

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

CHARRIER MELILLÁN, MARÍA¹, CAÑAL, PEDRO² y RODRIGO VEGA, MAXIMILIANO³

¹ Universidad Nacional de Mar del Plata, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Departamento de Biología. Argentina.

² Universidad de Sevilla. Facultad de Ciencias de la Educación. Sevilla. España.

³ Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Educación. Madrid. España.

melillan@mdp.edu.ar

pcanal@us.es

mrodrig1@edu.ucm.es

Resumen. En este artículo se realiza una revisión bibliográfica de los trabajos publicados desde los años ochenta en relación con las concepciones alternativas de dos conceptos: *fotosíntesis* y *respiración*. También se analizan los orígenes de estas concepciones, así como nuevas propuestas metodológicas para la enseñanza de ambos procesos tendientes a prevenir la aparición de nuevos errores conceptuales. La revisión permitió comprobar que existen serias dificultades en la comprensión de ambos procesos, muchas de las cuales persisten luego de recibida la instrucción, así como la aparición de nuevas dificultades como resultado de la misma. Las dificultades tienen muchos y variados orígenes: los maestros, los diseños curriculares, los libros de texto, otros. Ha quedado demostrada la universalidad de las concepciones alternativas en torno a la fotosíntesis y la respiración a lo largo de todo el período de escolarización.

Palabras clave. Fotosíntesis, respiración, errores conceptuales, concepciones alternativas, revisión de estudios.

Student's alternative conceptions on photosynthesis and respiration: A bibliographical revision in relation to plant nutrition researches and learning

Summary. This article briefly summarizes the findings of a bibliographical revision process based on the reports published since 1980, related to alternative conceptions of both photosynthesis and respiration concepts. We also analyzed the origin of students' conceptions, as well as new methodological proposals in order to prevent the appearance of new misconceptions and/or misunderstandings. This review indicates that students show a wide range of conceptual difficulties that constrain the understanding on both photosynthesis and respiration. Many of these difficulties persist after instruction and new ones arise. Furthermore, difficulties have different and complex origins: teacher's instructions, curricula development, textbooks, and so on. It is possible to conclude the universality of alternative conceptions of photosynthesis and respiration along all levels of science education.

Keywords. Photosynthesis, respiration, misconceptions, alternative conceptions, research review.

En los últimos veinticinco años se han publicado numerosos trabajos sobre las concepciones de los estudiantes en todos los campos disciplinares y niveles de la enseñanza. Estos estudios han permitido poner en evidencia la existencia de graves problemas de enseñanza y aprendizaje sobre muchos tópicos curriculares y han proporcionado nuevos fundamentos para la crítica

a la enseñanza de las ciencias por transmisión directa de conocimientos ya elaborados.

En este contexto, los trabajos centrados en el análisis de las concepciones de los estudiantes sobre los procesos de fotosíntesis y respiración, y la génesis de las mismas, han despertado un gran interés entre los investigadores

desde el comienzo de los ochenta. Sobre la base de las primeras investigaciones descriptivas, en los años posteriores aparecen en la literatura algunas propuestas didácticas dirigidas a solventar los problemas observados, centradas fundamentalmente en el objetivo de evitar la aparición de las concepciones alternativas más generalizadas. Pero es evidente, no obstante, que la problemática en torno a la enseñanza y aprendizaje sobre los procesos de fotosíntesis y respiración, en el contexto de la nutrición de las plantas, sigue plenamente vigente y aún son numerosas las cuestiones a dilucidar en este campo de investigación.

En este trabajo se realiza una revisión del estado de la investigación didáctica en este terreno, actualizando las aportaciones que, con este mismo propósito, realizaron en su momento autores como Bell (1985a), Barker (1985), Cañal (1990) o Wood-Robinson (1991). Nuestra revisión pretende, más en concreto: *a)* describir y analizar los estudios realizados en torno a las concepciones alternativas sobre la nutrición de las plantas (que han estado centrados principalmente en los procesos de fotosíntesis y respiración), *b)* dar cuenta de los hallazgos relativos al posible origen de las concepciones alternativas más generalizadas y *c)* describir las principales características de las propuestas didácticas realizadas en este importante sector curricular. Nuestro fin último es clarificar el estado de la investigación didáctica en este campo y poner a disposición de los nuevos investigadores y docentes de habla hispana la perspectiva general necesaria para poder detectar problemas específicos y poner en práctica innovaciones bien fundamentadas en la enseñanza relativa a la nutrición de las plantas.

METODOLOGÍA

El análisis se ha centrado en un amplio conjunto de revistas especializadas en enseñanza de las ciencias, enseñanza de la biología y otras de carácter más amplio, en idioma inglés, francés y castellano (ver bibliografía). Asimismo, se han revisado trabajos publicados en actas de congresos, encuentros y en otros materiales, atendiendo a las siguientes variables:

- Tipo y número de sujetos de la muestra.
- Instrumento/s utilizado/s para el análisis de las concepciones alternativas de la población objeto de estudio.
- Contenido de las concepciones.
- Posible origen de las mismas.
- Propuestas didácticas brindadas por los autores.

Sobre las muestras analizadas

Los trabajos sobre las concepciones de los estudiantes fueron realizados en todos los niveles de la enseñanza con muestras de hasta 1.405 estudiantes (Wandersee, 1983).

Los niveles de la enseñanza donde se realizaron los estudios son:

a) Estudiantes de primaria: (Simpson y Arnold, 1982a y b; Roth, Smith y Anderson, 1983; Wandersee, 1983; Smith y Anderson, 1984; Benlloch, 1984; Barker, 1985; Haslam y Treagust, 1987; Cañal, 1990; Giordan, 1990; Vuala, 1991).

b) Estudiantes de secundaria: (Simpson y Arnold, 1982a y b; Wandersee, 1983; Soyibo, 1983; Driver et al., 1984; Bell y Brook, 1984; Benlloch, 1984; Bell, 1985b; Rumelhard, 1985; Barker, 1985; Stavy et al., 1987; Haslam y Treagust, 1987; Eisen y Stavy, 1988; Battinger et al., 1988; Barker y Carr, 1989; Banet y Núñez, 1990; Giordan, 1990; García Zaforas, 1991; Paccaud, 1991; Campestrini, 1992; Eisen y Stavy, 1993; Lumpe y Staver, 1995; Alparsian et al., 2003; Özay y Öztas, 2003).

c) Estudiantes universitarios: (Wandersee, 1983; Eisen y Stavy, 1988; Anderson, Sheldon y Dubay, 1990; Giordan, 1990; García Zaforas, 1991; Songer y Mintzes, 1994; Lavoie, 1997; Daleffe et al., 2000; Charrier y Obenat, 2001; Griffard y Wandersee, 2001; Carlsson, 2002).

d) Profesores en formación inicial: (Astudillo y Gené, 1984; Cañal y Rasilla, 1986; Banet y Núñez, 1990; Pedro, 1997; Carignato y Caldeira, 2000; Charrier y Obenat, 2001).

e) Profesores en activo: (Smith y Anderson, 1984; Cañal 1990).

Instrumentos de detección

El instrumento más utilizado para el rastreo de las concepciones alternativas es el cuestionario, que frecuentemente se acompaña con entrevistas. En todos los trabajos se pudo comprobar que los autores demandaron aspectos muy básicos de ambos procesos.

A continuación se detallan los instrumentos y los autores que los utilizaron:

a) Cuestionarios: (Soyibo, 1983; Astudillo y Gené, 1984; Bell y Brook, 1984; Driver et al., 1984; Rumelhard, 1985; Cañal y Rasilla, 1986; Stavy et al., 1987; Eisen y Stavy, 1988; Battinger, 1988; Banet y Núñez, 1990; Cañal, 1990; García Zaforas, 1991; Paccaud, 1991; Vuala, 1991; Songer y Mintzes, 1994; Carignato y Caldeira, 2000; Daleffe et al., 2000; Özay y Öztas, 2003).

b) Test de selección múltiple: (Simpson y Arnold, 1982b; Eisen y Stavy, 1993; Charrier y Obenat, 2001; Griffard y Wandersee, 2001; Alparsian et al., 2003).

c) Test de lápiz y papel: (Simpson y Arnold, 1982a; Wandersee, 1983; Haslam y Treagust, 1987; Barker y Carr, 1989; Vuala, 1991; Pedro, 1997).

d) Mapas conceptuales: (Haslam y Treagust, 1987; Songer y Mintzes, 1994; Pedro, 1997; Lavoie, 1997).

e) Resolución de problemas: (Paccaud, 1991; Songer y Mintzes, 1994).

f) Experimentos históricos:

- 1) van Helmont (Campestrini, 1992; Daleffe et al., 2000).
- 2) Priestley (Wandersee, 1983).
- 3) van Helmont y Priestley (Rumelhard, 1985; Eisen y Stavy, 1993).
- 4) Santorio Santorio (Eisen y Stavy, 1993).

g) Entrevistas: (Arnold y Simpson, 1980; Simpson y Arnold, 1982a; Simpson y Arnold, 1982b; Bell y Brook, 1984; Benlloch, 1984; Haslam y Treagust, 1987; Battister et al., 1988; Banet y Nuñez, 1990; Cañal, 1990; Songer y Mintzes, 1994; Carlsson, 2002; Alparsian et al., 2003).

h) Estudios de caso (instrumentos diversos): Bell (1985b), Cañal (1990).

Concepciones en relación con la fotosíntesis

a) Gran parte de los estudiantes, sobre todo los más pequeños, piensan que las plantas obtienen todo su alimento del suelo, por medio de las raíces (Simpson y Arnold, 1982a; Roth, Smith y Anderson, 1983; Wandersee, 1983; Bell y Brook, 1984; Driver et al., 1984; Benlloch, 1984; Rumelhard, 1985; Cañal y Rasilla, 1986; Battister et al., 1988; Cañal, 1990; Stavy, Eisen y Yaakobi, 1987; Eisen y Stavy, 1993; Songer y Mintzes, 1994; Pedro, 1997; Özyay y Öztas, 2003).

b) Las definiciones brindadas por los estudiantes en torno a la fotosíntesis guardan escasa relación con el concepto escolar. Por lo general mencionan que las plantas realizan la fotosíntesis para crecer, vivir (Roth, Smith y Anderson, 1983).

c) Desconocen la función de la hoja. Para muchos, éstas sirven para captar el agua de lluvia (Wandersee, 1983) o para recibir los alimentos (Benlloch, 1984).

d) Por lo general no mencionan la clorofila o desconocen su función y los que la nombran le atribuyen una gran variedad de funciones: 1) dar color a las hojas, 2) es la sangre de las plantas, 3) se combina con el dióxido de carbono para formar glucosa, 4) es una sustancia que atrae la luz y sirve de protección, 5) es un alimento, 6) se combina con el yodo para producir una sustancia de color negro, llamada almidón, 7) elabora los alimentos (Simpson y Arnold, 1982a; Soyibo, 1983; Wandersee, 1983; Astudillo y Gené, 1984; Bell y Brook, 1984; Haslam y Treagust, 1987; Barker y Carr, 1989).

e) Confunden el papel del dióxido de carbono y el oxígeno (Wandersee, 1983; Soyibo, 1983; Astudillo y Gené, 1984; Driver y otros, 1984; Rumelhard, 1985; Haslam y Treagust, 1987; Eisen y Stavy, 1988; Lavoie, 1997; Carignato y Caldeira, 2000; Charrier y Obenat, 2001).

f) Los gases necesarios para la fotosíntesis son absorbidos por las raíces y tallos, no por las hojas (Simpson y Arnold, 1982a; Cañal, 1990).

g) Confunden fotosíntesis con respiración (Astudillo y

Gené, 1984; Rumelhard, 1985; Stavy, Eisen y Yaakobi, 1987; Eisen y Stavy, 1988; Cañal, 1990; García Zaforas, 1991; Eisen y Stavy, 1993; Carignato y Caldeira, 2000; Charrier y Obenat, 2001).

h) Hay un fuerte arraigo del conocimiento cotidiano: «no se puede dormir con plantas en la habitación porque consumen el oxígeno» (Cañal, 1990; Charrier y Obenat, 2001).

i) Las plantas fotosintetizan de día y respiran de noche (Cañal, 1990; Eisen y Stavy, 1993; Charrier y Obenat, 2001).

j) Por lo general desconocen si las plantas necesitan luz y en los casos en que la mencionan le atribuyen funciones como: vivir, crecer, tener buena salud, dar color a la planta (Roth, Smith y Anderson, 1983).

k) Las transformaciones de energía solar en energía química por lo general no se mencionan, no obstante conocer que las plantas necesitan luz (Simpson y Arnold, 1982b; Wandersee, 1983).

l) Para muchos estudiantes la energía es un medio para producir calor (Rumelhard, 1985).

m) Desconocen dónde queda contenida la energía como resultado de la fotosíntesis (Charrier y Obenat, 2001).

n) Las plantas utilizan la energía solar para mantenerse saludables (Smith y Anderson, 1984; Özyay y Öztas, 2003).

o) En pocos casos se menciona la elaboración de hidratos de carbono en el proceso, en particular el almidón (Bell y Brook, 1984; Barker, 1985).

Concepciones sobre la respiración

a) Las definiciones brindadas por los estudiantes en torno a la respiración coinciden con las brindadas para la fotosíntesis y guardan escasa relación con el concepto escolar (Anderson, Sheldon y Dubay, 1990).

b) Muchos estudiantes consideran que las plantas no respiran (Arnold y Simpson, 1980; Stavy, Eisen y Yaakobi, 1987; Stavy y Wax, 1989). Para otros: 1) Las plantas sólo respiran de día (Soyibo, 1983; Haslam y Treagust, 1987; Cañal, 1990). 2) Las plantas sólo respiran de noche (Soyibo, 1983; Cañal y Rasilla, 1986; Haslam y Treagust, 1987; Lavoie, 1997; Charrier y Obenat, 2001; Alparsian et al., 2003; Özyay y Öztas, 2003).

c) Para muchos estudiantes la respiración es sinónimo de intercambio gaseoso (Haslam y Treagust, 1987; Cañal, 1990; Anderson, Sheldon y Dubay, 1990; García Zaforas, 1991; Songer y Mintzes, 1994; Carignato y Caldeira, 2000; Charrier y Obenat, 2001; Alparsian et al., 2003).

d) Presentan una escasa comprensión del lugar donde se realiza la respiración. Por lo general mencionan al

pulmón, branquias, tráqueas, hojas, raíces (Cañal, 1990; Songer y Mintzes, 1994; Carignato y Caldeira, 2000; Charrier y Obenat, 2001; Alparsian et al., 2003). Esto estaría evidenciando la imposibilidad que presentan los estudiantes de pensar en términos microscópicos ya que en pocos casos mencionan las mitocondrias.

e) La respiración ocurre sólo en las células del sistema respiratorio (Alparsian et al., 2003).

f) La respiración de los animales es distinta a la de los vegetales (Cañal, 1990; García Zaforas, 1991; Songer y Mintzes, 1994; Charrier y Obenat, 2001).

g) Hay una fuerte tendencia en confundir el papel del dióxido de carbono y el oxígeno durante el proceso. Para los estudiantes: 1) El oxígeno es fuente de energía. 2) El dióxido de carbono que eliminamos es el que entró en la inspiración. 3) El oxígeno de la fotosíntesis es utilizado por la respiración durante la noche. 4) El oxígeno siempre entra y el dióxido de carbono siempre sale. 5) En la respiración se quema oxígeno. 6) Las plantas absorben dióxido de carbono y eliminan oxígeno (Soyibo, 1983; Cañal y Rasilla, 1986; Banet y Núñez, 1990; Cañal, 1990; Songer y Mintzes, 1994; Lavoie, 1997; Carignato y Caldeira, 2000). 7) El oxígeno se transforma en gas carbónico y viceversa (sin intervención de más sustancias) (Benlloch, 1984).

h) Se desconoce que la respiración es una fuente de obtención de energía (García Zaforas, 1991; Charrier y Obenat, 2001).

Acerca de la génesis de estas concepciones

Son pocos los autores que mencionan un posible origen de estas concepciones alternativas. No obstante, algunos consideran que su génesis podría estar relacionada con:

a) Una malla compleja de factores, algunos de los cuales son mencionados por Battinger et al. (1988). Por su parte, Cañal (1990) subraya igualmente la intervención de múltiples factores: una deficiente formación científica de los docentes en activo en relación con estos dos conceptos, insatisfactorias condiciones de trabajo, inadecuada e insuficiente preparación didáctica, materiales curriculares de planteamientos tradicionales, contenidos no actualizados y frecuentes errores, esquema rígido de la organización escolar e influencias negativas del contexto sociocultural cotidiano.

b) El exceso de información proporcionada por los docentes, que resulta innecesaria para la comprensión del proceso (Cañal, 1990; Eisen y Stavy, 1993).

c) Dificultades provenientes del propio campo conceptual (Cañal 1990; Eisen y Stavy, 1993; Songer y Mintzes, 1994).

d) La imposibilidad que presentan los estudiantes para describir fenómenos biológicos en términos químicos (Campestrini, 1992; Eisen y Stavy, 1992).

e) Considerar al hombre como el centro de la creación, asumiendo que éste tiene el control sobre todo el medio. En tal sentido, resulta difícil para el alumnado aceptar que la vida del hombre (un animal) depende de la existencia de las plantas (Eisen y Stavy, 1992).

f) Los errores y planteamientos inadecuados detectados en los libros de texto, como la utilización de más de un término para un concepto: respiración interna, respiración externa, respiración celular, respiración aeróbica, etc., lo que crea confusión en la mente de los estudiantes (Barrass, 1984; Banet y Núñez, 1990; Lloyd, 1990; Abimbola y Baba, 1996; Cañal y Criado, 2002).

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 (Barrass, 1984; Cañal, 1999), al inducir la idea de que los dos procesos no podrían ocurrir simultáneamente.

h) 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 (Carignato y Caldeira, 2000).

i) Incorporación excesivamente temprana de estos procesos en los diseños curriculares (Songer y Mintzes, 1994).

j) 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 (Cañal 1990).

k) 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. (Barker y Carr, 1992).

l) 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 (Carignato y Caldeira, 2000; Charrier y Obenat, 2001).

PROPUESTAS DIDÁCTICAS

Algunos autores brindan propuestas para la enseñanza-aprendizaje de estos contenidos que podrían revertir las dificultades detectadas por ellos y otros investigadores. En algunos casos se propone una nueva selección y jerarquización de contenidos que se consideran apropiados para el tratamiento de las temáticas. En otros, se plantea una reubicación de las asignaturas de ciencias experimentales y/o biología en los diseños curriculares, así como nuevas propuestas didácticas. Algunas de éstas han sido puestas en práctica, como es el caso de Benlloch (1984), C.L.I.S.P. (1987), Battinger et al. (1988), Cañal (1990), Vuala (1991) y Eisen y Stavy (1993).

Sobre el concepto de *respiración*

1. En la educación primaria

Vuala (1991) propone la utilización de dibujos animados para analizar la evolución de las concepciones sobre la respiración. Considera que, debido al impacto que los dibujos presentan en los niños, esta técnica de vulgarización científica podría ser una herramienta didáctica susceptible de favorecer la construcción de significados científicos en los estudiantes. No obstante, ha comprobado que la implementación de su propuesta introduce nuevos obstáculos. En palabras de la autora, «posiblemente éste sea el precio a pagar respecto a las ganancias realizadas para dejar atrás los primeros obstáculos más fundamentales» (p. 7).

Cañal (1992b), en el marco de una propuesta más general sobre la enseñanza relativa a la nutrición de las plantas, considera fundamental, en primer lugar, el desarrollo del conocimiento de los escolares de primaria sobre el aire y los gases, realizando la propuesta de dos niveles de formulación del saber escolar conceptual al respecto. En cuanto al proceso de respiración, en sí, cree imprescindible que ya en este nivel los alumnos se familiaricen con una visión elemental del ser vivo como organismo compuesto por células, cada una de las cuales necesita oxígeno del aire para conseguir energía, proponiendo la analogía de la «combustión interna», que proporciona energía, como primera aproximación al sentido fisiológico de la respiración, con dos posibles niveles de formulación, integrando su comprensión en el nivel de organismo (obtención del oxígeno del aire) y en el nivel celular (obtención de energía, «quemando» sustancias dentro de cada célula).

2. En la educación secundaria

Cañal (1990) completa la propuesta anterior, para primaria, con una formulación más compleja del modelo anterior, adecuada para los escolares de secundaria. Pero siempre en el marco de una visión integrada sobre la nutrición de la planta.

Banet y Núñez (1990) mencionan que al nivel anatómico resulta útil establecer relaciones entre los aparatos digestivo y respiratorio. Se debería analizar la estructura alveolar de los pulmones y su relación con las vías respiratorias. También se debería diferenciar la ventilación pulmonar de los intercambios gaseosos al nivel de los alvéolos, haciendo hincapié en la composición de los diferentes tipos de aire: atmosférico, inspirado y espirado. Finalmente proponen estudiar aspectos relativos al transporte de gases por la sangre, los intercambios al nivel de los tejidos y la utilización del oxígeno en el nivel celular.

García Zaforas (1991) propone una formulación del concepto de *respiración* que facilite la construcción de un modelo interpretativo global y el abandono del modelo clásico, en el que se realiza un estudio desconectado de los distintos aparatos y sistemas. Será necesario prescindir de la gran cantidad de detalles y de nombres con los que se «ametralla» a los alumnos, y de la práctica habitual de estudiar de antemano o *a posteriori* el nivel celular, como algo aislado del nivel de organismo.

Paccaud (1991) menciona que el concepto de *respiración* puede abordarse centrándonos en diferentes aspectos o niveles de organización:

- a) La mecánica respiratoria: movimientos respiratorios y ventilación pulmonar, órganos implicados en estos movimientos.
- b) Los aspectos físico-químicos de la respiración: intercambios gaseosos en los alvéolos y células, papel de la sangre.
- c) Los aspectos celulares de la respiración: reacción global de la respiración, alimentos y combustible.
- d) Los aspectos cito-bioquímicos y energéticos de la respiración: mitocondrias, degradación de la glucosa, transferencia de electrones, potencial redox, producción de ATP.

Propone, además, tres «puertas de entrada» (la bioquímica, la fisiológica y la ecosistémica), con los siguientes contenidos en cada caso:

- a) Bioquímica: transformación, conservación, acumulación de energía, descarboxilación, deshidrogenación, transferencia de electrones y síntesis de ATP.
- b) Fisiológica: alimentación, digestión, circulación, absorción y asimilación.
- c) Ecosistémica: dinámica del ciclo de la materia y flujo de la energía en los seres vivos, cadenas y redes alimentarias.

3. En la educación universitaria

Para Songer y Mintzes (1994), es muy probable que la ubicación de la fotosíntesis y la respiración sea mejor comprendida en el contexto del flujo de la energía en los ecosistemas, seguida por las consideraciones de la importancia fisiológica del intercambio de gases, digestión y mecanismos de transporte. Por otra parte, observaron que en muchos diseños curriculares la respiración celular es introducida relativamente muy temprano y frecuentemente está ubicada entre los conceptos de *ósmosis* y *división celular*. Los autores opinan que esta ubicación debe ser repensada.

Para estudiantes universitarios, proponen reducir los nueve pasos de la glicólisis a cuatro eventos significativos:

- a) evento «preparar la bomba» en el cual el ATP es utilizado para la fosforilación de seis átomos de carbono;
- b) evento «hidrólisis» donde el compuesto fosforilado se hidroliza en dos moléculas de tres carbonos;
- c) evento «redox» que produce un compuesto rico en energía NADH, y
- d) evento «fosforilación» donde se sintetiza ATP.

Los autores también sugieren estrategias metodológicas como la utilización de modelos y analogías (que han

resultado ser muy efectivas), sobre todo cuando se trata de dominios abstractos, objetos y eventos que son muy difíciles de visualizar, tal es el caso de la respiración celular. Proponen, además, la utilización de problemas, discusiones y ejercicios de computadora interactivos para la enseñanza de la respiración celular.

Propuestas didácticas para el concepto de *fotosíntesis*

1. En la educación primaria

Cañal (1992a y b) presenta una perspectiva elemental e integrada de la nutrición de las plantas y, en ella, la caracterización de los procesos de alimentación, como primera fase de la nutrición mediante la que el ser vivo, animal o vegetal, consigue los nutrientes que necesitan las células para vivir y los ponen a disposición de éstas. Resalta la necesidad de abordar adecuadamente y en paralelo la construcción de nociones sencillas sobre conceptos como: suelo, ser vivo, animal, planta, célula, respiración, alimento, nutriente, alimentación, nutrición, crecimiento..., realizando la propuesta de dos posibles niveles sucesivos de formulación.

Posteriormente, Cañal (1997, 1999) analiza una concepción muy generalizada en los estudiantes, que es la de considerar la fotosíntesis como la inversa de la respiración. Concluye su trabajo proponiendo los siguientes conceptos que según su opinión deberían ser enseñados antes de abordar los procesos de la fotosíntesis:

1. Distinguir entre los modelos corporales de los animales y las plantas como dos opciones evolutivamente separadas que satisfacen las mismas necesidades.
2. Distinguir entre los niveles de organización, organismo y célula, y comprender las relaciones que se establecen entre ellos.
3. Comprender la nutrición como un proceso continuo de intercambio de materia y energía entre el organismo y el medio en el que vive.
4. Diferenciar entre sustancias orgánicas e inorgánicas, según éstas tengan o no la capacidad de proporcionar los nutrientes que necesitan las células para obtener la energía que necesitan.
5. Durante la conceptualización de la nutrición considerar al alimento como sustancia presente en el medio, a partir de la cual los seres vivos obtienen los nutrientes inorgánicos y orgánicos que sus células necesitan.
6. Aceptar que las plantas obtienen los nutrientes inorgánicos que sus células necesitan para llevar a cabo la fotosíntesis de dos fuentes externas: suelo (agua y sales minerales) y aire (dióxido de carbono).
7. Comprender la capacidad de las plantas para elaborar nutrientes orgánicos en sus células con clorofila mediante las sustancias inorgánicas que toman del medio (aire y suelo) cuando hay luz solar.

8. Comprender que todas las células de las plantas combinan sustancias orgánicas e inorgánicas para sintetizar otros compuestos orgánicos que les permiten crecer, acumular sustancias de reserva en frutos, semillas, otros.

9. Concebir la respiración como un proceso que se desarrolla continuamente en todas las células, tanto en plantas como en animales, en el que sustancias orgánicas se combinan con el oxígeno que el ser vivo consigue del medio exterior, produciendo la energía que necesita para realizar sus funciones.

2. En la educación secundaria

Barker y Carr (1989, 1992) presentan una nueva estrategia que ha sido elaborada sobre la base de los ocho postulados del modelo de aprendizaje generativo de Osborne y Wittrock (1985).

Los autores comprobaron que tanto en los manuales como en los documentos utilizados por los estudiantes entre los 13 y los 17 años, así como en las observaciones de clase, la pedagogía de la enseñanza por descubrimiento guiado es, por lo general, la más practicada. Destacan que el trabajo práctico que con más frecuencia se aplica en la escuela secundaria sobre la fotosíntesis es el que propone a los estudiantes investigar la presencia de almidón en las hojas, mediante el yodo donde, por ejemplo, los controles están ausentes.

Mencionan, además, que no obstante ser el almidón una de las sustancias más estudiadas, ésta no es familiar para los estudiantes; por tanto, en el modelo que proponen privilegian la madera como objeto de trabajo. Si bien esta estrategia ha sido elaborada para estudiantes de secundaria, los autores comentan que es perfectamente aplicable para estudiantes de entre 5 y 12 años.

Eisen y Stavy (1992) desarrollaron un nuevo modelo de enseñanza con el propósito de organizar tanto los contenidos como la instrucción por parte de los maestros, con el fin de cambiar los errores conceptuales preexistentes, así como para prevenir la aparición de nuevos. Partieron de la base de que los estudiantes tienen ideas con reminiscencias en las teorías científicas del pasado, esto es una visión aristotélica de la nutrición en plantas, o que el agua es el principal alimento, lo que nos remonta a van Helmont. En tal sentido su propuesta se relaciona con la historia de la ciencia. Las autoras proponen la siguiente secuencia.

1. Los elementos que forman tu cuerpo. Composición química del cuerpo humano, especialmente el carbono, el hidrógeno y el oxígeno, con especial referencia al propio cuerpo de los estudiantes.
2. Las diferencias entre el peso de los materiales que entran y salen del cuerpo. La historia de Santorio Santorio (1650).
3. ¿Qué le pasa a los materiales del cuerpo? La síntesis de los materiales del cuerpo a partir de la alimentación y la ruptura por el oxígeno durante la respiración. Los intercambios de gases durante la respiración que les permite responder la cuestión sobre el peso de Santorio. Se hace especial énfasis en la conservación de la materia.

4. ¿Por qué el oxígeno del aire no es utilizado? La historia de Priestley (1771) que explica cómo las plantas eliminan oxígeno a la atmósfera que ha sido degradada por la respiración.

5. Los elementos que producen las plantas. Se enfatizan las similitudes entre las plantas y los animales en cuanto al carbono, el oxígeno y el hidrógeno.

6. ¿Qué le pasa a los materiales en las plantas? Aquí se enfatizan las diferencias entre plantas y animales: los materiales que se producen durante la fotosíntesis y los que se degradan durante la respiración. Se ilustra con las ideas de Aristóteles y van Helmont sobre el origen de los materiales de las plantas.

7. Ciclo de la materia en la naturaleza. El ciclo del carbono, del agua y del nitrógeno donde se muestran las relaciones entre las plantas y los animales. Se hace énfasis en el papel del sol.

8. Fuente del carbono en la naturaleza. Reserva de combustibles y el origen en los organismos vivos: plantas y animales.

9. Influencia del hombre en el ciclo del carbono. El impacto de las tecnologías en el ciclo del carbono, en especial su probable efecto en el clima de la Tierra.

En 1993 estas autoras publicaron los resultados de la puesta en práctica de la propuesta señalando que, no obstante encontrar diferencias significativas entre el grupo experimental y el grupo control, los resultados no fueron los mismos para los diferentes contenidos. Las mayores contribuciones fueron para los conceptos de *respiración* y *ecosistema*, permaneciendo en los estudiantes la confusión entre fotosíntesis y respiración y para la conceptualización de una alimentación autotrófica.

CONSIDERACIONES FINALES

Los estudios sobre las concepciones alternativas han puesto en evidencia que existen serias dificultades para la construcción de ambos conceptos, y han venido a corroborar lo que los maestros han manifestado por años como fruto de sus observaciones empíricas: que tanto la *fotosíntesis* como la *respiración* son dos conceptos que por su complejidad resultan muy difíciles de ser enseñados y aprendidos.

Las investigaciones realizadas con alumnos de Argentina, Brasil, España, Estados Unidos, Francia, Israel, Nueva Zelanda, Portugal, Reino Unido y Turquía han mostrado la universalidad de las concepciones alternativas, así como la permanencia de las mismas a lo largo de todo el período de escolarización. Las concepciones aparecen en la escuela primaria y en muchos casos se extienden hasta la universidad. Esto estaría evidenciando que los errores se profundizan a medida que los estudiantes progresan en su escolaridad. En otros casos se sustituyen por nuevas concepciones que se convierten en nuevos obstáculos para el aprendizaje.

Por lo general, la fotosíntesis y la respiración se enseñan juntas, una a continuación de la otra, y frecuentemente son mencionadas como ejemplo de los procesos anabólicos y catabólicos que ocurren en los organismos, potenciando la comparación de las reacciones químicas globales y los intercambios gaseosos. Por lo tanto, no debería extrañarnos si los estudiantes creen que un proceso es el inverso del otro. La explicación está centrada en remarcar las diferencias del intercambio gaseoso que se produce entre uno y otro proceso. En tal sentido los estudiantes tienden a considerar la respiración como un proceso mediante el cual los seres vivos, en particular los animales, intercambian gases con la atmósfera. Con frecuencia esta idea se generaliza e invierte, y todo intercambio gaseoso se concibe como una respiración; en consecuencia, la fotosíntesis es considerada habitualmente por los estudiantes como una forma de «respiración inversa» que las plantas realizan durante el día (Cañal 1997, 1999).

En la gran mayoría de los libros de texto el modelo que se utiliza para explicar la respiración es el animal y, por lo general, el de nuestra especie. Esto explicaría, en parte, por qué algunos estudiantes creen que las plantas no respiran o suelen presentar una visión fuertemente antropocéntrica del proceso.

Otra dificultad es la que proviene de la utilización de los términos respiración, ventilación e intercambio gaseoso en forma equivalente e indiscriminada, observada tanto en los maestros como en los libros de texto; como consecuencia de ello los estudiantes tienden a pensar que respiración es sinónimo de intercambio gaseoso.

Hasta el presente hemos podido encontrar muy pocos trabajos realizados con docentes: el publicado por Smith y Anderson (1984) o los estudios de caso que desarrolló Cañal (1990). No obstante, muchos autores mencionan al profesorado como una posible causa de los errores conceptuales que presentan los estudiantes. En tal sentido pensamos que la investigación en este campo debería profundizar en el análisis de las concepciones disciplinares que presentan los docentes en activo. No se debe dejar de lado el análisis de las unidades didácticas que se proponen para la enseñanza-aprendizaje relativa a la nutrición de las plantas, estudiando la selección, jerarquización y secuenciación de los contenidos en las mismas y las actividades que promueven. Esto es algo que resulta igualmente necesario en el caso de los libros de texto empleados en clase, profundizando en lo que Shulman (1987) denominaba el «conocimiento didáctico del contenido». Conocidas con cierta profundidad y extensión las concepciones del alumnado sobre la nutrición de las plantas y los factores que están en el origen de las mismas, es preciso establecer con mayor precisión qué cambios conviene realizar en el marco curricular, en los materiales de desarrollo curricular, en las estrategias de enseñanza y en los procesos de formación del profesorado en este campo.

Esperamos que este trabajo resulte útil para estimular la investigación sobre los procesos de enseñanza y aprendizaje relativos a la nutrición de las plantas y también para facilitar que los profesores interesados en la mejora de su trabajo sobre este tópico puedan tener en cuenta los resultados de la investigación didáctica en el momento de elaborar sus propuestas de enseñanza-aprendizaje.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIMBOLA, I.O. y BABA, S. (1996). Misconceptions and alternative conceptions in Science textbooks: The role of teachers as filters. *American Biology Teacher*, 58(1), pp. 14-19.
- ALPARSIAN, C., TEKKA, C. y GEBAN, Ö. (2003). Using the conceptual change instruction to improve learning. *Journal of Biological Education*, 37(3), pp. 133-137.
- ANDERSON, C.W., SHELDON, T.S. y DUBAY, J. (1990). The effect of instruction on college nonmajor's conceptions of respiration and photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 27, pp. 761-776.
- ARNOLD, B. y SIMPSON, M. (1980). *An investigation of the development of the Concept Photosynthesis to S.C.E- «O» Grade*. Aberdeen, UK: Aberdeen College of Education.
- ASTUDILLO, H. y GENÉ, A.M. (1984). Errores conceptuales en biología. La fotosíntesis de las plantas verdes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(1), pp. 15-16.
- BANET, E. y NÚÑEZ, F. (1990). Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), pp. 105-110.
- BARKER, M. (1985). Working papers: 220-229 (Photosynthesis: an initial framework. Plants and water. Plants, oxygen and carbon dioxide. Leaves and chlorophyll. Plant products: wood, sugar and starch. Plants and energy. Food. Plants and food. Photosynthesis: learning outcomes. Photosynthesis: towards action research). *Science Education Research Unit*. Hamilton: University of Waikato, Nueva Zelanda.
- BARKER, M. y CARR, M. (1989). Photosynthesis - can our pupils see the wood for the trees? *Journal of Biological Education*, 23(1), pp. 41-44.
- BARKER, M. y CARR, M. (1992). Un modèle d'enseignement génératif de la photosynthèse. *Aster*, 15, pp. 33-84.
- BARRASS, R. (1984). Some misconceptions and misunderstandings perpetuated by teachers and textbooks of Biology. *Journal of Biological Education*, 18(3), pp. 201-206.
- BATTINGER, R., TRAMOY, M., CAENS, S. y MILLOT, J. (1988). Nutrition de la plante, en *Les représentations des élèves en Biologie*. Dijon: INRAP-ENSSAA-Lycees Agricoles.
- BELL, B. y BROOK, A. (1984). Aspects of secondary students' understanding of plants nutrition: full report. *Children's learning in Science Project*, University of Leeds.
- BELL, B. (1985a). Students' ideas about plant nutrition: what are they? *Journal of Biological Education*, 19(3), pp. 213-218.
- BELL, B. (1985b). *The construction of meaning and conceptual change in classroom setting: case studies on plant nutrition*. CLISP. University of Leeds.
- BENLLOCH, M. (1984). *Por un aprendizaje constructivista de las ciencias*. Madrid: Aprendizaje-Visor.
- CAMPESTRINI, P. (1992). Sortir de la logique de Van Helmont. *Aster*, 15, pp. 85-100.
- CAÑAL, P. y RASILLA, C. (1986). Une étude sur le niveau de structuration des concepts «photosynthèse» et «respiration» des étudiants de l'Ecole Normale. *Feuilles d'Epistémologie Appliquée et de Didactique des Sciences*, 8, pp. 39-44.
- CAÑAL, P. (1990). «La enseñanza en el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes. Un estudio didáctico en la Educación Básica». Tesis doctoral. Universidad de Sevilla.
- CAÑAL, P. (1992). Quel enseignement sur la nutrition des plantes en éducation «de base»? Proposition didactique. *Aster*, 15, pp. 7-32.
- CAÑAL, P. (1992). *¿Cómo mejorar la enseñanza sobre la nutrición de las plantas verdes?* Sevilla: Junta de Andalucía.
- CAÑAL, P. (1997). La fotosíntesis y la «respiración inversa» de las plantas: ¿un problema de secuenciación de contenidos? *Alambique*, 14, pp. 21-36.
- CAÑAL, P. (1999). Photosynthesis and «inverse respiration» in plants: an inevitable misconception? *International Journal of Science Education*, 21(4), pp. 363-371.
- CAÑAL, P. y CRIADO, A. (2002). ¿Incide la investigación en didáctica de las ciencias en el contenido de los libros de texto escolares?: el caso de la nutrición de las plantas. *Alambique*, 34, pp. 56-65.
- CAÑAL, P. (2004). *La nutrición de las plantas: enseñanza y aprendizaje*. Madrid: Síntesis.
- CARIGNATO SPOSITO, N. y CALDEIRA DE ANDRADE, A. (2000). Equívoco conceitual entre fotossíntese e respiração. *II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*. Córdoba, Argentina.
- CARLSSON, B. (2002). Ecological understanding 1: ways of experiencing photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 24(7), pp. 681-699.
- CHARRIER MELILLÁN, M. y OBENAT, S. (2001). Estudio de las concepciones de futuros maestros y profesores argentinos acerca de la fotosíntesis y la respiración. *Enseñanza de las Ciencias*, 2, p. 282.
- CLISP (1987). *Approaches to teaching plant nutrition*. Leeds: University of Leeds.
- DALEFFE, L., DE NAVARRETE, E., DÍAZ, B. y SALA, H. (2000). Fotosíntesis: Una historia para pensar. *II Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*. Córdoba, Argentina.
- DRIVER, R., CHILD, D., GOTT, R., HEAD, J., JOHNSON, S., WORSKEY, C. y WYLIE, F. (1984). *Science in School at age 15*. Report N° 2. Report to the DES, DENI and the Welsh Office on the 1981 survey of 15 years olds. London: Assessment of Performance Unit, Londres, UK.
- EISEN, Y. y STAVY, R. (1988). Student's understanding of photosynthesis. *American Biology Teacher*, 50(4), pp. 208-212.
- EISEN, Y. y STAVY, R. (1992). Material cycles in nature. A new approach to teaching photosynthesis in Junior High School. *The American Biology Teacher*, 54(6), pp. 339-342.

- EISEN, Y. y STAVY, R. (1993). How to make the learning of photosynthesis more relevant. *International Journal of Science Education*, 15(2), pp. 117-125.
- GARCÍA ZAFORAS, A.M. (1991). Estudio llevado a cabo sobre las representaciones de la respiración celular en los estudiantes de bachillerato y COU. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(2), pp. 129-134.
- GRIFFARD, P.B. y WANDERSEE, J.H. (2001). The two-tier instrument on photosynthesis: what does it diagnose? *International Journal Science Education*, 23(10), pp. 1.039-1.052.
- GIORDAN, A. (1990). *Interests des recherches en didactique de la Biologie*. LDES, Université de Genève.
- HASLAM, F. y TREAGUST, D.F. (1987). Diagnosing secondary students' misconceptions of photosynthesis and respiration in plants using a two tier multiple-choice instrument. *Journal of Biological Education*, 21(3), pp. 203-208.
- LAVOIE, D. (1997). Using a modified concept mapping strategy to identify students' alternative scientific understandings of Biology. *Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching*. Chicago, Illinois. EEUU.
- LLOYD, C.V. (1990). The elaboration of concepts in three biology textbooks: facilitating student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 27(10), pp. 101-132.
- LUMPE, A. y STAVY, J. (1995). Peer collaboration and concept development: learning about photosynthesis. *Journal of Research in Science Teaching*, 32, pp. 71-98.
- OSBORNE, R.J. y WITTROCK, M. (1985). The generative learning model and its implications for science education. *Studies in Science Education*, 2, pp. 59-87.
- ÖZAY, E. y ÖZTAS, H. (2003). Secondary student's interpretations of photosynthesis and plant nutrition. *Journal of Biological Education*, 37(2), pp. 68-70.
- PACCAUD, M. (1991). Les conceptions comme levier d'apprentissage du concept de respiration. *Aster*, 13, pp. 35-59.
- PEDRO, M.H. (1997). «Conceptual change: A study of the concept of Photosynthesis in pre-service teachers». Comunicación presentada en el Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching. Chicago, Illinois. EEUU.
- ROTH, K.J., SMITH, E. y ANDERSON, C.W. (1983). «Students' conceptions of photosynthesis and food for plants». Comunicación presentada en American Educational Research Association. Montreal. Canadá.
- RUMELHARD, G. (1985). Quelques représentations a propos de la photosynthèse. *Aster*, 1, pp. 37-66.
- SHULMAN, L.S. (1987). Knowledge and Teaching: Foundations of the New Reform. *Harvard Educational Review*, 57(1), pp. 1-22.
- SIMPSON, M. y ARNOLD, B. (1982a). The inappropriate use of subsumers in biology learning. *European Journal of Science Education*, en BELL, B. 1985. Students' ideas about plant nutrition: What are they? *Journal of Biological Education*, 19(3), pp. 213-218.
- SIMPSON, M. y ARNOLD, B. (1982b). Availability of prerequisite concepts for learning biology at certificate level. *Journal of Biological Education*, 16(1), pp. 65-72.
- SMITH, E. y ANDERSON, C. (1984). Plants as producers: A case of elementary science teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 21(7), pp. 685-689.
- STAVY, R. y WAX, N. (1989). Children's conceptions of plants as living things. *Human Development*, 32, pp. 88-94.
- STAVY, R., EISEN, Y. y YAAKOBI, D. (1987). How students aged 13-15 understand photosynthesis. *International Journal of Science Education*, 9(1), pp. 105-115.
- SONGER, C. y MINTZES, J. (1994). Understanding cellular respiration: An analysis of conceptual change in College Biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(6), pp. 621-637.
- SOYIBO, K. (1983). Selected science misconceptions among some Nigerian school certificate students', en Helm, H. y Novak, J.D. (eds.). *Proceedings of the International Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*, pp. 425-427. Ithaca, Nueva York, EEUU. Dept. of Education, Cornell University.
- VUALA, J. (1991). Le rôle d'un dessin animé dans l'évolution des conceptions d'élèves sur la respiration. *Aster*, 13, pp. 7-34.
- WANDERSEE, J. (1983). Student's misconceptions about photosynthesis, en Helm, H. y Novak, J.D. (eds.). *Proceedings of the International Seminar: Misconceptions in Science and Mathematics*, pp. 441-466. Ithaca: Dept. of Education, Cornell University. Ithaca, Nueva York, EEUU.
- WOOD-ROBINSON, C. (1991). Young people's ideas about plants. *Studies in Science Education*, 19, pp. 119-135.

[Artículo recibido en septiembre de 2004 y aceptado en abril de 2006]