 Esquema sencillo de la vía Hatch/Slack o plantas C4	16
Figura 4.8 Esquema básico del funcionamiento de las plantas MAC	17
Figura 8.1 Respuesta a la pregunta: “Las plantas realizan la fotosíntesis, solo de día...”	31
Figura 8.2 Respuesta a la pregunta “La principal finalidad de la fotosíntesis es...”	32
Figura 8.3 Respuesta a la pregunta: “En las células procariontas fotosintéticas, la fotosíntesis ocurre en...”	33
Figura 8.4 Respuesta a la pregunta: “La respiración celular ocurre en...”	34
Figura 8.5 Respuesta a la pregunta: “Las plantas no respiran...”	35
Figura 8.6 Respuesta a la pregunta: “En las células eucariotas la respiración celular ocurre en...”	36
Figura 8.7 Respuesta a la pregunta: “Para la fotosíntesis se requiere...”	37

Introducción

La fotosíntesis es un proceso primordial, sustenta la vida en el planeta, mediante ella la energía solar se transforma en energía química que es aprovechada por la mayoría de los seres que lo habitan. Sin embargo, su significado genera diversas explicaciones por parte de los estudiantes, tanto de escuela primaria como de aquellos que cursan programas universitarios. En general, se plantea que muchas de estas ideas son reminiscentes de aquellas que, en el pasado se utilizaban para explicar este proceso (Eisen y Stavy, 1992).

Las investigaciones en didáctica sobre las concepciones alternativas han puesto en evidencia que existen serias dificultades para la enseñanza y el aprendizaje del campo de estudios que comprende la fotosíntesis. Con frecuencia, debido a la forma como se enseña, los estudiantes tienden a pensar que la fotosíntesis es un proceso inverso a la respiración (Charrier et al., 2006). En la actualidad se ha establecido que para aprender temas complejos, es necesario tener en cuenta las ideas o conceptos que tienen sobre ellos los estudiantes, ya que así, es posible buscar estrategias que permitan su transformación.

La Institución José María Carbonell está ubicada en la ciudad de Bogotá, en la Localidad Cuarta de San Cristóbal; esta institución atiende a una población de estudiantes de los estratos uno y dos principalmente, con una serie de problemáticas económicas, sociales, ambientales y culturales, que necesitan pronta solución. Entre estas problemáticas (según los resultados del "Diagnostico local con participación social 2005" de la Localidad Cuarta de San Cristóbal), se encuentran: la falta de programas de empleo, la desnutrición de madres gestantes, niños y adultos, la deficiencia de la cobertura en salud, el bajo nivel de escolaridad y los altos índices de violencia.

Teniendo en cuenta que al igual que otros niños, los estudiantes del IED José María Carbonell, tienen dificultades para el aprendizaje de los procesos básicos de biología, en especial de la fotosíntesis, se propone reconocer las ideas o representaciones que tienen de ella quienes cursan los ciclos tres (grados 5°, 6° y 7°) y cuatro (grados 8° y 9°) de educación Básica. Una vez establecidas y analizadas las ideas o representaciones y estudiada su relación con el proceso histórico de construcción de este concepto se procederá a formular una unidad didáctica utilizando las analogías como recurso.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Elaborar una propuesta didáctica orientada al aprendizaje de la fotosíntesis, previo estudio y análisis de la evolución de este concepto, de las ideas que sobre él tienen los estudiantes y del uso de analogías en la enseñanza de la biología.

1.2 Objetivos Específicos

1. Indagar y elaborar un texto preciso y documentado sobre el tema de fotosíntesis.
2. Revisar algunos aspectos histórico-epistemológicos relacionados con la fotosíntesis.
3. Indagar sobre las ideas alternativas que sobre fotosíntesis tienen los estudiantes del colegio José María Carbonell.
4. Analizar y contrastar las ideas alternativas de los estudiantes del colegio José María Carbonell, con el desarrollo histórico de este concepto y formular una propuesta didáctica sobre el tema, a partir de la utilización de las analogías como recurso didáctico.

2. Contextualización del Colegio José María Carbonell

Con base en las necesidades de mayor cobertura educativa, la Secretaria de Educación del Distrito construyó colegios entre ellos el Colegio José María Carbonell, ubicado en la Avenida 1 No. 4-11. El colegio se llamó así en honor a un prócer de la independencia, miembro de la Expedición Botánica, quien preparó el movimiento pre-independentista del 20 de julio como agitador o “chispero” de las clases desprotegidas, especialmente de los sectores aledaños a la institución.

Esta institución inicia sus labores educativas el 3 de febrero de 1992 con un total de 275 estudiantes. Actualmente cuenta con un promedio de 1000 estudiantes, de grado cero a undécimo, distribuidos en dos jornadas.

El José María Carbonell recibe niños de sectores de la ciudad que presentan carencias económicas importantes. En su área de influencia se encuentran los barrios Las Cruces y Las Brisas, que se hallan entre los más antiguos de la ciudad, fundamentalmente habita una población obrera, que desde finales del siglo XIX se caracteriza por sobrevivir en unas condiciones de vida que no son las mejores. Aún hoy se aprecian edificaciones antiguas que conservan sus rasgos originales, a pesar del avanzado estado de abandono o deterioro en que se encuentran.

Los padres de los estudiantes se desempeñan como obreros, auxiliares de servicios domésticos, albañiles, conductores, zapateros, trabajadores independientes, etc.; perciben por lo general el salario mínimo legal, lo que hace que vivan con grandes dificultades y sus hijos permanezcan la mayor parte del tiempo solos, y que en ocasiones deban trabajar.

Debido al mal manejo de los residuos sólidos y a la vecindad de una ladrillera en el entorno del colegio José María Carbonell se presenta un alto grado de contaminación ambiental, por lo cual el Proyecto Ambiental Escolar (PRAE), titulado “El Reciclaje y los procesos biotecnológicos un Proyecto de Vida del Colegio José María Carbonell I.E.D.”, tiene la finalidad de aprovechar los residuos sólidos de la institución y generar una cultura del cuidado del ambiente.

El Proyecto Educativo Institucional (PEI), tiene énfasis en el área comercial y su modelo pedagógico está basado en el constructivismo. Pretende ofrecer a los estudiantes las herramientas necesarias para que puedan desempeñarse adecuadamente y tengan la capacidad de resolver las problemáticas que se les presentan, buscando soluciones racionales a los problemas cotidianos relacionados con las ciencias naturales, el cuidado del ambiente, la comunicación y la convivencia.

3. Metodología

Teniendo en cuenta la problemática mencionada y la necesidad de incentivar el interés por la enseñanza de las ciencias se propuso este proyecto. Para cumplir con los objetivos previstos se realizó una revisión conceptual detallada sobre la fotosíntesis y se elaboró un texto sobre el tema. Así mismo, se compilaron y analizaron fuentes bibliográficas que dan a conocer aspectos histórico-epistemológicos relacionados con la fotosíntesis y con el uso de analogías en la enseñanza de la biología en general y de la fotosíntesis en particular. Con el fin de establecer las ideas de los niños sobre la fotosíntesis se formuló y aplicó una encuesta, previa realización de una prueba piloto para verificar la comprensión de las preguntas. El cuestionario con preguntas cerradas se construyó teniendo en cuenta el trabajo realizado por (Charrier et al., 2006) La prueba fue diligenciada por cincuenta estudiantes de los grados séptimo y noveno (ciclos III y IV respectivamente) del Colegio José María Carbonell I.E.D. y los resultados se tabularon en una hoja de cálculo del programa Excel, para a partir de ellos, construir las gráficas y realizar el análisis correspondiente. Finalmente, se diseñó una unidad didáctica en donde se plantearon situaciones derivadas del trabajo teórico sobre fotosíntesis, ideas previas y analogías.

4. La fotosíntesis

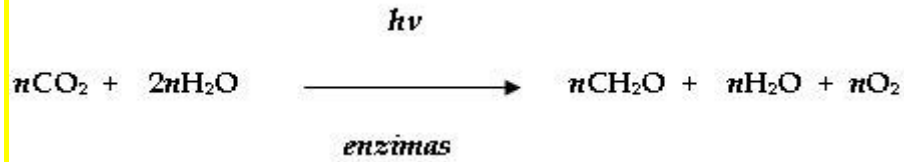
La fotosíntesis es el único mecanismo de entrada de energía para la biosfera (con excepción de los procesos que realizan algunas bacterias quimio-sintéticas que obtienen energía de la oxidación de sustratos inorgánicos). La fotosíntesis incluye reacciones de oxido-reducción. Básicamente en el proceso de oxidación la molécula de agua libera electrones con producción de oxígeno y la reducción del dióxido de carbono para formar carbohidratos (Salisbury y Ross, 1994).

La fotosíntesis es importante para el hombre, entre otros aspectos, porque mediante ella se producen alimentos y oxígeno (Barceló et al., 1983). Pero además, de forma directa o indirecta ella alimenta casi la totalidad del mundo vivo en el planeta (Campbell y Reece, 2005).

Los primeros organismos foto-sintetizadores probablemente aparecieron hace tres mil o tres mil quinientos millones de años. A medida que ellos proliferaron fueron estableciendo interdependencias y relaciones que no solo los transformaron sino que cambiaron el aspecto del planeta. Los organismos antiguos vivían en un medio sin oxígeno libre en la atmósfera, que estaba compuesta en gran porcentaje por hidrógeno. El oxígeno, inclusive sería tóxico para estos organismos primitivos, como lo es actualmente para los anaerobios. La energía era adquirida por procesos como la fermentación o la glucólisis, que debieron propiciar la acumulación paulatina de dióxido de carbono en la atmósfera primitiva. Si los seres vivos utilizaban directamente la energía solar, usando dióxido de carbono y liberando oxígeno, seguramente aprovechaban los recursos de su medio de forma más eficiente, marcando un hito en la historia y evolución de la vida en el planeta. La condición para realizar la fotosíntesis es la absorción de fotones, partículas cuánticas por parte de ciertos pigmentos (Curtis y Barnes, 2001).

La fotosíntesis es un proceso endergónico porque se necesita la participación de la energía radiante del sol para iniciar la cadena de reacciones que llevan a la formación de los compuestos orgánicos que almacena el organismo.

La reacción global de la fotosíntesis es:

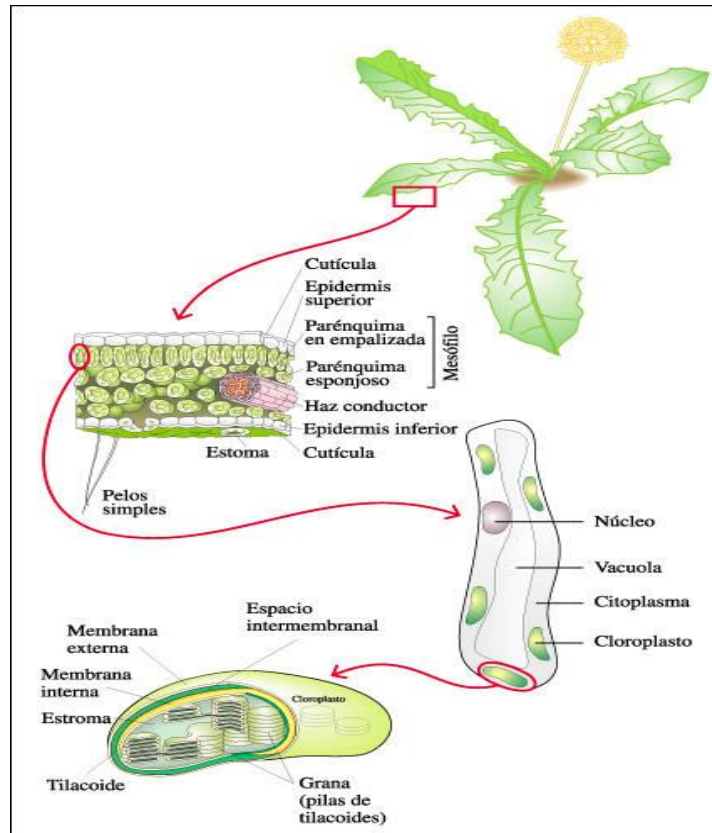


$(\text{CH}_2\text{O})_n$ es una manera abreviada de representar al almidón u otros carbohidratos mediante una fórmula empírica. El almidón es el producto de la fotosíntesis más abundante. La fotosíntesis se ve afectada por diferentes factores medioambientales, como la intensidad y calidad de la luz, la humedad del aire, la temperatura, la disponibilidad de agua, de nutrientes minerales y de dióxido de carbono. La fotosíntesis de una sola hoja se apoya en más de cincuenta reacciones individuales, cada una dependiente de las variables ambientales (Cogua, 2011).

De la capacidad que las plantas manifiesten para compensar los efectos ambientales, depende su rendimiento y supervivencia en un medio ambiente determinado. La tasa de fotosíntesis puede variar en las próximas décadas dependiendo de las respuestas adaptativas a los niveles cambiantes de CO_2 , que incluyen desde respuestas directas al propio CO_2 hasta respuestas indirectas debidas a los cambios de temperatura y del régimen hídrico que pueden ocurrir en el futuro (Cogua, 2011).

4.1 Los cloroplastos

Los organelos celulares donde ocurre la fotosíntesis son los cloroplastos. Su ubicación se ilustra en la Figura 1.1 el tamaño y la forma de los cloroplastos varía; ellos se originan a partir de estructuras conocidas como protoplastidios (cloroplastos jóvenes), dividiéndose a medida en que se desarrolla el embrión. Los cloroplastos se encuentran envueltos por un juego doble de membranas controladoras del tránsito hacia afuera y hacia adentro de las moléculas. Internamente están constituidos por un material gelatinoso rico en enzimas denominado estroma. Es aquí donde ocurre la reacción de conversión del dióxido de carbono en carbohidratos. Los cloroplastos poseen membranas laminares y en forma de sacos cerrados aplanados, como vesículas, llamados tilacoides. Los tilacoides forman pilas denominadas grana, que están comunicados entre sí por otros tilacoides de forma más alargada. En las membranas tilacoidales están las clorofilas y otros pigmentos que participan en la absorción de la luz, enzimas para el transporte de electrones y el factor de acoplamiento para la formación de ATP. Los principales pigmentos presentes en las membranas tilacoidales son la clorofila a y la clorofila b. a su vez se encuentran otros pigmentos llamados carotenos y xantofilas (Salisbury y Ross, 1994).

Figura 4.1 Los cloroplastos y su ubicación celular

Curtis, H. y S. Barnes, Biología, Sexta edición, Editorial Médica Panamericana. {En línea}.

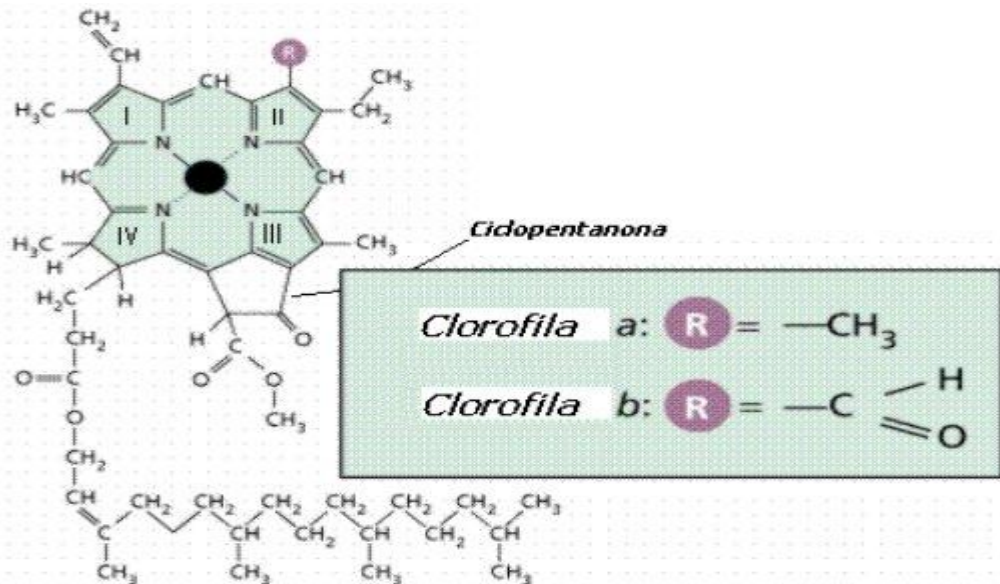
{7 Octubre de 2011} disponible en: (www.cobachelr.com/academias/.../biología/biología/curtis/inicio.htm)

4.2 Los pigmentos fotosintéticos

Para que la energía luminosa pueda ser utilizada por los seres vivos, debe ser absorbida por los pigmentos fotosintéticos. Estos pigmentos son sustancias capaces de absorber la luz, en determinadas longitudes de onda, así, por ejemplo, la clorofila es el pigmento que le da el característico color verde a las plantas, absorbe la luz en longitudes de onda correspondientes al violeta, al azul y al rojo, reflejando la luz verde (Azcon y Talon, 1993).

4.2.1 La clorofila

Figura 4.2 Estructura de la molécula de clorofila

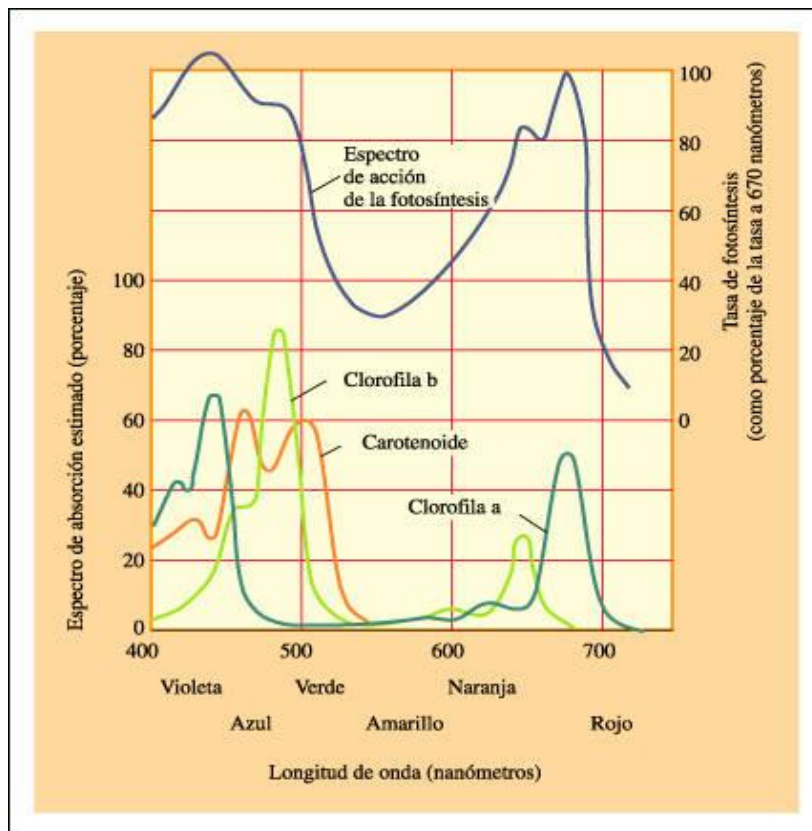


Cogua, J. Curso virtual de fisiología vegetal. Bogotá, D. C.: Universidad Nacional de Colombia. {En línea}. {10 agosto de 2011} disponible en:

http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/06_08.htm

La clorofila es un compuesto del tipo tetrapirrol, es decir, consta de cuatro anillos de pirrol unidos por puentes de metilo que constituyen la porfirina. El tetrapirrol es la estructura básica de la porfirina, que al igual que en la clorofila, es parte de la hemoglobina y el citocromo. Figura 1.2

En el centro de la estructura se halla un elemento metálico (el magnesio). El anillo IV se esterifica con un alcohol (el fitol), compuesto por una serie de veinte carbonos con un doble enlace. Es esta "cola" de naturaleza cerosa la que hace que el pigmento sea insoluble en agua, pero soluble en algunos solventes orgánicos. De aquí la naturaleza doble de la clorofila con el centro de la porfirina hidrófilo y el fitol hidrófobo (Azcon y Talon, 1993).

Figura 4.3 Absorción del espectro de luz disponible para realizar fotosíntesis ¹

Curtis, H. y S. Barnes, Biología, Sexta edición, Editorial Médica Panamericana. {En línea}.

{7 Octubre de 2011} disponible en: (www.cobachelr.com/academias/.../biología/biología/curtis/inicio.htm)

4.2.2 Clorofilas a y b

Como ya se mencionó la clorofila a es el pigmento relacionado de forma directa con la conversión de energía luminosa en energía química. Sin embargo, también se encuentra otro tipo de clorofila, la clorofila b y los pigmentos denominados carotenoides, los cuales son rojos, anaranjados o amarillos, que en las hojas verdes se enmascaran por la abundancia de clorofilas. Estos pigmentos accesorios a la clorofila, le permiten a las plantas absorber una gama más amplia del espectro de luz disponible para realizar fotosíntesis, actuando como receptores que transfieren energía. Como se muestra en la Figura 1.3 Existe igualmente la clorofila c, que se halla en algas pardas. En algas rojas se ha encontrado clorofila d. Finalmente hay un tipo de clorofila (bacterioclorofila) que es el pigmento de las bacterias fototróficas (Cogua, 2011).

¹ La curva superior muestra el espectro de acción de la fotosíntesis, y las curvas inferiores, los espectros de absorción para distintos pigmentos: la clorofila a, la clorofila b y los carotenoides que se encuentran dentro del cloroplasto.

4.2.3 Los carotenoides

Los pigmentos amarillos y rojos conocidos como carotenoides tienen un sistema de dobles enlaces conjugados formado por átomos de carbono, son compuestos insolubles en agua, aunque sí en solventes grasos. Se dividen en hidrocarburos insaturados o carotenos y en derivados oxigenados llamados xantofilas. En las plantas se encuentra un carotenoide llamado beta-caroteno. Estos son pigmentos de color rojo, anaranjado o amarillo (Curtis y Barnes, 2001).

Los carotenoides participantes de la fotosíntesis, se denominan carotenoides primarios, a diferencia de los que se encuentran en flores y frutos conformando cromoplastos, y en heterótrofos como bacterias, levaduras y hongos (Cogua, 2011).

4.2.4 Organización de los pigmentos en los tilacoides

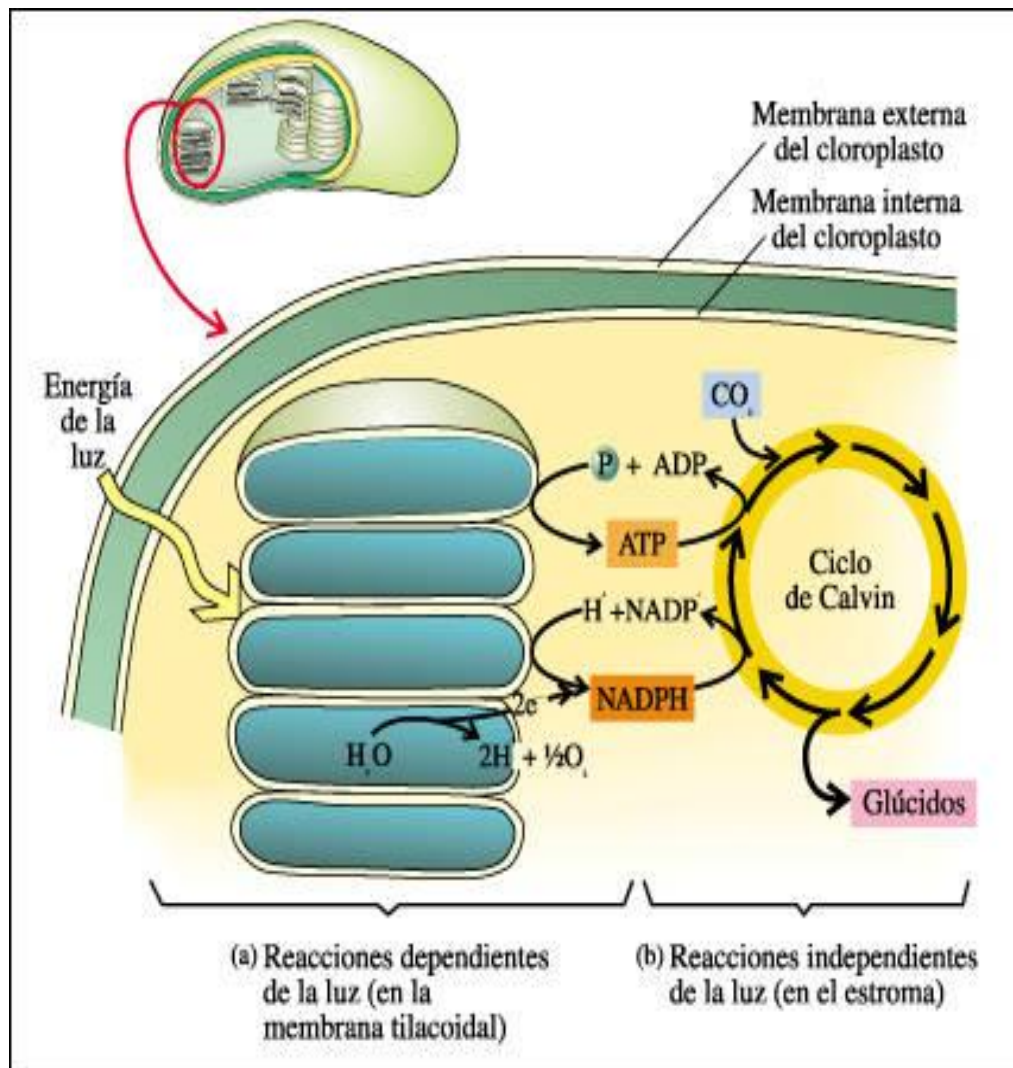
Como se señaló anteriormente, la unidad fotosintética estructural en los eucariotas son los cloroplastos, ubicados principalmente en las hojas. Los tejidos internos de cada hoja se encuentran tapizados por células epidérmicas, cubiertas por la cutícula, una capa cerosa. El oxígeno y el dióxido de carbono ingresan a las hojas a través de poros especiales llamados estomas. Un porcentaje alto de la fotosíntesis se realiza en las células del parénquima de empalizada, que se encuentra bajo la epidermis y constituye el mesófilo. Los cloroplastos se orientan en el interior de las células para facilitar que las membranas de los tilacoides capturen la luz por (Curtis y Barnes, 2001).

4.3 Etapas de la fotosíntesis

El fisiólogo inglés F. F. Blackman tras desarrollar diferentes experimentos, sugirió que en el proceso fotosintético se presentan por lo menos dos factores limitantes: La intensidad lumínica y la temperatura. Por lo cual existe un grupo de reacciones que es dependiente de la luz pero independiente de la temperatura, como se observa en el *esquema global de la fotosíntesis* figura 1.4 (Curtis y Barnes, 2001).

En las experiencias de Blackman las reacciones que dependían de la temperatura incrementaban su velocidad, solamente hasta alrededor de los 30°C. Luego la velocidad disminuía. Con base en la evidencia experimental hallada se dedujo que estas reacciones eran controladas por enzimas, pues es la forma en que se espera que las enzimas respondan a la temperatura. Esto contribuyó a diferenciar una etapa de reacciones lumínicas, dependiente de la luz y una etapa enzimática, independiente de la luz, o de reacciones “oscuras”. Estas últimas reacciones necesitan de los productos químicos sintetizados en las reacciones “lumínicas”, pero pueden ocurrir tanto en la luz como en la oscuridad (Curtis y Barnes, 2001).

Figura 4.4 Esquema global de la fotosíntesis.



Curtis, H. y S. Barnes, Sexta edición, Editorial Médica Panamericana. {En línea}.

{7 Octubre de 2011} disponible en: (www.cobachelr.com/academias/.../biología/biología/curtis/inicio.htm)

4.4 Absorción de luz

Las reacciones lumínicas se puede sintetizar así: los pigmentos que absorben la luz se dividen en dos grupos, los que absorben y transfieren la energía hacia el centro de reacción y los que conforman este centro de reacción que constituyen un tipo particular de moléculas de clorofila (clorofila a P 680 y P700) y que ejecutan la reacción fotoquímica (Melgarejo, 2010).

Para que se dé la fotosíntesis se requiere de la cooperación de dos tipos de fotosistemas llamados I y II (PS I y PS II). En el P SII el agua es usada como donador de electrones liberando oxígeno como producto. En el PSI, se reduce el aceptor terminal donando un electrón a la ferredoxina para desde allí reducir el NADP que finalmente se utiliza en la conversión del CO₂ en carbohidratos (Melgarejo, 2010).

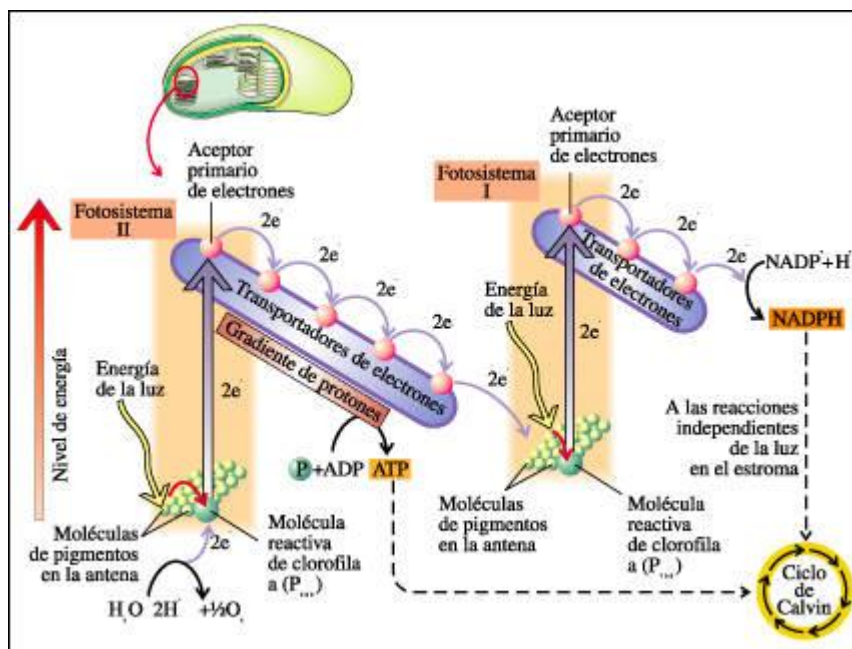
Los fotosistemas I y II trabajan juntos simultáneamente aunque el fotosistema I puede operar independientemente, como se explica en la Figura 1.5. En el modelo actual, la energía lumínica llega a el fotosistema II, donde es captada por la molécula P680 de la clorofila a. Un electrón de la molécula P680 es lanzado a un nivel de energía más alto, desde el cual se transfiere a una molécula aceptora de electrones primaria. El electrón pasa cuesta abajo al fotosistema I a lo largo de una cadena de transporte de electrones. A razón del paso de los electrones a lo largo de la cadena de transporte, se establece un gradiente de protones a través de la membrana tilacoidal; la energía potencial de este gradiente electroquímico se usa para formar ATP a partir de ADP, proceso quimiosmótico similar al del mitocondrio. Este proceso se conoce como *fotofosforilación* (Curtis y Barnes, 2001).

Otros tres hechos se destacan simultáneamente:

1. La molécula de clorofila P680, al perder su electrón, busca un reemplazante. Lo encuentra en la molécula de agua, la cual, mientras está unida a una molécula que contiene manganeso, es privada de un electrón y luego se rompe en protones y gas oxígeno.
2. Se captura energía lumínica adicional en la molécula reactiva P700 de clorofila del fotosistema I. La molécula se oxida y el electrón es lanzado a un aceptor de electrones primario, desde el cual viaja cuesta a bajo al NADP+.
3. El electrón eliminado de la molécula P700 del fotosistema I es reemplazado por el electrón que se desplazó cuesta abajo desde el aceptor de electrones primario del fotosistema II.

Así, en la luz hay un flujo continuo de electrones desde el agua al fotosistema II, al fotosistema I, al NADP+ (CURTIS, Helena, BARNES, Sue, 2001).

La energía recuperada en estos pasos esta representada por una molécula de ATP (cuya formación libera una molécula de agua) y de NADPH, que entonces se transforman en las fuentes principales de energía para la reducción del dióxido de carbono. Para generar una molécula de NADPH, deben absorberse 4 protones, 2 por parte del fotosistema II y 2 por parte del fotosistema I (Curtis y Barnes, 2001).

Figura 4.5 Fotosistemas I, II ²

Curtis, H. y S. Barnes, Biología, Sexta edición, Editorial Médica Panamericana. {En línea}.

{7 Octubre de 2011} disponible en: (www.cobachelr.com/academias/.../biología/biología/curtis/inicio.htm)

4.5 Reducción y fijación de CO_2

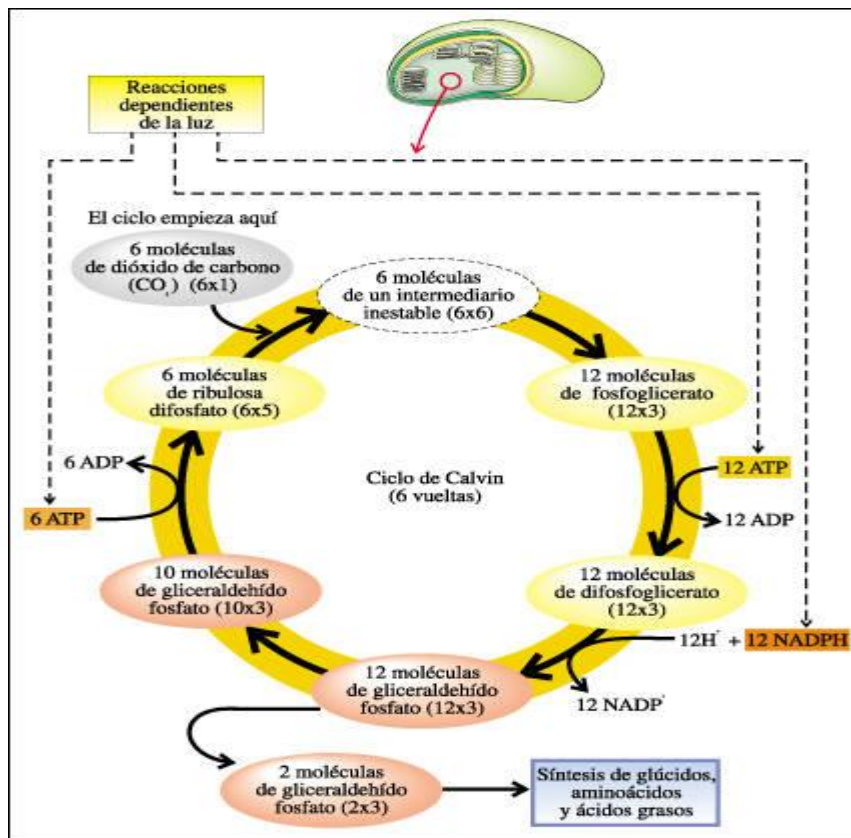
En una segunda etapa de la fotosíntesis la energía se utiliza para reducir al carbono. El carbono está disponible para las células fotosintéticas en forma de dióxido de carbono. En las plantas, el dióxido de carbono llega a las células fotosintéticas a través de aberturas especializadas de las hojas y tallos verdes, llamadas estomas (Curtis y Barnes, 2001).

En esta segunda etapa de la fotosíntesis, el ATP y el NADPH formados en la primera etapa se utilizan para reducir el carbono del dióxido de carbono a un azúcar simple. Entonces, la energía química almacenada temporalmente en las moléculas de ATP y de NADPH se transfiere a moléculas adecuadas para el transporte y el almacenamiento de energía en las células de las algas o en el cuerpo de las plantas. La resultante de este proceso es la formación de un esqueleto de carbono, a partir del cual pueden construirse luego otras moléculas orgánicas (Cogua, 2011).

² La energía lumínica atrapada en la molécula reactiva de la clorofila a del Fotosistema II lanza los electrones a un nivel de energía más alto. Estos electrones son reemplazados por electrones de las moléculas de agua, que liberan protones y gas oxígeno.

Las reacciones de fijación de carbono se realizan en condiciones que no requieren luz, aunque algunas enzimas son reguladas por ésta y se realizan en el estroma mediante el Ciclo de Calvin, Figura 1.6. El NADP y el ATP formados en las reacciones que capturan energía lumínica se utilizan para reducir el dióxido de carbono. El ciclo produce gliceraldehído fosfato, a partir del cual puede formarse glucosa y otros compuestos orgánicos (Cogua, 2011).

Figura 4.6 Resumen del ciclo de Calvin.



Curtis, H. y S. Barnes, Biología, Sexta edición, Editorial Médica Panamericana. {En línea}.

{7 Octubre de 2011} disponible en: (www.cobachelr.com/academias/.../biología/biología/curtis/inicio.htm)

4.5.1 Ciclo de Calvin

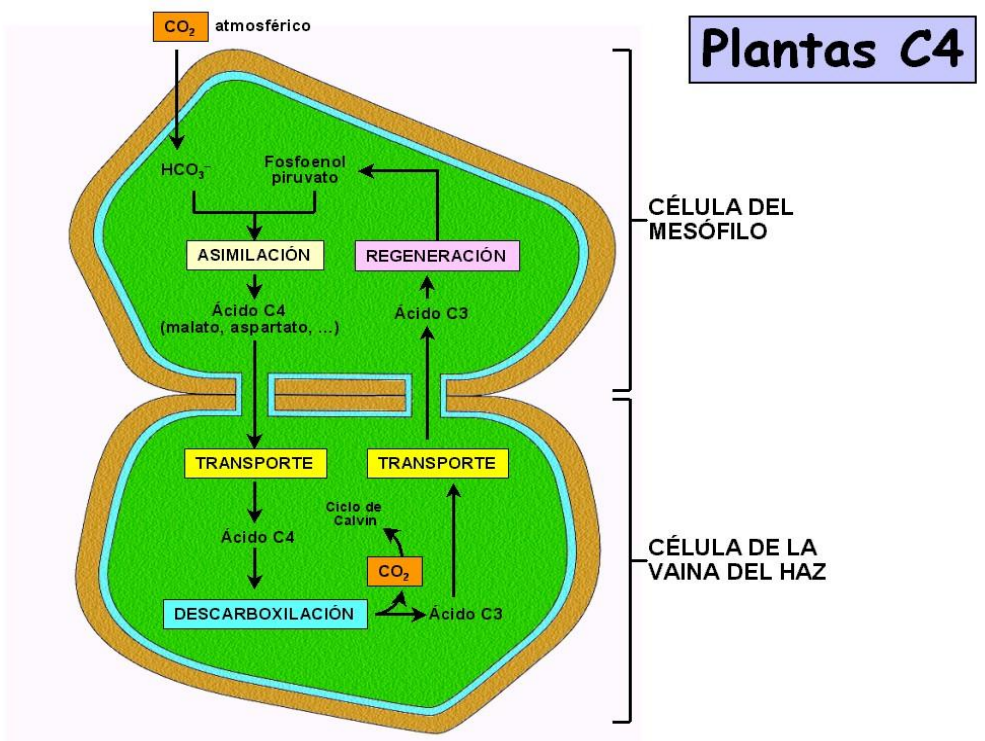
Esta transformación se lleva a cabo en el estroma del cloroplasto. El CO_2 entra al cloroplasto atravesando las membranas celulares del organelo por medio de canales específicos. Este gas entra al cuerpo de la planta merced a la apertura estomática, que a la vez facilita la salida de vapor de agua, en el proceso que se denomina transpiración (Cogua, 2011).

El ciclo de Calvin representa la ruta central de reducción del CO_2 a moléculas orgánicas. Se inicia cuando la enzima ribulosa 1,5 bi-fosfato carboxilasa oxigenasa (Rubisco) realiza

la carboxilación del CO_2 y origina dos moléculas de tres carbonos (Melgarejo, 2010). Se han realizado diversos experimentos para dilucidarlo, estos han tenido éxito gracias al uso de radioisótopos en las algas verdes *Chlorella pyrenoidosa* y *Scenedesmus obliquus*. Después de proporcionar $^{14}\text{CO}_2$ por 60 segundos aparecen en cultivos de las algas mencionadas varios compuestos marcados; fosfatos de azúcares, ácidos orgánicos, y aminoácidos. Acortando el tiempo de aplicación del $^{14}\text{CO}_2$ paso a paso se reducen los productos marcados generados. A menos de 2 segundos aparece solo un compuesto marcado, el ácido 3-fosfoglicérico (3-PGA) compuesto de tres carbonos. De tal manera que el primer paso de la reducción del CO_2 , consiste en una carboxilación, durante la cual el CO_2 es incorporado a una molécula aceptora que tiene 5 carbonos, la ribulosa-1,5-di fosfato la cual al escindirse origina dos moléculas del 3-PGA. El mecanismo de la reducción del CO_2 es un proceso cíclico de varios pasos enzimáticos parciales (Melgarejo, 2010).

4.5.2 C4: Metabolismo Hatch/Slack

Figura 4.7 Esquema sencillo de la vía Hatch/Slack o Plantas C4



García, F. Biología y botánica: tema11.Universidad politécnica de Valencia.

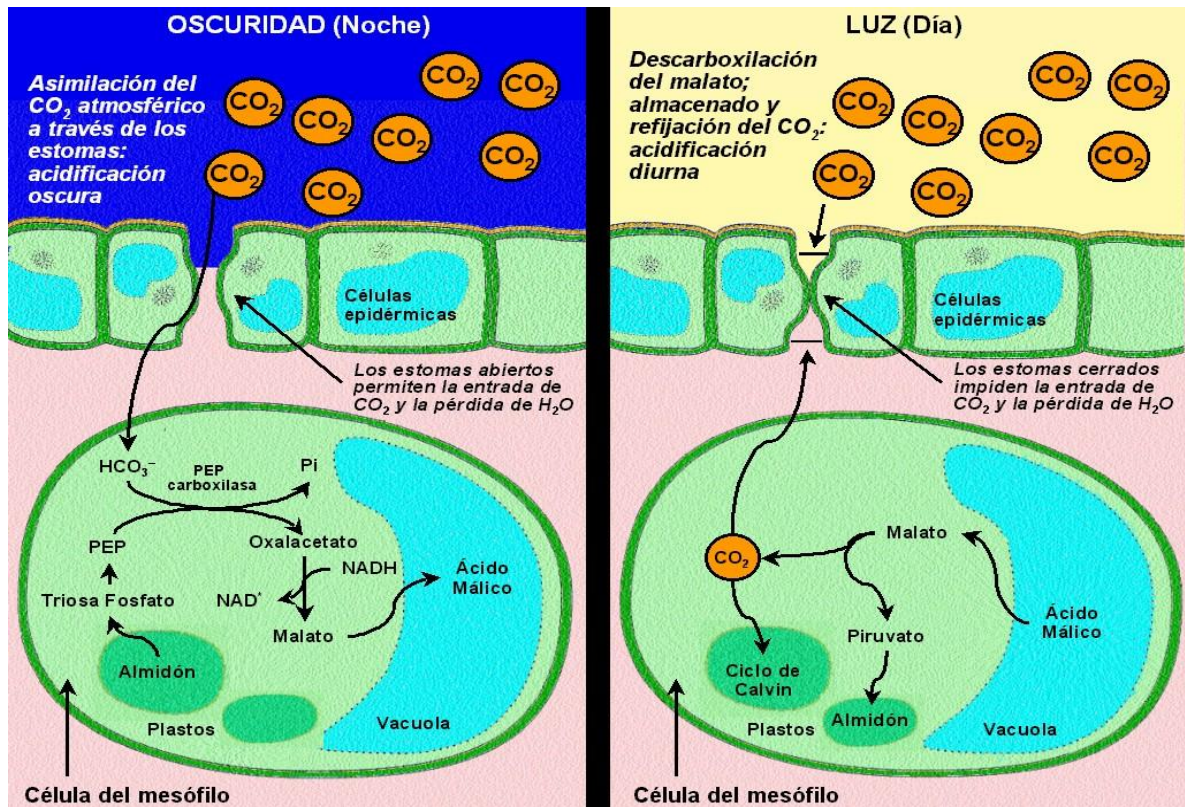
{7 Octubre de 2011} disponible en: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_11.htm

Existen otros procesos adaptativos en diferentes tipos de plantas, por ejemplo algunas plantas unen primero el dióxido de carbono a un compuesto conocido como ácido fosfoenol pirúvico o Fosfoenol piruvato (PEP) para formar el compuesto de cuatro carbonos, ácido oxaloacético (un intermediario del ciclo de Krebs). Entre otras plantas

que tienen este tipo de metabolismo están el maíz y el sorgo. En ellas el dióxido de carbono incorporado al ácido oxaloacético es finalmente transferido a la RuBP y entra en el ciclo de Calvin, pero sólo después de haber pasado a través de una serie de reacciones que lo transportan a sitios más profundos dentro de la hoja. Estas reacciones se presentan en las células del mesófilo, donde los cloroplastos se caracterizan por tener una extensa red de tilacoides organizados en granas bien desarrollados. El ácido málico o el ácido aspártico, según la especie es transportado a las células de la vaina de los haces merced la red de plasmodesmos. Los cloroplastos de estas células, que forman vainas apretadas alrededor de los haces vasculares de la hoja tienen granas poco desarrollados y frecuentemente contienen granos de almidón. Las plantas que utilizan esta vía, o ruta Hatch-Slack, como se observa en la Figura 1.7 se llaman comúnmente plantas C4, gracias al compuesto de 4 carbonos que sirve como aceptor del CO₂ (Cogua, 2011).

4.5.3 Metabolismo ácido de las crasuláceas ó plantas MAC

Figura 4.8 Esquema básico del funcionamiento de las plantas MAC



García, F. Biología y botánica: tema11.Universidad politécnica de Valencia.

{7 Octubre de 2011} disponible en: http://www.euita.upv.es/varios/biologia/Temas/tema_11.htm

Hay unas especies vegetales de climas áridos, que tienen hojas gruesas con una baja proporción superficie-volumen, cutícula gruesa y baja tasa de transpiración. A dichas plantas se les llama suculentas. Por lo general presentan células fotosintéticas de la hoja o el tallo en el mesófilo esponjoso. En algunas plantas suculentas el metabolismo del CO_2 es poco usual, inicialmente se investigó en miembros de la familia Crassulaceae, por lo que se le denominó como Metabolismo Acido de las Crasuláceas (MAC o CAM en inglés) Figura 1.8. La nueva ruta fotosintética mencionada se ha encontrado en algunas especies vegetales suculentas o semi-suculentas de los géneros *Bryophyllum*, *Kalanchoe*, *Sedum*, *Kleinia*, *Crassula*, *Opuntia* (Salisbury y Ross, 1994).

Las plantas MAC o CAM incorporan dióxido de carbono durante la noche fijándolo en ácidos orgánicos que acidifican el medio y lo liberan durante el día para inmediatamente utilizarlo en el ciclo de Calvin. Este tipo de metabolismo permite reducir las pérdidas de agua asociadas a la apertura de los estomas (Cogua, 2011).

4.6 Factores ambientales y fotosíntesis

Se estima que la cantidad de carbono que se fija cada año en el planeta va de 70.000 a 120.000 millones de toneladas métricas o lo que equivale alrededor de 170 a 290 gigatoneladas de materia seca, con fórmula mínima CH_2O . Esta vasta productividad se presenta a pesar de la baja concentración atmosférica de CO_2 . Más del 13% del carbono atmosférico se utiliza cada año en la fotosíntesis, y una cantidad casi igual se intercambia con CO_2 disuelto en los océanos. En la fotosíntesis influyen factores como el agua, la concentración de CO_2 , la luz, los nutrientes y la temperatura, de igual forma la edad y la genética del vegetal (Salisbury y Ross, 1994).

4.6.1 CO_2

La cantidad de CO_2 es determinante del rendimiento, a pesar de ello algunas reacciones de la fotosíntesis pueden realizarse en su ausencia. Sin embargo, sin este gas sencillamente no habría síntesis de carbohidratos. La concentración de CO_2 en la atmósfera no es óptima para la fotosíntesis, en la práctica agrícola se utiliza una adición artificial de CO_2 gaseoso, bajo condiciones de iluminación constante, para aumentar la tasa fotosintética y el rendimiento en la producción de material biológico (Salisbury y Ross, 1994).

Se sabe que el CO_2 produce un incremento inmediato de la tasa de la fotosíntesis, especialmente en las plantas C_3 . Sin embargo, cuando las plantas crecen continuamente con CO_2 elevado, tienen lugar cambios bioquímicos que disminuyen la capacidad fotosintética de la hoja, así los grandes incrementos iniciales de la fotosíntesis con alta concentración de CO_2 no suelen mantenerse tan elevados cuando pasan semanas o meses. Este fenómeno se conoce como aclimatación de la fotosíntesis (Cogua, 2011).

4.6.2 Agua

Extracelularmente en las plantas superiores el agua transporta materiales como sales que viajan desde las raíces a todas las partes de la planta. Además de ser materia prima en el proceso fotosintético, el agua contribuye como reactivo en varias reacciones metabólicas. Los iones que forma la molécula de agua (H) y (OH), se ensamblan y recombinan en nuevas moléculas de agua (Cogua, 2011).

4.6.3 Luz

Sin luz no hay fotosíntesis, las plantas requieren de la luz en términos de intensidad y de calidad de la radiación. Con un incremento de la intensidad lumínica aumenta la intensidad fotosintética primero en forma lineal, luego disminuye suavemente y por último alcanza un valor constante, es decir la capacidad fotosintética está saturada de luz. Este valor de saturación es alcanzado por las diferentes especies con diferente velocidad. En plantas heliófilas esto ocurre después de llegar a intensidades de radiación altas y en plantas umbrófilas esta saturación se alcanza rápidamente, es decir, se requieren intensidades de luz bajas (Cogua, 2011).

4.6.4 Temperatura

De la dependencia de la fotosíntesis de los factores luz y temperatura, se concluye que la fotosíntesis no es un proceso constante, se compone de un conjunto de reacciones fotoquímicas que dependen de la luz y de una serie de reacciones enzimáticas dependientes de la temperatura. Estas últimas se hacen evidentes en el estado de saturación de luz, punto en el cual un aumento de la temperatura aumenta la intensidad fotosintética (Cogua, 2011).

El transporte, la industria, la deforestación, la agricultura y otras actividades humanas, están provocando un aumento de la concentración atmosférica de CO₂ (aproximadamente una ppm por año) y de otros gases como el metano. La acumulación de estos gases tiende a calentar la atmósfera, lo cual podría conducir, a cambios regionales o globales que afectarían parámetros como la temperatura, las precipitaciones, la humedad del suelo y el nivel del mar, todos ellos relacionados con la fotosíntesis y por tanto con la vida misma en el planeta. (Cogua, 2011).

5. Aspectos histórico-epistemológicos relacionados con el proceso de la fotosíntesis

Eventos importantes que han permitido la evolución y el conocimiento actual sobre fotosíntesis:

5.1. Antigüedad y edad Media

Antes de la época de Aristóteles, Theopastro (372-287 A de C), efectuó ensayos en nutrición vegetal y Dióscorides llevo a cabo investigaciones en botánica en el siglo I A de C. (Quintanilla et al., 2010).

Hipócrates y Aristóteles, desarrollan la teoría del humus para explicar la nutrición vegetal. Estableciendo una analogía entre la alimentación animal y las plantas, asumen que las raíces serían las bocas por donde ingresan los alimentos que proceden del suelo y que esos alimentos serían los humus o restos orgánicos que se acumulan en la superficie. (Quintanilla et al., 2010).

5.2. Edad Moderna

A mediados del siglo XVII, es reportado un estudio sobre la fisiología de la nutrición, desarrollado por Van Helmont, quien concluye que las plantas solo se sostienen con agua, sin requerir otros elementos del suelo. La importancia del estudio de Van Helmont, no está en su conclusión, si no en ser el primer estudio de tipo cuantitativo realizado en organismos vivos, pesando y calculando los cambios de peso producidos. (Asimov, 1968)

Antes del siglo XVIII, los naturalistas pensaban que los vegetales obtenían todos sus componentes del suelo. En 1727, Stephen Hales propone que parte del nutrimento de las plantas proviene de la atmósfera y que la luz participa de alguna manera en el proceso.

En esta época no se sabía que el aire presenta diferentes elementos en estado gaseoso (Salisbury y Ross, 1994).

En 1771, el clérigo y químico inglés Joseph Priestly (1733-1804), sugiere la participación del O_2 , realiza experimentos y concluye que las plantas verdes son capaces de restaurar o purificar el aire que había sido nocivo para la respiración de un animal. Al aire puro lo llama: "aire desflogisticado" lo que ahora llamamos aire con oxígeno proveniente de los procesos en las plantas. Él no reconoce la necesidad de la luz ni que las plantas también utilizan el aire "desflogisticado" (Salisbury y Ross, 1994).

El médico holandés Jan Ingenhousz (1730-1799), repite los experimentos de Priestley y con otros ensayos que realiza, concluye que las plantas "vician" el aire tanto en la luz como en la oscuridad, al igual que los animales, (evidencia la respiración en los vegetales). Reconoce que al iluminar las plantas con la luz del sol, la liberación del aire "desflogisticado" excede al que se consume. Demuestra que para el desprendimiento fotosintético de O_2 se necesita luz solar y que este fenómeno sólo ocurre en las partes verdes de las plantas. De manera sorprendente para nosotros recomendó sacar las plantas de las casas durante la noche para evitar que sus ocupantes se intoxicaran (Salisbury y Ross, 1994).

Jean Senebier (1742-1809) realiza experimentos similares a los de Ingenhousz; incorpora a los conocimientos previos, la capacidad de las plantas para regenerar o purificar el aire que depende de la presencia de aire "flogisticado" a fijado (ó como se conoce actualmente, con presencia de CO_2). Este aire es el que disuelto en agua sirve a las plantas acuáticas. Las plantas terrestres extraen del aire el CO_2 que necesitan (Salisbury y Ross, 1994).

Antoine-Laurent Lavoisier (1743-1794) impactó los estudios de los procesos vegetales al relacionarlos con los intercambios gaseosos que ocurren cuando los animales respiran. Lavoisier encerró a un cobayo durante unas 10 horas en un recipiente que contenía oxígeno y midió el dióxido de carbono producido. Midió también la cantidad de oxígeno consumido por un hombre en actividad y durante el reposo. Con estos experimentos pudo mostrar que la combustión de compuestos de carbono con oxígeno es la fuente real del calor animal y que el consumo de oxígeno se incrementa durante el trabajo físico (Curtis y Barnes, 2001).

5.3. Edad Contemporánea

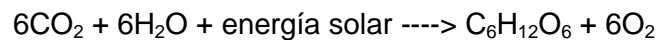
Nicholas Theodore de Saussure (1767-1845) en 1804 propone la participación del agua en el proceso, realiza las primeras cuantificaciones de la fotosíntesis. Descubre que las plantas ganan más peso seco durante la fotosíntesis del que puede explicar la diferencia del peso del CO_2 absorbido y el peso del O_2 liberado. Atribuye la diferencia a la captación de H_2O . Se percata que durante la fotosíntesis se intercambian volúmenes aproximadamente iguales de CO_2 y O_2 (Salisbury y Ross, 1994).

Pierre-Joseph Pelletier y Joseph Caventou en 1817 aislaron la clorofila.

Rene Durochet en 1837 demostró que la fotosíntesis solo tiene lugar en células vegetales que contienen clorofila (Cogua, 2011).

Julius Robert Mayer en 1842 postuló la ley de la conservación de la energía y sugirió que las plantas absorben energía luminosa para transformarla en energía química. Refiriéndose por primera vez a la importancia de las plantas verdes en el ciclo completo de la materia y la energía (Cogua, 2011).

Julius von Sachs en 1865, postuló que los cloroplastos eran los orgánulos donde tenía lugar la fotosíntesis. Demostró que en el proceso de fotosíntesis se formaban compuestos de carbono (hidratos de carbono). Para ello cubrió la mitad de una hoja y la otra la dejó expuesta a la luz. Luego de algunas horas expuso a vapores de yodo toda la hoja y observó que la mitad iluminada se tornaba de color violeta oscuro, lo que se sabía, se debía a la presencia de almidón y a su reacción con el yodo. A este autor le debemos la ecuación clásica de la fotosíntesis:



Wilhelm Engelmann en 1882 descubrió que en los cloroplastos se produce el oxígeno y concluyó que la fotosíntesis depende de la luz absorbida por la clorofila “espectro de acción de la fotosíntesis” (Cogua, 2011).

Blackman, F. entre 1904 y 1905, confirmó que la fotosíntesis tiene un paso dependiente de la luz e independiente de la temperatura y un paso independiente de la luz y dependiente de la temperatura. Lo que permitió reconocer una fase de la fotosíntesis denominada lumínica y otra oscura o enzimática (Cogua, 2011).

El químico y fisiólogo alemán Otto Fritz Meyerhof (1884-1951), en 1918 sentó las bases de los principios fundamentales del metabolismo de todo ser viviente. Comprobó que las vías fermentativas se producían de manera similar en todos los organismos. Investigó el funcionamiento de las enzimas en el metabolismo de los hidratos de carbono (Curtis y Barnes, 2001).

Hill, R. y Scarisbrick R. en 1930, en Inglaterra, demostraron que cloroplastos aislados y fragmentos de estos mismos son capaces de liberar oxígeno en presencia de luz, si se les proporciona un aceptor adecuado de los electrones que se extraen del agua. La ruptura del agua por efecto de la luz, denominada fotólisis, en ausencia de fijación de CO_2 se ha conocido como la reacción de Hill (Salisbury y Ross, 1994).

Samuel, R. y Kamen, M, en 1941 usando agua con oxígeno pesado (O^{18}) probaron definitivamente que el O_2 resultante de la fotosíntesis provenía del H_2O . En esa época se sabía que ciertos enlaces demandan, para su formación, una gran cantidad de energía, que guardan en uniones químicas y pueden liberarla de nuevo con gran facilidad debido a que su labilidad química es muy alta. Estas uniones corresponden a la categoría de enlaces energéticos ricos. Dentro de este grupo, el compuesto orgánico de mayor

importancia es, sin dudas, el ATP, reconocido por primera vez en 1941 (Curtis y Barnes, 2001).

El bioquímico estadounidense de origen alemán Fritz Lipmann (1899-1986) en 1947, aisló una sustancia fundamental para la transferencia del grupo acetilo de un compuesto a otro y la llamó coenzima A. Se encuentra en el ácido pantoténico (una vitamina B). Sin la presencia de esta sustancia, no hay cambios metabólicos (Curtis y Barnes, 2001).

Los científicos estadounidenses Eugene Kennedy y Albert Lehninger (1917-1986) en 1948, demostraron, con sus investigaciones entre otras cosas, que la mitocondria de las células animales constituía el sitio exclusivo para la fosforilación oxidativa, el ciclo de ácido cítrico –o ciclo de Krebs- y la oxidación de los ácidos grasos (Curtis y Barnes, 2001).

El bioquímico estadounidense de origen polaco Daniel Arnon en 1954, obtuvo cloroplastos enteros a partir de células rotas de hojas de espinacas y demostró que podían llevar a cabo la fotosíntesis fuera de la célula. A partir de sus experimentos se concluye que la formación de ATP es el mecanismo principal a través del cual la energía lumínica es absorbida por la clorofila y los pigmentos auxiliares. Se conserva la energía lumínica como energía química en los enlaces de alta energía del ATP. Este evento recibió el nombre de fotofosforilación fotosintética (Curtis y Barnes, 2001).

El químico estadounidense Melvin Calvin (1911-1997) y sus colaboradores en 1957, lograron identificar el compuesto que, durante la fotosíntesis, incorpora por primera vez el CO₂. El ciclo de reducción fotosintética del carbono o ruta fotosintética C₃ (ciclo de Calvin) fue dilucidada por Melvin Calvin quien por sus investigaciones recibió el premio Nobel de Química en 1961 (Curtis y Barnes, 2001).

6. Preconcepciones, ideas previas o ideas alternativas entorno al concepto de fotosíntesis

6.1. Acerca de las ideas alternativas de los estudiantes

Desde una perspectiva constructivista se considera que el conocimiento es construido por el individuo que interactúa con su entorno, por lo cual son importantes y se deben tener en cuenta aspectos como los psicológicos, culturales y sociales. El sujeto entiende el mundo a través de sus propias experiencias, ideas personales que le sirven de base para interpretar e integrar las nuevas informaciones. De manera que el aprendizaje no es tan simple como un proceso de adicionar información, sino al contrario, es un proceso de reestructuración de la información nueva con las ideas previas que el estudiante pueda tener. De aquí la importancia de determinar las ideas que tienen los estudiantes acerca de los fenómenos naturales, porque estas ideas o esquemas previos, le sirven para interpretar lo que se le enseña (Domingos-Grilo et al., 2004).

Los trabajos que analizan las concepciones de los estudiantes sobre los procesos de fotosíntesis y respiración, y el origen de las mismas, han despertado gran interés entre los investigadores, no obstante la problemática entorno a la enseñanza y aprendizaje sobre los procesos de fotosíntesis y respiración, sigue vigente (Charrier et al., 2006).

Desde los años ochenta se han realizado investigaciones sobre las ideas alternativas de los estudiantes con respecto a varios fenómenos naturales y se observa que, después de varios años de escolaridad, continúan teniendo ideas alternativas que no corresponden con las aceptadas científicamente. Estas ideas alternativas tienen diversas causas, como las experiencias personales de la vida cotidiana, la interferencia de dos lenguajes el popular y el científico, los medios de comunicación, la cultura propia, los profesores que pueden transmitir sus propias ideas alternativas, los libros de texto y materiales afines (Domingos-Grilo et al., 2004).

El diagnóstico de las ideas alternativas de los estudiantes sobre los conceptos y temas de estudio, conocer su origen, naturaleza y lógica, representa el punto de partida que el profesor puede tener para ayudar al individuo a generar cambios en su estructura conceptual. La función del profesor no sería de transmisor de conocimientos, sino de facilitador en la reconstrucción del conocimiento, organizando y propiciando situaciones de aprendizaje (Domingos-Grilo et al., 2004).

El aprendizaje se vuelve más efectivo cuando el estudiante se encuentra motivado para aprender y considera que los temas son importantes para él. Cuando se integren contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales y cuando el estudiante se siente dueño de su proceso de aprendizaje. La resolución de situaciones problemáticas de interés para los estudiantes y las estrategias metacognitivas, son importantes en este proceso (Domingos-Grilo et al., 2004).

6.2 Acerca de la génesis de las ideas alternativas

Algunos posibles orígenes de las ideas alternativas de los estudiantes, son compilados por los autores (Charrier et al., 2006) y se relacionan con los siguientes aspectos:

- a) El exceso de información proporcionada por los docentes, que resulta innecesaria para la comprensión del proceso.
- b) Dificultades provenientes del propio campo conceptual.
- c) La deficiente formación científica de los docentes en activo con relación a estos conceptos, las insatisfactorias condiciones de trabajo, la inadecuada e insuficiente preparación didáctica, los materiales curriculares de planteamientos tradicionales, los contenidos no actualizados y los frecuentes errores, el esquema rígido de la organización escolar y las influencias negativas del contexto sociocultural cotidiano.
- d) La imposibilidad que presentan los estudiantes para describir fenómenos biológicos en términos químicos.
- e) Considerar al hombre como el centro de la creación, asumiendo que éste tiene el control sobre todo el medio.
- f) Los errores y planteamientos inadecuados detectados en los libros de texto.
- g) La práctica, habitual de los libros de texto, en la que una misma ecuación resume la fotosíntesis y la respiración según el sentido de ambas flechas. De esta forma, los procesos aparecen como opuestos y, en tal sentido, alternativos, al inducir la idea de que los dos procesos no podrían ocurrir simultáneamente.
- h) Propuestas muy tradicionales para su enseñanza-aprendizaje. La enseñanza promueve aprendizajes basados en la memoria y la repetición, con exceso de terminología científica y escaso número de actividades.
- i) La incorporación excesivamente temprana de estos procesos en los diseños curriculares.
- j) El mal planteamiento de las asignaturas en los planes de estudio, tanto de la escuela elemental como en la secundaria, el bachillerato y/o la universidad.

- k) Los planes de estudio de la formación inicial del profesorado presentan un escaso número de horas dedicadas a la biología, por lo que no se garantiza una formación de excelencia.
- l) Las estrategias basadas en la “pedagogía del descubrimiento”, que pueden resultar inoperantes para ayudar a los estudiantes a comprender que la fotosíntesis produce sustancias específicas para las plantas.

7. Las analogías y su uso en la enseñanza de la biología

En el contexto escolar, las analogías son recursos didácticos de uso frecuente por los profesores de Ciencias Naturales. Las analogías tratan de explicar un concepto que puede ser nuevo para el estudiante, que se denomina *tópico*, comparándolo con una situación o con conceptos conocidos *análogo*. Con el fin de favorecer la comprensión de la situación nueva o desconocida, o sea el tópico a enseñar (Medina y Fernández, 2004). La comprensión se consigue porque la analogía facilita el desarrollo de modelos conceptuales del tópico y permite la transferencia de conocimiento, desde el análogo al tópico (Fernández et al., 2003).

7.1 Analogías relativas al cuerpo humano

En el trabajo de los autores (Medina y Fernández, 2004), se catalogan cerca de veinte analogías, relacionadas por orden de frecuencia en dos ejes conceptuales: el cuerpo humano y la biología celular. Del cuerpo humano son: cámara fotográfica/ojo, termostato/glándula, cordón de un collar/médula espinal, juegos malabares/equilibrio en el transporte sanguíneo, extracción de pasta de dientes/movimientos peristálticos, licuadora/estómago, llave-cerradura/antígeno-anticuerpo, guerra/infección, bomba hidráulica/corazón, circulación sanguínea y circulación de agua en las esponjas/circulación linfática y filtro/riñón.

Transcripción de algunas analogías del eje cuerpo humano citadas en (Medina y Fernández, 2004).

Cámara fotográfica/Ojo

El ojo es parecido a una cámara fotográfica. El diafragma regula la cantidad de luz que entra por el objetivo mientras que el iris regula la cantidad de luz que entra por el cristalino. Por lo tanto, la apertura del objetivo es similar al de la pupila. Sin embargo debemos tener en cuenta que el objetivo enfoca acercándose y alejándose, mientras que

el cristalino lo hace cambiando de forma. Además la imagen del ojo es tridimensional, mientras que en la cámara es plana.

Termostato/Glándula

El feedback en las glándulas funciona parecido al componente básico de un termostato. Cuando el termostato alcanza una temperatura determinada, una señal cambia la dirección del calor. La señal que cambia la dirección en una glándula varía para los diferentes tipos de glándulas.

Extracción de pasta de dientes/Movimientos peristálticos

Detrás de la masa de comida los músculos se contraen. Por ello la comida es aprisionada de forma parecida a como es aprisionada la última pasta de dientes que queda en el tubo. El proceso es llamado peristalsis.

Licuada/Estómago

El estómago es parecido a una licuadora.

Filtro/Riñón

El riñón elimina los desechos y regula la cantidad de agua y sal en el cuerpo. La sangre entra en el riñón y se “limpia” y el material de desecho se elimina por filtración.

Bomba hidráulica/Corazón

Los lados derecho e izquierdo del corazón funcionan como dos bombas completamente separadas. Una pared interior, denominada septo, separa los dos lados del corazón.

Cordón de un collar/Médula espinal

El cordón espinal es parecido a un cable largo que se extiende a través de los huecos de las vértebras.

7.2 Analogías relativas a biología celular

De las analogías relacionadas con la biología celular, (Medina y Fernández, 2004), mencionan: habitación/célula, escala/ADN, familia aislada/organismo unicelular, fábrica/célula y elaboración del pan fotosíntesis.

A continuación se transcriben algunas analogías del eje de biología celular citadas por Medina y Fernández (2004).

Habitación/Célula

Cada célula en la piel de cebolla se parece en algunas cosas a una habitación. Tiene un piso y un techo, así como cuatro paredes.

Escala /ADN

Una molécula de ADN consta de pequeñas unidades que se repiten, unidas en una “escala” larga, trenzada. Los dos lados de la escala contienen unidades de azúcar y fosfato. Los “escalones” están hechos de pares de sustancias denominadas bases.

Fabrica/Célula

La estructura y funciones de nuestras células se pueden comparar a una factoría. Los procesos de manufacturación se pueden comparar con los procesos vitales que se producen en la célula. Los productos finales son los compuestos que forman las numerosas partes de la célula. La oficina central y el departamento de planificación de la célula están en el núcleo. El núcleo es el centro de control de la célula. Controla todo lo que entra en la célula.

Elaboración del pan/Fotosíntesis

La fotosíntesis es parecida a la cocción del pan en un horno.

8. Encuesta sobre las ideas previas de los estudiantes

8.1 Aplicación de la prueba

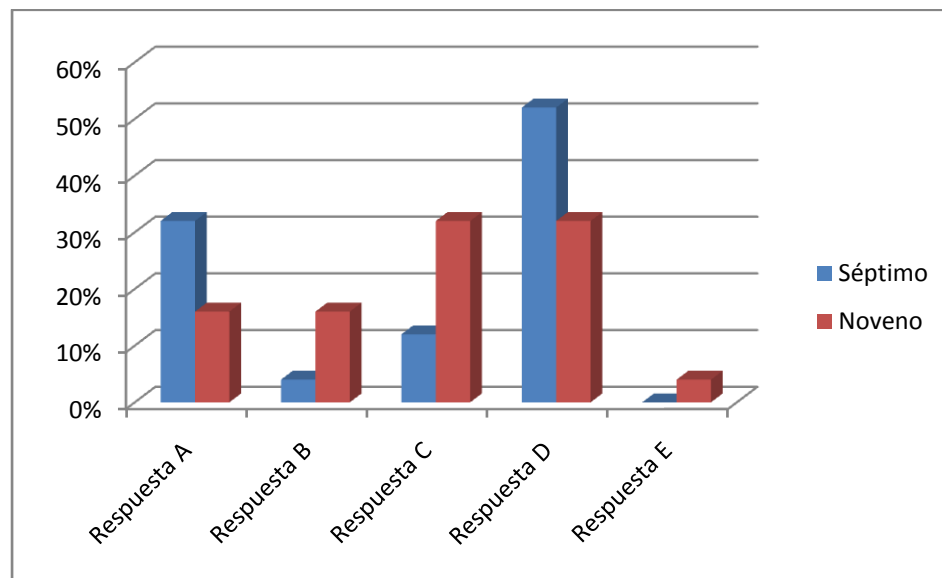
El cuestionario es el instrumento más utilizado para el seguimiento de las concepciones alternativas, preconceptos o ideas previas de los estudiantes. Con base en el trabajo realizado por (Charrier et al., 2006). Se elaboró una encuesta que fue diligenciada por cincuenta estudiantes de los grados séptimo y noveno (ciclos III y IV respectivamente) del Colegio José María Carbonell I.E.D. Los resultados se tabularon en una hoja de cálculo del programa Excel, a partir de ellos, se elaboraron las gráficas y se realizó el análisis. A continuación se presenta para cada pregunta, la gráfica con los resultados y el análisis correspondiente. La respuesta u opción más acertada se resalta en negrita.

1. Las plantas realizan la fotosíntesis:

- A. Solo de día
- B. Solo de noche
- C. De día y de noche
- D. **De día y de noche en presencia de luz**
- E. No contesta

Analizando las respuestas obtenidas se constata que más o menos la mitad de los estudiantes de séptimo tiene claro que la fotosíntesis se realiza de día y de noche en presencia de luz. El 32% de estudiantes piensa que la fotosíntesis se realiza solo de día, debido posiblemente al aprendizaje que se da en la primaria donde se le otorga gran importancia a la presencia de luz solar para el proceso fotosintético también es posible que ello corresponda a ideas aprendidas en procesos de enseñanza no formal. Hay un 12% de estudiantes de séptimo que aún no identifica la luz como factor determinante para el proceso de fotosíntesis (Figura 5.1).

Figura 8.1 Respuesta a la pregunta: “Las plantas realizan la fotosíntesis, solo de día, solo de noche, de día y de noche, de día y de noche en presencia de luz”.



En los estudiantes de noveno se notan repartidas las concepciones. Aproximadamente una tercera parte de ellos identifica el factor luz como necesario para el proceso. Así mismo un 30% aproximadamente, no aprecia la necesidad de la luz, pues dice que la fotosíntesis se puede realizar tanto de noche como de día. El restante 30% se divide en dos grupos quienes señalan que la fotosíntesis se realiza de día y quienes dicen que ella ocurre en la noche, sin reparar en el factor luz.

En primer lugar preocupa que a pesar de la insistencia, en los primeros años de escolarización, sobre la necesidad de la luz para la fotosíntesis, un número tan alto de estudiantes tenga conceptos diferentes a los enseñados. En segundo lugar, podemos decir que si se comparan las respuestas de los estudiantes de séptimo y noveno, los primeros tienen más presente las enseñanzas sobre fotosíntesis de la educación formal. Al revisar las mallas curriculares se constata que no hay una continuidad temática a medida que se avanza en los grados, lo cual puede repercutir en que los estudiantes al finalizar su educación básica acojan de nuevo las ideas o preconcepciones que tenían antes de su paso por la educación formal.

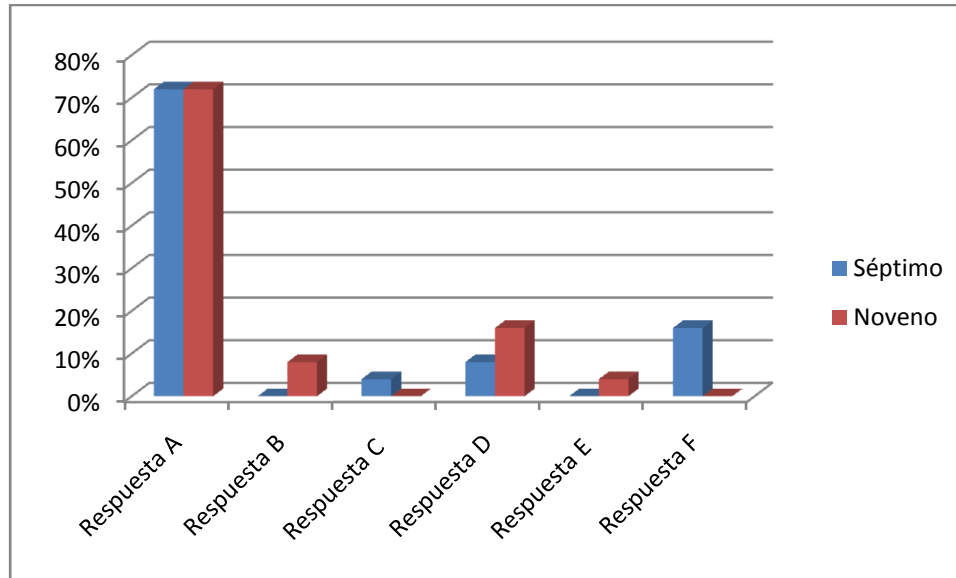
2. La principal finalidad de la fotosíntesis es:

- A. Producir oxígeno
- B. Producir materia orgánica**
- C. Producir agua
- D. Consumir dióxido de carbono
- E. Producir vitaminas

Al observar los resultados de la Figura 5.2 tenemos que el 72% de los estudiantes tanto de séptimo como de noveno piensa que la finalidad principal de la fotosíntesis es producir

oxígeno. En trabajos anteriores (Charrier et al., 2006). Se atribuyen resultados similares a una visión antropocéntrica que adquieren los estudiantes y que perdura al avanzar la educación formal, donde se presentan los fenómenos naturales en función del beneficio inmediato que le pueden otorgar al hombre. De esta manera, el estudiante piensa que las plantas realizan la fotosíntesis y producen oxígeno para que las personas puedan respirar, sin comprender que el oxígeno es un sub-producto de un proceso que tiene el objetivo de sintetizar materia orgánica que le sirve a la misma planta como alimento.

Figura 8.2 Respuesta a la pregunta “La principal finalidad de la fotosíntesis es...”



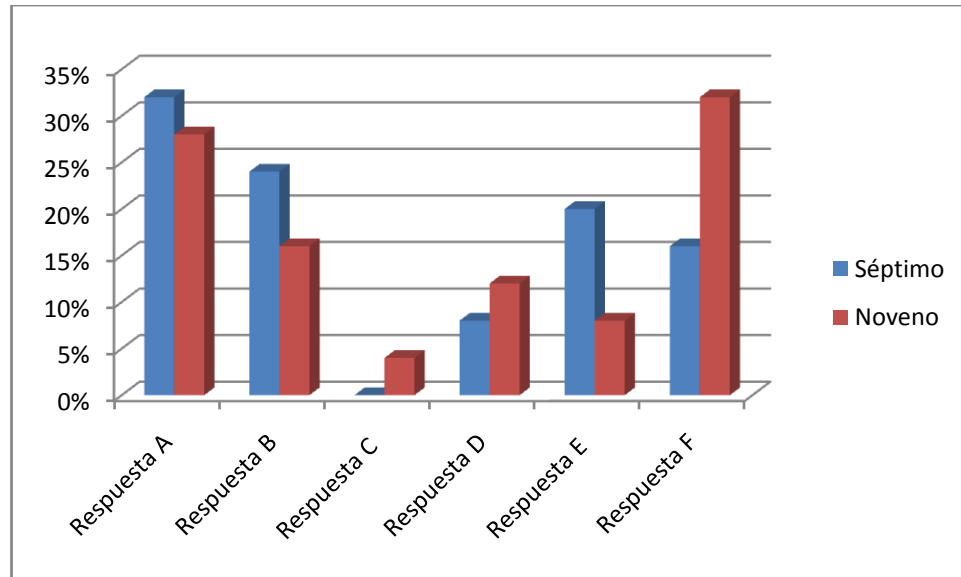
3. En las células procariotas fotosintéticas, la fotosíntesis ocurre:

- A. En las membranas y el citoplasma**
- B. Solo en la membrana nuclear
- C. Solo en el cloroplasto
- D. Solo en la mitocondria
- E. Solo en la pared celular
- F. No contesta

De acuerdo con los resultados de la Figura 5.3 se evidencia que aproximadamente una tercera parte de los estudiantes de séptimo parece comprender cuál es el sitio donde se realiza la fotosíntesis en los organismos procariotas. Sorprende también que una tercera parte de los estudiantes de noveno decida no contestar la pregunta. En términos generales, puede decirse que los conceptos de los estudiantes sobre células procariontes son muy variados, por tanto sus respuestas sobre el sitio dónde ellas efectúan la fotosíntesis no es un concepto acorde con lo que dicen los científicos. El nivel de abstracción necesario para responder este tipo de preguntas es alto y requiere que los estudiantes logren pasar de reconocer y diferenciar lo macro de lo microscópico, lo que lleva a que un buen número de ellos, tanto de séptimo como de noveno respondan la opción B “Solo en la membrana nuclear”, sin reconocer que la ausencia de esta es una

característica distintiva de los procariontes. También es un resultado inesperado los porcentajes de respuesta que corresponden a la opción C, que se refiere a los cloroplastos, donde en otros trabajos (Charrier et al., 2006). Se reportan mayores porcentajes por la analogía que establecen los estudiantes con el proceso fotosintético en las plantas.

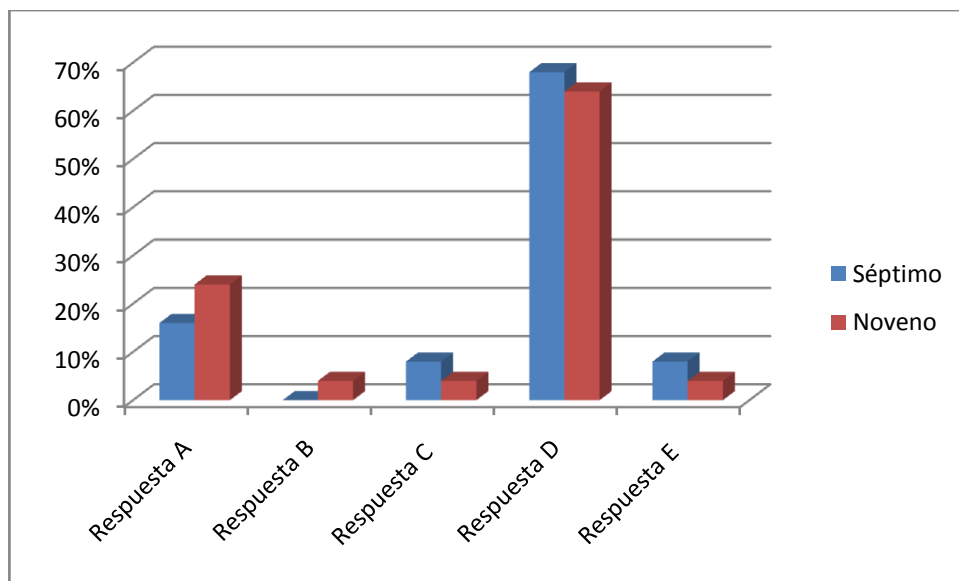
Figura 8.3 Respuesta a la pregunta: “En las células procariotas fotosintéticas, la fotosíntesis ocurre:...”



4. La respiración celular ocurre en:

- A. Solo en los protistas y los hongos
- B. Solo en los animales
- C. Solo en las plantas
- D. En los animales y las plantas**
- E. No contesta

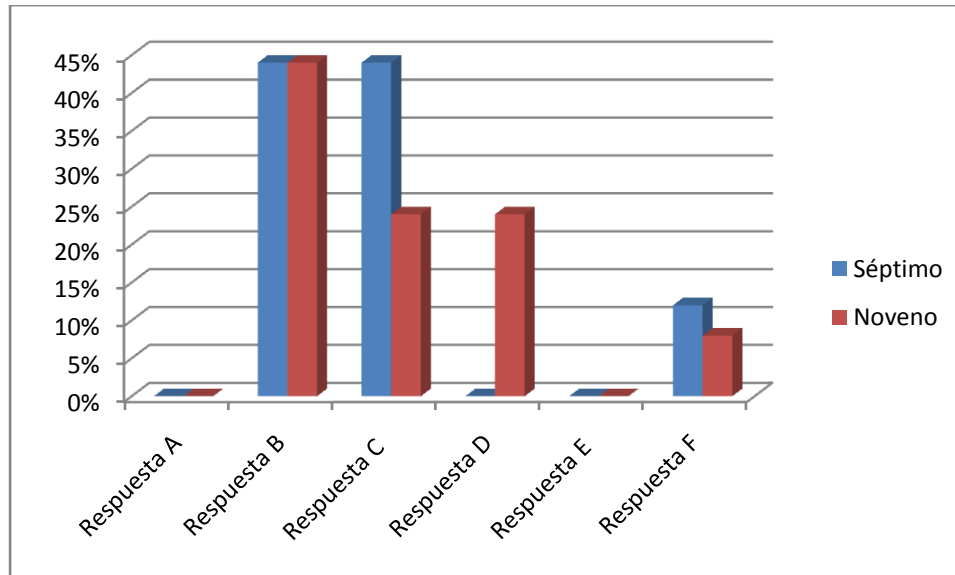
Los porcentajes altos a la respuesta esperada, 68% en séptimo y 64% en noveno, evidencian que los estudiantes reconocen la importancia de la respiración para la vida de los seres vivos. Sin embargo, habría que analizar más detenidamente, el grado de influencia que tienen sobre las concepciones, la forma de preguntar y las opciones de respuesta que se dan, ya que ellas pueden condicionar el ítem que elijan los niños (Figura 5.4). De igual manera es conveniente explorar también ciertas concepciones de los estudiantes acerca de los organismos anaerobios y procesos fermentativos, donde se presentan falencias conceptuales.

Figura 8.4 Respuesta a la pregunta: “La respiración celular ocurre en...”

5. Las plantas:

- A. no respiran
- B. respiran de día y de noche**
- C. de día hacen fotosíntesis y de noche respiran
- D. de noche hacen fotosíntesis y de noche respiran
- E. respiran solo de noche
- F. no contesta

Sobre la respiración en las plantas es interesante observar, de acuerdo a la Figura 5.5 que un buen número de estudiantes de grado séptimo no responde a esta pregunta (el 12% no contesta). Así mismo, cerca del 43% elige la opción esperada y otro 43% afirma que las plantas de día hacen fotosíntesis y de noche respiran, esto coincide con lo observado por (Charrier et al., 2006). Los autores mencionados señalan que esta es una concepción alternativa muy arraigada y frecuente en los estudiantes. Lo mismo se observa en los estudiantes de grado noveno, quienes adicionalmente en un 24% elijen la opción D, afirmando que las plantas respiran y hacen fotosíntesis de noche, es decir este grupo presenta unas concepciones alternativas sobre el funcionamiento de las plantas.

Figura 8.5 Respuesta a la pregunta: “Las plantas...”

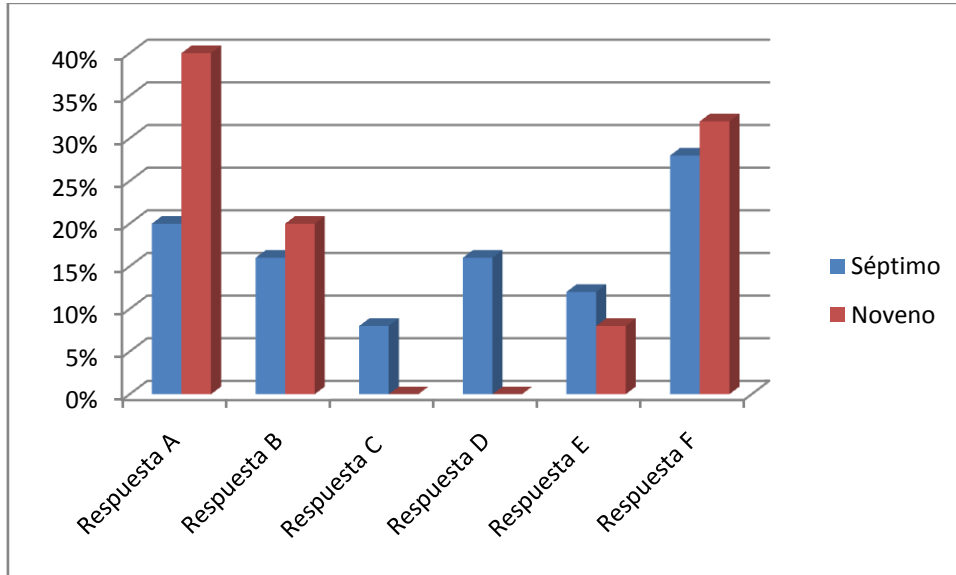
5. En las células eucariotas la respiración celular ocurre:

- A. En cualquier lugar de la célula
- B. En la mitocondria
- C. En el cloroplasto
- D. En el citoplasma y en la mitocondria**
- E. En el citoplasma y en el cloroplasto
- F. No contesta

El análisis de los resultados de la pregunta 6 se presenta en la Figura 5.6. Allí se evidencian las concepciones alternativas acerca de donde ocurre la respiración celular, el 20% de los estudiantes de séptimo y el 40% de los de noveno, están de acuerdo en que el proceso ocurre en cualquier lugar de la célula, el 16% de séptimo y el 20% de noveno identifican que ocurre en la mitocondria. Los estudiantes de séptimo presentan respuestas más dispersas por las diferentes opciones, aunque son de nuevo los del grado séptimo los que superan el porcentaje de estudiantes que eligieron la respuesta esperada (opción D) con un 16% ante un 0% de noveno. Un alto porcentaje de los estudiantes de séptimo y noveno no contestaron esta pregunta, el 28% y el 32% respectivamente.

Según (Charrier et al., 2006). “la asociación entre respiración celular y mitocondria es tan grande que rápidamente los alumnos se olvidan que la glicólisis ocurre a nivel del citoplasma. Una vez más se comprueba que los propios profesores y los libros de texto pueden ayudar a reforzar las concepciones alternativas de los alumnos.”

Figura 8.6 Respuesta a la pregunta: “En las células eucariotas la respiración celular ocurre...”

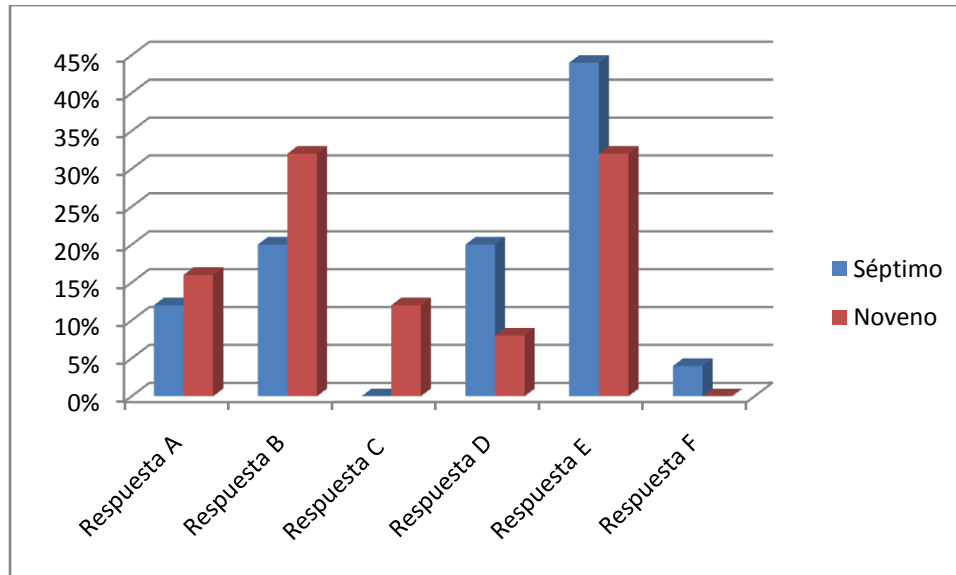


5. Para la fotosíntesis se requiere:

- A. Agua
- B. Energía lumínica
- C. Clorofila
- D. Dióxido de carbono
- E. Todos los anteriores**
- F. Ninguno de los anteriores

La observación de los resultados registrados en la Figura 5.7, muestra que el 44% de los estudiantes de grado séptimo, reconocen la importancia del agua, la energía lumínica, la clorofila y el dióxido de carbono para el proceso de la fotosíntesis. El resto de estudiantes tiene concepciones alternativas, ellos opinan unos que para la fotosíntesis se requiere solo dióxido de carbono (aproximadamente el 18%) y otros que es indispensable la energía lumínica (18%). El 31% de los estudiantes de noveno opinan que se requieren tanto la luz como el agua, la clorofila y el dióxido de carbono; mientras que, un porcentaje igual señala que solo se requiere la energía lumínica.

Aquí podemos inferir que en los estudiantes que no marcaron la opción esperada, las ideas alternativas siguen prevaleciendo, ellos perciben el proceso de fotosíntesis de manera fragmentada y no logran establecer que ella requiere de diversos factores, que en su conjunto son indispensables. De manera similar ocurrió en el desarrollo histórico-epistemológico del concepto, ya que solo con el tiempo se pudo ir estableciendo la importancia y necesidad absoluta de cada uno de los factores o productos mencionados (agua, energía lumínica, clorofila, dióxido de carbono).

Figura 8.7 Respuesta a la pregunta: “Para la fotosíntesis se requiere...”

8.2 Conclusiones sobre las ideas previas de los estudiantes

La discusión y el análisis de los resultados de la encuesta evidencian que:

Tras el paso por la escuela algunas ideas alternativas sobre la fotosíntesis se sustituyen por las científicas, pero después con el tiempo nuevamente se manifiestan. En el caso particular de los estudiantes del colegio José María Carbonell, este proceso se presenta ya que los estudiantes del ciclo III dan respuestas más acordes con lo esperado. Esto se evidencia, en este trabajo, debido a que los estudiantes del ciclo IV manifiestan nuevamente las ideas previas o alternativas. En parte la explicación estaría en que no existe continuidad de ciertos temas en el currículo. En la malla curricular del colegio no hay continuidad ni espacios adecuados que faciliten el afianzamiento de los conceptos a medida que se avanza en los ciclos.

Así por ejemplo, la asociación de fotosíntesis y el factor luz, es más frecuente en los estudiantes del ciclo 3, porque lo han estudiado recientemente, pero no así en los del ciclo 4, pues este tema no se refuerza ni se continúa su estudio y ello permite que adopten nuevamente las ideas previas.

Con relación al objetivo principal de la fotosíntesis, se encuentra arraigada en ambos ciclos, que este corresponde a la producción de oxígeno, y esta respuesta evidencia la dificultad de desplazar ciertas ideas alternativas, que se implantan gracias a visiones antropocéntricas más fuertes.

A pesar de tratar los temas sobre organismos procariotas y eucariotas recientemente, los estudiantes del ciclo IV, no parecen haber incorporado de forma significativa los nuevos conceptos, lo que permite inferir que sus preconcepciones son muy arraigadas y los métodos utilizados por los profesores poco eficientes para generar un cambio conceptual y un aprendizaje significativo.

9. Unidad didáctica. La fotosíntesis

La presente unidad didáctica está organizada con base en la propuesta de los autores (Daza y Arrieta, 2007).

9.1 Contenidos

Conceptuales. Los contenidos sobre fotosíntesis que se estudiarán están incluidos en el primer capítulo de este trabajo, su utilización parcial en la unidad didáctica puede requerir ajustes. En general en este trabajo se incluyen: Los cloroplastos, los pigmentos fotosintéticos, la clorofila, los carotenoides, la organización de los pigmentos en los tilacoides, las etapas de la fotosíntesis, la absorción de luz, la reducción y fijación de CO_2 , el ciclo de Calvin, el metabolismo C_4 , las plantas MAC y el efecto de factores ambientales sobre la fotosíntesis. En esta unidad didáctica las ideas claves a desarrollar son:

1. Las plantas verdes son sistemas organizados cuyas unidades básicas son las células.
2. Las plantas verdes absorben y transforman la energía lumínica para realizar sus funciones y construir sus estructuras.
3. Las plantas verdes fabrican el alimento que necesita la mayoría de los seres vivos.
4. En la fotosíntesis se utiliza la energía lumínica, el CO_2 y el agua para sintetizar compuestos ricos en energía.
5. Como resultado de la fotosíntesis se fabrican, en los cloroplastos, los alimentos para la planta y se produce, adicionalmente, oxígeno.

Procedimentales. Inicialmente se procederá a explorar las ideas previas de los estudiantes y se contrastarán con las obtenidas en este trabajo y con el desarrollo histórico del proceso de fotosíntesis, también mencionado.

Como parte de los procedimientos se utilizará la fabricación del pan que es un proceso conocido por el alumnado (análogo) y sirve para favorecer la comprensión de la fotosíntesis, que es el objeto de enseñanza (tópico). Usando esta analogía pueden relacionarse los dos procesos en cuanto a que requieren energía, demandan de materiales iniciales y permiten la obtención de productos finales.

Los componentes del análogo son: Los ingredientes: (harina, agua, sal y levadura), la energía (horno) y el producto final (el pan).

Los componentes del tópico son: Las sustancias de partida (dióxido de carbono y agua), la energía (sol) y los productos finales (hidratos de carbono y oxígeno).

Se espera que los estudiantes planifiquen, indaguen, interpreten y comuniquen información.

Actitudinales. Se pretende que la participación en clase propicie el trabajo en grupo, favorezca que los estudiantes escuchen a los demás y respeten el uso de la palabra, participando en procesos de discusión, análisis y elaboración de hipótesis. Así mismo que ellos relacionen temas científicos o cotidianos y analicen algunos de los métodos que se utilizan en el ámbito de la investigación en ciencias y desarrollen sensibilidad y valoración sobre el papel que desempeñan las plantas en la naturaleza.

Objetivo. Elaborar una propuesta didáctica orientada al aprendizaje de la fotosíntesis, previo estudio y análisis de la evolución de este proceso, de las ideas que sobre él tienen los estudiantes y del uso de analogías en la enseñanza de la biología.

Aprendizajes esperados.

Comprender aspectos significativos del proceso de fotosíntesis, en especial los relacionados con los requerimientos, los procesos energéticos que involucra y los productos que se originan en todo el proceso.

Identificar la evolución de algunos conceptos relacionados con el proceso de fotosíntesis a través del tiempo.

Proponer explicaciones a situaciones nuevas a partir de la contextualización de los conocimientos.

Destinatarios. Estudiantes de los ciclos 3 y 4 de educación Básica del Colegio José María Carbonell.

Temporalidad. Cuatro sesiones de dos horas de clase cada una.

Recursos. Guías de trabajo para los grupos de estudiantes, implementos para la realización de las prácticas según la guía, horno, harina de trigo, levadura, margarina,

sal, agua; videos sobre la fotosíntesis y la elaboración del pan, software gratuito CmapTools.

9.2 Actividades de aprendizaje

Se propone una fase inicial de exploración sobre las ideas previas de los estudiantes y una posterior experimentación a partir de ellas, teniendo como eje los conceptos relacionados con el proceso de fotosíntesis y la aplicación de la analogía del pan. Para facilitar la incorporación de los nuevos conceptos, se utilizarán herramientas virtuales (Tecnologías de la Información y la Comunicación "TIC").

9.2.1 Exploración

Para reconocer las ideas previas o alternativas de los estudiantes y contrastarlas con aspectos histórico-epistemológicos, relacionados con el proceso de fotosíntesis, el docente motiva y coordina la organización de los estudiantes en grupos. A continuación les solicita que formulen hipótesis que expliquen y respondan preguntas como: ¿de dónde obtienen las plantas su alimento? ¿Qué requieren las plantas para su desarrollo? El maestro incentiva el dialogo e invita a que los estudiantes de cada grupo acuerden y escriban en una agenda las conclusiones de la discusión y reflexión sobre las preguntas planteadas. Así mismo, realiza una encuesta utilizando el cuestionario de ideas previas, cuyos resultados el maestro tabula y analiza.

9.2.2 Actividades de indagación iniciales

Se invitará a los estudiantes a buscar información sobre el tema y se les plantearán actividades prácticas relacionadas con el. Los diseños experimentales tendrán en cuenta el desarrollo histórico-epistemológico del proceso de fotosíntesis y las condiciones institucionales y docentes. Por ejemplo, se invita a los grupos a leer, analizar y concluir sobre la experiencia realizada en el siglo XVII, por Van Helmont. El texto para la lectura en grupo sugerido sería: " Van Helmont plantó un sauce de cinco libras en un recipiente con doscientas libras de tierra seca. Solo añadió el agua de riego necesaria durante un periodo de cinco años y así obtuvo una planta de 169 libras. Teniendo en cuenta que del peso inicial la materia con el suelo solo perdió dos onzas, el atribuyó esta pérdida de peso a errores en la medida. La conclusión de Van Helmont fue que la planta solo requería del agua sin necesitar ningún otro componente del suelo. La importancia de la experiencia de Van Helmont no se encuentra en la conclusión que plantea; en su momento muy lógica, sino en que fue el primer estudio de carácter cuantitativo realizado en organismos vivos, pesando y calculando los cambios de pesos producidos (Asimov, 1968).

Otro ejemplo, puede ser el planteado por los autores como Daza y Arrieta (2007). Estos autores a partir de las preguntas, ¿a dónde va el agua que las plantas toman del suelo?, ¿llegará a todas las partes de la planta?, proponen el estudio de un texto y la formulación de hipótesis basadas en la investigación planteada por Hales en el siglo XVIII, cuando se preguntó ¿cuál será el recorrido del agua a través de la planta? “El análisis de este texto genera una aproximación a la idea de transformación en el interior de las plantas verdes, cuestión clave para ir comprendiendo la fotosíntesis”. En el anexo se presenta la guía de trabajo que se propone a los estudiantes.

9.2.3 Aplicación de la analogía

Con el fin de incentivar la comprensión e incorporación de conceptos relacionados con el proceso de fotosíntesis, se utilizará una analogía de uso frecuente en biología, particularmente la relacionada con la “elaboración del pan y la fotosíntesis”. Siguiendo la guía preparada con anterioridad se invita a los estudiantes a elaborar pan casero utilizando: harina, margarina, levadura, agua, sal y un horno, aprovechando su adquisición reciente por parte del Proyecto Ambiental Escolar del Colegio (ver guía anexa).

Indicaciones para el profesor/la profesora:

Tratamiento de la analogía *Elaboración del pan/Fotosíntesis*.

Transcripción: La fotosíntesis es parecida a la cocción del pan en un horno

Breve descripción: La fabricación del pan es un proceso conocido por el alumnado (análogo) que puede utilizarse para favorecer la comprensión de la fotosíntesis, que es el objeto de enseñanza (tópico). Usando esta analogía pueden compararse: la energía requerida, los materiales iniciales y los productos finales.

Los componentes del análogo son: Los ingredientes: (harina, agua, sal y levadura), la energía (horno) y el producto final (el pan).

Los componentes del tópico son: Las sustancias de partida (dióxido de carbono y agua), la energía (sol) y los productos finales (hidrato de carbono y oxígeno).

El pan es un producto que tiene diferentes formas y que, básicamente, se fabrica utilizando harina, agua, sal y levadura. Con estos ingredientes, se elabora la masa que posteriormente se crece, gracias a la energía suministrada por el horno. Esto es similar a lo que ocurre en la naturaleza, en un proceso que también necesita energía: la fotosíntesis. En este caso, la energía procede del sol y con ella, las plantas elaboran los hidratos de carbono necesarios y oxígeno. Para ello utilizan el dióxido de carbono y el agua como sustancias de partida.

9.2.4 Observación y análisis de de archivos virtuales

Los estudiantes observarán los videos sobre la fotosíntesis y la elaboración de pan en momentos diferentes, para inicialmente en los grupos y luego en plenaria analizar los aspectos relevantes de los temas haciendo un primer acercamiento a la analogía elaboración del pan/fotosíntesis.

Video 1. El proceso general de la fotosíntesis

<http://www.youtube.com/watch?v=qLD8tPJOYw>

<http://www.youtube.com/watch?v=ykllscyAGck&feature=related>

Video 2. Elaboración de pan

<http://youtu.be/EA8N9TiZsw4>

http://www.youtube.com/watch?v=9CRjsLw_Ysc&feature=related

9.2.5 Análisis y afianzamiento de conceptos

Se propone a los grupos de estudiantes inicialmente acordar y luego elaborar una cartelera, a manera de mapa conceptual, que relacione los conceptos entorno al proceso de fotosíntesis, de acuerdo con los criterios establecidos en el grupo. En un segundo momento los estudiantes, utilizando la herramienta virtual “CmapTools” Software desarrollado por el “Institute for Human and Machine Cognition” (IHMC), de la Universidad de West Florida (Estados Unidos), adaptarán a este programa su esquema. Este es un software gratuito que ofrece un ambiente virtual amigable y fácil de utilizar cuya característica es apoyar la construcción de modelos de conocimiento representados en forma de mapas conceptuales (ver anexo: Mapa conceptual en CmapTools).

9.3 Evaluación de la unidad didáctica

Inicialmente la evaluación se realizará mediante la observación en el aula del trabajo individual y grupal, con el fin de constatar si se están cumpliendo los objetivos y se ponen en práctica habilidades relacionadas con el trabajo en grupo, la participación, el dialogo y la discusión.

Igualmente se evaluarán los conceptos aplicando el cuestionario sobre ideas previas nuevamente y realizando una discusión en los grupos sobre las preguntas planteadas al

inicio. Con los resultados anteriores se analizará el desempeño de los estudiantes y se contrastarán los dos momentos, antes y después de aplicar la unidad.

De forma simultánea se obtendrán parámetros de ajuste, para modificar y mejorar la unidad didáctica.

La evaluación de competencias científicas se realizará teniendo en cuenta elementos como, identificación de problemas científicos y comunicación de significados entre otros, propuestos por Daza y Arrieta (2007).

10. Conclusiones y recomendaciones

10.1 Conclusiones

Después de realizar la indagación y el texto documentado sobre el proceso de fotosíntesis, es evidente la complejidad de los conceptos relacionados con él, y la necesidad de crear estrategias que permitan aclararlos.

La revisión de algunos aspectos histórico-epistemológicos ligados a la fotosíntesis, evidencia la similitud en las dificultades que ha tenido el hombre para comprender este proceso a través del tiempo, con las que presentan los estudiantes. "Los obstáculos que la historia ha debido superar son parecidos a los que deberían superar los alumnos" (Gagliardi y Giordan, 1986).

Explorar las ideas alternativas que sobre fotosíntesis tienen los estudiantes, permite considerar la revaluación de la enseñanza de estos conceptos por transmisión directa de conocimientos ya elaborados (Charrier et al., 2006).

Las ideas alternativas o preconcepciones, que poseen los estudiantes del colegio José María Carbonell sobre la fotosíntesis, no difieren sustancialmente de las reportadas por otros autores, demostrando este trabajo la universalidad de dichas ideas.

Este documento evidencia que los preconceptos o ideas alternativas pueden aparecer temprano en los primeros años escolares, que ellos se modifican con la enseñanza, por ejemplo en el ciclo III; pero se manifiestan nuevamente a medida que se avanza en la escolaridad, como en el ciclo IV.

La estrategia propuesta para aclarar los conceptos relacionados con el proceso de fotosíntesis, que se propone, se fundamenta en el desarrollo histórico-epistemológico de los mismos, en una invitación a la indagación y al uso de ambientes virtuales y de las analogías como recursos didácticos.

Este trabajo pretende servir de referencia para los docentes que reconocen la necesidad de reevaluar y actualizar sus prácticas pedagógicas y se espera que sea de utilidad en el proceso de enseñanza aprendizaje de los conceptos relacionados con la fotosíntesis.

10.2 Recomendaciones

Hay puntos a favor y en contra del uso de las analogías en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias. Por lo cual es indispensable que los docentes tengan claro y manejen adecuadamente, el tópico de enseñanza y la analogía que puede facilitar su comprensión. Si bien la analogía pudiera explicar con un alto grado de aproximación el fenómeno natural, es conveniente mantener una distancia prudencial entre ambos, el fenómeno o tópico y la analogía, para no crear confusiones mayores o perder la objetividad.

Es claro el potencial que ofrecen las tecnologías de la información y la comunicación (TIC), para los procesos de enseñanza y aprendizaje de temas como la fotosíntesis, por lo cual se propone profundizar en el estudio y uso adecuado de estas herramientas. Los objetos de aprendizaje, el aprendizaje electrónico (e-learning), entre otras posibilidades, pueden aportar al fortalecimiento y mejoramiento de la calidad de la educación.

11. Bibliografía

- [1] ASIMOV, Isaac. Fotosíntesis. Editorial Plaza y Janes, Barcelona, 1968. 121p.
- [2] AZCON, Joaquín y TALON, Manuel. Fisiología y bioquímica vegetal. McGraw Hill – Interamericana de España. Madrid: 1993. 581 p.
- [3] BARCELÓ, Juan, RODRIGO, Nicolás, SABATER, Bartolomé y SÁNCHEZ, Ricardo. Fisiología Vegetal. Editorial Pirámide S. A. Madrid: 1983. 813 p.
- [4] CAMPBELL, Neil y REECE, Jane. Biología. Editorial Médica Panamericana S. A. Madrid: 2005. 1351 p.
- [5] CHARRIER, María, CAÑAL, Pedro y RODRIGO, Maximiliano. Art. Las concepciones de los estudiantes sobre la fotosíntesis y la respiración: una revisión sobre la investigación didáctica en el campo de la enseñanza y el aprendizaje de la nutrición de las plantas. En: Enseñanza de las Ciencias, 2006, 24(3), 401-410.
- [6] COGUA, Jorge. Curso virtual de fisiología vegetal. Bogotá, D. C.: Universidad Nacional de Colombia. {10 agosto de 2011} disponible en:
http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap01/06_08.htm
- [7] CURTIS, Helena y BARNES, Sue. Biología. Editorial Panamericana, 2001. pp. 961-964.
- [8] DAZA, Silvio y ARRIETA, José, La Fotosíntesis: una propuesta didáctica a través del hilo conductor de la historia y la ciencia. Revista Educación en ciencias e ingenierías. Universidad de la Paz, 2007, 5 (1), 55-64.
- [9] DOMINGOS-GRILO, Paula, MELLADO, Vicente y RUIZ, Constantino, Evolución de las ideas alternativas de un grupo de alumnos portugueses de secundaria sobre fotosíntesis y respiración celular. Revista de Educación en Biología, 2004, 7 (1), 10-20.
- [10] EISEN, Yehudit y STAVY, Ruth. Material cycles in nature. A new approach to teaching photosynthesis in Junior High School. The American Biology Teacher, 1992, 54(6), pp.339-342.

- [11] FERNÁNDEZ, José, GONZALEZ Benigno y MORENO, Teodomiro. Las analogías como modelo y como recurso en la enseñanza de las ciencias, Editorial Alambique 2003, 35,pp. 82-89.
- [12] GAGLIARDI, Raúl y GIORDAN, André. La historia de las ciencias: una herramienta para la enseñanza: Enseñanza de las ciencias, Laboratorio de didáctica y epistemología de las ciencias, Universidad de Ginebra, 4(3). 1986. 46.
- [13] GARCIA BREIJO, Francisco José, ROSELLÓ Josefa y SANTAMARIA, María Pilar. Introducción al funcionamiento de las plantas. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, 2006. 183 p.
- [14] HENAO, Rafael y otros. Diagnóstico Local con participación social: Localidad 4 San Cristóbal. Editor Secretaria Distrital de Salud, 2005.
- [15] MEDINA, María , FERNANDEZ, José, GONZÁLEZ, Benigno y TEJERA, Carmelo. Analogías de uso frecuente en la enseñanza de la biología, en: XXI encuentros de didáctica de las ciencias experimentales, San Sebastián, 2004. 10 p.
- [16] MELGAREJO, Luz Marina. Experimentos en fisiología vegetal. Bogotá, D. C.: Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2010. pp. 66-68.
- [17] QUINTANILLA, Mario, DAZA, Silvio, MERINO, Cristian. Unidades didácticas en biología y educación ambiental. Su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico. Fondecyt, 2010. Volumen 4 pp. 12-32
- [18] SALISBURY, Frank y ROSS, Cleon. Fisiología vegetal. Editora Iberoamérica, México, 1994. 759 p.

A. Anexo: Cuestionario de la encuesta

IED JOSE MARIA CARBONELL

AREA CIENCIAS NATURALES Y EDUCACION AMBIENTAL

PRUEBA PILOTO FOTOSINTESIS

LIC. JORGE ENRIQUE SAENZ GUARIN

FECHA: 22/09/11 GRADO: Septimo CICLO: 3 DOC _____

Lea y subraye el ítem o numeral que mejor complementa cada una de las siguientes afirmaciones:

1. LAS PLANTAS REALIZAN LA FOTOSINTESIS:
 - A. SOLO DE DIA
 - B. SOLO DE NOCHE
 - C. DE DIA Y DE NOCHE
 - D. DE DIA Y DE NOCHE EN PRESENCIA DE LUZ
 - E. NO CONTESTA

2. LA PRINCIPAL FINALIDAD DE LA FOTOSINTESIS ES:
 - A. PRODUCIR OXIGENO
 - B. PRODUCIR MATERIA ORGÁNICA
 - C. PRODUCIR AGUA
 - D. CONSUMIR DIOXIDO DE CARBONO
 - E. PRODUCIR VITAMINAS
 - F. NO CONTESTA

3. EN LAS CELULAS PROCARIOTAS FOTOSINTETICAS, LA FOTOSINTESIS OCURRE:
 - A. EN LAS MEMBRANAS Y EL CITOPLASMA
 - B. SOLO EN LA MEMBRANA NUCLEAR
 - C. SOLO EN EL CLOROPLASTO
 - D. SOLO EN LA MITOCONDRIA
 - E. SOLO EN LA PARED CELULAR
 - F. NO CONTESTA

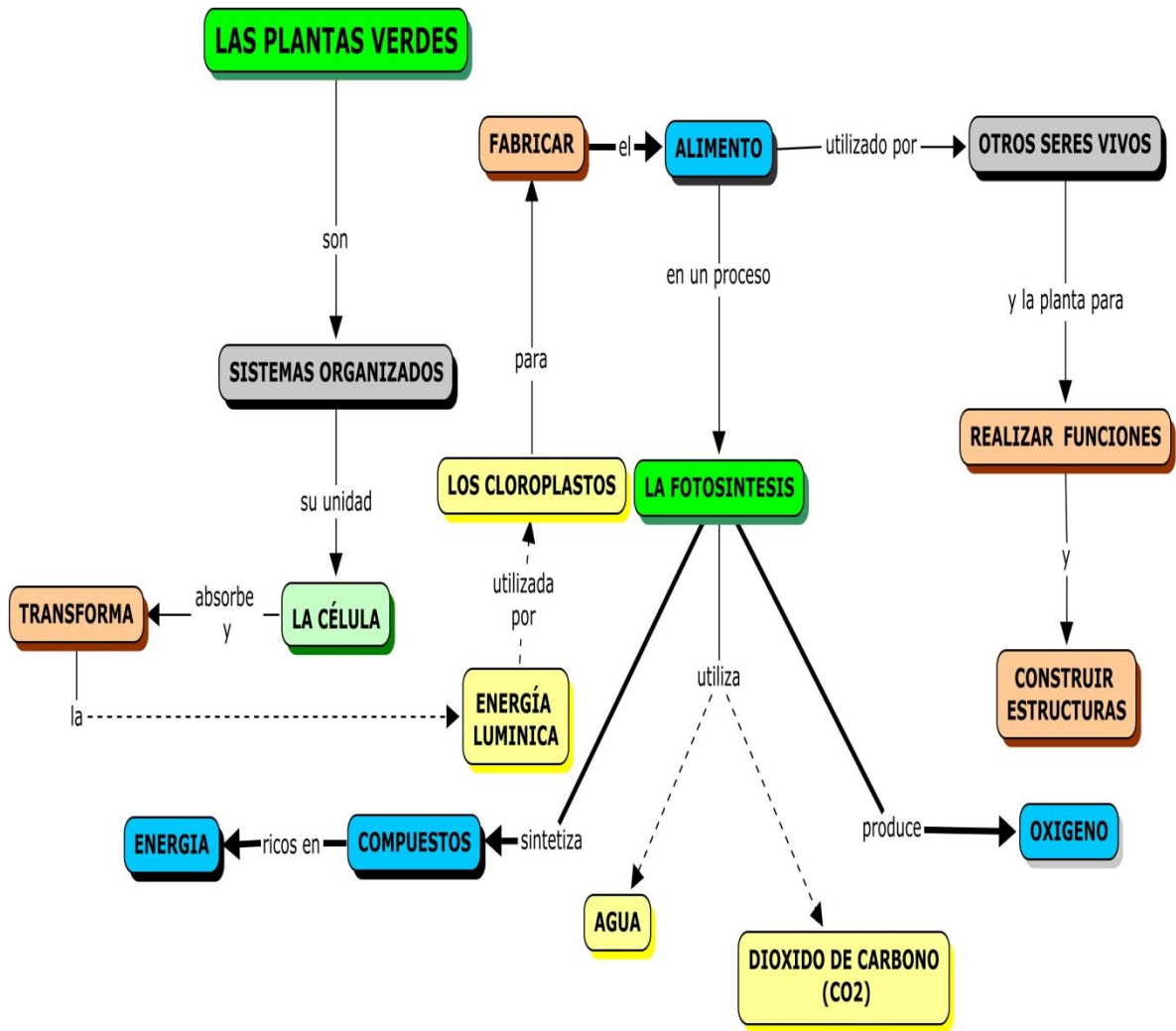
4. LA RESPIRACIÓN CELULAR OCURRE EN:
 - A. SOLO EN LOS PROTISTAS Y LOS HONGOS
 - B. SOLO EN LOS ANIMALES
 - C. SOLO EN LAS PLANTAS
 - D. EN LOS ANIMALES Y LAS PLANTAS
 - E. NO CONTESTA

5. LAS PLANTAS:
- A. NO RESPIRAN
 - B. RESPIRAN DE DÍA Y DE NOCHE
 - C. DE DÍA HACEN FOTOSÍNTESIS Y DE NOCHE RESPIRAN
 - D. DE NOCHE HACEN FOTOSÍNTESIS Y DE NOCHE RESPIRAN
 - E. RESPIRAN SOLO DE NOCHE
 - F. NO CONTESTA
6. EN LAS CELULAS EUCARIOTAS LA RESPIRACION OCURRE:
- A. EN CUALQUIER LUGAR DE LA CÉLULA
 - B. EN LA MITOCONDRIA
 - C. EN EL CLOROPLASTO
 - D. EN EL CITOPLASMA Y EN LA MITOCONDRIA
 - E. EN EL CITOPLASMA Y EN EL CLOROPLASTO
 - F. NO CONTESTA
7. PARA LA FOTOSÍNTESIS SE REQUIERE:
- A. AGUA
 - B. ENERGIA LUMÍNICA
 - C. CLOROFILA
 - D. DIÓXIDO DE CARBONO
 - E. TODOS LO ANTERIORES
 - F. NINGUNO DE LOS ANTERIORES

OBSERVACIONES:

que es muy buena saber de estos temas
y saber que hace y como es y me
parece muy importante que todos y todas
sepan:

B. Anexo: Mapa conceptual en CmapTools



C. Anexo: Guía de trabajo para los estudiantes

COLEGIO JOSE MARIA CARBONELL I.E.D.

GUÍA DE APRENDIZAJE: LA FOTOSÍNTESIS

Área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental.

Ciclo: III Grado: Séptimo

Modulo de formación: Procesos biológicos: Fotosíntesis

Docente responsable: Jorge Enrique Sáenz Guarín

Metas: Propiciar el trabajo en grupo, favorecer que los estudiantes escuchen a los demás y respeten el uso de la palabra, participando en procesos de discusión, análisis y elaboración de hipótesis.

Mejorar la comprensión acerca del proceso de fotosíntesis y el papel de las plantas en la naturaleza.

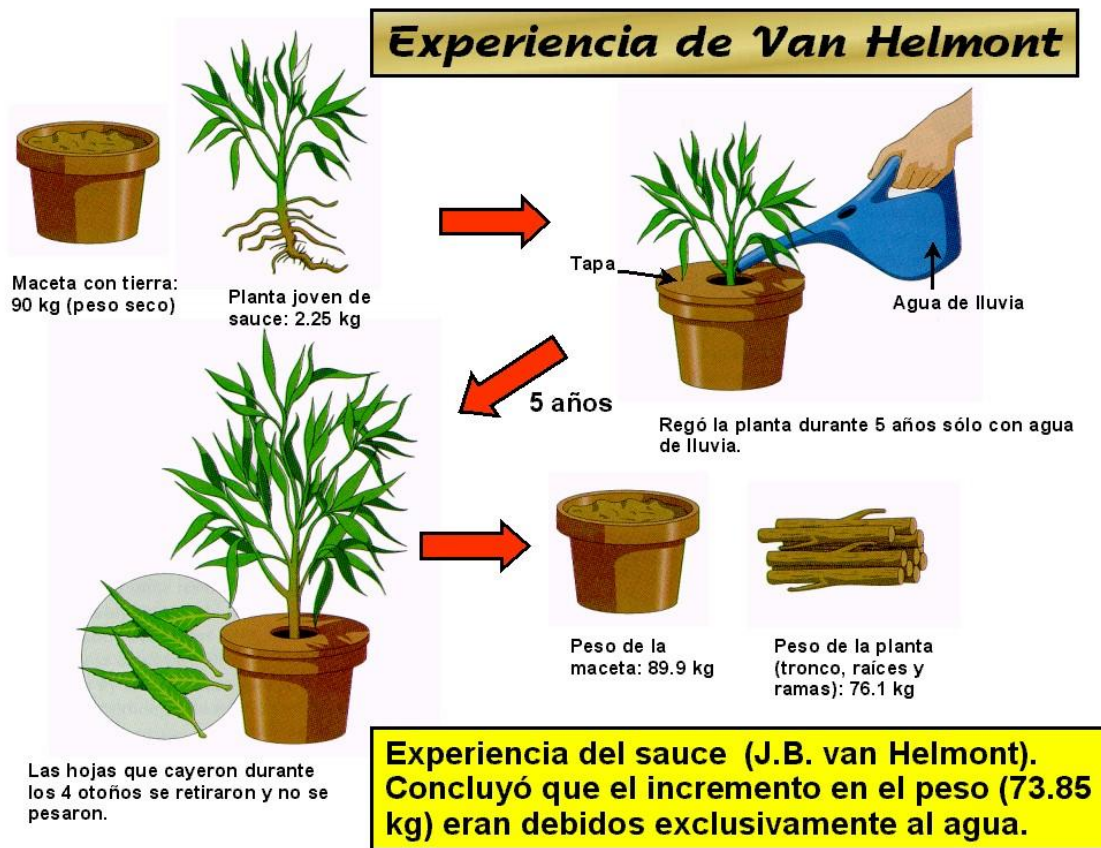
Recursos: guía de trabajo, laboratorio de ciencias, biblioteca escolar, internet, carteleras, ingredientes para hacer pan.

Actividad 1. ¿De dónde obtienen las plantas su alimento?

- a. Conformar grupos de hasta cuatro estudiantes para leer y analizar el siguiente texto:

“Van Helmont consideraba el aire y el agua como los elementos básicos del Universo, y a ésta última como el principal constituyente de la materia. Creyó probada su hipótesis cuando al cultivar un árbol con una cantidad medida de tierra, específicamente un Sauce llorón (los miembros de esta familia tienen preferencia por los hábitats húmedos, las llanuras inundadas y las riberas fluviales, siendo una especie de reconocido rápido crecimiento), y adicionando únicamente agua durante un período de cinco años, el árbol aumentó su masa en 73,85 kilogramos, mientras que la tierra disminuyó la suya en tan sólo 500

gramos. Supuso, erróneamente, que el árbol había ganado masa sólo por el agua que había tomado, sobre todo de las lluvias”.



Una vez leído el texto y realizar una reflexión y acordar una interpretación sobre los resultados de Van Helmont. Contestar la siguiente pregunta ¿Por qué se supone que el árbol ganó masa por el agua captada?

- Formular hipótesis al respecto y anotarlas en una bitácora.
- Plantear un modelo experimental que reproduzca la experiencia de Van Helmont, en menos tiempo pero con resultados similares.
- Buscar información sobre el tema en la biblioteca escolar o en internet, para elaborar y complementar un registro escrito y detallado de cada aspecto de la presente actividad.
- Preparar un debate para socializar con todos los compañeros y el profesor los resultados.

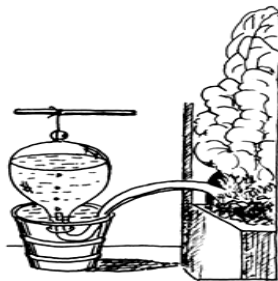
Actividad 2. ¿Cuál podría ser el recorrido del agua a través de la planta?

- a. Conformar grupos de hasta cuatro estudiantes para leer y analizar el siguiente texto:

“En el siglo XVIII, Hales vertió en un tubo que había fijado a un árbol de manzanas golden, un cuarto de licor de vino alcanforado que fue absorbido por el tallo en el espacio de tres horas, hizo esto para ver si las manzanas tomaban el sabor alcanforado, no percibió ninguna alteración en el olor ni en el sabor de las manzanas, en cambio, el olor era muy fuerte en los peciolos de las hojas y de las ramas. Repitió el experimento con una vid, utilizando agua perfumada con olor a naranja, el olor no penetro en las uvas, pero sí en los peciolos y en la madera.

Volvió a repetir el experimento con dos ramas separadas de peral, esta vez con fuertes infusiones de safrán y flores, unos 30 días antes de que las peras estuviesen maduras, pero no puede percibir ningún sabor de las infusiones en las peras; aunque en todos los casos los vasos de la sabia del tallo y de las hojas estaban profundamente impregnados, no fue así en las frutas”.

- b. Formular hipótesis al respecto y anotarlas en una bitácora.
- c. Plantear un modelo experimental que reproduzca la experiencia de Hales.
- d. Buscar información sobre el tema en la biblioteca escolar o en internet, para elaborar y complementar un registro escrito y detallado.
- e. Preparar un debate para socializar con todos los compañeros y el profesor los resultados.



Actividad 3. La fotosíntesis y el pan: Cómo hago pan casero

- a. Conformar grupos de hasta cuatro estudiantes.
- b. Realizar un mapa conceptual sobre la *elaboración del pan*, previa *investigación sobre el tema en la biblioteca escolar o en internet*. Simultáneamente y dividiendo tareas otros compañeros del grupo, deberán trabajar en un mapa conceptual para el proceso de la fotosíntesis, también previa investigación.
- c. Los mapas conceptuales elaborados serán sustentados en la clase para lo cual usarán como recurso las carteleras.
- d. Con el programa CmapTools, transcribir el mapa conceptual y personalizarlo.
- e. Observar los videos sobre la fotosíntesis y la elaboración del pan
- f. Socializar en plenaria del trabajo que han realizado, y comparar los dos procesos: fotosíntesis/elaboración del pan, para luego establecer y analizar las relaciones que se presentan.
- g. Realizar un informe detallado de las actividades propuestas con las conclusiones que se puedan generar.

Ahora sí, manos a la masa, haremos pan casero, para lo cual tendremos en cuenta:

Ingredientes para un pan de 30 cm.

750 gr. harina, una cucharadita de levadura seca (equivalente a 15 gr. levadura fresca), media cucharada de sal, 450 cc. Agua tibia. Semolina o harina, para la mesa.

Elaboración.

1º Mezcla.

Tamiza la harina y la sal sobre un cuenco. Mezcla la levadura con el agua tibia, pero sin sobrepasar los 40°C, ya que destruiría el fermento vivo. Si usar levadura fresca, deja reposar unos **15 minutos** la mezcla de levadura con el agua, hasta que forme burbujas en la superficie.

Haz un hueco en el centro de la harina, y vierte la mezcla de levadura, removiendo a fondo con las manos hasta que la masa se desprenda de los bordes. Si ves que está demasiado blanda y húmeda, añade algo más de harina. Si está muy seca, humedece un poco la masa.



2º Amasado y refinado.

Pasa a la mesa enharinada y amasa a fondo durante **15 minutos**. Para ello sujeta la masa con una mano y, con la palma de la otra, estira la masa extendiéndola hasta que empiece a rasgarse. Dobla luego sobre si misma al mismo tiempo que la retuerces ligeramente (un par de giros). Continúa extendiendo, doblando y retorciendo la pasta con un movimiento rítmico y regular, durante 15-20 minutos.

La pasta estará lista cuando no esté pegajosa, se extienda fácilmente y se note suave al tacto.



3º Primera fermentación.

Lava bien el cuenco, unta con aceite ligeramente e introduce dentro la masa. Cubre con film transparente, para mantener la humedad, y deja fermentar en lugar tibio hasta que duplique su volumen, entre **una hora u hora y media**. Se conoce el punto cuando al presionar con el dedo la huella desaparece muy lentamente.



4º Segundo amasado.

Pasa la masa a la mesa y, haciendo una presión ligera con la palma de la mano, ve amasando la masa en sentido circular, doblando los bordes hacia el centro, repitiendo el proceso. Cuando tenga forma redondeada, da la vuelta al pan dejando los pliegues en la base.

Cubre el pan con un trapo limpio y deja **reposar 10-15 minutos**. Repite el amasado anterior, para dar forma redonda de nuevo.



5º Segunda fermentación.

Esta segunda fermentación es la que dará esponjosidad al pan. Coloca el pan sobre una tabla lisa enharinada y cubre con un lienzo seco. Deja fermentar en sitio cálido durante **50 minutos**.

Los tiempos de fermentación son aproximados, ya que dependen mucho de la temperatura ambiente y la humedad, incluso del tipo y cantidad de levadura utilizada.



6º Horneado.

Enciende al horno a **230º**. Para obtener una atmósfera húmeda introduce una **bandeja con agua caliente** en la base del horno. Introduce la bandeja del horno a media altura, para que se vaya calentando.



Una vez el pan haya subido lo suficiente, haz una **incisión poco profunda** en la superficie, con una hoja de afeitar o cuchillo muy afilado, para que desarrolle más corteza. Desliza el pan en la bandeja del horno, pulveriza con agua fresca el horno. El vapor es fundamental para la formación de la corteza.

A los 20 minutos, tiempo durante el cual el pan sigue subiendo, retira la bandeja con agua del horno. Sigue la cocción otros 15-20 minutos, baja la temperatura a **200°** y deja acabar el horneado, hasta que el pan esté cocido. Esto lo sabremos cuando al golpear la base con los nudillos suene a hueco.

7º Enfriado.

Deja enfriar sobre rejilla. No lo cortes hasta que esté completamente frío, mejor incluso al día siguiente, que habrá perdido el exceso de humedad.

Degustación, consejos.³

Hacer pan requiere más paciencia que esfuerzo, por los largos tiempos de fermentación y reposo. Aquí explicamos **cómo hacer pan casero, receta**, que es la preparación básica. Si queremos un pan más rústico, podemos sustituir una pequeña parte de la harina blanca por harina de centeno, integral o harina de cebada. Además podemos aromatizar la masa con aceite de oliva, ideal para pizzas y foccacias.

Evaluación de actividades.

Algunos criterios de valoración del mapa conceptual.

Criterio	Buena	Regular	Malo
Presentación			
Conectores			
Claridad de la propuesta			
Coherencia			
Comprensión de ideas			
Gramática y ortografía			

³ Consultado en: <http://www.directoalpaladar.com/recetas-de-panes/como-hacer-pan-casero-receta>

Algunos Criterios de valoración para el trabajo en equipo.

Criterio	Si	No	Recomendación
Planificamos el trabajo			
Distribuimos la tarea			
Respetamos los roles			
Respetamos los tiempos			
Respetamos al grupo			
El resultado ha sido el esperado			

Notas acerca de la guía del profesor:⁴

1. Redactar una pequeña introducción en la que se brinde información general del tema y las actividades a desarrollar.
2. De forma práctica, diseñar actividades que permitan establecer los conocimientos previos de los estudiantes con respecto al tema.
3. Incluir en la guía las lecturas pertinentes al tema y organizar en un computador los archivos y documentos que deben consultar o incluirlos en el blog del curso.
4. Identificar en la planeación metodológica, las evidencias de desempeño donde el estudiante tenga que desarrollar competencias (argumentativa, interpretativa, propositiva, etc).
5. Al final de la guía incluir espacios para la evaluación de las actividades.
6. Al final puede ser importante incluir un Glosario, para definir las palabras nuevas que se encuentran en la guía, cuyo significado sea realmente complicado para los estudiantes.
7. Incluir la bibliografía pertinente.

⁴ Modificado de: <http://www.slideshare.net/malicosi/como-elaborar-una-guia-de-aprendizaje-presentation>