

¿Por qué sube el agua? Un estudio comparativo del desempeño en el uso de pruebas

Isabel García-Rodeja Gayoso ¹, Vanessa Sesto Varela ²

Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Universidad de Santiago de Compostela. España
¹ isabel.garcia-rodeja@usc.es, ² vanessa.sesto@rai.usc.es

[Recibido en julio de 2015, aceptado en diciembre de 2015]

El propósito de este estudio fue analizar el desempeño en el uso de pruebas de estudiantes de 4º de ESO (N=12) y de maestros en formación de Educación Infantil pertenecientes al último curso de la titulación correspondiente (N=16). Para alcanzar este objetivo se usó un experimento consistente en la combustión de una vela parcialmente inmersa en agua en el interior de un recipiente invertido. Los datos fueron recogidos por medio de cuestionarios basados en la estrategia POE y grabaciones en audio y vídeo. Para analizar los datos se construyeron rúbricas a partir del informe PISA y de la interacción con los mismos. Los resultados muestran que los estudiantes presentan algunas deficiencias en el uso de pruebas al construir explicaciones científicas. Tales déficits se mantienen en la universidad a pesar de recibir una formación adicional en ciencias. Además, la selección de pruebas estuvo condicionada por sus teorías implícitas. Los hallazgos sugieren diseñar e implementar actividades que favorezcan el desempeño en el uso de pruebas.

Palabras clave: uso de pruebas; formación en ciencias; combustión de una vela; educación secundaria; estudiantes universitarios.

Why does the water rise? A comparative study of the performance in the use of evidence

The purpose of this study was to analyse the performance in the use of evidence of 10th grade students (N=12) and pre-service teachers studying in the final year of their degree program (N=16). To achieve this goal, an experiment in which a candle is burned inside an inverted vessel partially immersed in water, has been used. Data were collected by questionnaires based in the POE strategy and recordings on audio and video. To analyse the data rubrics were constructed drawing from PISA assessment and in interaction with data. Results show that students have some deficiencies in the use of evidence while building scientific explanations. Such deficits remain at the university in spite of an additional science education. Moreover, the selection of evidence was conditioned by their implicit theories. The findings suggest designing and implementing activities that promote students' development in the use of evidence.

Keywords: use of evidence; science education; a burning candle; secondary school; undergraduates.

Para citar este artículo: García-Rodeja Gayoso, I.; Sesto Varela, V. (2016) ¿Por qué sube el agua? Un estudio comparativo del desempeño en el uso de pruebas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 13 (2), 215-229. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18285>

Introducción

En este artículo se presenta un estudio de caso realizado con un grupo de estudiantes de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y con alumnado universitario perteneciente al último curso del Grado en Maestro de Educación Infantil con la finalidad de examinar el uso de pruebas en la construcción de explicaciones científicas. Para tal fin, la experiencia propuesta exigía que el estudiante interpretase el fenómeno consistente en la combustión de una vela parcialmente inmersa en agua en el interior de un recipiente invertido. Puesto que existen diversas explicaciones que justificarían la entrada de agua en el segundo recipiente, lo que se pretendió con esta actividad fue comprobar si los estudiantes eran capaces de generar diferentes hipótesis a partir de la integración de conocimientos procedentes de diferentes áreas

de conocimiento como la Química y la Física, y si eran capaces de contrastar su validez en base a datos observacionales que pudieran utilizarse como evidencias o pruebas disponibles.

En el ámbito científico y también en el ámbito escolar es frecuente que de la observación de un mismo fenómeno surjan diversas interpretaciones (García-Rodeja y Lucas, 1989). Bajo esta perspectiva, lo deseable es que el estudiante sea capaz de seleccionar de entre las distintas interpretaciones, las más adecuadas para explicar un fenómeno concreto, en base al conocimiento y a las pruebas disponibles.

Valorando la importancia de las competencias en el currículo actual (MEC, 2015), los objetivos de la presente investigación se concretan en las siguientes preguntas:

- ¿En qué medida los estudiantes emplean las pruebas en la construcción de explicaciones científicas?
- ¿En qué medida una formación adicional en Ciencias afecta a la capacidad de explicar científicamente fenómenos relacionados con la transformación de la materia?

Marco teórico

Los fundamentos teóricos en los que se apoya este estudio proceden de diferentes áreas del conocimiento de didáctica de las ciencias, centrándose fundamentalmente en la argumentación y uso de pruebas, y los trabajos prácticos en el aula.

Uso de pruebas y argumentación

En la actualidad los procesos de enseñanza y aprendizaje se centran en el desarrollo de competencias. La importancia de las mismas radica en el hecho de que permiten a aquellos individuos que las adquirieron integrar sus aprendizajes, con el fin de lograr la realización adecuada de actividades y la resolución eficaz de problemas complejos en diversas situaciones y contextos (MEC, 2015). Dentro de las siete competencias clave reflejadas en el actual currículum español, la competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología, hacen referencia a la capacidad de emplear el conocimiento científico para identificar problemas y obtener conclusiones en base a pruebas posibilitando la toma de decisiones sobre el mundo físico.

En el marco PISA 2015 (OCDE, 2015), la competencia científica aparece dividida en tres dimensiones:

- Explicar fenómenos científicamente.
- Interpretar datos y pruebas.
- Evaluar y diseñar investigaciones científicas.

De acuerdo a Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig (2009), estas tres dimensiones están íntimamente relacionadas, puesto que evaluar y diseñar investigaciones científicas implica ser capaz de proporcionar formas de abordar cuestiones científicamente, requiriendo de fenómenos que puedan ser explicados por medio de la ciencia en base a las pruebas disponibles más adecuadas.

El modelo propuesto por Toulmin (1958), que explica desde el punto de vista lógico la estructura de un texto argumentativo, fue muy utilizado para analizar la construcción de argumentos por parte de los estudiantes (p. ej. Driver, Newton y Osborne, 2000; Berland y Reiser, 2009). Toulmin (1958) identificó tres elementos básicos que se encuentran en la mayor parte de los argumentos con independencia del contexto en el que se produzcan. Estos son los

datos, la conclusión y la justificación. La conclusión es el enunciado que se trata de probar o refutar. Los datos, a los que Jiménez Aleixandre (2010) se refiere como pruebas, son los hechos u observaciones a las que se recurre para evaluar el enunciado. La justificación permite establecer la conexión entre la conclusión y las pruebas.

Por otro lado, el dar oportunidades para analizar las posibles interpretaciones de un hecho, fenómeno o experiencia realizada en el aula permite desarrollar habilidades relacionadas con el uso de pruebas para justificar conclusiones y razonar científicamente (McNeill y Krajcik, 2009, 2012).

La capacidad de argumentación, entendida por Jiménez Aleixandre (2010) como la evaluación de un enunciado a través de pruebas, se considera de vital importancia ya que contribuye a diversos objetivos educativos y al desarrollo de distintas competencias básicas. Según esta autora, la argumentación favorece el desarrollo de la competencia para aprender a aprender, puesto que permite regular el propio conocimiento al hacerse explícitos procesos de pensamiento que de otra forma permanecerían inaccesibles. Además, la capacidad argumentativa ayuda a desenvolver una actitud crítica por medio de la adquisición de la habilidad de reflexionar sobre la realidad.

De las tres dimensiones de la competencia científica citadas en párrafos precedentes, dadas las características de la experiencia propuesta a los estudiantes, este estudio se centra fundamentalmente en el uso e interpretación de datos y pruebas.

Los trabajos prácticos

De acuerdo a Caamaño (2011), los trabajos prácticos son una de las actividades de mayor importancia a desenvolver en el aula durante la enseñanza de las ciencias experimentales. El interés de los mismos se debe a que favorecen el desarrollo de ciertas competencias científicas al permitir la interpretación de fenómenos naturales y físicos. Además, facilitan la comprensión de conceptos, aproximan al alumnado al trabajo científico y contribuyen al desarrollo de actitudes favorables hacia la realización de tareas en equipo.

No obstante, no todos los trabajos prácticos son igualmente valiosos y han de estar correctamente diseñados para alcanzar las expectativas propuestas. Así, Hodson (1994) establece que aquellos ejercicios prácticos en los que se les exige a los estudiantes desenvolver una gran cantidad de tareas son contraproducentes, puesto que los discentes pueden experimentar una sobrecarga de información viéndose limitado el aprendizaje. Además, este mismo autor señala que aquellas actividades que se presentan con un carácter excesivamente cerrado son una pérdida de tiempo, pudiendo llegar incluso a causar confusión, ya que los estudiantes deben seguir una serie de instrucciones previamente establecidas sin comprender el por qué o el para qué de sus acciones como si de una receta se tratara.

En este estudio se emplea una experiencia interpretativa basada en la secuencia POE (Predicción – Observación – Explicación) (White, 1988), en la que los estudiantes son animados a emitir hipótesis, que luego tendrán la oportunidad de contrastar experimentalmente en base a las observaciones realizadas. Es interesante proponer este tipo de tareas al alumnado para evaluar las teorías implícitas que sostienen ya que, de acuerdo a Jiménez Aleixandre (2010), las interpretaciones que un individuo haga de un determinado fenómeno van a depender de sus concepciones personales, condicionando consecuentemente la selección y la evaluación de pruebas para la generación y contrastación de distintas explicaciones. Basándose en lo anterior, como mencionan García-Rodeja y Lucas (1989), durante la enseñanza el docente debe apoyar al alumnado en la búsqueda de las evidencias para las diferentes interpretaciones de las experiencias que se realizan en el aula.

Metodología

En este trabajo se emplea una metodología cualitativa, concretamente un estudio de caso (Yin, 2003). Su objetivo es examinar el desempeño en el uso de pruebas de un grupo de estudiantes en el contexto del aula.

Participantes

El estudio se ha realizado con una muestra de 28 estudiantes, 12 pertenecientes a 4º de ESO (15-16 años) cursando la asignatura de Física y Química de carácter optativo, y 16 procedentes del 4º curso del Grado en Maestro de Educación Infantil (21-24 años). Para tratar de dar respuesta a la segunda pregunta de investigación, los estudiantes universitarios fueron elegidos teniendo en cuenta la modalidad de Bachillerato cursada por cada uno de ellos. Así, de los 16 docentes en formación, 12 procedían del itinerario científico-tecnológico. De esta manera fue posible comparar su desempeño con el del alumnado de 4º de ESO y extraer conclusiones.

Descripción de la experiencia

La experiencia consistente en una vela encendida sobre un recipiente con agua que al cubrirla provoca el ascenso de dicho líquido es una experiencia ya clásica (Stocklmayer, 1988; Vera, Rivera y Núñez, 2011), que se encuentra también entre las actividades diseñadas como parte del proyecto *Mind the Gap* (Jiménez Aleixandre, Gallástegui, Eirexas y Puig, 2009) para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias.

De acuerdo a García-Rodeja y Díaz de Bustamante (1992) y García-Rodeja (1994), esta experiencia es interesante puesto que permite ilustrar como a partir de la observación de un mismo fenómeno se pueden derivar diversas interpretaciones.

Como indican García-Rodeja y Díaz de Bustamante (1992) existen diferentes hipótesis que justificarían el ascenso del agua:

- El consumo de oxígeno genera un vacío en el interior del recipiente que provoca que el agua entre. En este caso no se considera el posible papel que podrían desempeñar los productos de la combustión.
- La combustión da lugar a la liberación de CO₂ pero, al ser expulsado éste en forma de burbujas, el efecto resultante es el mismo que el descrito en el punto anterior.
- El calor generado durante la combustión provoca un incremento de la temperatura que hace que el aire del interior del recipiente invertido se expanda y sea expulsado al exterior en forma de burbujas. Al apagarse la vela, el aire se contrae debido al enfriamiento ocasionado una disminución de la presión que hace que el agua entre en el recipiente hasta alcanzarse el equilibrio.

Ante esta multiplicidad de posibles soluciones al problema, el estudiante debe valorar la coherencia de cada una de las explicaciones y de las observaciones efectuadas, tarea que puede requerir una discusión crítica o el desarrollo de un diseño experimental para contrastar hipótesis. De este modo, los estudiantes cuentan con la oportunidad de comprender que la validez de todo diseño experimental está supeditada a que este permita probar las hipótesis formuladas y por consiguiente, las predicciones que se hacen pensando con cada una de ellas han de ser diferentes (García-Rodeja y Díaz de Bustamante, 1992).

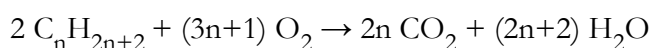
Como se discute en diversos trabajos (Stocklmayer, 1988; Kim, Joung y Yoon, 2012) las burbujas que se observan al inicio en el fondo del recipiente que cubre la vela sólo pueden ser explicadas por medio de la tercera hipótesis. El aire, al expandirse con la temperatura, tiende a

salir al exterior con el objeto de equilibrar la presión. No puede tratarse de CO_2 dado que de ser este gas, el burbujeo se mantendría hasta la extinción de la vela.

El hecho de que el agua siga subiendo desde que la llama se apagó sólo es compatible con la tercera hipótesis, puesto que de lo contrario el nivel del agua debería de ir subiendo paulatinamente a medida que se va agotando el oxígeno del medio, y cesar tan pronto como la vela se apagara.

Por otra parte, que el agua ocupe aproximadamente un 20 % del volumen del recipiente es coherente con cualquiera de las tres hipótesis, siempre y cuando el consumo de oxígeno sea total. No obstante, a día de hoy se conoce que para que una combustión pueda mantenerse es preciso que exista un mínimo de un 14 % en volumen de oxígeno.

Además, como señala Stocklmayer (1988), de considerarse la estequiometría de la reacción, se observa que aunque desaparece oxígeno en una cantidad de $(3n+1)$, aparece $2n$ de CO_2 , compensándose su disminución en cierta medida. El vapor de agua desprendido no ejercerá mucha influencia al condensarse en parte sobre las paredes del recipiente que cubre la vela.



Bajo las consideraciones previas resulta evidente que, aunque en ocasiones esta experiencia es empleada en el aula de ciencias como demostración de que el aire contiene aproximadamente un 20 % de oxígeno, prevalece la interpretación física del fenómeno observado sobre la basada en la reacción química (García-Rodeja y Lucas, 1989; Vera et al., 2011).

Recogida de datos

Para la recogida de datos, a partir de esta experiencia se diseñó un cuestionario empleando una estrategia didáctica tipo POE (Predicción – Observación – Explicación). Según White y Gunstone (1992), las tareas basadas en la técnica POE son una medida de la destreza del alumnado en la aplicación del conocimiento. De acuerdo con estos autores, mediante la estrategia POE se prueba la comprensión a partir de la realización por parte de los estudiantes de tres tareas. Primero han de pronosticar el resultado de un fenómeno justificando su predicción. De esta forma, todo el alumnado se ve comprometido a adoptar una posición decidiendo que conocimiento es más apropiado aplicar. Luego, los estudiantes deben describir lo que vieron, anotando así sus observaciones particulares de lo ocurrido. De acuerdo a White y Gunstone (1992), hay ocasiones en las que diferentes estudiantes perciben cosas distintas en un mismo fenómeno, de forma que si las observaciones no se anotan en el mismo momento en que se efectúan, existe el riesgo de que algunos estudiantes cambien las suyas como resultado de escuchar lo que otros manifiestan haber visto. En la última etapa, el alumnado debe conciliar cualquier discrepancia entre su predicción y sus observaciones.

Durante la experiencia que se describe en este trabajo el alumnado se organizó en equipos, si bien se les exigió que respondieran al cuestionario de forma individual. Los estudiantes de 4º de ESO se organizaron en cuatro grupos (A, B, C, D) de entre 2-4 personas, y el alumnado universitario en dos equipos (E, F) de seis componentes y uno (G) de cuatro. Los docentes en formación de Educación Infantil pertenecientes a la modalidad de Humanidades y Ciencias Sociales se distribuyeron equitativamente entre los dos equipos de seis miembros. El tiempo disponible para la realización de la actividad fue de 30 minutos en 4º de ESO, y de 1 hora y 30 minutos en el 4º curso del Grado en Maestro de Educación Infantil.

El escenario con el que se contó para la realización de la actividad en el caso de 4º de ESO, fue el laboratorio de Física del propio centro, en el que estuvieron presentes además de los estudiantes, la investigadora y la docente responsable de impartirles la materia de Física y

Química. En el caso del alumnado del Grado en Maestro de Educación Infantil, la actividad se llevó a cabo durante una de sus clases interactivas ordinarias de la asignatura Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza, contando con la presencia de su docente habitual. En ambos casos, el papel de la investigadora y de las docentes se limitó a estimular a los estudiantes en la discusión y a aclarar las dudas que les pudiesen surgir.

Además del material escrito, para la recogida de datos los distintos grupos fueron grabados en audio, para registrar la discusión entre el alumnado, y en vídeo, empleado como un apoyo para identificar la intervención de cada estudiante en las conversaciones cuando no fuera posible hacerlo únicamente a través del audio. De todo el discurso transcrito se seleccionaron aquellos eventos más significativos para su posterior análisis.

Herramientas de análisis

Para el análisis fue necesaria la construcción de rúbricas en consonancia con los datos obtenidos y los niveles de competencia científica establecidos en el informe PISA 2015 (OCDE, 2015) (p. ej. Bravo, Romero y Mesa, 2014). De acuerdo a Gatica-Lara y Uribarren-Berrueta (2013), las rúbricas son guías que permiten valorar el nivel de desempeño de los estudiantes en un aspecto determinado, con criterios específicos de rendimiento. Aunque en el estudio PISA figuran seis niveles (ver Cuadro 1), para la elaboración de las rúbricas se prescindió del último.

Cuadro 1. Niveles de desempeño de los estudiantes. Fuente: adaptación del informe PISA 2015 (p. 48-49, OCDE, 2015).

<p>Nivel 6. El estudiante es capaz de emplear el conocimiento conceptual, procedimental y epistemológico para proporcionar explicaciones consistentes, en una gran variedad de situaciones complejas de una elevada demanda cognitiva. Pueden interpretar datos complejos y mostrar destreza a la hora de emitir juicios adecuados sobre la validez de afirmaciones científicas. Pueden desarrollar argumentos para criticar y evaluar explicaciones y modelos en un rango amplio de contextos.</p> <p>Nivel 5. El estudiante es capaz de emplear el conocimiento conceptual, procedimental y epistemológico para proporcionar explicaciones en situaciones variadas que no tienen por qué requerir de una elevada demanda cognitiva. Pueden interpretar datos complejos y mostrar destreza a la hora de emitir juicios adecuados sobre la validez de afirmaciones científicas. Pueden desarrollar argumentos para criticar y evaluar explicaciones y modelos en algunos contextos.</p> <p>Nivel 4. El estudiante es capaz de emplear el conocimiento conceptual, procedimental y epistemológico para proporcionar explicaciones e interpretar datos en situaciones familiares de una demanda cognitiva media. Pueden extraer conclusiones de diferentes datos y explicar relaciones causales simples. Pueden desarrollar argumentos simples y analizar críticamente explicaciones y modelos en algunos contextos.</p> <p>Nivel 3. El estudiante es capaz de emplear el conocimiento conceptual, procedimental y epistemológico para proporcionar explicaciones e interpretar datos en situaciones familiares de una demanda cognitiva media. Pueden extraer conclusiones de diferentes datos y explicar parcialmente relaciones causales simples. Pueden desarrollar argumentos parciales y analizar críticamente explicaciones y modelos en algunos contextos.</p> <p>Nivel 2. En este nivel el estudiante emplea el conocimiento conceptual, procedimental y epistemológico para proporcionar explicaciones en situaciones familiares de una baja demanda cognitiva. Pueden extraer algunas conclusiones de diferentes datos y describir relaciones causales simples. Puede desarrollar argumentos parciales y hacer comentarios sobre el valor de las explicaciones y las interpretaciones de datos alternativas en algunos contextos.</p> <p>Nivel 1. El estudiante manifiesta un uso limitado del conocimiento conceptual, procedimental y epistemológico para proporcionar explicaciones e interpretar pruebas en situaciones familiares. Es capaz de extraer conclusiones a partir de datos simples en contextos familiares.</p>
--

Para que la tarea propuesta a los estudiantes fuese resuelta con éxito se valoró como suficiente que éstos desarrollaran las capacidades asociadas al nivel 5. Para una interpretación adecuada del fenómeno observado era preciso que el alumnado aplicara conceptos procedentes de diferentes disciplinas como la Física o la Química (reacciones químicas, estequiometría, compresión y dilatación de gases, comportamiento del aire caliente y frío, presión y equilibrio) e identificara todas las pruebas. Los estudiantes debían evaluar diversas explicaciones alternativas, decantándose por aquella que estuviera basada en el conocimiento científico y que fuera más compatible con las pruebas disponibles.

En cuanto a los eventos más significativos del discurso transcrito, en algunos de ellos se empleó el esquema de Toulmin (1958) para analizar la argumentación de las discusiones entre los componentes de cada grupo.

Resultados y discusión

En este apartado se describen los resultados del desempeño en el uso de pruebas obtenidos a partir de la aplicación de la herramienta de análisis a las respuestas escritas de los estudiantes.

A continuación, se describen con más detalle los niveles en el uso de pruebas y se ilustra cada uno de ellos con las producciones escritas de los estudiantes en aquellos casos en los que fue posible, haciendo referencia a los resultados obtenidos en el presente trabajo.

Nivel 5

En esta categoría se sitúan aquellas respuestas en las que el estudiante se decanta por una interpretación física del fenómeno como resultado de la evaluación de las distintas hipótesis alternativas. Aplica conocimientos científicos de diversas disciplinas para construir una explicación compatible con todas las pruebas disponibles, incluidas las más complejas.

Nivel 4

En este nivel se engloban todas aquellas respuestas en las que el estudiante proporciona una explicación simple del fenómeno observado atendiendo a diversos aspectos y haciendo un uso más extenso de su conocimiento. Así, asume que durante la reacción de combustión también se están liberando gases y construye una explicación que apoya una no compensación del oxígeno consumido.

B2: “Como el CO_2 es más denso que el oxígeno sale del vaso y el espacio que queda vacío se llena de agua”.

B3: “Ha ocurrido lo que he observado porque dentro del recipiente la presión ha disminuido por la combustión del O_2 . En la combustión se soltó no el mismo volumen y el agua sube”.

Nivel 3

En este nivel se sitúan las respuestas en las que el estudiante desenvuelve una explicación parcial del fenómeno observado. Se muestra incapaz de interpretar las pruebas más complejas, centrándose en aquellos aspectos más evidentes como la progresiva disminución de oxígeno en el interior del recipiente a raíz de la reacción de combustión.

E5: “Porque se forman diferentes presiones debido al consumo de oxígeno. Esto hace que se deban equilibrar las presiones del exterior y del interior del recipiente. Por eso el agua asciende por el recipiente. La vela se apaga porque el oxígeno se consume”.

Nivel 2

En este nivel figuran aquellas respuestas en las que el estudiante describe como causa del ascenso del agua una disminución en la presión en el interior del recipiente, pero no explica a qué puede ser debida.

C3: “El cambio de presión hace que el agua suba. Dentro del vaso hay menos presión lo que hace que el nivel del agua tenga que subir”.

Nivel 1

En este nivel se engloban las respuestas en las que el estudiante se limita a describir lo observado durante la realización de la experiencia. Centra su explicación en situaciones que le resultan familiares como la causa de la extinción de la vela, y que por tanto suponen para él tareas de baja demanda cognitiva. Hace un uso muy limitado de su conocimiento, dando explicaciones que distan de ser compatibles con las ideas científicas.

C1: “Porque el oxígeno se acaba entonces la vela se apaga. Y el agua no influye ya que el oxígeno no se transmite del agua a la vela”.

D1: “El agua sube por el recipiente y al llegar al final se apaga. No llega el oxígeno a la vela”.

Para analizar los niveles de desempeño en los grupos, se hizo una distinción entre las predicciones y las explicaciones elaboradas tras la observación de la experiencia propuesta. Como puede verse a partir de la Tabla 1, el desempeño de los estudiantes en todos los casos estudiados se situó por debajo del nivel 5.

Tabla 1. Distribución de las respuestas a los cuestionarios en niveles de desempeño.

Nivel	Grupo A (N=3)		Grupo B (N=3)		Grupo C (N=4)		Grupo D (N=3)		Grupo E (N=6)		Grupo F (N=6)		Grupo G (N=4)	
	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E	P	E
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	3	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0	0	0	0	3	0	0	0	6	0	6	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
1	0	0	2	0	4	1	2	2	6	0	6	0	4	3

Nota: P= predicción; E= explicación tras la observación del fenómeno.

Todas las predicciones del grupo A se encuadran en el nivel 3. Identifican perfectamente los cambios que tendrán lugar en el nivel del agua al cubrir la vela, pero la explicación que dan se apoya exclusivamente en el consumo de oxígeno. No valoran en ningún momento que durante esta transformación química se está liberando CO₂ y vapor de agua. Este último prácticamente no ejerce ninguna función ya que una gran parte del vapor de agua se condensa sobre la pared del recipiente pero el CO₂ sí contribuiría, por lo que es preciso hacer una valoración de la estequiometría de la reacción para evaluar si la afirmación anterior es válida. Sólo de este modo se podría concluir que la cantidad de CO₂ producida no es lo suficientemente grande como para compensar el consumo de oxígeno, aunque sólo sea en cierta medida. Durante las primeras intervenciones, una vez efectuada la observación del fenómeno, se ve como el estudiante A1 repara en esta cuestión, poniendo en duda la validez de las predicciones efectuadas:

A2: “Ahora explicación”.

A1: “¿Pero en la combustión no se sueltan también gases?”

A2: “Sí”.

A1: “Entonces coge uno y suelta el otro. ¿Entonces por qué subió el agua?”

No obstante, cuando la docente menciona que no se tiene por qué producir el mismo volumen de gases, el estudiante A1 se muestra satisfecho, ya que esta información no le obliga a reestructurar su esquema inicial. Las repuestas de los demás integrantes del grupo A se asemejan a la del estudiante A1. Se puede considerar que tras la ejecución de la tarea las explicaciones se encuadran en el nivel 4. Aunque no comprobaron si en verdad se liberaba una menor cantidad de CO₂ en relación al oxígeno consumido, tuvieron en cuenta este aspecto y construyeron una explicación coherente con el mismo.

En el caso del grupo B, es preciso señalar en primer lugar que el estudiante B1 reconoció haber presenciado anteriormente esta experiencia. Sin embargo, recordaba vagamente lo que ocurría pero no a que era debido, por lo que en realidad sus compañeros de trabajo no se encontraron en una situación de desventaja a la hora de elaborar una explicación consistente de lo observado. Las predicciones tanto del estudiante B2 como del B3 alcanzan el nivel 1. El estudiante B2 asume que el agua no desempeña ningún papel en la experiencia y por tanto orienta su discurso a describir lo que le ocurre a una vela que tiene impedida la entrada de oxígeno. En el caso del estudiante B3, a través del diálogo que mantiene con el estudiante B1, se intuye que confía en la posibilidad de que en la combustión de la vela se genere una cantidad de vapor lo suficientemente grande como para que el nivel del agua aumente. Sin embargo, finalmente se decanta por otra explicación alternativa en la que, a pesar de mencionar explícitamente que la llama es la responsable de que el agua suba, en ningún momento cree que el efecto de ésta sea el de provocar que el aire se expanda y salga al exterior. En su lugar, su interpretación se basa en que la elevada temperatura provoca algún tipo de reacción química en el agua que la hace ascender:

B3: “La vela se va apagando a la vez que el nivel de agua va aumentando dentro del recipiente. Eso se debe a que el calor que está siendo producido por la llama hace que el agua suba de manera rápida, como si hubiese una reacción”.

Tras la observación del fenómeno, en intervenciones posteriores se ve como el estudiante B3 analiza lo que ocurre durante una reacción de combustión para tratar de identificar la causa del ascenso del agua. Como al tratar de retirar el recipiente una vez apagada la vela éste ofrece una cierta resistencia, interpreta que el CO₂ liberado en la reacción debe hacer un efecto vacío similar al desatascador que se emplea cuando el desagüe está obstruido, como se pone de relieve en el siguiente diálogo:

B3: “Puede que al transformar el O₂ en CO₂ este haga así como... tipo... como el coso este... cuando se te queda... taponar todo”.

Investigadora: “¿Desatascador?”

B3: “Eso, que no me sale el nombre. Puede que el CO₂ haga ese estilo de efecto, que haga que vaya todo para arriba. Porque luego cuando esto lo levantas notas que hace ¡paf! Mira, voy a levantar esto aunque sólo sea un poco. Cuesta al principio”.

Por tanto, en lugar de tratar de emplear las ideas científicas para construir una explicación se basa en un conocimiento cotidiano.

Finalmente, en el cuestionario donde se les pide que den una explicación del fenómeno observado, todos los estudiantes del grupo B proporcionan una respuesta que se encuadra en el nivel 4. Las repuestas de los estudiantes B1 y B3 son similares a las del grupo A. Esta semejanza puede ser debida a que durante los 10 minutos finales de la sesión se generó una discusión con la docente en la que participaron ambos grupos. En el caso del estudiante B2, aunque su respuesta se encuadra también en el nivel 4, no cree en la posibilidad de que el consumo de oxígeno y la producción de CO_2 estén tan descompensados como para provocar semejante subida de agua. En su lugar asume que el CO_2 debe ser expulsado al exterior por ser más denso que el oxígeno. Dicha explicación, aunque incorrecta, es compatible con la observación de burbujas en el fondo del recipiente. Sin embargo, el CO_2 como producto de la combustión está caliente y tiende a ascender. Además, de ser CO_2 , el burbujeo debería mantenerse a lo largo de toda la experiencia e incluso mostrar una mayor intensidad hacia la fase final en la que la concentración de CO_2 en el medio es superior. En cambio, la formación de burbujas se da en los instantes iniciales.

En cuanto a las predicciones del grupo C, todas se enmarcan en el nivel 1. Creen que el agua, por tratarse de una molécula que contiene un átomo de O, puede ceder éste de alguna manera, permitiendo que la reacción de combustión se mantenga a pesar de estar impedida la entrada de aire. Es posible que esta idea derive de la incapacidad de diferenciar entre cambio químico y físico, una de las dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de la Química identificada por Pozo y Gómez Crespo (1998). Algunos estudiantes interpretan los cambios de estado de líquido a vapor como una descomposición de la sustancia en cuestión. Bajo esta concepción, de llegar a evaporarse el agua con el calor desprendido durante la combustión de la vela, los elementos que la constituyen pasarían a estar libres. No obstante, la realidad es bien distinta. Por tanto, esta experiencia puede ser útil para que los estudiantes tomen conciencia de que el agua es una molécula tremendamente estable que sólo es posible descomponer en H_2 y O_2 por medio del suministro de energía como una corriente eléctrica (electrólisis).

Tras la observación del fenómeno la explicación del estudiante C1 se mantiene en el mismo nivel, ya que se centra en aspectos ya conocidos como la causa de la extinción de la llama. En el caso de los demás miembros del grupo C, sus respuestas se encuadran en el nivel 3 dado que señalan que el agua sube debido a una disminución de presión en el interior del recipiente asociada al consumo de oxígeno durante la reacción de combustión, sin llegar a hacer una valoración más profunda.

El grupo D mostró un nivel de desempeño muy bajo. Tanto sus predicciones como sus explicaciones tras la observación del fenómeno se encuadran en el nivel 1. Tan sólo hacen alusión a que la vela se apaga porque se acaba el oxígeno. Describen que el nivel de agua sube, pero en ningún momento tratan de buscar el por qué.

En definitiva, los estudiantes de 4º de ESO en general, hicieron un uso muy limitado de las pruebas disponibles. En el caso del grupo A, aunque recogieron explícitamente en el apartado de observación que el agua continúa ascendiendo un cierto tiempo una vez que la llama se extingue, en ningún momento interpretan esto como una prueba. De este modo, teniendo en cuenta la primera pregunta de investigación, se pone de manifiesto que los estudiantes descartan aquellos datos que no son capaces de encajar en sus esquemas mentales.

En cuanto a los resultados correspondientes a los maestros en formación de Educación Infantil, todas las predicciones del grupo E se encuadran en el nivel 1, puesto que creen que la función que cumple el agua es la de proporcionar el oxígeno necesario para que la combustión se sostenga. Al igual que ocurría en el grupo C de 4º de ESO, los estudiantes no llegan a

comprender lo que implica a nivel microscópico un cambio de estado. Tienen asimilado que la evaporación de un líquido involucra la ruptura de enlaces entre los átomos que componen las moléculas como si de un cambio químico se tratase.

Tras la observación del fenómeno las explicaciones del grupo E alcanzan el nivel 3, ya que llegan a la conclusión de que el ascenso de agua tiene que deberse al consumo de oxígeno durante la reacción de combustión sin prestar atención a otros aspectos como la estequiometría de la reacción.

Por otra parte, cabe destacar que algunos miembros de este grupo señalaron que el empañamiento observado en el recipiente que cubría la vela era el resultado de la evaporación del agua contenida en el cristizador a consecuencia del calor desprendido en la reacción. A pesar de haber vivenciado en sesiones previas la experiencia de combustión de una vela, siguen sin ser capaces de reconocer cuales son los productos de la combustión de hidrocarburos. Esto pone de manifiesto que los estudiantes muchas veces se resisten a incorporar a sus esquemas mentales las ideas científicas, y que sus interpretaciones son dependientes del contexto. Además, durante sus intervenciones se ve que observan el burbujeo en el agua pero lo asocian con aire que está entrando del exterior:

E3: “Chupó aire, entonces por eso hacía burbujas”.

También perciben que el agua sigue subiendo tras la extinción de la vela, pero aunque lo recogen explícitamente dentro de sus observaciones, no hacen uso de esta prueba para elaborar una explicación coherente del fenómeno.

En lo que al grupo F se refiere, las predicciones de todos sus miembros se sitúan en el nivel 1, dado que consideran que el agua puede aportar el oxígeno preciso para mantener la combustión. Tras la observación, las explicaciones que dan del fenómeno son muy similares a las del grupo E, puesto que indican que el agua entra en el recipiente para ocupar el espacio que deja el oxígeno consumido en la reacción química, por lo que se enmarcarían en el nivel 3 de desempeño.

En cuanto al grupo G, las predicciones de los cuatro estudiantes que lo integran se encuadran en el nivel 1, ya que sólo dan cuenta de lo que le ocurre a la vela pero no son capaces de establecer cuál es el papel que desempeña el agua en la experiencia. Así, el estudiante G4 predice:

G4: “Pensamos que la vela llegado un momento se apagará debido a la ausencia de oxígeno aunque la presencia de agua nos descoloca un poco y nos hace dudar”. “Por la combustión que acaba con el oxígeno del aire”.

No obstante, antes de adoptar esta decisión final, durante las primeras intervenciones correspondientes a la fase de predicción del fenómeno barajaron diversas hipótesis alternativas. Así, la estudiante G2 creía en la posibilidad de que el oxígeno requerido para la combustión podía proceder del agua. Sin embargo, para la estudiante G1 esta explicación no era válida estableciendo una refutación, como queda patente en la siguiente conversación:

G2: “Yo tengo dudas de si se apaga o no se apaga. Porque a ver, como el agua tiene... O sea, cuando se apagaba era porque se acababa el oxígeno pero es que hay oxígeno en el agua, pero no sé”.

G1: “A ver yo creo que apagar sí que se apaga, porque aparte el oxígeno que tiene el agua está con los hidrógenos y se tendrán que separar”.

El argumento contenido en el diálogo anterior se representa en un esquema de Toulmin en la Figura 1. Según Jiménez Aleixandre (2010), se entiende por refutación toda afirmación que

contradiga una justificación o una conclusión puntual, pudiendo constituir en sí misma un argumento. El calificador modal indica el grado de fuerza o de probabilidad de la aserción.

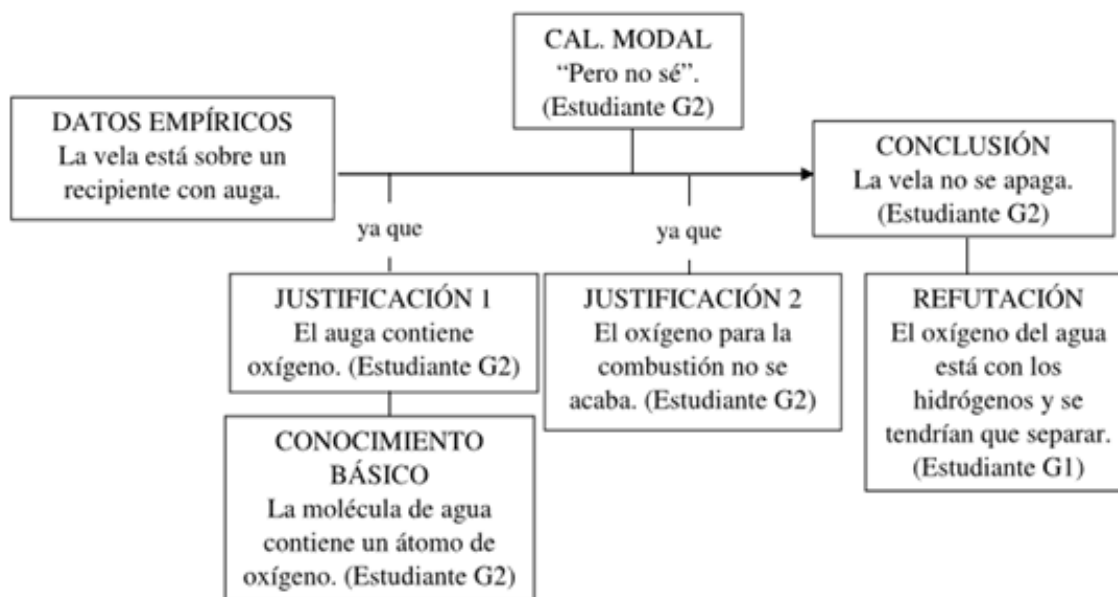


Figura 1. Esquema de Toulmin para la fase de predicción del grupo G.

Asimismo llegaron a pensar que las características del recipiente podrían tener algo que ver, ya que en función de la forma o del tamaño cabría la posibilidad de que se filtrase aire del exterior o no:

G4: “El recipiente, el de arriba, si está puesto sobre el agua hay posibilidad de que se filtre algo de aire por ahí, entonces la llama seguirá encendida aunque sea poco, pero si se baja de todo o sea, por el peso se cerrará y hará vacío, entonces no hay oxígeno y cuando no hay oxígeno se apaga”.

Esta obsesión por tratar de buscar una explicación coherente que implicase la no extinción de la llama estuvo condicionada por el hecho de que en una sesión previa habían realizado el experimento de la vela. En éste los estudiantes debían predecir y observar que ocurre cuando se tapa una vela encendida con un recipiente, y ver si eran capaces de interpretar que la llama se apagaba debido a que la entrada de oxígeno estaba impedida y que la formación de vaho en las paredes interiores del recipiente que cubría la vela era debida a la condensación del vapor de agua, uno de los productos de la reacción además del CO_2 . Así, la estudiante G2 señala:

G2: “Porque yo digo que sería también muy raro que nos pusiera una práctica en la que se apaga la vela si acabamos de hacer una en la que la vela se apaga”.

Por otra parte, durante la observación del fenómeno perciben el burbujeo, que atribuyen a una entrada de aire, y que el agua continúa ascendiente un rato desde la extinción de la vela. Sin embargo, no emplean estas pruebas en la construcción de una explicación. La respuesta final de un estudiante de este grupo se encuadra en el nivel 2, ya que simplemente indica que el nivel de agua varía debido a una diferencia de presiones sin llegar a identificar la causa. Las explicaciones de los restantes miembros del equipo tras la observación se situaron en el nivel 1, dado que se mostraron incapaces de dar una justificación, limitándose a describir lo observado.

A mayores, a los maestros en formación de Educación Infantil se les propuso la realización de un diseño experimental para que comprobasen que hipótesis es la determinante en esta

experiencia, si la basada en la reacción química o por el contrario la que se apoya en principios físicos. Para tal fin debían emplear distinto número de velas y mantener constantes todas las demás variables. Si la hipótesis correcta es la que atribuye el ascenso de agua a la reacción de combustión, la elevación en el nivel del líquido debería ser igual con una vela que con varias, dado que la cantidad de oxígeno en el interior del recipiente sería la misma, con la diferencia de que con un mayor número de velas éstas se apagarían antes porque se acabaría más pronto dicho gas. En cambio, si la hipótesis correcta es la que se apoya en principios físicos, el agua experimentaría un mayor ascenso con varias velas. La combustión de las mismas generaría una cantidad de calor superior, con lo cual el aire se expandiría y se contraería posteriormente tras la extinción de la llama en mayor medida. Todos los estudiantes de los tres grupos (E, F, G) comprendieron por qué dicho diseño experimental era adecuado para probar las dos hipótesis, y entre las dos alternativas se decantaron por la segunda.

Conclusiones e implicaciones educativas

A partir de los resultados obtenidos en esta investigación se llegó a una serie de conclusiones relacionadas con el desempeño en el uso de pruebas.

La primera pregunta de investigación es: *¿En qué medida los estudiantes emplean las pruebas en la construcción de explicaciones científicas?* A la luz de los resultados obtenidos se puso de manifiesto que el estudiante es selectivo con las pruebas que utiliza en la construcción de explicaciones relacionadas con procesos de transformación de la materia. Los estudiantes sólo hacen uso de aquellas observaciones que encajan dentro de sus modelos mentales, lo que concuerda con investigaciones previas de autores como Jiménez Aleixandre (2010), en las que se señala que las teorías implícitas de los estudiantes condicionan sus interpretaciones de los fenómenos, dado que en base a ellas deciden qué pruebas seleccionan y evalúan para generar explicaciones. De este modo, en lugar de echar mano de su conocimiento científico para tratar de buscar explicaciones alternativas compatibles con las pruebas disponibles, optan por desconsiderarlas. Esto lleva aparejadas una serie de consecuencias, ya que aunque el alumnado efectúe observaciones de calidad, esto no repercute positivamente a la hora de interpretar los fenómenos. El interés de la experiencia consistente en la combustión de una vela sobre un recipiente con agua radica precisamente en esta idea, dado que pone claramente en evidencia que una cosa es observar y otra bien distinta interpretar. Así, por ejemplo, aunque muchos estudiantes percibieron como el agua seguía subiendo una vez que la vela se había apagado, ninguno de ellos trató de incorporarlo en sus explicaciones.

Por otra parte, se comprobó que una proporción importante de los estudiantes equiparan la evaporación de una sustancia con su descomposición, y que poseen dificultades a la hora de integrar los conocimientos que poseen de diversas disciplinas durante la interpretación de fenómenos físicos.

La segunda pregunta de investigación es: *¿En qué medida una formación adicional en Ciencias afecta a la capacidad de explicar científicamente fenómenos relacionados con la transformación de la materia?* A partir de los resultados obtenidos se puso de manifiesto que el desempeño de los maestros en formación de Educación Infantil es muy similar o incluso inferior al de estudiantes de 4º de ESO, a pesar de haber cursado los primeros un Bachillerato en Ciencias y Tecnología. Sus explicaciones del fenómeno observado no llegan a alcanzar el nivel 4 de desempeño, mientras que las respuestas tras la observación de seis estudiantes de 4º de ESO sí se encuadran en este nivel. El hecho de poseer una formación adicional en Ciencias no implica la superación de determinadas concepciones alternativas ni supone un uso más extenso del conocimiento científico en la construcción de explicaciones compatibles con las pruebas disponibles. Esto se puede deber a que tradicionalmente la ciencia se apoyó fundamentalmente en una estrategia

que fomentaba ante todo el aprendizaje reproductivo o meramente asociativo, en lugar de favorecer el desarrollo de competencias.

Finalmente, como implicaciones educativas más relevantes de este estudio destacar la necesidad de proponer a los estudiantes tareas en las que se vean obligados a emitir diversas hipótesis, para luego contrastarlas en base a las pruebas disponibles o bien por medio de un diseño experimental apropiado. Es fundamental incrementar el nivel de desempeño de los estudiantes en el uso de pruebas durante la interpretación de fenómenos de la vida real, puesto que el uso de pruebas es una práctica científica clave en la construcción de conocimiento científico y juega un papel esencial tanto en el aprendizaje de conceptos científicos como en el aprendizaje de cómo se construye y qué es la ciencia. Por otro lado, el adquirir competencias en el uso y evaluación de pruebas para apoyar determinadas conclusiones en las clases de ciencias puede ayudar a la formación de individuos críticos capaces de adoptar decisiones de forma independiente.

Esperamos que este trabajo contribuya a que el uso de pruebas, que como tal práctica científica es preciso ejercitarla para adquirir cierta destreza, entre en las aulas de ciencias.

Agradecimientos

Este trabajo forma parte del proyecto EDU2012-38022-C02-01 financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad.

Referencias bibliográficas

- Berland, L. K. y Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93 (1), 26-55.
- Bravo, B., Romero, C., y Mesa, V. (2014). Desempeño en el uso de pruebas en estudiantes 3º de ESO durante la resolución de un problema sobre alimentación humana. *Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias*, 11(3), 320-334.
- Caamaño, A. (2011). Los trabajos prácticos en Física y Química: interpretar. En A. Caamaño (coord.) et al., *Didáctica de la Física y la Química* (pp. 143-167). Barcelona: Graó.
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84 (3), 287-312.
- García-Rodeja, I. (1994). Distintas interpretaciones de una experiencia con una vela. *Alambique*, 1, 143.
- García-Rodeja, I. y Díaz de Bustamante, J. (1992). Aplicando conocimientos e familiarizándonos con procesos de ciencia. *Boletín das Ciencias*, 13, 64-68.
- García-Rodeja, I. y Lucas, A. (1989). Contra las interpretaciones simplistas de los resultados de los experimentos. *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), 11-16.
- Gatica-Lara, F. y Uribarren-Berrueta, T. D. N. J. (2013). ¿Cómo elaborar una rúbrica? *Investigación en educación médica*, 2 (5), 61-65.
- Hodson, D. (1994). Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (3), 299-313.
- Jiménez Aleixandre, M. P. (2010). *10 ideas clave: competencias en argumentación y uso de pruebas*. Barcelona: Graó.
- Jiménez Aleixandre, M. P., Bravo, B. y Puig, B. (2009). ¿Cómo aprende el alumnado a evaluar pruebas? *Aula de Innovación Educativa*, 186, 10-12.

- Jiménez Aleixandre, M. P., Gallástegui, J. R., Eirexas, F. y Puig, B. (2009). *Actividades para trabajar el uso de pruebas y la argumentación en ciencias*. Santiago de Compostela: Danú.
- Kim, M., Joung, Y. J., y Yoon, H. G. (2012). Stories of Teaching Hypothesis – Verification Process in Elementary Science Classrooms. En K. C. D. Tan y M. Kim (eds.), *Issues and Challenges in Science Education Research* (pp. 175-189). Netherlands: Springer.
- McNeill, K. L., y Krajcik, J. (2009). Synergy between teacher practices and curricular scaffolds to support students in using domain-specific and domain-general knowledge in writing arguments to explain phenomena. *The journal of the learning sciences*, 18 (3), 416-460.
- McNeill, K. L., y Krajcik, J. S. (2012). *Supporting Grade 5-8 Students in Constructing Explanations in Science: The Claim, Evidence, and Reasoning Framework for Talk and Writing*. Nueva York: Pearson.
- Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) (2015). *Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato*. BOE 3/01/2015, Madrid
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) (2015). *Pisa 2015. Draft Science Framework*. Consultado el 27 de febrero de 2015, en <http://www.oecd.org/>
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998). *Aprender y enseñar ciencia. Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico*. Madrid: Morata.
- Stocklmayer, S. (1988). Casting a little light on some candle experiments. *The Australian Science Teachers Journal*, 34 (3), 39-40.
- Toulmin, S. (1958). *The uses of argument*. New York: Cambridge University Press.
- Vera, F., Rivera, R., y Núñez, C. (2011). Burning a Candle in a Vessel, a Simple Experiment with a Long History. *Science & Education*, 20(9), 881-893.
- White, R. T. (1988). *Learning Science*. Oxford: Basil Blackwell.
- White, R. T. y Gunstone, R. F. (1992). *Probing Understanding*. Londres: The Falmer Press.
- Yin, R. K. (2003). *Case study research. Design and methods*. California: Sage Publications.