

CONCEPTO FOTOSÍNTESIS EN PROFESORES DESDE EL ANÁLISIS DE SUS MODELOS MENTALES

Acosta M., Navarro D., Arteta J., Nieto S., Ramírez C.
Universidad del Norte. Barranquilla, Colombia

López A.
Universidad Pedagógica Nacional. México

RESUMEN: El presente estudio es una aproximación a los modelos mentales sobre el concepto fotosíntesis en cuatro profesores que enseñan ciencias naturales, en 5º y 11º de Educación Básica y Media respectivamente, de escuelas estatales de Barranquilla, Colombia. Se desarrolló como diseño metodológico un estudio de casos múltiples. Los resultados se analizan desde una metodología de corte cualitativo, describiendo dos aspectos del modelo del profesor: el constituyente ontológico y el epistemológico, mediante la aplicación del modelo ONEPSI (Gutiérrez 2001). El modelo mental explicativo del profesor, se contrasta con el Modelo Científico del concepto fotosíntesis y finalmente se muestran sus alcances y limitaciones, al tiempo que se presenta una reflexión crítica respecto a la enseñanza de este concepto crucial frente a los retos ambientales de nuestro planeta.

PALABRAS CLAVE: Fotosíntesis, modelos mentales, profesores.

OBJETIVO: El propósito general de la investigación fué describir los modelos mentales acerca del concepto fotosíntesis, evidenciados en cuatro profesores que enseñan Ciencias Naturales, en términos de entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia y contrastarlas con el modelo científico erudito.

MARCO TEÓRICO

Respecto a la teoría de los modelos mentales, Johnson-Laird (1983) plantea que estos son bloques cognitivos que se pueden combinar y recombinar de acuerdo a las circunstancias. Gutiérrez (2005) aclara que el propósito de un modelo mental es facilitar al sujeto la comprensión de un sistema (físico y social) anticipando su comportamiento en él.

Para Gómez (2014) un modelo se define como una trama de ideas organizada y jerarquizada; son abstractos y contruidos para comprender e intervenir en los fenómenos del mundo; contienen entidades y relaciones que pueden expresarse en forma de leyes, conceptos e hipótesis y también analogías y metáforas.

La definición anterior es coherente con lo que plantea Gutiérrez (2001) para el Modelo ONEPSI cuando propone el establecimiento de dos representaciones: la primera integrada por propiedades que son asignadas a ciertas entidades y la segunda representación cuando éstas entidades se conectan en una trama conceptual que involucra una relación causa-efecto, donde es posible inferir aspectos intrínsecos de los modelos mentales.

Las entidades son “unidades operacionales utilizadas para pensar, comunicar y actuar; son constructos conceptuales que se caracterizan por su comportamiento dentro de los límites del modelo y a veces también por su estructura”. (Gómez, 2014, 52). Las propiedades son rasgos, atributos o características que posee algún objeto, ya sea conceptual o material (Bunge, 2001)

Las entidades y propiedades por estar en la primera representación del modelo, se convierten en el constituyente *Ontológico* y la segunda representación en donde se involucran relaciones de las entidades son el constituyente *Epistemológico*. El constituyente *Psicológico*, no se abordado en la investigación, hace referencia a los aspectos emocionales inmersos en cada sujeto y por ende, en cada modelo mental que se externalice. En resumen, para Gutiérrez (2001) los modelos mentales recogen condicionantes Ontológicos, EPistemológicos y PSicológicos, resumidos en el llamado MODELO ONEPSI, nombre proveniente de las iniciales de los constituyentes. Para el caso de esta investigación sólo se aplicaron los constituyentes ontológico y epistemológico al análisis de los modelos de los docentes participantes y del Modelo Científico Erudito (MCE), término que es definido por Adúriz-Bravo e Izquierdo, para contrastar entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.

La Fotosíntesis En La Enseñanza De Las Ciencias

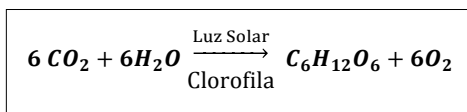
Barceló (1983) y Campbell y Reece, (2005) sostienen que la fotosíntesis es importante para la vida, por la producción de alimentos y oxígeno que se genera de ella, razones por las que se tiene en cuenta en el currículo, en los Estándares Básicos para el área de Ciencias Naturales. Garnica y Roa (2012) afirman que la fotosíntesis es un concepto difícil de aprender y de enseñar por ser estructurante de otros conceptos, tales como: ecosistemas, ambiente, célula, plantas, respiración, nutrición entre otros. Agregan que falta conocimiento de los maestros con relación a los hechos históricos relacionados con el desarrollo del concepto fotosíntesis.

Para la construcción del Modelo Científico Erudito (MCE) del concepto fotosíntesis en plantas verdes, se realizó una revisión de autores como Curtis y Barnes, (2001); Campbell y Reece (2005), sistematizado según los parámetros del modelo ONEPSI. Según lo anterior se presenta un fragmento de la aplicación del modelo ONEPSI al MCE del concepto fotosíntesis en plantas superiores verdes. (ver Tabla 1)

Tabla 1.
Modelo Científico sobre fotosíntesis en plantas superiores verdes

MODELO CIENTÍFICO ERUDITO SOBRE FOTOSÍNTESIS EN PLANTAS SUPERIORES VERDES			
Fotosíntesis: Es el principal proceso realizado por las plantas superiores –y otros organismos fotosintéticos- que consiste en el almacenamiento de energía luminica como energía química, en compuestos orgánicos para su futuro consumo. Finalidad: Transformar compuestos de baja energía como agua y dióxido de carbono, en compuestos orgánicos (ej. azúcares) que contienen grandes cantidades de energía, mediante la acción de luz solar y el efecto anabólico de enzimas específicas. En el proceso se distinguen dos etapas distintas: Fase dependiente de la luz: Consiste en una serie de reacciones sucesivas que ocurren en presencia de luz solar, donde la planta capta energía luminosa del sol y la convierte en energía química. Comprende la fotólisis del agua, la formación de ATP y NADPH+ (mediante la fotofosforilación cíclica y fotofosforilación acíclica) y la liberación de O₂ a la atmósfera. Fijación del carbono: Consiste en una serie de reacciones sucesivas que no requieren luz aunque algunas enzimas son reguladas por ella, en esta fase la planta fija el carbono proveniente del CO₂ atmosférico para sintetizar azúcares, utilizando como fuentes de energía el ATP y el NADPH+ formados en la fase luminosa; con la consecuente liberación de vapor de H₂O.			
FENÓMENO INVOLUCRADO			
CONSTITUYENTES ONTOLÓGICOS		CONSTITUYENTES EPISTEMOLÓGICOS	
Entidades	Propiedades	Relaciones	Reglas de inferencia
Fotón o cuanto de luz	Partícula de energía portadora de todas las formas de radiación electromagnética –rayos gamma, rayos x, luz ultravioleta, luz visible, luz infrarroja, microondas y ondas de radio. Su masa tiende a cero. No posee carga eléctrica.	Los fotones inciden sobre los electrones de clorofila provocando su “excitación”. Estos electrones fotoexcitados, al salir de la clorofila son captados y transportados a lo largo de una cadena de sustancias, produciéndose la transformación de la energía luminosa en energía eléctrica.	Si la luz es absorbida por los pigmentos de organismos vegetales superiores, <i>entonces</i> estos organismos pueden captar energía para distintos procesos celulares (impulsar la formación de ATP y NADPH, compuestos utilizados con posterioridad para el ensamblaje de azúcares y otros compuestos orgánicos).

Para el caso de la fotosíntesis, la reacción química básica que define el proceso se representa como:



En la ecuación es posible determinar las entidades dióxido de carbono y agua como reactivos, luz solar y clorofila como catalizadores y glucosa y oxígeno como productos, entidades que son importantes en el proceso, pero no son las únicas. La dificultad para explicar el proceso y la cantidad de entidades asociadas a este, son claves para comprender la complejidad que se le atribuye al concepto en el Modelo Científico Erudito (MCE).

METODOLOGIA

El estudio se orienta desde un enfoque cualitativo. Se exploraron y describieron los modelos mentales de profesores que enseñan Ciencias Naturales respecto al concepto fotosíntesis. Este enfoque permite caracterizar el Conocimiento Profesional del Profesor (CPP) mediante descripciones e interpretaciones que permiten evidenciar en la particularidad de las declaraciones, los procesos de razonamiento que ocurren en la mente del docente durante su actividad profesional. El diseño metodológico utilizado es el de estudio de casos múltiples, de acuerdo a lo expresado por Sandín (2003). Este diseño permite realizar interpretaciones que posibilitan conocer los modelos mentales que han construido cada uno de los profesores.

Se accedió a los casos de acuerdo al criterio de ser profesores que enseñaran el tema de fotosíntesis que contaran con disposición de participar del estudio, diferenciando dos de ellos en primaria y dos en secundaria, por ser un concepto asociado a los Estándares de las Ciencias Naturales de Educación Básica y Media emanados del Ministerio de Educación de Colombia. La Tabla 2 muestra las características de los casos.

Tabla 2.
Caracterización de los docentes que constituyen los casos de investigación

CASO (Nombre supuesto)	NIVEL EDUCATIVO	AÑOS DE EXPERIENCIA	GRADO EN QUE ENSEÑA	ÁREA A CARGO
1. Mariluz	Lic. En Educación Física, Recreación Y Deporte.	41	5°. Primaria	Ciencias Naturales y Educación Ambiental
2. Gregorio	Lic. En Educación –Ciencias Naturales.	25	5°. Primaria	Ciencias Naturales y Educación Ambiental
3. Jorge	Lic. En Biología y química.	17	10° Y 11° Educación secundaria	Química
4. Ester	Lic. En Biología y Química. Mg. en Educación.	15	10° y 11° Educación media	Química

Se optó por el uso de representaciones multimodales aplicadas a cada sujeto en el siguiente orden: representación gráfica, protocolo de pensamientos en voz alta y un cuestionario de tipo conceptual, para alcanzar el objetivo del estudio, tal como se muestra en la tabla 3. Para el análisis se aplicaron dos instrumentos fundamentados en el Modelo ONEPSI: Modelo Teórico ONEPSI de cada uno de los casos y Modelo Científico Erudito del concepto fotosíntesis

Tabla 3.
Técnicas e instrumentos utilizados en la recolección de información

Objetivo General Describir los modelos mentales acerca del concepto fotosíntesis, evidenciados en los profesores que enseñan Ciencias Naturales en términos de sus entidades, propiedades, relaciones y reglas de inferencia.	
Técnicas aplicadas	Instrumentos y recursos utilizados
Análisis de contenido o representaciones multimodales (Gómez, 2014): -Representación gráfica -Protocolos de pensamiento en voz alta. Grabaciones en audio de explicaciones dadas por los docentes. -Aplicación de cuestionario	-Dibujos y gráficos (papel, lápices de colores y otros) -Grabaciones de audio, explicación del proceso usado en la representación del modelo. -Formato del cuestionario (adaptado de Domin- gos, Reis, Ruiz y Mellado, 2012).
Análisis de contenido Transcripción y sistematización de la información Análisis de la información a través de: -Modelo Científico Erudito de la Fotosíntesis. -Modelo teórico ONEPSI, de cada caso (Gutiérrez, 2001, 2006; López y López, 2015).	Formato de transcripción Formato de Modelo Científico Erudito. Formato de Modelo teórico ONEPSI de cada caso. Diagrama de línea de tiempo.
Revisión y selección de fundamentos teóricos del MCE de la fotosíntesis	

RESULTADOS

A continuación se muestran e interpretan los dibujos de cada maestro para ilustrar la fotosíntesis. Cada caso incluye además fragmentos de las ideas usadas en su explicación verbal.

Caso Mariluz

El dibujo de Mariluz muestra una planta con hojas destacadas en color verde y un sol en amarillo. (Ver Figura 1)

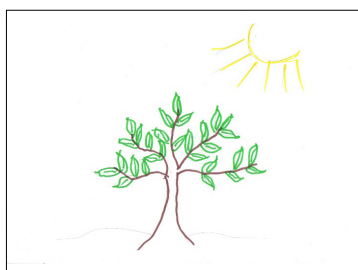


Fig. 1. Representación gráfica de Mariluz

En su explicación Mariluz señala lo que para ella son propiedades “... la luz del sol puede producir la clorofila” y “...la energía se transforma en la clorofila”. Así, ve la clorofila como producto de la transformación de la energía del sol, adicionalmente a la luz solar le atribuye la propiedad de activar o excitar la molécula de clorofila. Aunque se evidencian las entidades: luz solar, clorofila y hojas, se perciben escasos fundamentos disciplinares, al contrastar su explicación con el Modelo Científico Erudito. Apreciamos para el caso Mariluz, el sentido común básico en su explicación según su formación no especializada en el tema (Ver tabla 3).

Caso Gregorio

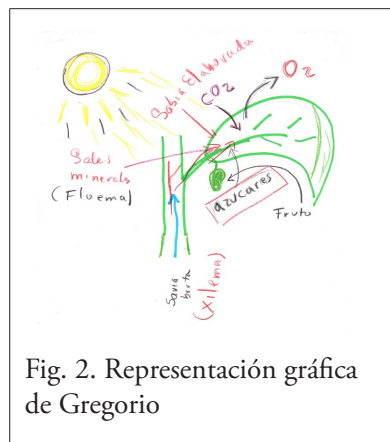


Fig. 2. Representación gráfica de Gregorio

Su representación gráfica de la fotosíntesis es más elaborada que el caso anterior. Se evidencian las entidades: raíz, xilema, agua, sales minerales, savia bruta, luz solar, savia elaborada, gas carbónico y oxígeno. Como propiedades, señala verbalmente *“las plantas necesitan agua y sales minerales que lo absorben por la raíz”*. Según Gregorio, el proceso inicia con la entrada del agua que asciende por el xilema convirtiéndose en savia bruta; la savia elaborada es el azúcar que permite fabricar el alimento y se encarga además de captar el gas carbónico y de producir oxígeno necesario para los procesos de respiración los seres vivos; las plantas realizan fotosíntesis sólo en el día. Su enfoque explicativo es nutricional, un aspecto característico del nivel primaria en el cual trabaja.

Caso Jorge

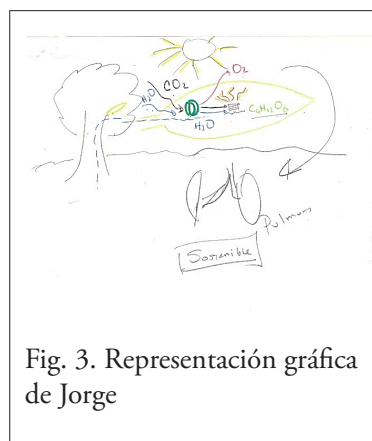


Fig. 3. Representación gráfica de Jorge

El dibujo de Jorge (Ver Figura 3), es aparentemente una representación más estructurada, pero aunque enuncia en su discurso muchas entidades como gas carbónico, agua, cloroplasto, glucosa, oxígeno, su modelo mental se aleja del modelo científico cuando explica que cloroplastos y estomas producen glucosa y no especifica en el estroma del cloroplasto; tampoco explica la reducción del dióxido de carbono en el ciclo de Calvin. Jorge, quien se desempeña en secundaria tiene un modelo mental de tipo nutricional y ecológico, al relacionar los procesos biológicos de la fotosíntesis con la respiración y la sostenibilidad y equilibrio de la vida en la naturaleza. Se acerca al MCE, pero omite lo referente a la fase de fijación del carbono.

Caso Esther

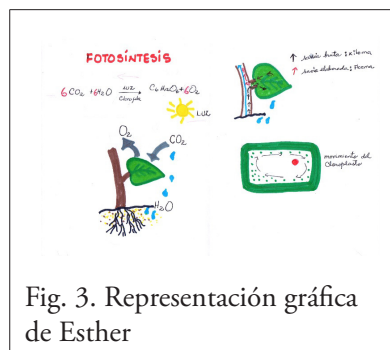


Fig. 3. Representación gráfica de Esther

Su representación es cuidadosa y detallada (Ver Figura 4). En su discurso establece catorce entidades del modelo fotosíntesis: dióxido de carbono, agua, luz solar, clorofila, sales minerales, raíz, vasos conductores, hojas, savia bruta, estomas, cloroplastos, glucosa y oxígeno. Define fotosíntesis como una reacción química, asignándole un valor nutricional: *“...la planta distribuye la savia elaborada que sería propiamente la glucosa hacia el resto de la planta...”* destacando el papel autótrofo de las plantas.

Según Esther hay transformación de la savia bruta (sales minerales + agua) en savia elaborada (glucosa), donde el agua y dióxido de carbono en presencia de catalizadores (luz y clorofila) producen

glucosa (savia elaborada) y liberan oxígeno y la energía lumínica en energía química. Sin embargo, esta explicación no la profundiza comprensivamente, ni describe la fijación y reducción del CO_2 para formar glucosa, que ella equipara a savia elaborada; desconoce la fase oscura de la fotosíntesis, cuando dice que el proceso tiene lugar sólo en el día. Estos aspectos deben precisarse en la educación media donde se desempeña.

La Tabla 3 muestra una de las entidades utilizadas por cada docente para explicar el concepto fotosíntesis. Esta información es el resultado del tratamiento del discurso de cada docente a través de la sistematización generada del modelo ONEPSI (Gutiérrez 2001).

Tabla 3.
Matriz ONEPSI para el análisis de un fragmento
del discurso de cada caso, respecto a la entidad luz solar

CASO	CONSTITUYENTE			
	ONTOLOGICO		EPISTEMOLOGICO	
	ENTIDAD	PROPIEDADES	RELACIONES	REGLAS DE INFERENCIA
1. Mariluz	Luz solar (sol)	Capacidad para producir clorofila	La energía luminosa del sol interaccionan con las plantas, transformándose en clorofila y pigmentando las plantas de color verde.	-Si las plantas se exponen a la luz solar, entonces hay producción de clorofila. -Si las plantas producen clorofila, entonces las hojas se pigmentan de verde.
2. Gregorio	Rayos solares (sol)	Ayuda a la conversión de la savia elaborada.	Con la ayuda de los rayos solares, la savia bruta se convierte en savia elaborada que se distribuye por toda la planta, fabricando su alimento como los azúcares o el fruto, por ello son autótrofos.	Si la savia bruta asciende y recibe la luz solar entonces la planta savia bruta se convierte en savia elaborada.
3. Jorge	Sol	Permite en el árbol sintetizar. Emite luz Es importante para la planta	A partir de la luz, las plantas realizan la fotosíntesis sintetizando sustancias	Si hay luz solar, entonces, las plantas realizan la fotosíntesis
4. Esther	Luz solar- Energía lumínica	Actúa como catalizador en el proceso fotosintético. Excita a los cloroplastos. Permite el movimiento de los cloroplastos. Se transforma en energía química.	La luz actúa como catalizador y ayuda a excitar los cloroplastos, ellos durante ese proceso se mueven en forma circular.	Si la luz solar actúa como catalizador entonces los cloroplastos se moverán en forma circular y se producirá glucosa y oxígeno.

CONSIDERACIONES FINALES

Dado el poco número de casos, sólo realizamos unas reflexiones finales.

La mayoría de los modelos mentales explicativos de los casos en estudio sobre fotosíntesis, están anclados a la fase dependiente de la luz y a la circulación de nutrientes en las plantas verdes.

Los modelos analizados dejan ver que hay confusiones en las propiedades asignadas a algunas entidades y no se evidencia el nivel deseable como modelo escolar de referencia para la enseñanza. del concepto fotosíntesis, lo cual es coherente con lo plantado por Charreier, Cañal y Rodrigo (2006) quienes enuncian que no es sencilla la temática fotosintética y su complejidad está presente en el poco énfasis que se hace al tema de nutrición en las plantas, debido a que se focaliza como un proceso de intercambio de gases. Además, es uno de los conceptos más difíciles de enseñar y de aprender por lo abstracto y extenso (Macías, 2013).

Cabe resaltar que la cantidad de entidades no estipula el grado de profundidad y complejidad del modelo mental explicativo de los docentes.

Es notorio que docentes formados en el área de ciencias naturales, al explicar la fotosíntesis, no establecen en profundidad los cambios químicos que suceden en las reacciones propias de la fase dependiente de la luz.

Desde esta perspectiva, los modelos mentales explicativos evidenciados en los cuatro casos, están distantes de las conceptualizaciones que deberían mostrar los maestros, para modelar el concepto de manera

adecuada en el aula de clases. Es importante señalar que la enseñanza y el aprendizaje del concepto fotosíntesis implica un proceso mental complejo, por las entidades abstractas que lleva implícitas.

REFERENCIAS

- ADÚRIZ-BRAVO, A., IZQUIERDO, M. (2005). Los modelos teóricos para la ciencia escolar. *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra VII Congreso, 89-101.
- (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*. 4(1), 40-49.
- BARCELÓ, J., RODRIGO, N., SABATER, B. y SÁNCHEZ, R. (1983). *Fisiología Vegetal*. Madrid: Editorial Pirámide S. A.
- BUNGE, M. (2001). *Diccionario de Filosofía*. México: Siglo XXI Editores.
- CAMPBELL, N. y REECE, J. (2005). *Biología*. Madrid: Editorial Médica Panamericana S. A.
- CAÑAL, P. (2005). *La nutrición de las plantas: enseñanza y aprendizaje*. Madrid: Síntesis.
- CHARRIER, M., CAÑAL, P. y RODRIGO, M. (2006). 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. *Enseñanza de las ciencias*, 24(3), 401-410.
- CURTIS, H. y BARNES S. (2001). *Biología*. Bogotá: Editorial Médica Panamericana.
- GARNICA, S. y ROA, R. (2012). Conocimiento didáctico del contenido sobre fotosíntesis de dos profesores de los grados sexto y noveno de educación básica secundaria de un colegio privado en Bogotá Colombia. *Bio-grafía* 8(5), 50-76.
- GÓMEZ, A. (2014). Avances en Didáctica de la Química: Modelos y lenguaje. En: Aduriz-Bravo. (Ed.), *El uso de representaciones multimodales y la evolución de los modelos escolares*, 51-62. Valparaíso: Ediciones universitarias.
- GUTIERREZ, R. (2001). Mental Models and the fine structure of Conceptual Change. In: Gutierrez, R. (2005). Polisemia actual del concepto modelo mental. Consecuencia para la investigación didáctica. *Investigación en enseñanza de las ciencias*, 10(2), 209-226.
- JOHNSON-LAIRD, P. (1983). *Mental models*. Cambridge University Press.
- MACÍAS, L. (2013). Diseño de prácticas experimentales de fotosíntesis para ciclo 3. Recuperado de <http://www.bdigital.unal.edu.co/12967/1/luisfelipemacias.2013.pdf>.
- SANDÍN, M. P. (2003). *Investigación cualitativa en educación. Fundamentos y tradiciones*. Mexico: McGraw-Hill.

