



El proceso de fotosíntesis como contenido escolar: análisis en textos del nivel secundario

Fecha de recepción:
08/04/2019
Fecha de aceptación:
28/09/2019

**Photosynthesis process as school contents:
Secondary school textbook's analysis**

Palabras clave:

libro de texto,
fotosíntesis,
currículo,
conocimiento
científico.

Rosana Elizabeth Gonzalez

Universidad Nacional de Tucumán, Argentina
rdiciembre77@gmail.com

Rubén Jesús Barrios

Universidad Nacional de Tucumán, Argentina
rubenjbarrios@gmail.com

Yanina Esther Fernández

Universidad Nacional de Tucumán, Argentina
yaniefernandez@gmail.com

Keywords:

*textbooks,
photosynthesis,
curriculum,
scientific
knowledge.*

Mariana Daniela Rosa

Universidad Nacional de Tucumán, Argentina
mdrosa@csnat.unt.edu.ar

Resumen

La fotosíntesis es un fenómeno extremadamente complejo y fundamental para el desarrollo de la vida. Por esta razón se realizó una indagación de esta temática en los libros de texto del nivel secundario. En primer lugar, el libro de texto, considerado como un elemento para la concreción de las prescripciones curriculares y un intermediario en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, adquiere relevancia fundamental para la investigación en didáctica de las ciencias naturales; en segundo lugar, el proceso de fotosíntesis se encuentra excesivamente simplificado con



visiones deformadas en la mayoría de los textos escolares, lo que genera, una concepción restringida y errónea, produciéndose procesos de envejecimiento externo y algoritmizaciones son conceptos teóricos en Chevallard. En el desarrollo del artículo son explicados. En este artículo se analiza la forma en la que se presentan y desarrollan, en los textos escolares, los conceptos y teorías vinculadas con el proceso de nutrición vegetal. Para el análisis se tuvo en cuenta aspectos vinculados con la construcción histórica del discurso sobre la fotosíntesis, así como diferentes modos de caracterizar el conocimiento científico desde diferentes miradas epistemológicas.

Photosynthesis is an extremely complex and fundamental phenomenon for the development of life. An inquiry was made of this subject in secondary school textbooks for two reasons: on one hand, the textbook, considered as an element to settle down the curricular prescriptions and an intermediary in the teaching and learning processes, acquires fundamental relevance for the research in didactics of the natural sciences; on the other hand, the process of photosynthesis is excessively simplified, with deformed visions in most school texts, which generates a restricted and erroneous conception of it, producing processes of external aging of knowledge and mechanization. These concepts are from Chevallard. This article analyzes the way in which the concepts and theories related to the vegetal nutrition process are presented and developed in school texts. For the analysis, aspects related to the historical construction of the discourse on photosynthesis were taken into account, as well as different ways of characterizing scientific knowledge from different epistemological perspectives.

Introducción

Los libros de texto se encuadran dentro de los tipos de materiales curriculares y constituyen un instrumento fundamental a través de los cuales se realiza el control técnico del desarrollo curricular. Nieves Blanco (1994) afirma que en los libros de texto se presentan y/o infieren objetivos; criterios de selección, secuenciación y organización de los contenidos a enseñar; actividades de aprendizaje y criterios de evaluación. Es por ello que podemos afirmar que los libros de texto son “una forma de concreción del currículum prescripto, así como una visión específica de la parcela del conocimiento, ofreciendo la opción respecto a la forma más adecuada de enseñarla y de aprenderla” (Blanco, 1994, p. 267).

Este material curricular se constituye en una selección cultural y una forma específica de comunicar y aprehender la cultura escolar. Al hacerlo configuran las características tanto de esa cultura como del acercamiento posible a ella (Blanco, 1994).

El libro de texto acompaña a la enseñanza y se convierte en la “traducción” de las prescripciones curriculares y las presenta en un nivel de concreción apropiado para acercarlas al aula. El texto es un intermediario entre las decisiones políticas y los docentes, como también entre éstos y los estudiantes. Por otra parte, José Gimeno Sacristán (1996) lo considera una forma de presentar el currículum a los profesores.

Finalmente, son los editores quienes, a pesar de las regulaciones legislativas establecidas, dan forma y estructuran a los libros escolares.

En este artículo se analiza la forma en la que se presentan y desarrollan, en los textos escolares, los conceptos y teorías vinculadas con el proceso de crecimiento vegetal. Para el análisis se tuvieron en cuenta aspectos vinculados con la construcción histórica del discurso sobre la fotosíntesis, así como diferentes modos de caracterizar el conocimiento científico desde miradas epistemológicas.

Se decidió llevar a cabo esta indagación en los libros de texto del nivel secundario por dos motivos: en primer lugar, el libro de texto, como un elemento para las prescripciones curriculares y un intermediario en los procesos de enseñanza y de aprendizaje, adquiere relevancia fundamental

para la investigación en didáctica de las ciencias naturales; en segundo lugar, el proceso de fotosíntesis es un fenómeno de gran importancia, se encuentra excesivamente simplificado, con visiones deformadas en la mayoría de los textos escolares, lo que genera una concepción restringida y errónea. Las visiones responden en terminología de Yves Chevallard (1997) a procesos de envejecimiento externo del conocimiento y mecanicismos algorítmicos.

La fotosíntesis es un fenómeno extremadamente complejo y fundamental para el desarrollo de la vida. Es la única manera por la cual se produce el almacenamiento de la energía provista por el sol en forma de energía química que será utilizada prácticamente por todos los seres vivos. Es decir, se vive directa o indirectamente de ella. Este proceso constituye el punto de partida de los estudios de metabolismo de la comunidad. La mayor parte del manto viviente de la tierra son las plantas verdes; sólo una pequeña fracción que forma los ecosistemas está constituida por animales y otros organismos como hongos, bacterias, etc.

Los organismos requieren una entrada constante de nueva energía para equilibrar las pérdidas producidas por el metabolismo, crecimiento y reproducción. Por lo tanto, los individuos son sistemas complejos que procesan energía y materiales; los autótrofos, en su gran mayoría fotosintéticos, captan la energía del sol y los nutrientes del ambiente, los herbívoros (heterótrofos) se alimentan de los vegetales, los carnívoros (heterótrofos) se alimentan de otros animales. En síntesis, las comunidades son una mezcla de organismos autótrofos y heterótrofos. La materia y la energía entra en una comunidad biológica y son utilizadas por los individuos y transformadas en estructuras biológicas para ser finalmente liberados de nuevo al medio.

2. Referentes teóricos

2.1 Criterios epistemológicos

La epistemología es una metadisciplina que de acuerdo con su

propuesta teórica enfoca el análisis científico desde diferentes lugares. Así tenemos aspectos formales, de la práctica científica que se acercan a la metodología científica. Otras cuestiones se encuadran más en aspectos sociológicos de la construcción del conocimiento científico. Con respecto a los enunciados científicos se los puede considerar como generalizaciones universales o hipotéticas. Un aspecto relevante para el análisis epistemológico es el nivel de las conceptualizaciones científicas. En este sentido, es importante tener presente lo que entendemos por concepto. Los conceptos involucran las categorías con las que caracterizamos el mundo. Estos nos permiten reducir la complejidad del entorno, identificar los objetos en el mundo, ordenar y relacionar clases de hechos. Es decir, cumplen dos importantes funciones, la organización y la predicción (Pozo, 2006).

Debido al énfasis puesto en este artículo en los conceptos relacionados con el proceso de fotosíntesis, analizaremos posturas epistemológicas acerca de ellos. La mayoría de los conceptos que forman parte de las diferentes teorías se fueron transformando a partir del desarrollo científico. Con respecto a estas modificaciones existen posturas epistemológicas diferentes. En este sentido, se encuentran aquellas que consideran, desde el positivismo, que el conocimiento es acumulativo y a partir de enunciados empíricos básicos se van elaborando generalizaciones y leyes en forma acumulativa. En este proceso no se producen modificaciones en los conceptos de la disciplina científica. Otras posturas consideran que los conceptos nuevos sustituyen a los anteriores, a partir de los cambios de paradigmas que ocurren mediante revoluciones científicas, no pudiéndose comparar los diferentes paradigmas como los distintos conceptos que emergen de ellos (Kuhn, 1996). Por último, podemos considerar visiones no tan radicales como el modelo de Stephen Toulmin (1977) para la evolución de las teorías científicas a partir de la evolución conceptual. Toulmin cuestiona tanto el cambio paradigmático basado en las revoluciones científicas como las generalizaciones empíricas.

Toulmin (1977) propone tres niveles, en los cuales puede llevarse a cabo la reflexión epistemológica, para analizar tanto el cambio científico como ciertos aspectos que se mantienen inalterables a lo largo del

desarrollo de una disciplina científica. El primer nivel de análisis involucra aspectos formales de una ciencia como teorías e hipótesis. El segundo hace referencia a las conceptualizaciones que se producen en el campo disciplinar, posibilita la explicación de la evolución. El último, se refiere a las aspiraciones intelectuales disciplinares, dando explicaciones a la continuidad disciplinaria. En consecuencia, este modelo pone el énfasis en el análisis de la evolución de los conceptos científicos. Su postura es contrapuesta a la de Thomas Kuhn (1996) con respecto a la sustitución de los paradigmas. De acuerdo con Toulmin (1977) la evolución de los conceptos es semejante a la evolución de las especies propuesta por Darwin. En este sentido existe una población conceptual que va sufriendo transformaciones. Algunos conceptos son abandonados, otros se modifican y otros sobreviven a lo largo de la historia de la ciencia. Esta evolución con su dimensión temporal, conduce a que los conceptos tengan significados que provienen de concepciones paradigmáticas diferentes. Las modificaciones que prosperan, a la manera de las mutaciones exitosas, ejercen una presión selectiva sobre las otras, imponiéndose en el perfil conceptual de la disciplina (Bachelard 2009). Lo importante de la propuesta de Toulmin (1977) es que las visiones paradigmáticas se encuentran conviviendo simultáneamente en una disciplina, y algunas son más dominantes que las otras. Esta convivencia de ideas es la que conduce a que un mismo concepto científico pueda tener interpretaciones diferentes, que se fueron produciendo a lo largo de la evolución conceptual.

Desde este posicionamiento, podemos considerar que en los libros de texto aparecerán conceptualizaciones eclécticas para un mismo concepto y caracterizadas desde paradigmas diferentes.

Es importante para el docente tomar conciencia de esta diversidad conceptual, puesto que puede llevar a visiones totalmente diferentes, envejecidas biológicamente con respecto al conocimiento de origen (Chevalard, 1997) y además, producir conflictos cognitivos en los alumnos para los que no tienen las herramientas necesarias para poder resolverlos.

2.2 Hechos históricos, de la fotosíntesis, relevantes para el análisis

La elaboración de modelos sobre el crecimiento vegetal indicados en la Tabla N° 1 constituye un ejemplo de la complejidad que involucran los procesos de construcción social del conocimiento. Este problema puede remontarse a la antigüedad clásica. A través del siguiente resumen se pone el acento en los aspectos más relevantes desde el punto de vista educativo. El mismo se basa en datos obtenidos de fuentes tales como Isaac Asimov (1980), Helena Curtis y N. Sue Barnes (2007) y David Sadava, Orians, Prurves y Hillis (2009). Los años indicados en la tabla son solo a título de lograr ubicarse en el momento histórico.

Tabla N°1: Hechos históricos en relación con el proceso de fotosíntesis.

Año	Hechos
1648	Jan Baptista van Helmont estudia la relación entre el crecimiento vegetal y el agua. Concluye que en los vegetales el único factor que influye en su desarrollo es el agua. Metodológicamente utiliza un razonamiento hipotético deductivo con balance de materia, en la contrastación experimental considera el crecimiento de un sauce con el agregado únicamente de agua destilada.
1727	Stephen Hales analiza el transporte de agua en los vegetales. Estudia el mecanismo por el cual las plantas absorben agua a partir de las raíces y la expulsan, en forma gaseosa, por las hojas. Estos hallazgos lo llevan a suponer que los vegetales pueden tener interacciones con “sustancias” en estado gaseoso.

<p>1756</p>	<p>Joseph Black caracteriza los álcalis suaves y cáusticos. Se identificaba como álcalis suaves y cáusticos a los actuales carbonatos y óxidos de metales alcalinos térreos. En el proceso de transformación de un álcali suave en cáustico, mediante calentamiento, identifica un gas al que denomina “aire fijo”, correspondiente al actual dióxido de carbono (CO₂). La designación como aire remite a la teoría de los cuatro elementos aristotélicos. En la misma, el “aire” era considerado un elemento ingrávido, por lo cual Black introduce el término fijo para señalar que un “aire” podía dotar de peso a un sólido. Es decir, el gas estaba fijado en un sólido dotándolo de peso.</p>
<p>1775</p>	<p>Joseph Priesley aísla y caracteriza las propiedades del “aire desflogisticado”; denominado actualmente oxígeno (O₂). Por otro lado, somete a contrastación empírica la teoría que sostenía que la vida era imposible en un ambiente lleno de gases producidos en combustiones: para ello, coloca en una campana cerrada un brote de menta en un ambiente donde previamente se realizó una combustión. A pesar de ello, observa que el brote se desarrolla. A continuación, coloca un ratón, el que puede vivir en esas condiciones.</p> <p>Antoine Lavoisier reproduce e interpreta teóricamente los experimentos de Priesley. Establece que los vegetales devuelven el oxígeno eliminado del aire por combustión. Para Lavoisier las plantas transforman el gas de combustión (dióxido de carbono) en oxígeno, purificándolo.</p>
<p>1779</p>	<p>Johannes Ingenhousz observa que las plantas solo logran la producción de oxígeno cuando están expuestas a la luz solar. Asume que esta producción está acompañada de la generación del material estructural, por lo que denomina a este proceso: “fotosíntesis”.</p>

1782	Jean Senebier, al privar a una planta de dióxido de carbono, llega a la conclusión que la fotosíntesis únicamente se produce en presencia de esta sustancia.
1804	Nicolas-Théodore de Saussure determina cuantitativamente la relación entre la masa de dióxido de carbono y el crecimiento vegetal. Supone que la diferencia de peso obtenida se debe al agua.
1817	Pierre Pelletier y Joseph Caventou aíslan la clorofila, etimológicamente significa “hoja verde”. En esta época no se disponía de técnicas adecuadas para analizar la complejidad de este pigmento.
1868	Julius Sachs establece que las plantas llevan a cabo el proceso de respiración al igual que otros organismos.
1872	Sachs estudia la producción de almidón en los vegetales. Para ello utiliza tintura de yodo para su detección. Al ser el almidón un polímero formado por unidades de glucosa pareció lógico presuponer que en un primer momento debía sintetizarse esta molécula.
1870	Anterior a Sachs, Adolf Baeyer, siguiendo un razonamiento de reduccionismo químico, propone como hipótesis: los vegetales deberían formar en primer lugar formaldehído (CH_2O), debido a que este tiene la fórmula mínima de la glucosa. En el contraste empírico, el formaldehído no es detectado, para mantener este supuesto se formula la hipótesis <i>ad hoc</i> que este aldehído se descomponía rápidamente después de su formación.
1883	Sachs identifica los orgánulos que contienen clorofila, a los Wilhelm Schimper denomina “cloroplastos”.

1905	Frederick Blackman estudia las variables físicas que influyen en el proceso de fotosíntesis. Concluye que son dos los factores limitantes, la temperatura y la luz. Al medir la velocidad de fotosíntesis, modificando la intensidad lumínica, infiere que esta se produce en dos etapas: lumínica y oscura. Es decir, una dependiente de la luz y la otra independiente de la misma.
1906	Richard Willstätter aísla dos tipos de clorofilas, denominándolas “a” y “b”. Determina sus fórmulas moleculares: clorofila a ($C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$) y clorofila b ($C_{55}H_{70}N_4O_6Mg$).
1937	Robert Hill experimenta con distintos aceptores finales de electrones, llega a la conclusión que la “fijación” de dióxido de carbono es independiente de la producción de oxígeno. Es decir, identifica dos procesos sin tener en cuenta la dependencia de la luz como lo propuesto por Blackman.
1941	Samuel Ruben y Martin Kamen, utilizando oxígeno marcado radiactivamente, identifican que todo el oxígeno proviene del agua, descartando la hipótesis sobre la escisión del dióxido de carbono en oxígeno y carbono.
1950	Melvin Calvin, James Benson y Andrew Bassham establecen que el CO_2 reacciona con ribulosa- 1,5-difosfato, la que se regenera por un proceso cíclico. Este proceso libera una molécula de un azúcar de tres carbonos el gliceraldehido-3-fosfato. Este glúcido sería considerado el producto final de la fotosíntesis.

2.3 Aspectos bioquímicos de la fotosíntesis

Desde el punto de vista bioquímico, la fotosíntesis se define como un proceso por el cual los organismos autótrofos convierten sustancias inorgánicas dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O) en compuestos orgánicos (triosas) con la intervención de la luz, como fuente energética.

Las plantas sólo utilizan una parte específica del espectro solar (luz) para la fotosíntesis, lo que se conoce como radiación fotosintéticamente activa (RFA). La RFA es la región de la radiación solar entre 400 y 700 nm, conocida como luz visible. Las plantas logran conservar gran parte de la energía de esta pequeña porción del espectro electromagnético en moléculas orgánicas como el adenosín trifosfato (ATP) y producir “poder reductor” en forma de nicotinamida adenina dinucleótido fosfato reducido (NADPH) esencial para la síntesis de otras moléculas orgánicas como las triosas fosfato.

Los estudios sobre la fotosíntesis muestran que tradicionalmente se ha dividido en dos etapas o fases, pero se debe tener presente que ambos procesos operan simultáneamente:

- a) Transporte electrónico fotosintético: donde se absorbe y convierte la energía luminosa en energía química.
- b) Fotoasimilación de dióxido de carbono (CO_2): donde se fijan y asimilan los elementos constitutivos de la materia orgánica

El primer proceso señalado de conversión de energía luminosa en energía electroquímica. Se inicia con la absorción de fotones por ciertos complejos formados por pigmentos (clorofila a, b y carotenoides en las plantas superiores) y proteínas, denominados complejos antenas, “cosechadores” de luz (LHC, Light Harvesting Complexes), y continua con la canalización de la energía de los fotones hacia los centros de reacción de los fotosistemas I y II (PS' I y PS II), donde la energía se transforma en una corriente de electrones y protones entre moléculas y complejos oxidorreductores. El “hueco electrónico”, generado en el centro de reacción del PS II, es cubierto por los electrones que provienen de la ruptura de la molécula de agua que ocurre en la cara luminal de los tilacoides dentro de un complejo denominado “fotólisis del agua”. Este proceso es único

en la naturaleza ya que constituye una escisión molecular que ocurre a temperatura ambiente y solo con el aporte de energía que proviene de los fotones.

Las reacciones de oxidorreducción producen, en último término, dos biomoléculas estables (NADPH y ATP) que se van acumulando en el estroma de los cloroplastos. Estas biomoléculas son útiles como fuente de “energía asimiladora”, ya que proporcionan poder de reducción (el NADPH) y poder de enlace (el ATP), necesarios para la siguiente fase. Además, el ATP es indispensable para un gran número de procesos metabólicos y celulares, es decir, que se trata de un combustible bioquímico estable, casi universal. En las mitocondrias, y por un mecanismo similar al descrito, también se produce ATP para abastecer de energía a las células.

En la segunda fase de la fotosíntesis se produce toda una serie de reacciones de asimilación de elementos químicos necesarios para la construcción biomolecular, principalmente carbono (C), hidrógeno (H) y oxígeno (O). El elemento esencial y predominante en la materia orgánica es el carbono. En la fotosíntesis, el carbono se toma del dióxido de carbono (CO₂) del aire y por una serie de reacciones de “reducción” (ganancia de electrones) se obtienen moléculas de triosa (moléculas orgánicas).

El ciclo donde se lleva a cabo este proceso es conocido como Ciclo de Calvin y Benson o Ciclo reductivo de las pentosas fosfato (Figura N° 1). Este ciclo ocurre en el estroma de los cloroplastos y está sujeto a numerosos puntos de control y regulación para asegurar su funcionamiento coordinado con la fotoabsorción y el resto de las vías metabólicas, por ejemplo, que son provistas de intermediarios carbonados (por ejemplo, la síntesis de sacarosa y almidón).

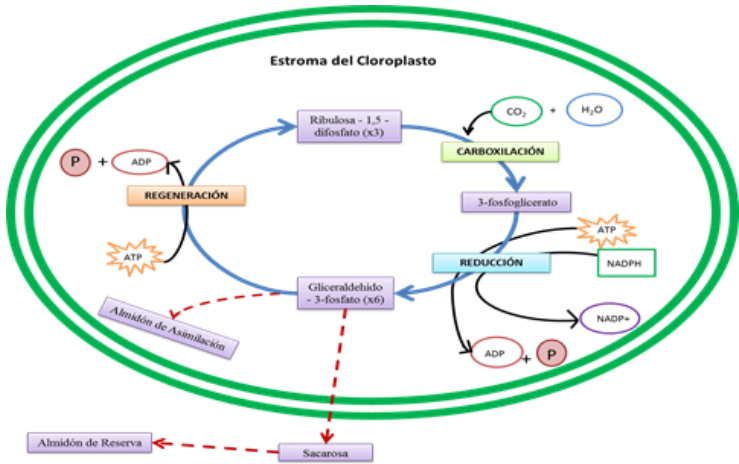


Figura N° 1: Producción de triosa fosfato (glicer aldehído-3-fosfato) en el cloroplasto (Ciclo de Calvin y Benson)

El Ciclo de Calvin puede ser separado en tres conjuntos de reacciones: carboxilación, reducción y regeneración. En cada una de las cuales existen enzimas finamente reguladas por luz, sustrato, producto final, etc., asegurándose que el ciclo proceda sólo cuando las condiciones estén dadas y existan niveles suficientes de ATP y NADPH (Taiz, Zeiger, Møller y Murphy, 2015).

En la etapa de **carboxilación** se da la “fijación” propiamente dicha de una molécula de CO_2 en una reacción mediada por la enzima más abundante en la naturaleza: la RuBisCO (ribulosa bifosfato carboxilasa/oxigenasa). Esta enzima puede actuar en la carboxilación (fotosíntesis) o en la oxidación (fotorrespiración). Presenta una mayor afinidad por el CO_2 , por lo que a la concentración que se encuentra en la atmósfera, la reacción se da mayoritariamente en ese sentido y produce triosas.

En la etapa de **reducción**, las triosas sufren procesos de reducción y fosforilación donde se consumen el NADH y el ATP, producidos durante el transporte electrónico fotosintético, para producir triosas fosfato. Una

parte de éstas continúan en el ciclo y otra puede quedar dentro del cloroplasto y ser utilizadas para la síntesis de almidón de asimilación, que será consumido durante la noche o pueden ser exportadas al citosol para la síntesis de sacarosa, el principal azúcar vehiculizado en las plantas.

En la última etapa, de **regeneración**, como su nombre lo indica, se producen sucesivas reacciones que producen diversos intermediarios carbonados (fructosa, eritrosa, pentosa, ribulosa, sedoheptulosa, xilulosa, etc) y se regenera la ribulosa 1,5 - difosfato, permitiendo el mantenimiento del ciclo.

Debido a su importancia, en cada etapa de este ciclo encontramos enzimas claves sujetas a múltiples controles metabólicos que aseguran que este ciclo sólo proceda de día o cuando las condiciones sean favorables.

Por último, tanto la síntesis de almidón, como la salida de triosas del cloroplasto y la síntesis de sacarosa, están sujetas a regulaciones relacionadas con los niveles de fosfato y de los respectivos precursores.

Como puede verse, la fotosíntesis es un proceso extremadamente complejo, coordinado y sumamente regulado que todavía sigue siendo objeto de estudio e intervención, ya que constituye la base de la producción primaria de la biósfera.

2.4 La fotosíntesis como contenido escolar. El proceso de transposición didáctica

La fotosíntesis como contenido escolar forma parte del conjunto de saberes o formas culturales cuya asimilación y apropiación por parte de los alumnos se considera esencial para su desarrollo y socialización. Siguiendo a Silvina Gvirtz y Mariano Palamidessi (2008) aspectos importantes del contenido son los siguientes: está presente en todo el tiempo escolar, mantiene informaciones, fija y demarca un tema y es el mensaje que se transmite en la situación didáctica. En síntesis, al hablar de contenidos se tiene en cuenta lo que la escuela debe o se propone comunicar a los alumnos. Un contenido, para ser seleccionado, debe ser adecuado a las posibilidades de aprendizaje de los alumnos y ser relevante tanto

desde el punto de vista académico como social. El contenido fotosíntesis forma parte del *currículum* prescripto desde la educación primaria, con una organización espiralada, en temáticas tales como germinación, redes tróficas, nutrición autótrofa, etc.; además, los alumnos en su vida cotidiana están en contacto permanente con vegetales y su crecimiento, por lo que podrán establecer relaciones sustantivas entre las temáticas desarrolladas y sus propias concepciones. Desde el punto de vista académico, es una temática con una amplia trayectoria de investigación en las Ciencias Biológicas, aspecto que hemos desarrollado en la perspectiva histórica y en los aspectos bioquímicos. Es importante el impacto social para la interpretación de los procesos de nutrición vegetal, para generar conductas vinculadas a la protección, cuidado y mantenimiento del medio ambiente.

El proceso de selección de contenidos está estrechamente vinculado al de organización y al de secuenciación. Luis del Carmen (1996) considera cuatro formas a tener en cuenta en la organización de los mismos: relaciones entre la lógica de las disciplinas y la secuenciación de los contenidos educativos, la utilización de ideas-eje en la estructuración de las secuencias de contenidos, las investigaciones sobre las ideas de los alumnos y las relaciones entre las Historias de la Ciencia y los criterios de secuencia de los contenidos.

En este encuadre toma relevancia el contexto histórico y social en el que se producen los conocimientos a partir de la inclusión de los tópicos vinculados con la Historia de las Ciencias. A su vez, Alicia Entel (1988) propone tener en cuenta consideraciones histórico-sociales acerca del conocimiento, puesto en juego en el acto didáctico, como proceso de construcción en contraposición con visiones que lo reducen a conocimientos estancos y atomizados, es decir, como entidad o bien que solo se tiene en cuenta las relaciones que existen entre los distintos conceptos, es decir el conocimiento considerado como sistema.

Con respecto a los énfasis curriculares Marco Moreira (1991) plantea que la enseñanza debe poner el énfasis en diferentes aspectos, vinculados al contexto de innovación científica. Es por ello que, la fotosíntesis, como contenido escolar, puede estar relacionada con los énfasis en torno

a la estructura de la ciencia, la ciencia de lo cotidiano, la adquisición de habilidades científicas, la ciencia integrada (su estudio implica contenidos presentes en la biología, química, física, ecología, etc.) y el del alumno como explicador. A partir de estos conceptos se pone en evidencia la complejidad de la temática abordada. Sin embargo, pueden analizarse los inconvenientes que se presentan como: excesivas simplificaciones, transposiciones didácticas inadecuadas y adhesión acrítica a un único libro de texto. En función de lo desarrollado anteriormente, toma relevancia el análisis de los procesos de transposición didáctica vinculados con el discurso científico escolar del libro.

El concepto de transposición didáctica toma importancia en el campo de la Didáctica a partir de un curso de Didáctica de las Matemáticas, dictado por Yves Chevallad en Francia en el año 1980. Este concepto tuvo una pronta recepción en el desarrollo de las Didácticas de las Ciencias Naturales. Su inclusión estuvo vinculada al desarrollo de estas disciplinas como campos de investigación autónomos.

A partir del concepto de transposición didáctica el “saber a enseñar” y “el saber enseñado” devienen problemáticos. De esta manera le permite pensar a la didáctica de la ciencia su objeto de estudio y ejercer la vigilancia epistemológica en el acto de enseñanza. Por otra parte, posibilita analizar la forma en las que se le presenta, a los docentes, el *currículum* mediante los textos escolares (Gimeno Sacristán, 1996).

La transposición didáctica involucra las modificaciones que se producen en el conocimiento científico cuando se transforma en un contenido escolar a partir de la conformación del *currículum* prescripto. También tiene en cuenta las transformaciones al pasar desde el contenido prescripto al “saber enseñado”. A su vez, existe una distancia entre “saber enseñado” y “saber aprendido”.

El saber que ocupa el tiempo de la enseñanza, en consecuencia, se encuentra exiliado de sus orígenes y separado del contexto histórico – social de su producción, legitimándose únicamente como “saber enseñado”. Esto genera, de acuerdo con Chevallard (1997), la aversión de los textos escolares hacia todo lo que remitiría a la historia del saber, se produce un proceso de naturalización del mismo, se marca implícitamente

que no tiene tiempo ni lugar y se desconoce al sujeto de la construcción del conocimiento. Es decir, este autor vincula el análisis didáctico con el epistemológico a través del concepto de transposición didáctica. Para caracterizar los procesos de transposición didáctica este teórico distingue: sistema didáctico, sistema de enseñanza y noosfera. El entorno del sistema de enseñanza es la sociedad en su conjunto. Dentro de este entorno diferencia una parte importante: la noosfera, integrada principalmente por padres, especialistas disciplinares académicos y las instancias de decisiones políticas.

El sistema didáctico está constituido por docente, alumno y saber científico. En este sistema el saber puesto en acción es el “saber enseñado” y no el saber de la ciencia. Esta situación lleva a que surjan preguntas acerca de las relaciones que se establecen entre ambos y a su vez con el saber trivializado de los padres. Es, desde este lugar, que el saber en un sistema didáctico se considera problemático. Entre el saber enseñado con el saber de los científicos existirán génesis, filiaciones negociadas, legitimaciones inciertas. Por lo que el cuestionamiento instaura la sospecha y la violencia simbólica sobre el acto de enseñanza.

El sistema didáctico se encuentra abierto, y debe ser compatible con su entorno, es decir, con la noosfera, por este motivo el conocimiento enseñado debe estar de acuerdo con el saber que circula en ella. En consecuencia, el saber que ingresa al sistema didáctico parte del entorno social y debe atravesar la noosfera, transformándose esta en “un verdadero tamiz” por donde opera la interacción entre sistema didáctico y entorno social, produciéndose conflictos, negociaciones, despersonalizaciones, etc.

Todo proceso de transposición didáctica conlleva procedimientos tales como: la desincretización del saber, la despersonalización del saber, la programabilidad de la adquisición del saber, la publicidad del saber y el control social de los aprendizajes. Estos procesos inciden en la “preparación didáctica” a través de la “puesta en texto del saber”.

La desincretización del saber involucra la delimitación del conocimiento a enseñar en saberes parciales. Este procedimiento, en la transposición didáctica, genera un quiebre epistemológico con los conocimientos de la disciplina académica dejando de lado importantes relaciones

en el campo de origen. Esto lleva al parcelamiento de los conceptos y se produce la descontextualización del saber. Es decir, se dejan de lado, sobre todo, los procesos históricos y sociales que llevaron a su construcción. La despersonalización del saber se produce porque en el proceso de textualización es el sujeto el que queda excluido. Por ejemplo, al analizar los contenidos para la enseñanza de fotosíntesis, presentes en los textos, no aparecen referencias a investigadores como Ingenhousz, que en el siglo XVIII denomina al procesos fotosíntesis, o Calvin y Benson con la modelización cíclica, para la fotosíntesis, en el siglo XX.

Un punto importante señalado por Chevallard (1997) es cuando en los procesos de transposición didáctica se producen verdaderas “creaciones didácticas”. Estas creaciones de objeto que se llevan a cabo en la enseñanza pueden ser funcionales o disfuncionales con la noosfera. A lo largo de la historia de la educación se produjeron “creaciones didácticas” funcionales con el “saber sabio”, que llevaron a invertir el flujo de las influencias. Es decir, desde el sistema de enseñanza hacia el contexto de innovación científica. Sin embargo, las más comunes son disfuncionales con el conocimiento académico, llevan a una verdadera sustitución de objeto; situación que se denomina “transposición didáctica patológica”. Son objeto de enseñanza, pero no mantienen ningún vínculo con el conocimiento erudito. Un ejemplo de esta situación se evidencia en la mayoría de los textos consultados que señalan a la respiración como proceso inverso a la fotosíntesis.

Uno de los aportes teóricos más relevantes de la teoría de la transposición didáctica es la obsolescencia del conocimiento que se produce en el acto didáctico. El “saber a enseñar” se transforma en saber enseñado y luego en saber aprendido a partir de un proceso, en el interior del sistema didáctico, denominado por Chevallard (1997) dialéctica antiguo – nuevo. El objeto al ser “puesto en texto” en el proceso de enseñanza presenta dos miradas contradictorias. En un primer momento del tiempo didáctico, debe aparecer como algo totalmente nuevo, en un segundo, debe adquirir la categoría de viejo formando parte del bagaje de conocimientos de los alumnos. De esta manera, el objeto de enseñanza llega a un equilibrio entre pasado y futuro. Chevallard (1997) considera que el proceso de

superación se produce en el aprendizaje exitoso. Pero, la dialéctica puede verse no superada a través de procesos de bloqueo, situación que se genera cuando no se arriba a la síntesis dialéctica, generándose mecanismos de algoritmización importantes desde el punto de vista de las transposiciones didácticas que se presentan en los textos escolares.

Chevallard (1997) caracteriza al proceso mediante el cual se arriba a la síntesis dialéctica, a través de la superación de las contradicciones que se producen, como “envejecimiento del objeto”. Diferencia dos tipos de envejecimientos: interno y externo. El primero se da en el sistema de enseñanza e involucra la superación de la dialéctica antiguo – nuevo. De esta manera debe llevarse a cabo la reprogramación, mediante la introducción de nuevos objetos de enseñanza. La caracterización del segundo, lleva a la propuesta de dos importantes conceptos: “envejecimiento biológico” y “envejecimiento moral”. Estos constructos teóricos son de suma importancia para el análisis de las presentaciones didácticas en los textos escolares. Para caracterizar los envejecimientos, biológico y moral, se considera su relación con la noosfera. El envejecimiento moral se vincula con el saber de los padres. Se produce cuando el conocimiento enseñado se banaliza. El envejecimiento biológico toma como referencia la comunidad de los académicos especialistas en la disciplina científica que se enseña. El objeto de enseñanza debe ser visto por esta comunidad como cercano al conocimiento científico. Puede ocurrir que se consideren como objetos de enseñanza saberes que se revelaron falsos o bien modificados en el campo científico del que proceden. Un ejemplo prototípico de esta situación se da en la explicación del proceso de fotosíntesis: donde la mayoría de los libros de texto consultados explicitan que produce glucosa (hipótesis propuesta por Sachs en 1872, Tabla N° 1), sin mencionar los marcos teóricos que consideran triosas, sacarosa y almidón.

3. Metodología

Se analizaron 19 libros de texto de Ciencias Naturales y Biología destinados al nivel secundario, recurriendo a técnicas de investigación de metodologías cualitativas y cuantitativas. Desde lo cuantitativo se realizó un estudio estadístico, vinculando la frecuencia y desviación estándar, de las siguientes variables: número de página en las cuales en las que se trata la fotosíntesis; conceptos involucrados en el desarrollo de la temática, teniendo en cuenta la cantidad y la presencia de los mismos en los diferentes textos. A partir de la lectura cualitativa, utilizando técnicas de análisis de discurso, se consideró las relaciones de las producciones textuales con la producción de conocimientos en el ámbito académico y los procesos de transposiciones didácticas.

4. Resultados y discusión

4.1 Datos cuantitativos

Del análisis del proceso de fotosíntesis en los libros de textos, se obtuvieron los siguientes resultados:

Media	2,3 páginas
Máximo valor	17 páginas
Mínimo valor	0,5 páginas
Rango	16,5 páginas
Desviación estándar	3,09 páginas
Media del número de conceptos por libro	10

Tabla N°2: Número de página en que se desarrolla la temática.

Nº de orden	Concepto	Frecuencia	Nº de orden	Concepto	Frecuencia
1	Almidón	1	30	fijación de dióxido de carbono	1
2	anillo de porfirina	1	31	fitol	1
3	Azúcares	3	32	floema	2
4	Bacterioclorofila	1	33	flujo cíclico de electrones	1
5	Biomasa	1	34	fitólisis	4
6	Biomoléculas	1	35	fotones	1
7	Carotenoides	3	36	fotoperíodo	1
8	Carotenos	5	37	fotorrespiración	1
9	centro de reacción	1	38	fotosistema 1	1
10	ciclo de Calvin	5	39	fotosistema 2	1
11	Clorofila	15	40	glucosa	10
12	clorofila a	4	41	Grana	4
13	clorofila b	4	42	intensidad lumínica	1
14	clorofila c	2	43	longitud de onda	1
15	clorofila d	2	44	nucleótidos energéticos	6
16	Cloroplasto	11	45	Pigmentos	3
17	Cromóforo	1	46	plantas C3	1
18	energía lumínica	7	47	plantas C4	1
19	energía química	5	48	Plastoquinona	1
20	epidermis vegetal	1	49	rendimiento de la fotosíntesis	1
21	Estroma	4	50	Tilacoide	7
22	Etapa biosintética	4	51	Traducción	1
23	etapa fotoquímica	6	52	Xantofilas	7
24	etapa luminosa	5	53	Xilema	2
25	etapa oscura	6	54	Sacarosa	0
26	Feofitina	1	55	Glucosa	16
27	Ficobilina	2	56	Grana	4
28	Ficocianina	1	57	intensidad lumínica	1
29	Ficoeritrina	3	58	longitud de onda	1

Tabla N°3: Frecuencia de aparición de los conceptos en relación a la fotosíntesis en los libros de textos. Elaboración propia

De los datos cuantitativos expuestos en las tablas 2 y 3, se infiere:

- Existe una gran diferencia en el tratamiento de los diferentes libros, que puede observarse en la diversidad de páginas en las cuales se desarrolla la temática.

- Es llamativo el excesivo número de conceptos que se explicitan, la mayoría de ellos nuevos para los alumnos.

- La mayoría de los textos proponen como producto final de la fotosíntesis a la glucosa, muy pocos hablan en forma general de azúcares siendo éstos de ediciones más recientes. Solo uno menciona la producción de almidón y ninguno la de sacarosa.

- En función de todos estos datos nos lleva a pensar que seguramente la enseñanza de los conceptos vinculados con fotosíntesis producirá bloques en la dialéctica antiguo-nuevo propuesta por Chevallard (1997), es decir, algoritmizaciones.

4.2 Datos cualitativos

La fotosíntesis es vista sólo como una reacción química que se produce en una única etapa, por lo que se simplifica excesivamente el proceso. Puede apreciarse la visión simplista de Van Helmont.

Se la presenta como una reacción inversa a la respiración (transposición didáctica patológica), por lo que se indica que produciría glucosa; en otros libros no se presenta como inversa a la respiración, pero también establecen la producción de glucosa. En este aspecto se observa la persistencia del modelo teórico de Sachs y los procesos de transposición didáctica como el envejecimiento biológico, analizados por Chevallard (1997).

Dentro de los ciclos biogeoquímicos se menciona a la fotosíntesis como parte interviniente en los ciclos del oxígeno y del carbono, pero en ningún libro de texto se considera como parte del ciclo del agua. Como puede apreciarse sólo se consideran las transformaciones físicas del agua, sin tenerla en cuenta a ésta desde un punto de vista bioquímico

como ser en la fotosíntesis y en la respiración.

Se menciona el ciclo de Calvin como la etapa oscura de la fotosíntesis sin considerar que existen enzimas que para activarse necesitan de la presencia de la luz.

Se sugiere un único pigmento que interviene en el proceso, la clorofila. Además, ésta es considerada más que en su función de absorción de luz, como una enzima.

Reflexiones finales

A partir de los datos obtenidos en los libros de texto de nivel secundario y del análisis de los mismos se puede inferir:

- Hay una simplificación excesiva del proceso de fotosíntesis.
- Presencia de numerosas transposiciones didácticas patológicas y de envejecimiento biológico. Por ejemplo: división en fase oscura y fase luminica, planteo de la fotosíntesis como proceso inverso a la respiración, participación de un único pigmento (Clorofila), glucosa como producto final del proceso, el oxígeno liberado a la atmósfera proviene del dióxido de carbono absorbido y fijación de dióxido de carbono.
- Coexistencia de explicaciones que analizan a la fotosíntesis desde marcos teóricos diferentes y contradictorios.
- No se incluye al proceso de fotosíntesis dentro del Ciclo del Agua, y únicamente se considera el papel físico de la misma cuando se analiza el citado ciclo.
- El contenido es desarrollado con una variabilidad muy grande desde media página hasta 17. Además, el excesivo número de conceptos mencionados (58) nos lleva a pensar que el desarrollo curricular implícito será memorístico y mecánico, es decir, totalmente algorítmico. Se centrará más en los datos que en el desarrollo conceptual.
- Dentro de la historia de la ciencia las hipótesis como las de producción de glucosa y formaldehído muestran las dificultades generadas por procesos reduccionista en la ciencia. Esto queda puesto de manifiesto por la persistencia de la producción de glucosa en los textos analizados.

Bibliografía

- Asimov, I. (1980). *Fotosíntesis*. Barcelona: Plaza & Janés.
- Bachelard G. (2009). *La filosofía del no. Ensayo de una filosofía del nuevo espíritu científico*. Buenos Aires: Amorrortu.
- Blanco, N. (1994). Materiales curriculares: los libros de texto. En F. Angulo Rasco y Blanco, N. *Teoría y desarrollo del curriculum*. (pp. 263 - 279). Málaga: Ediciones Algibe.
- Chevallard, Y. (1997). *La transposición didáctica*. Del saber sabio al saber enseñando. Buenos Aires. Aique.
- Curtis H. y Barnes S. (2007). *Biología*. Buenos Aires. Editorial Médica Panamericana.
- del Carmen, L. (1996). *El análisis y secuenciación de los contenidos educativos*. Barcelona: Horsori/ICE.
- Entel, A. (1988). *Escuela y conocimiento*. Buenos Aires: Miño y Dávila.
- Gimeno Sacristán, J. (1996). *El curriculum: una reflexión sobre la práctica*. Madrid: Morata.
- Gvirtz, S y Palamidessi, M. (2008). *El ABC de la tarea docente: currículum y enseñanza*. Buenos Aires: Aique.
- Kuhn, T. (1996). *La estructura de las revoluciones científicas*. México: Fondo de Cultura Americana.
- Moreira M. (1991). *Tópicos em ensino de Ciências*. Porto Alegre: Sagra.
- Pozo, J. I. (2006). *Teorías cognitivas del aprendizaje*. Madrid: Morata.
- Sadava, D.; Orians, G; Prurves, W. y Hillis, D. (2009). *Vida. La Ciencia de la Biología*. Buenos Aires: Panamericana.
- Toulmin, S. (1977). *La comprensión humana. El uso colectivo y la evolución de los conceptos*. Madrid: Alianza.

Notas

- 1 PS significa fotosistema.