



Evolución de las ideas alternativas de un grupo de alumnos portugueses de secundaria sobre fotosíntesis y respiración celular

Paula Domingos-Grilo¹, Vicente Mellado² y Constantino Ruiz²

1. Escuela Secundaria D. Sancho II de Elvas (Portugal). 2. Dto. Didáctica Ciencias Experimentales y Matemáticas. Universidad de Extremadura (España). Este trabajo se enmarca en el Proyecto de Investigación 2PROA100 de la Consejería de Educación, Ciencia y Tecnología de la Junta de Extremadura (España).

Resumen

Las ideas alternativas de los alumnos y su evolución a lo largo del periodo escolar constituyen un aspecto importante que condiciona todo el aprendizaje. Su detección y análisis pueden contribuir decisivamente a una reestructuración cognitiva que conduzca a un aprendizaje significativo. En este artículo se detectan algunas ideas alternativas de los alumnos sobre fotosíntesis y respiración celular y se analiza su evolución a lo largo de la enseñanza secundaria en una escuela de Portugal.

Palabras clave: ideas alternativas, constructivismo, fotosíntesis, respiración celular.

Abstract

The alternative ideas of the students and his evolution throughout their academic life constitute a preponderant aspect that determines the whole learning. Therefore, his detection and analysis can contribute decisively to a cognitive restructuration that leads to a significant learning. In this work we detected some alternative ideas of the students on photosynthesis and cellular respiration and his evolution is also analysed along the secondary education in a school of Portugal.

Key words: alternative ideas, constructivism, photosynthesis, cellular respiration.

Introducción

La fotosíntesis y la respiración celular constituyen dos temas de gran importancia en el currículo escolar de secundaria. Sin embargo los alumnos tienen dificultades de aprendizaje y, en muchas ocasiones, no comprenden los conceptos asociados a estos contenidos y, por consiguiente no logran utilizarlos en nuevas situaciones. Una consecuencia añadida son los bajos resultados de las evaluaciones y la aversión que los alumnos pueden presentar al estudio de estos temas.

En este artículo analizamos desde una perspectiva constructivista la evolución de las ideas alternativas de los alumnos de enseñanza secundaria sobre fotosíntesis y respiración celular. Los resultados forman parte de una línea de investigación más amplia que estamos llevando a cabo con profesores de distintos niveles educativos, en la que el análisis de las ideas alternativas del alumnado, y de sus posibles y variadas causas, sería sólo el primer paso para establecer, en un trabajo de reflexión metacog-

nitiva con el profesorado, estrategias de intervención didáctica, que reconstruyan las nuevas ideas a partir de las que ya tiene el alumno. El conocimiento y acción docente de las ideas del alumnado se ha mostrado como un catalizador de la reflexión y del propio desarrollo profesional del profesorado de ciencias experimentales (Hewson et al., 1999; Lucio, 2001).

Desde finales de los setenta, se han publicado un gran número de trabajos que defienden la perspectiva constructiva (Driver et al., 1985; Osborne y Wittrock, 1985) y que muestran las limitaciones de la enseñanza tradicional. Esta perspectiva coloca al alumno en el centro de la actividad educativa y considera el aprendizaje de las ciencias como una construcción activa de significados por parte de quién aprende, relacionando lo nuevo con las ideas que ya se poseen (Driver, 1988; Driver et al., 1994; Gil, 1986).

En las dos últimas décadas, en las que la didáctica de las ciencias ha tenido un extraordinario desarrollo, el constructivismo ha consti-

tuido el marco teórico que ha fundamentado la mayoría de las investigaciones en didáctica de las ciencias. Sin embargo no creemos que en didáctica de las ciencias pueda hablarse de paradigmas dominantes, en el sentido kuhniano (Kuhn, 1971). De hecho, actualmente existe un debate en la comunidad internacional sobre los orígenes, fundamentos, tipos y posibilidades de desarrollo futuro del constructivismo (Gil et al., 2002; Marín, 2003; Matthews, 1997; Niatz et al., 2003). Este debate, con las aportaciones que se están realizando desde distintos enfoques, sin duda redundará en una fundamentación más sólida de la didáctica de las ciencias y en una mayor riqueza de planteamientos (Gil et al., 1999).

Sin entrar en los matices, que pueden verse en los trabajos anteriores, consideramos que el conocimiento es construido por el sujeto en interacción con su entorno, por lo que cobran gran importancia tanto los aspectos psicológicos personales como los sociales. El alumno entiende el mundo a través de las "lentes" de sus propias ideas, experiencias y expectativas personales, que le sirven de base para interpretar e integrar las nuevas informaciones (Pozo, 1992). De este modo, el aprendizaje no es un simple proceso de adicionar información, sino de reestructuración de conceptos a través de la interacción entre las ideas y los esquemas del alumno y la nueva información (Driver et al., 1989). De ahí la importancia de determinar las ideas que poseen los alumnos sobre los fenómenos naturales, pues estas ideas o esquemas previos les sirven para interpretar lo que se le está enseñando.

Desde la década de los ochenta se han realizado numerosas investigaciones sobre las ideas alternativas de los alumnos ante muchos fenómenos naturales, así como sus causas y características (Driver, 1988; Furió, 1997; Pozo, 1996; Prieto y Blanco, 1997) y se observa que después de años de escolaridad en los que se ha enseñado a los alumnos la interpretación de la ciencia, éstos continúan teniendo ideas alternativas que no se corresponden con las científicamente aceptadas. Las ideas alternativas pueden deberse a múltiples causas, tales como las experiencias y observaciones de la vida cotidiana, la interferencia del lenguaje popular y el científico, los medios de comunicación, la cul-

tura propia de cada civilización, e incluso, el profesorado, los libros de texto y otros materiales escolares (Pozo, 1996).

Diagnosticar las concepciones alternativas de los alumnos sobre los temas a estudiar, interpretar su origen, naturaleza y lógica interna, constituye el punto de partida que permite al profesor ayudar al alumno a promover cambios en su estructura conceptual que lo lleve a reconstruir sus conocimientos (Santos, 1991). El papel del profesor no sería el de transmisor de conceptos científicos, sino el de facilitador en la reconstrucción del conocimiento, seleccionando y organizando situaciones de aprendizaje que permitan llegar a este objetivo (Jorge, 1991).

Las estrategias didácticas asociadas al constructivismo han ido evolucionando desde las iniciales de cambio conceptual, basadas en el modelo de Posner y otros (1982) que defendía conocer y valorar las ideas del alumnado y, si éstas no eran satisfactorias, presentar nuevas ideas que fueran inteligibles, plausibles y útiles, de manera que las ideas alternativas fueran sustituidas por las más adecuadas. Los modelos más evolutivos (Nussbaum; 1989; Porlán, 1990), consideran que el cambio no se produce por sustitución, sino de forma gradual y continua, de tal forma que se van incorporando ideas nuevas, pero se mantienen algunas de las anteriores, en un proceso de reestructuración continua de las ideas y esquemas conceptuales. En este sentido creemos que las palabras transformación, reestructuración, modificación o evolución, expresan mejor que la de cambio el complejo proceso de aprendizaje (Marín, 2003).

Por otra parte, el aprendizaje será más efectivo cuando el alumno se encuentre motivado para aprender y considere que los temas son importantes para él (Schollum y Osborne, 1991), cuando se integren contenidos conceptuales, procedimentales y actitudinales (Gil, 1993; Pro, Saura y Sánchez, 1999) y cuando el alumno se sienta dueño de su proceso de aprendizaje (Orion, 2001). La resolución de situaciones problemáticas de interés para los alumnos y las estrategias metacognitivas, son importantes en este proceso.

Gil, Martínez y Senet (1988) y Watts (1991) defienden el uso de estrategias de resolución de problemas para lograr la efectiva reconstrucción del conocimiento y para desarrollar las capacidades y actitudes en el ámbito de las ciencias. De este modo, las cuestiones tratadas en el aula pueden constituir problemas, que permitan diseñar pequeños proyectos de investigación elaborados por los alumnos, desde su planificación hasta su consecución y evaluación. Estos serían problemas reales y significativos, o sea, adecuados al nivel de desarrollo de los alumnos, al contexto en que se encuentran y validos desde el punto de vista científico.

Las estrategias metacognitivas permiten que el alumno sea consciente de lo que ya sabe, de lo que aún no sabe y de lo que podrá llegar a saber. En estas estrategias enseñar, aprender y evaluar están integrados y las actividades propuestas incluyen procedimientos de evaluación por el profesor, de autorregulación de los aprendizajes por parte de los propios estudiantes y de regulación mutua a partir de las interacciones sociales del aula (Jorba y Sanmartí, 1994). La transformación de las ideas del alumnado implica estrategias de desestructuración de las concepciones alternativas y de las formas de pensar a ellas asociadas, así como de reconstrucción de los nuevos conceptos (Santos, 1991). Las estrategias cognitivas y metacognitivas de desestructuración y reestructuración de conocimientos, aspiran así a un cambio cualitativo en el modo de pensar de los alumnos a través del desarrollo de actividades intelectuales, que les posibiliten hacer preguntas, elaborar hipótesis, discutir ideas, cometer y discutir errores, encontrar soluciones, etc. Finalmente aspiran también a que los alumnos tomen conciencia de su actividad cognitiva, de modo que puedan gestionarla, regularla y transponerla estratégicamente para el aprendizaje en general (Santos, 1991).

En lo que concierne a la fotosíntesis y a la respiración celular, son temas abordados en varias ocasiones a lo largo del currículo escolar de ciencias con distintos grados de profundidad. Sin embargo se han revelado de difícil comprensión y los alumnos manifiestan distintas ideas alternativas relacionadas con estos temas.

Los trabajos de Astudillo y Gene (1984) muestran que la mayoría de los alumnos no relacio-

nan la producción de materia orgánica con el objetivo fundamental de la fotosíntesis, así como tampoco reconocen las condiciones necesarias para que el proceso ocurra y los productos finales del mismo. Otras investigaciones revelan que alumnos de diversos niveles de enseñanza manifiestan la idea de que la fotosíntesis en las plantas es una "respiración inversa" a la de los animales (Astudillo y Gene, 1984; Cañal, 1990, 1992, 1997; Cañal y García, 1987).

Cañal (1997) señala que más interesante que la existencia de este concepto es el patrón de evolución del mismo a lo largo de la enseñanza y que la aparición y fortalecimiento de esta concepción parece estar relacionada con el modo como son enseñados estos contenidos. La enseñanza se centra casi exclusivamente en los conocimientos teóricos que ni son verificados en la práctica ni se someten a una reflexión crítica. El último aspecto, y probablemente el más importante, esta relacionado con la definición usada en la escuela para el concepto de respiración – absorción y expulsión de aire o oxígeno. En este aspecto es común que se ponga mucho énfasis en el hecho de que durante la fotosíntesis las plantas absorban dióxido de carbono del aire y liberen oxígeno, mientras que durante la respiración hacen lo contrario. A veces se explica detalladamente lo que ocurre globalmente durante el día y durante la noche en lo que respecta a la obtención y liberación de gases por parte de la planta, realizándose al final el balance de esos dos procesos.

Banet y Nuñez (1990) realizaron un estudio que permitió verificar que cuando se pregunta la utilidad del oxígeno que respiramos muchos alumnos hacen referencia a la energía, pero solo los estudiantes universitarios de Magisterio reconocían el dióxido de carbono como producto resultante de las combustiones celulares. Para muchos alumnos este gas que expulsamos en la respiración es el mismo que entra cuando respiramos. La mayoría, además, desconoce la naturaleza de las sustancias que intervienen en la respiración celular e ignoran los detalles más elementales de dicho proceso. Otras investigaciones (Nuñez y Banet, 1996) señalaron que algunos alumnos consideran la respiración como un proceso básicamente pulmonar y que la enseñanza no lograba modificar esta creencia.

Metodología

La investigación efectuada se ha centrado en los alumnos portugueses de 10º, 11º y 12º año (1º, 2º y 3º de enseñanza secundaria), de 15, 16 y 17 años respectivamente, puesto que es en estos años cuando se incide en los conceptos cuyo aprendizaje se pretende investigar. Al ingresar los alumnos en la enseñanza secundaria ya poseen algunos conocimientos sobre la nutrición de las plantas y sobre el modo de obtención de energía, aunque aún no hayan estudiado pormenorizadamente los procesos bioquímicos inherentes a la fotosíntesis y a la respiración celular. Al final del primer año de enseñanza secundaria los alumnos contactan por primera vez con estos conceptos, que serán nuevamente abordados en el inicio del siguiente año aunque de modo más profundo.

Para realizar la investigación seleccionamos la Escuela Secundaria D. Sancho II de Elvas (Portugal), por ser una escuela representativa de la realidad portuguesa, puesto que recibe alumnos de diferentes clases socioculturales, pertenecientes al medio rural y urbano. Participaron 64 alumnos del 10º año, 64 alumnos del 11º año y 62 alumnos del 12º año.

La metodología utilizada en esta investigación es cuantitativa y se utilizó un cuestionario con preguntas cerradas para la recogida de datos. El cuestionario fue cumplimentado por los alumnos de los tres años que componen la enseñanza secundaria. Con este cuestionario se intentaba determinar cuales eran las ideas alternativas que los alumnos poseían sobre la fotosíntesis y la respiración celular en los distintos momentos de su etapa escolar. El estudio de las respuestas de los alumnos que se encuentran en el inicio del primer año ha permitido detectar las ideas que los mismos poseían sobre estos temas al ingresar en la enseñanza secundaria. Para estudiar la evolución de las ideas se han analizado las respuestas de los alumnos de segundo, inmediatamente después de tratar el tema, y las de los alumnos de tercero, un año después de haber estudiado estas materias, lo que nos ha permitido analizar la estabilidad de las ideas al final del ciclo de enseñanza. Banet y Ayuso (2003) señalan la conveniencia de realizar estudios longitudinales que analicen en distintos periodos la evolución de las ideas del alumna-

do, pues en algunos casos puede existir una regresión, transcurrido un tiempo de la escolaridad. Al realizar el estudio durante tres años pretendíamos conocer en que medida las ideas alternativas pueden permanecer latentes en el individuo y surgir de nuevo transcurrido algún tiempo, aunque aparentemente hubieran sido sustituidas por otras más adecuadas científicamente.

Para elaborar las cuestiones se recurrió, por un lado, al análisis de otros cuestionarios y entrevistas sobre el mismo tema, que fueron utilizados en estudios anteriores y que sirvieron de punto de partida (Astudillo y Gene, 1984; Cañal, 1997; Núñez y Banet, 1996), así como a la lectura de distintos manuales escolares. También ha sido fundamental la experiencia profesional de la investigadora en la enseñanza de estos temas, lo que ha permitido conocer las ideas alternativas más comúnmente manifestadas por los alumnos.

Una vez terminada la elaboración de los cuestionarios se procedió a su validación aplicándolos a un número reducido de alumnos seleccionados al efecto. El cuestionario se distribuyó a cinco alumnos del 10º año, cinco del 11º año y cinco del 12º año. Posteriormente se procedió a entrevistar individualmente a cada uno de los alumnos para verificar hasta que punto las preguntas habían sido suficientemente claras y si los alumnos habían contactado ya con todos los conceptos utilizados en los cuestionarios.

Una vez que los cuestionarios fueron cumplimentados, recogidos y clasificados, se procedió a la fase de tabulación de los resultados. En esta fase se utilizó como recurso una hoja de cálculo (Excel), en la que se fueron anotando la suma de cada una de las posibles respuestas señaladas por los alumnos en cada ítem, así como la información porcentual de cada una de las cuestiones tratadas, que nos sirvió para presentar los resultados en gráficos.

Somos conscientes de que el cuestionario elaborado tiene limitaciones para detectar la complejidad de las ideas de los estudiantes ya que incide fundamentalmente en el conocimiento conceptual y puede haber otros contenidos más procedimentales o actitudinales que no estén recogidos. Jiménez-Aleixandre (1992), en un

trabajo en el que comparaba la evolución conceptual de las ideas de estudiantes de secundaria sobre la selección natural, ya señaló la dificultad de transferir el conocimiento declarativo a conocimiento funcional, y la necesidad de conseguir que los estudiantes consigan y conserven esta transferencia, pasado un tiempo después de la escolaridad.

Discusión de los resultados

En este artículo hemos elegido los ítems cuyos resultados nos han parecido más relevantes para analizar la evolución de las ideas alternativas del alumnado, sobre fotosíntesis y respiración celular, a lo largo de la enseñanza secundaria. Los resultados completos se encuentran en Domingos-Grilo (2003). En cada una de las cuestiones se ha señalado la respuesta más correcta con *.

1. Las plantas realizan la fotosíntesis:

- 1) Solo de día.
- 2) Solo de noche.
- 3) De día y de noche.
- *4) De día y de noche cuando haya luz.
- 5) No contesta.

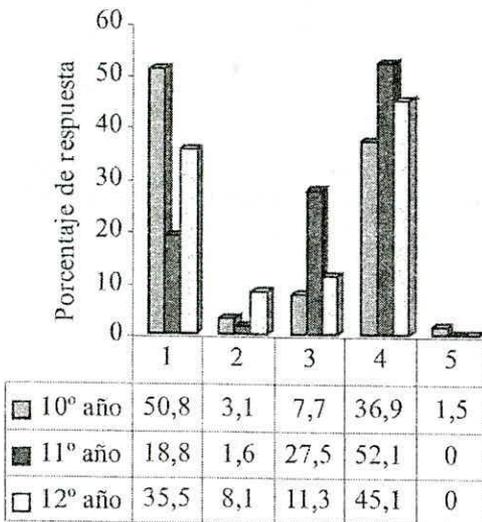


Figura 1: Tabla y gráfico pregunta 1.

Del análisis de las respuestas obtenidas, cuyos datos podemos observar en la figura 1, nos permite constatar que la mayoría de los alum-

nos del 10º año considera que las plantas solo realizan la fotosíntesis durante el día. Este hecho está, sin duda, relacionado con el aprendizaje que se realiza en la escuela durante la enseñanza básica y en la cual se da mucho valor a la importancia de la luz del Sol para que las plantas logren efectuar este proceso bioquímico. Pero, muy probablemente, también podrá estar relacionado con la enseñanza no formal realizada fuera de la escuela. Es muy común afirmar, por ejemplo, que no se deben tener plantas en el dormitorio durante la noche pues perjudican el aire que se respira, ya que sólo durante el día producen oxígeno.

Por el contrario, en el 11º año de escolaridad la mayoría de los alumnos considera que las plantas realizan la fotosíntesis de día y de noche cuando haya luz. Este cambio en la tendencia de las respuestas demuestra que la enseñanza realizada en secundaria ha logrado inculcar en los alumnos, por lo menos en este momento, la idea fundamental de que lo importante para que la planta realice la fotosíntesis no es que sea de día sino que haya luz. Sin embargo en 12º año el porcentaje de alumnos que contesta correctamente a la cuestión vuelve a bajar mientras sube el porcentaje de los que creen que la fotosíntesis sólo es posible durante el día. Tal hecho podrá demostrar que para algunos alumnos el aprendizaje no fue significativo y que las antiguas concepciones estaban más fuertemente arraigadas y han logrado surgir de nuevo interfiriendo con los nuevos conocimientos.

Otro dato que parece muy importante, aunque negativamente, tiene que ver con el hecho de que el 27.5% de los alumnos del 11º año, y que terminaron hace poco de estudiar la fotosíntesis, piensen que es posible que las plantas realicen la fotosíntesis tanto de día como de noche sin tener en cuenta el factor luz.

2. La principal finalidad de la fotosíntesis es:

- 1) Producir oxígeno.
- *2) Producir materia orgánica.
- 3) Producir agua.
- 4) Consumir dióxido de carbono.
- 5) Producir glucosa
- 6) No contesta.

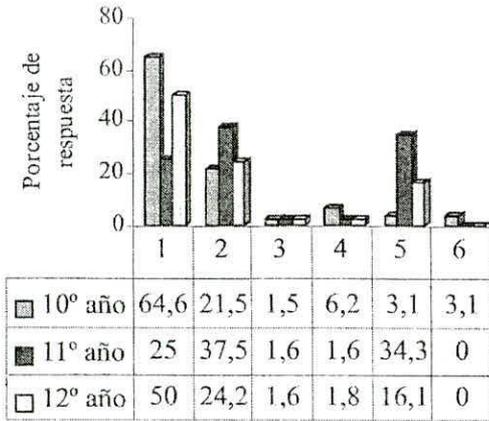


Figura 2: Tabla y gráfico pregunta 2.

La observación de los resultados expresados en el figura 2 permite verificar que la mayoría de los alumnos del 10° año (64.6%) considera que la principal función de la fotosíntesis es la producción de oxígeno y sólo el 21.5% indica que la principal finalidad es la producción de materia orgánica. Este resultado está relacionado con una visión antropocéntrica del mundo que es transmitida a los alumnos a lo largo de su vida y que se extiende a los conocimientos científicos. Es usual manifestar popularmente que las plantas realizan la fotosíntesis para producir oxígeno lo que nos permite a nosotros que podamos respirar. Estos alumnos no comprenden que, aunque el oxígeno sea importante para nosotros, la planta lo libera porque es un producto secundario del proceso cuyo principal objetivo es obtener materia orgánica.

Por el contrario, en el 11° año los alumnos reconocen que la principal finalidad de la fotosíntesis es producir algo que la planta necesita, ya sea materia orgánica en general (37.5%) o glucosa (34.3%). Esto significa que, en total, el 71.8% de los alumnos ha logrado reconocer a las plantas como seres vivos que realizan un proceso fundamental, no para satisfacer una necesidad del hombre sino para satisfacer sus propias necesidades. El hecho de que algunos de estos alumnos indiquen que la fotosíntesis produce glucosa y no materia orgánica en general; está, sin duda, relacionado con la común utilización escolar de la ecuación química con la cual se pretende resumir este proceso:



Normalmente, una vez resumido el proceso de esta forma, no se hace referencia a la participación de la glucosa, o de los productos intermedios en las distintas etapas de la fotosíntesis, en otras biosíntesis que permiten producir las distintas clases de sustancias orgánicas que necesitan las plantas, como las proteínas, las vitaminas, los lípidos, otros glúcidos y los ácidos nucleicos.

El porcentaje de alumnos del 12° año que indican como principal finalidad de la fotosíntesis la producción de oxígeno vuelve a subir (50%). Este dato demuestra una vez más la fuerza de las concepciones alternativas que los alumnos poseen al ingresar en secundaria, y la dificultad de que los nuevos conocimientos científicos desplacen a las anteriores concepciones.

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

- *1) En cualquier lugar de la célula.
- 2) Solo en la membrana citoplasmática.
- 3) Solo en el cloroplasto.
- 4) Solo en la mitocondria.
- 5) Solo en el citoplasma.
- 6) No contesta.

La observación de los resultados registrados en la figura 3 permite constatar que, independientemente del año, los alumnos no tienen claro el lugar de la célula procariota en donde se realiza la fotosíntesis. Este resultado no es inesperado con respecto al 10° año puesto que estos alumnos nunca han estudiado detalladamente este proceso. Sin embargo, no se puede afirmar lo mismo con respecto a los alumnos del 11° y 12° años. Estos alumnos han estudiado al detalle la fotosíntesis y la organización celular de las células procariotas. Estos resultados se podrán explicar debido a que la fotosíntesis es enseñada en el 11° año como un proceso bioquímico que ocurre al nivel del cloroplasto en las plantas. Esta relación es enfatizada durante las clases y por los distintos libros de texto que sirven de apoyo al estudio de los alumnos y, normalmente, sólo al final algunos profesores indican que además de las plantas también las algas y algunas bacterias pueden realizar la fotosíntesis.

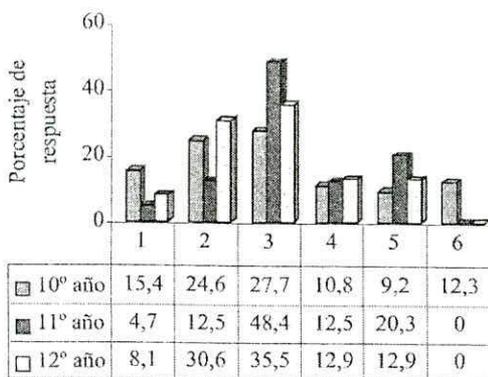


Figura 3: Tabla y gráfico pregunta 3.

El razonamiento del proceso en algas no tiene ningún problema en especial para los alumnos, puesto que éstas también poseen cloroplastos y no presentan grandes diferencias en la fotosíntesis respecto a la que ocurre en las plantas. Sin embargo no ocurre lo mismo con las células procariotas. En este caso no se les dice ni donde ni como ocurre este proceso. Por ello, y como saben que estas células no poseen orgánulos y por tanto cloroplastos, los alumnos se enfrentan a un problema de difícil resolución. Al no poseer conocimientos específicos para este caso concreto, algunos alumnos intentan aplicar a las células procariotas lo que aprendieron para las plantas y por ello optan por contestar de modo idéntico a como lo harían para las plantas, lo que explicaría el porcentaje elevado de alumnos de 11º año (48.4%) y de 12º año (35.5%) que eligen el cloroplasto como respuesta a la cuestión. Esta idea alternativa tendría un origen análogo evidente, las personas acostumbran a desarrollar analogías con ideas o esquemas de conocimiento provenientes de otras áreas, que ayudan a comprender e interpretar la nueva situación (Bermejo, Fajardo y Mellado, 2002; Manuel, 1996).

4. La respiración celular ocurre:

- 1) En todos los seres vivos.
- 2) Sólo en los animales.
- 3) Sólo en las plantas.
- *4) En los animales y en las plantas.
- 5) No contesta.

Los resultados obtenidos en la pregunta 4 (Figura 4) permiten afirmar que, de un modo general, los alumnos de los tres niveles de enseñanza consideran que la respiración celular ocurre en todos los seres vivos. Este hecho de-

muestra que los alumnos se han olvidado de que entre los seres vivos más simples, los procariontes, algunos grupos no realizan este proceso bioquímico, utilizando en su lugar vías metabólicas más simples como es la fermentación, aunque menos eficaces para producir energía. De hecho debe estar presente la idea popular y generalizada de que el oxígeno, como consecuencia de la respiración, es necesario para que se de la vida y sin él la vida no es posible. No olvidemos que la vida ha existido en el planeta durante aproximadamente mil quinientos millones de años sin la presencia de oxígeno gaseoso en la atmósfera, no siendo por tanto la respiración aerobia la ruta energética utilizada por los seres vivos durante este tiempo. Representantes de estos grupos viven hoy día en determinados nichos ecológicos del planeta.

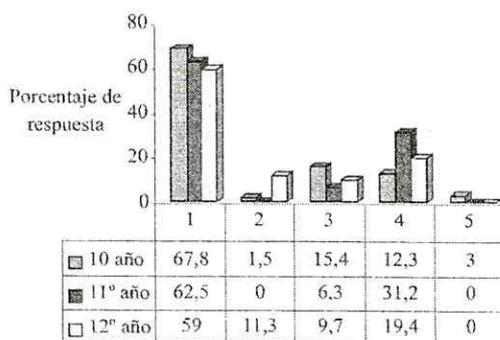


Figura 4: Tabla y gráfico pregunta 4.

Es por consiguiente una idea alternativa como consecuencia de una marcada influencia cultural, aunque también la sensación sensorial de la necesidad de respirar tendrá su cuota de influencia. Resaltamos que el mayor porcentaje de respuestas correctas se verifica en los alumnos del 11º año, lo que sin duda está relacionado con el hecho de que han terminado de estudiar estos procesos de obtención de energía y por ello, estos conocimientos permanecen aún en la memoria a corto plazo. Con el paso del tiempo, estos conocimientos van siendo sustituidos por los más arraigados en su estructura conceptual y, de este modo, en el 12º año existe un porcentaje menor de alumnos que contesta correctamente.

5. Las plantas:

- 1) No respiran
- *2) Respiran de día y de noche.

- 3) De día hacen fotosíntesis y de noche respiran
- 4) De noche hacen fotosíntesis y de noche respiran.
- 5) Respiran solo de noche.
- 6) No contesta.

El análisis de los resultados expresados en la figura 5 revela una concepción alternativa muy frecuente en los alumnos y que ya ha sido referida por Astudillo y Gene (1984). El 44,7% de los alumnos del 10º año creen que las plantas durante el día realizan la fotosíntesis mientras que de noche respiran. Este porcentaje disminuye en el 11º año (34,3%) pero vuelve a aumentar mucho en el 12º año (56,5%). Es de resaltar que esta idea está de tal modo arraigada en los alumnos, como consecuencia de su implantación cultural que, incluso cuando han terminado de estudiar este tema, continúan manifestándola como ocurre en el 11º año. Esta concepción permanece por toda la vida; es bastante frecuente oír a los más viejos afirmar que es peligroso tener plantas en los dormitorios durante la noche por este mismo motivo.

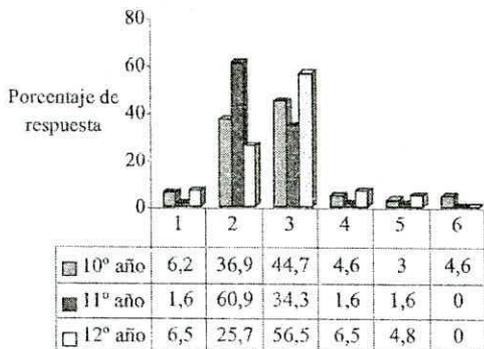


Figura 5: Tabla y gráfico pregunta 5.

Una vez más se puede constatar como las concepciones alternativas se sustituyen temporalmente por los conceptos científicamente correctos. Sin embargo, como no están bien integradas en la estructura conceptual del alumno, pasado algún tiempo, vuelven a surgir. De este modo en el 11º año la mayor parte de los alumnos (60,9%) sabe que las plantas respiran de día y de noche, pero en el 12º año este porcentaje disminuye hasta el 25,7%.

6. En las células eucariotas la respiración ocurre:

- 1) En cualquier lugar de la célula.
- 2) En la mitocondria.

- 3) En el cloroplasto.
- *4) En el citoplasma y en la mitocondria.
- 5) En el citoplasma y en el cloroplasto.
- 6) No contesta.

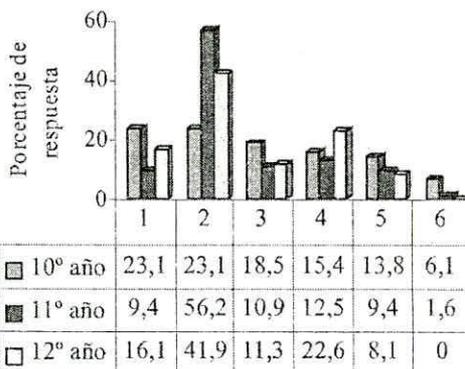


Figura 6: Tabla y gráfico pregunta 6.

La observación de los resultados obtenidos con las respuestas a la pregunta 6 (Figura 6) permite verificar que para los alumnos del 10º año no está muy claro el lugar de la célula en donde ocurre la respiración celular, existiendo una gran dispersión de los alumnos entre las distintas respuestas posibles. Por el contrario, los alumnos del 11º y 12º años identifican, en un porcentaje bastante elevado, la respiración celular con la mitocondria. Solo el 12,5% de los alumnos del 11º año y el 22,6% en el 12º año logran responder correctamente a esta cuestión. Tal hecho puede estar relacionado con la fuerza excesiva que los libros de texto, y los propios profesores, dan a la asociación entre la mitocondria y este proceso bioquímico e incluso de una forma exclusiva. Aunque los alumnos del 11º año estudiaron pormenorizadamente las distintas etapas bioquímicas que componen la respiración celular y las hayan localizado a nivel de la célula, la asociación entre respiración celular y mitocondria es tan grande que rápidamente los alumnos se olvidan que la glicólisis ocurre a nivel del citoplasma. Una vez más se comprueba que los propios profesores y los libros de texto pueden ayudar a reforzar las concepciones alternativas de los alumnos.

7. En las células procariotas la respiración ocurre:

- *1) En toda la célula.
- 2) Solo en la membrana citoplasmática.
- 3) Solo en la mitocondria.
- 4) Solo en el cloroplasto.

- 5) Solo en el citoplasma.
6) No contesta.

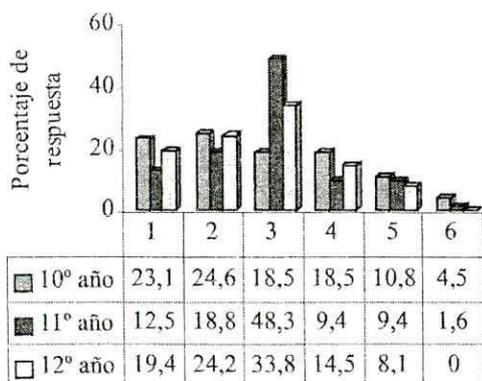


Figura 7: Tabla y gráfico pregunta 7.

El análisis de la figura 7 permite constatar, de nuevo, como los alumnos se desorientan cuando se intenta que trasladen lo que saben sobre un proceso. Se han acostumbrado a identificar la respiración en un orgánulo de la célula eucariota, y hacen lo mismo para la célula procarionta en la que no existe ese orgánulo.

Los alumnos del 10º año no manifiestan ninguna tendencia clara con respecto a la opción escogida. Sin embargo los alumnos del 11º y del 12º años optan principalmente por identificar este proceso con la mitocondria, aunque se trate de células procariontas. Normalmente durante la escolaridad este proceso es estudiado en la célula eucariota, donde se destaca la relación entre la respiración celular y la mitocondria, pero no se llama la atención sobre las excepciones.

Conclusiones

El análisis de los resultados obtenidos en este estudio permite formular las siguientes conclusiones:

1) Durante la enseñanza secundaria algunas concepciones alternativas son sustituidas temporalmente por las ideas científicamente co-

rectas pero, pasado algún tiempo, las concepciones alternativas se manifiestan de nuevo, a saber:

- durante la enseñanza secundaria la concepción alternativa de que el principal objetivo de la fotosíntesis es producir oxígeno es temporalmente sustituido por la idea correcta durante el 11º año cuando se estudia este tema. Sin embargo, transcurrido algún tiempo, durante el 12º año, vuelve a manifestarse en un porcentaje significativo de los alumnos.
- la idea de que las plantas realizan la fotosíntesis solo de día es sustituida en el 11º año por la idea de que las plantas pueden hacer la fotosíntesis de día y de noche siempre que exista luz. Durante el 12º año vuelve a subir considerablemente el número de alumnos que presentan la concepción alternativa.
- la idea de que las plantas realizan la fotosíntesis de día y respiran de noche es sustituida durante el 11º año por la idea de que las plantas respiran de día y de noche pero, en el 12º año la idea inicial vuelve a manifestarse en más de la mitad de los alumnos.

2) Los alumnos manifiestan una gran dificultad en transferir los procesos que ocurren en las células eucariotas para las células procariontas. Al desconocer cuando y como ocurren estos procesos en las células procariontas, los alumnos tienden a considerar la existencia de orgánulos celulares característicos de las células eucariotas en las procariontas en donde ocurrirían los procesos bioquímicos.

3) Existe la idea alternativa de que la respiración es un proceso que abarca a todos los seres vivos. Aunque mayoritaria no es la única ruta metabólica energética utilizada por los seres vivos.

Bibliografía

- Astudillo, H. y Genc, A. (1984). Errores conceptuales en biología. La fotosíntesis de las plantas verdes. *Enseñanza de las Ciencias*, 2(1), 15-17.

- Bermejo, M. L., Fajardo, M. I. y Mellado, V. (2002). Teaching and learning sciences for blind and visually impaired students. *Journal of Science Education for Students with Disabilities*, 9, 15-21.
- Banct, E. y Ayuso, G.E. (2003). Teaching of biological inheritance and evolution of living being in secondary

- school. *International Journal of Science Education*, 25(3), 373-407
- Banet, E. y Nuñez, F. (1990). Esquemas conceptuales de los alumnos sobre la respiración. *Enseñanza de las Ciencias*, 8(2), 105-110.
 - Cañal, P. (1990). *La enseñanza el campo conceptual de la nutrición de las plantas verdes. Un estudio didáctico en la enseñanza básica*. Tesis doctoral inédita. Universidad de Sevilla.
 - 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, 21-36.
 - Cañal, P. y García, S. (1987). La nutrición vegetal un año después. Un estudio de caso en séptimo de EGB. *Investigación en la Escuela*, 3, 55-60.
 - Domingos-Grilo, P. (2003). las ideas alternativas de alumnos portugueses sobre fotosíntesis y respiración celular a lo largo de la enseñanza secundaria. Trabajo de investigación inédito para la obtención de Diploma de Estudios Avanzados. Universidad de Extremadura.
 - Driver, R. (1988). Un enfoque constructivista para el desarrollo del currículo en ciencias. *Enseñanza de las Ciencias* 6(2), 109-120.
 - Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). *Children's ideas in science*. London: Milton Keynes, 208.
 - Driver, R., Guesne, E. y Tiberghien, A. (1989). Algunas características de las ideas de los niños y sus implicaciones en la enseñanza. En R. Driver, E. Guesne y A. Tiberghien (eds.): *Ideas científicas en la infancia y la adolescencia*. Madrid: Morata. 291-304.
 - Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E. y Scott, P. (1994). Constructing Scientific Knowledge in classroom. *Educational Researcher*, 23, 5-12.
 - Furió, C. (1997). Las concepciones alternativas del alumnado en ciencias: dos décadas de investigación. Resultados y tendencias. *Alambique*, 7, 7-17.
 - Gil, D. (1986). La metodología científica y la enseñanza de las ciencias. Unas relaciones controvertidas. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(2), 111-121.
 - Gil, D. (1993). Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 11(2), 197-212.
 - Gil, D., Martínez, J. Y Senet, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), 131-146.
 - Gil, D., Carrascosa, J., Dumás-Carré, A., Furió, C., Gallego, R., Gené, A., González, E., Guisasaola, J., Martínez, J., Pessoa, A.M., Salinas, J., Tricárico, H. y Valdés, P. (1999). ¿Puede hablarse de consenso constructivista en la educación científica? *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), 503-512.
 - Gil, D., Guisasaola, J., Moreno, A., Cachapuz, A., Pessoa, A.M., Martínez, J., Salinas, J., Valdés, P., González, E., Gené, A., Dumás-Carré, A., Tricárico, H. y Gallego, R. (2002). Defending constructivism in science education. *Science and Education*, 11(6), 557-571.
 - Hewson, P.W., Tabachnick, B.R., Zeichner, K.M., y Lemberger, J. (1999). Educating prospective teachers of biology: Findings, limitations, and recommendations. *Science Education*, 83(3), 373-384.
 - Jiménez-Aleixandre, M.P. (1992) Thinking about theories or thinking with theories? A classroom study with natural selection. *International Journal of Science Education*, 14(1), 51-61.
 - Jorba, J. y Sanmartí, N. (1994). *Enseñar, aprender y evaluar: un proceso de regulación continua. Propuestas didácticas para las áreas de Ciencias de la Naturaleza y Matemáticas*. Madrid: MEC.
 - Jorge, M. (1991). Educação em Ciências: perspectivas actuais. En Oliveira, M. (Coord.), *Didáctica da Biologia* (31-41). Lisboa: Universidade Aberta.
 - Kuhn, T. (1971). *La estructura de las revoluciones científicas*, Madrid: F. de Cultura Económica.
 - Lucio, R. (2001). *La actividad metacognitiva como desencadenante de procesos autorreguladores en las concepciones y prácticas de enseñanza de los profesores de ciencias experimentales*. Tesis Doctoral Inédita. Universidad Autónoma de Barcelona.
 - Manuel, J. de y Grau, R. (1996). Concepciones y dificultades comunes en la construcción del pensamiento biológico. *Alambique*, 7, 53-63.
 - Marín, N. (2003). Visión constructivista dinámica para la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, número extra, 43-55.
 - Matthews, M.R. (1997). Introductory comments on philosophy and constructivism in science education. *Science & Education*, 6(1-2), 5-14.
 - Niaz, N., Abd-el Khalick, F., Benarroch, A., Cardellini, L., Laburu, C.E., Marín, N., Montes, L.A., Nola, R., Orlik, Y., Schamann, L.C., Tsai, C.-C., y Tsapalis, G. (2003). Constructivism: Defense or a continual critical appraisal. A response to Gil-Pérez et al. *Science and Education*, 12(8), 787-797.
 - Nuñez, F. y Banet, E. (1996). Modelos conceptuales sobre las relaciones entre digestión, respiración y circulación. *Enseñanza de las Ciencias*, 14(3), 261-278.
 - Nussbaum, J. (1989). Classroom conceptual change: philosophical perspectives. *International Journal of Science Education*, 11, 530-540.
 - Orion, N. (2001). A educação em Ciências da Terra: da teoria à prática - implementação de novas estratégias de ensino em diferentes ambientes de aprendizagem. En Marques, L. y Praia, J. (Coord.), *Geociências nos Currículos dos Ensinos Básico e Secundário (93-114)*. Aveiro:

- Departamento de Didáctica e Tecnología Educativa, Universidade de Aveiro.
- Osborne, R. y Wittrock, M. (1985). The generative learning model and its implications for learning science. *Studies in Science Education*, 5, 1-14.
 - Porlán, R. (1990). Hacia una fundamentación epistemológica de la enseñanza. *Investigación en la Escuela*, 10, 3-32.
 - Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W. y Gertzog, A. (1982). Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-277.
 - Pozo, J.I. (1992). *Psicología de la comprensión y el aprendizaje de las ciencias. Curso de actualización científica y didáctica*. Madrid: MEC.
 - Pozo, J.I. (1996). Las ideas del alumnado sobre la ciencia: de dónde vienen, a donde van... y mientras tanto qué hacemos con ellas. *Alambique*, 7, 18-26.
 - Prieto, T. y Blanco, A. (1997). *Las concepciones de los alumnos y la investigación en Didáctica de las Ciencias*. Málaga: S. P. Universidad de Málaga.
 - Pro, A., Saura, O. y Sánchez, G. (1999). ¿Qué contenidos procedimentales seleccionan los profesores de ciencias cuando planifican unidades didácticas?. En C. Mondelo y S. García (eds.): *La didáctica de las ciencias. Tendencias actuales*. Coruña. S. P. Universidad Coruña. 115-127
 - Santos, M. E. (1991). Dimensão epistemológica do ensino das Ciências. En Oliveira, M. (Coord.). *Didáctica da Biologia* (45-72). Lisboa: Universidade Aberta.
 - Schollum, B. y Osborne, R. J. (1991). Como relacionar lo nuevo con lo ya conocido. En R. J. Osborne y P. Freyberg (eds.): *El aprendizaje de las Ciencias*. Narcea. Madrid. 90-112.
 - Watts, M. (1991). *The science of problem solving*. Portsmouth, NH: Heinemann.