

Monografía
Investigación e innovación en la enseñanza de las ciencias

Pedro Cañal
Ana Criado
Universidad de Sevilla

¿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

En este trabajo se aborda el problema de la insuficiente interrelación entre los procesos de investigación didáctica y la práctica de la enseñanza de las ciencias. Partiendo de la base de que en la situación actual, los libros de texto siguen ocupando un lugar privilegiado como principal o único recurso didáctico de uso generalizado, se ha explorado hasta qué punto los contenidos que se incluyen en una muestra de estos materiales resultan coherentes con resultados de investigación sobre un tópico curricular común, como es el de la nutrición de las plantas, en los niveles de la enseñanza obligatoria.

Does research into the teaching of the sciences have a bearing on the content of school textbooks? The case of plant nutrition

In this article we look at the problem of the insufficient interrelation between the processes of didactic research and the practice of teaching the sciences. Beginning with the position that at present textbooks continue to occupy a privileged place as the main or only didactic resource in general use we have examined as to what point the contents that are included in a sample of these materials are coherent with research results on a common Curricular topic, as is that of the nutrition of plants in the different levels of Compulsory Secondary Education.

Existe acuerdo en la idea de que la didáctica de las ciencias es un campo de conocimiento e investigación cuya justificación y finalidad principal se centra en el estudio y resolución de problemas de la educación científica, con vistas a su mejora. Por tanto, es necesario determinar hasta qué punto incide realmente en la práctica de las aulas el esfuerzo y los resultados que la investigación en este terreno va obteniendo ante problemas concretos de la enseñanza de las ciencias.

La introducción y generalización de cambios didácticos fundamentados en la investigación educativa es un proceso particularmente difícil. Basta contemplar estas iniciativas desde una perspectiva histórica para percibir la magnitud de los obstáculos e inercias a superar. Las posibilidades de éxito de las propuestas de mejora sólidamente fundamentadas dependen en gran medida del grado de acogida y repercusión de tales innovaciones en aspectos como los procesos de formación inicial y permanente del profesorado, las condiciones laborales del docente (que imponen fuertes restricciones ante posibles cambios), el marco curricular vigente y los materiales de desarrollo curricular. Todos ellos factores de particular relevancia en el cambio de la enseñanza escolar.

En este trabajo nos centraremos en el último aspecto de los anteriormente mencionados. Teniendo en cuenta que los libros de texto siguen siendo el principal y casi exclusivo material didáctico de uso

generalizado, es preciso reconocer que la mejora de este recurso constituye una importante vía (en paralelo con actuaciones relativas al resto de los factores antes mencionados) para conseguir que los cambios necesarios lleguen a incidir, en alguna medida, en la práctica de la enseñanza.

El análisis y la evaluación didáctica del contenido de los libros de texto escolares es, por lo anterior, un campo de investigación imprescindible, en tanto que estos materiales sigan ocupando una posición central en la enseñanza escolar. Da cuenta de la pujanza actual de estos trabajos en nuestro país las numerosas aportaciones que se vienen realizando en los últimos años por autores como, por ejemplo, De Posada (1999), monográfico de la revista *ALAMBIQUE* (1997) sobre «Los libros de texto», González, García-Barros y Martínez-Losada (1999), Martínez y Silvan (2001), Jiménez y Perales (2001), etc.

En esta línea, hemos realizado un análisis del contenido conceptual relacionado con la nutrición de las plantas que incluyen los libros de texto de tres editoriales (Anaya, SM y Santillana), de máxima difusión en los centros escolares españoles. Este trabajo se ha dirigido a comprobar hasta qué punto los contenidos que incluyen sobre dicho tema tienen validez y coherencia, considerándolos a la luz de perspectivas actuales de la investigación en didáctica de las ciencias, partiendo de las consideraciones y propuestas incluidas en los múltiples trabajos publicados al respecto en los últimos veinte años, período en el que hemos realizado algunas aportaciones sobre esta problemática [Cañal, 1990, 1991, 1992, 1997 y 1999].

Aspectos problemáticos y mejorables en los textos de primaria analizados

Nuestro análisis se ha realizado sobre cada uno de los textos actuales de primero a sexto de primaria de las tres editoriales antes mencionadas (lo que hace un total de 18 libros de primaria), abarcando todos los contenidos que guardan una relación más directa con la nutrición de los seres vivos, tanto la de los heterótrofos (incluyendo a nuestra especie) como la de los autótrofos. Centraremos la exposición de los resultados obtenidos en los apartados que siguen.

Sobre las funciones vitales y la nutrición de los seres vivos

En los libros de primero de primaria de las tres editoriales apenas se presta atención a las características de los seres vivos y su nutrición; tan solo se menciona alguna necesidad concreta. En segundo, Anaya repite el estereotipado «nacen, crecen, se reproducen y mueren, que deja

de lado aspectos tan característicos como el alimentarse o el reaccionar ante estímulos del medio (aunque sean aspectos menos evidentes en las plantas).

Se constata cierto énfasis en recalcar las diferencias entre las personas y los animales, más que en situar nuestra especie, sin reparos, entre los animales.

Escasa atención al planteamiento de los problemas básicos de la nutrición:

- Qué entradas y salidas de materiales se producen en el cuerpo de los seres vivos.
- Por qué motivo este flujo es necesario.
- Cómo se lleva a cabo la transformación de los alimentos tomados del exterior en las sustancias que forman el cuerpo de cada ser vivo.

Esta última cuestión solo llega a mencionarse en los textos de tercero y cuarto de SM y no se retoma explícitamente en cursos posteriores. Esta misma editorial emplea en cuarto y sexto el término *asimilación*, pero no se explica su significado ni se relaciona expresamente con otros conceptos.

Los contenidos sobre la nutrición de los seres vivos se desarrollan en los niveles de organismo, sobre todo, y de ecosistema. Se elude toda mención al nivel celular (salvo una anecdótica alusión a la célula en sexto de Santillana).

Poca atención a la función y a la necesidad de la energía en la nutrición de los organismos.

En cuanto a la respiración, en los libros de cuarto, quinto y sexto de las tres editoriales se define básicamente como «intercambio de gases del organismo con el exterior, tomando oxígeno y desprendiendo dióxido de carbonos. En cuarto de Santillana esta definición llega a acompañarse de una aun más elemental: ((respirar es tomar y expulsar aire». En cuarto de Anaya se presenta una interesante analogía del cuerpo humano como máquina que necesita energía para funcionar y que obtiene «quemando sustancias nutritivas de los alimentos, pero no se relaciona esta «combustión» con la respiración. En sexto de SM se añade a la primera definición una de mayor interés: «respirar es tomar oxígeno y combinarlo con sustancias nutritivas para obtener energías, pero no se subraya que es esa necesidad constante de energía, que se va «gastando», lo que explica que todos los seres vivos tengamos que captar oxígeno constantemente. Una idea, precisamente, que puede proporcionar una visión integrada de ambas perspectivas sobre la respiración: la de intercambio gaseoso y la de producción de energía para las funciones vitales.

Sobre la nutrición de las plantas

Respecto a la puesta en contacto de la planta con sus alimentos, apenas se incluye alguna mención superficial a cuestiones relativas al crecimiento de los sistemas radicales para captar activamente el agua y las sales minerales necesarias, así como a la capacidad sensorial de la planta para orientarse en ese sentido y también para regular la apertura de los estomas.

Sobre los nutrientes inorgánicos, sorprende la frecuencia con que se produce la exclusión de uno u otro de ellos en algún párrafo de la exposición; a veces desaparecen las sales minerales y otras, con mayor frecuencia, el dióxido de carbono del aire, manteniéndose siempre el agua.

Uno de los aspectos más repetidos y presentes en todas las editoriales y niveles, salvo muy escasas excepciones, es la opción de caracterizar los procesos de fotosíntesis –se emplee o no este término– como mecanismo para la fabricación de «los alimentos de la planta. Resulta una definición muy desafortunada, pese a su arraigo, puesto que emplea el término alimento (que debe reservarse para hacer referencia a sustancias existentes en el medio exterior del ser vivo que este capta para obtener de las mismas los nutrientes celulares), para aludir a los propios nutrientes celulares que producen las plantas mediante fotosíntesis.

A veces se da en estos textos un excesivo relieve a la producción de oxígeno en la fotosíntesis. Aunque ello es un factor crucial para la vida en la Tierra, hay que evitar el peligro de transmitir la idea de que una de las finalidades de la fotosíntesis es la fabricación de oxígeno, ya que este no es más que un subproducto o residuo del proceso de síntesis de los nutrientes orgánicos celulares.

En este mismo sentido, hay que evitar que el alumnado llegue a concebir la fotosíntesis como algo muy ligado a un intercambio gaseoso inverso al respiratorio (Cañal, 1997 y 1999), tomando dióxido de carbono y desprendiendo oxígeno, una concepción que puede ser potenciada por algunos contenidos de los textos de tercero y quinto de primaria de Anaya.

En los libros correspondientes al tercer ciclo de primaria de las tres editoriales analizadas se da relieve a la comparación entre los intercambios gaseosos que se producen en la fotosíntesis y en la respiración. Una opción inadecuada, a nuestro juicio, ya que refuerza el peligro puesto de manifiesto en los dos puntos anteriores.

Respecto al papel de la luz del Sol en los procesos de fotosíntesis, o no se indica cuál es o aparece expresado en forma muy vaga, sin indicar, al menos, que proporciona la energía necesaria para la síntesis de los nutrientes orgánicos básicos que necesitan las células para vivir.

Sobre la nutrición autótrofa y heterótrofa

Un rasgo general, que es preciso corregir, es que se dedica mucha más atención en los textos a diferenciar un tipo de nutrición del otro, que a poner de manifiesto lo que ambas tienen en común. Para ello, es necesario partir de un mismo esquema sobre la nutrición de los seres vivos, de forma que este pueda aplicarse por igual, empleando los mismos términos y con la misma significación, para caracterizar la nutrición de las plantas y la de los animales.

De la misma manera, también es preciso incluir contenidos que permitan comprender la relación existente entre las características anatómicas de un ser vivo y su forma de nutrición, es decir, en concreto, por qué el cuerpo de las plantas está provisto de unos determinados órganos y el de los animales, de otros. Es una cuestión muy poco tratada en estos libros.

Se suele definir la nutrición heterótrofa por oposición a la autótrofa, manifestando que los animales no pueden fabricar «sus propios alimentos», o las sustancias orgánicas que necesitan, a partir de sustancias inorgánicas y energía solar. Pero la nutrición heterótrofa también puede definirse en positivo, como la de aquellos seres que son capaces de obtener los nutrientes inorgánicos y orgánicos que necesitan a partir de los alimentos de todo tipo (energéticos o no) existentes en su entorno. Dicho proceso se efectúa con la intervención de sistemas digestivos, para transformar las sustancias orgánicas complejas que ingieren (tejidos de origen animal o vegetal, que contienen polisacáridos, proteínas, grasas, vitaminas, etc., junto con agua y sales minerales) en nutrientes celulares básicos (glucosa, aminoácidos, ácidos grasos, bases nitrogenadas, etc., junto con los inorgánicos), que son las materias primas que necesitan las células para su metabolismo.

En los libros analizados se olvida con cierta frecuencia poner de manifiesto la presencia de los nutrientes agua y sales minerales en la mayoría de nuestros alimentos y la importancia que tienen para nosotros.

En segundo de SM, quinto de Anaya y sexto de SM, se da a entender, por la redacción empleada, que mediante la digestión conseguimos proteínas, grasas, azúcares, etc., en vez de los nutrientes celulares básicos antes mencionados, que son los auténticos productos orgánicos del proceso digestivo.

En el caso de nuestra especie, y en las demás especies animales, los libros analizados recogen la idea mayoritaria de considerar que obtenemos todos nuestros nutrientes por la vía del sistema digestivo, es decir, a partir de los alimentos sólidos o líquidos que ingerimos. Se considera, por tanto, que el oxígeno no es un nutriente y se suele decir,

por ejemplo, que la sangre transporta los nutrientes y el oxígeno. Teniendo en cuenta que el oxígeno si es un nutriente, de enorme importancia, además, es preciso estudiar de qué forma se puede evitar este problema conceptual e introducir la noción de que el aire también es un alimento para los seres vivos, puesto que es la fuente principal para obtener diversos nutrientes (dióxido de carbono, oxígeno, nitrógeno, dióxido de azufre, etc.), fundamentales para el metabolismo de unos u otros organismos.

En cuanto a la digestión, hay textos en las tres editoriales que potencian una visión de la misma como mera separación o fragmentación mecánica de los alimentos, de la que resultaría, por una parte, las sustancias nutritivas que hay en ellos, que pasarían a la sangre, y, por otra, las que no son aprovechables, que formarían los excrementos.

Aspectos problemáticos y mejorables en los textos de secundaria

Aparte de poner de manifiesto la presencia, como en primaria, de un número injustificado de erratas tipográficas, omisiones y errores, el análisis realizado permite afirmar, como se verá, que los aspectos problemáticos detectados en los libros de primaria siguen estando presentes en los textos de primero, segundo, tercero y cuarto de secundaria de las mismas editoriales anteriores. Veamos los más relevantes.

Sobre las funciones vitales y la nutrición del ser vivo

En el libro de primero de secundaria de Anaya se mantiene la tendencia, detectada en los textos de primaria, de acentuar las diferencias entre nuestra especie y los demás animales, más que potenciar con naturalidad una plena asunción de la naturaleza animal de la especie humana.

En algunos casos (primero de Anaya y Santillana, segundo de Anaya y tercero de Santillana) se proporciona una visión de la nutrición centrada en el nivel de organismo, excluyendo prácticamente el nivel celular. Y en otros se denota una mala integración entre contenidos relativos a ambos niveles de organización. El retraso del momento de introducir contenidos sobre el nivel celular, que ya se valoró negativamente en el análisis de los textos de primaria, puede obstaculizar fuertemente el progreso del conocimiento significativo del alumnado sobre la nutrición y otras nociones sobre los seres vivos. El concepto de célula ocupa un lugar central en el conocimiento biológico y es evidente que debe introducirse unas primeras formulaciones

elementales del mismo desde la enseñanza primaria y, naturalmente, en el primer ciclo de secundaria.

Se mantiene, en forma casi general, la presentación de un concepto de nutrición muy próximo al de alimentación, centrado casi exclusivamente en los momentos de obtención de nutrientes, a partir de los alimentos, y de transporte de los mismos «a todas las partes del cuerpo o hasta las células. En tercero y cuarto de SM, por ejemplo, se desarrolla una concepción sobre la nutrición como proceso dirigido a «proporcionar a las células lo que necesitan)), una idea que concuerda mejor con el concepto de alimentación.

Hay bastantes casos de omisión de los alimentos no energéticos o de los nutrientes inorgánicos en la descripción de la nutrición de los animales.

También es patente la dificultad generalizada en estos libros para aceptar que una sustancia gaseosa pueda considerarse como alimento y, como tal, aporte nutrientes a los seres vivos. El problema parece radicar fundamentalmente en que en estos textos no se llega a adoptar sin reservas una visión de la nutrición como «proceso global de flujo y transformación de materiales y energía en los organismos »(considerándolos también en el nivel celular), más allá de las particularidades de las estructuras corporales (órganos, aparatos y sistemas) que pueda emplear cada tipo de ser vivo para lograr lo que resulta esencial y común: obtener de cualquier fuente exterior (alimentos), los nutrientes que las células necesitan para realizar sus funciones vitales. Siendo el oxígeno, el dióxido de carbono o el nitrógeno nutrientes esenciales para unos u otros seres vivos, ¿cómo no aceptar que el aire de donde proceden (aunque no se obtenga por la vía digestiva) tiene el carácter de alimento para ellos? Es imprescindible, para presentar un esquema unificado y coherente sobre la nutrición del ser vivo, que el concepto de alimento deje de relacionarse exclusivamente con las sustancias que ingresan en el aparato digestivo de los animales y se amplíe a todos los materiales del medio exterior que ingresan en el organismo, en la fase inicial del proceso de nutrición, y constituyen la materia prima para la obtención de los nutrientes celulares.

En primero de Anaya y Santillana se incluye tan solo la concepción de la respiración como intercambio gaseoso por el que el organismo capta oxígeno y expulsa dióxido de carbono. Ello está relacionado con la opción que se tomó en estos libros de excluir el nivel celular pero, incluso dentro de esa decisión objetable de no mencionar las células, no hay ninguna razón para no manifestar que el sentido y objetivo final de la respiración es siempre la obtención de energía para realizar las funciones vitales.

Sobre la nutrición de las plantas

Se mantiene con fuerza la visión de la fotosíntesis como proceso dirigido a la producción interna de «alimentos» (en siete de los doce textos analizados).

Pero la idea anterior sobre la fotosíntesis se complementa con otros rasgos en cinco de esos libros, y se propone como principal en otros dos, con la presentación de la fotosíntesis como mecanismo dirigido a la producción de carbohidratos, sin mencionar la intervención de procesos fotosintéticos en la fabricación de otros nutrientes orgánicos (como, por ejemplo, los aminoácidos o los ácidos grasos).

Lo anterior se acompaña, y es lógico que así sea, con el frecuente «olvido» de las sales minerales en una buena parte de estos textos, bien al mencionar los nutrientes inorgánicos de las plantas, bien al describir los procesos de fotosíntesis. Pero claro: si la finalidad de la fotosíntesis, como se afirma en estos textos, es la de ((producir carbohidrato-(glucosa)), ¿para qué necesita la planta sales minerales?; ¿qué haría con los nitratos, fosfatos, sulfatos, etc. que toma por las raíces?

En algunos libros (1º, 2º, 3º de SM y 3º de Anaya) se incluye una concepción mas amplia y actual de la fotosíntesis, como ((proceso de producción de sustancias orgánicas", pero en la mayoría de los casos ello no evita que en otros momentos se enfatice la producción de carbohidrato y no se mencione la de los demás nutrientes orgánicos (aminoácidos, ácidos grasos, bases nitrogenadas, etc.).

Sobre la nutrición heterótrofa y sus relaciones con la autótrofa

Llama la atención que en los textos de primero y tercero de Santillana se realice la descripción de la nutrición humana ciñéndose tan solo a contenidos sobre los órganos macroscópicos implicados: digestivo, respiratorio, circulatorio y excretor, sin hacer ninguna mención a los procesos celulares de síntesis y degradación de sustancias.

En los de primero, segundo y tercero de SM y primero de Anaya, se formula y se describe la nutrición de manera que se induce fácilmente a creer que los hidratos de carbono, las grasas, las proteínas, etc., es decir, las sustancias orgánicas complejas que forman parte de los alimentos energéticos de los animales, son nutrientes orgánicos que los animales obtienen o producen a partir de sus alimentos (¿por digestión?); una interpretación que hay que evitar.

En primero y tercero de Santillana se da una visión mecánica de la digestión, como división o fragmentación de los alimentos, eludiendo la esencia del proceso digestivo: la producción química de los nutrientes orgánicos celulares, a partir de los complejos alimentos energéticos de los heterótrofos.

En Anaya (1º, 2º y 3º) y Santillana (1º y 2º) se caracteriza a los organismos autótrofos como seres que «se alimentan a si mismos, es decir, capaces de fabricar su propio alimento. Esta es una de las nociones escolares más generalizadas y, al mismo tiempo, peor comprendidas y aceptadas por el alumnado, por lo que urge evitar su empleo y promover la construcción de concepciones sobre los organismos autótrofos como «seres capaces de fabricar los nutrientes orgánicos celulares a partir de nutrientes inorgánicos y una fuente de energía suplementaria a la mitocondrial (como la luz solar o algún compuesto químico oxidable)».

Los resultados expuestos permiten dar una respuesta parcial al interrogante incluido en el título de este trabajo. Para las tres editoriales analizadas y para los contenidos relacionados con la nutrición de las plantas, parece evidente que el nivel de incidencia de los resultados de la investigación didáctica sobre los contenidos de los textos escolares es muy bajo. Tanto desde un punto de vista cualitativo como cuantitativo, la presencia de contenidos inadecuados es muy importante en estos materiales y revela una grave desconexión entre la investigación didáctica sobre los contenidos curriculares y algunas de las principales empresas editoras de textos escolares, al parecer no muy preocupadas por este tipo de deficiencias. Una desconexión que, de resultar generalizada y mantenida, puede suponer un obstáculo de primera magnitud, junto a otros, para la mejora fundamentada de la enseñanza de las ciencias.

Referencias bibliográficas

- CANAL, P. (1990): La enseñanza en el *campo* conceptual de la nutrición de las plantas verdes. Un estudio didáctico *en* lo enseñanza *básica*. Tesis doctoral inédita. Sevilla. Universidad de Sevilla.
- CANAL, P. (1991): «Las concepciones de los alumnos y alumnas sobre la nutrición de las plantas verdes» en *Investigación en la Escuela*, n. 13, pp. 97-113.
- CANAL, P. (1992): Módulos didácticos. 1. *¿Cómo mejorar lo enseñanza sobre la nutrición de las plantas verdes?* Sevilla. Junta de Andalucía.
- CANAL, P. (1997): «La fotosíntesis y la respiración inversa de las plantas: ¿un problema de secuenciación de contenidos?» en *Alambique*, n. 14, pp. 21-36.
- CANAL, P. (1999): «Photosynthesis and 'inverse respiration' in plants: an inevitable misconception?» en *International Journal of Science Education*, vol. 21, n. 4, pp. 363-371.

DE POSADA, J.M. (1999): «Algunas cifras sobre la ESO y el bachillerato» en M. MARTÍN y J.G. MORCILLO: *Reflexiones sobre la Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Madrid. Nivola, pp. 31-43.

GONZALEZ, C.; GARCÍA-BARROS, S.; MARTÍNEZ-LOSADA, C. (1999): «Concepciones de los alumnos de bachillerato acerca de la función de los gases en el proceso de fotosíntesis» en C. MARTÍNEZ-LOSADA y S. GARCÍA-BARROS (eds.): *La Didáctica de las Ciencias. Tendencias actuales*. A Coruña, Universidad de A Coruña.

JIMÉNEZ, J.D.; PERALES, F.J. (2001): «Aplicación del análisis secuencial al estudio del texto escrito e ilustraciones de los libros de física y química de la ESO» en *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 19, n. 1, pp. 3-19.

MARTÍNEZ, C.; SILVAN, E. (2001): «Darwinismo y libros de texto» en M. MARTÍN y J.G. ORTEGA: *Reflexiones sobre la Didáctica de las Ciencias Experimentales*. Madrid, Nivola, 317-326.

ALAMBIQUE, n. 11 (1997): Monográfico sobre «Los libros de texto». Barcelona. Grao.

Direcciones
de contacto

Pedro Cañal y Ana Criado. Grupo de Investigación GAIA. Departamento de Didáctica de las Ciencias. Facultad de Ciencias de la Educación. Universidad de Sevilla.
pcanal@us.es
acriado@us.es