



# **Ciencias** **para comprender** **el mundo**

INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN DIDÁCTICA  
DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

Jesús Sánchez Martín  
Florentina Cañada Cañada  
(coords.)



# **Ciencias** **para comprender** **el mundo**

INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN EN DIDÁCTICA  
DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES

Jesús Sánchez Martín  
Florentina Cañada Cañada  
(coords.)

▲ Entinema

JUNTA DE EXTREMADURA



Este libro ha sido financiado por el proyecto GR15009 correspondiente a la Ayuda a Grupos de Investigación de la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

© Jesús Sánchez Martín y Florentina Cañada Cañada (coords.), 2016

© Cada autor de su capítulo, 2016

© Entimema, 2016  
Fuencarral, 70  
28004 Madrid  
Tel.: 91 532 05 04  
Fax:91 532 43 34  
[www.entimema.com](http://www.entimema.com)

Ciencias para comprender el mundo  
Investigación e innovación en Didáctica de las Ciencias Experimentales

ISBN: 978-84-8198-954-0

IBIC: 4GC/4GE

Depósito legal: M-43718-2016

## ÍNDICE

Prólogo. <i>Vicente Mellado Jiménez</i> .....	5
Presentación. <i>Jesús Sánchez Martín y Florentina Cañada Cañada (coord.)</i> .....	7
Implantación de un sistema de coevaluación asistida por rúbricas con estudiantes del Grado de Educación Primaria. <i>Diego Airado Rodríguez, David González Gómez, Jin S. Jeong y Florentina Cañada Cañada</i> .....	9
Investigando la demanda cognitiva del currículo de Biología mediante las relaciones semánticas entre verbos. <i>Francisco L. Alda Bueno, M<sup>a</sup> José Gil Quílez y M<sup>a</sup> Jesús Rodríguez Yoldi</i> .....	19
La comprensión de la fotosíntesis como requisito para abordar problemas ambientales. <i>Beatriz Carrasquer Álvarez, Adrián Ponz Miranda y María Victoria Álvarez Sevilla...</i>	27
Investigando la materia y sus estados en educación infantil. <i>Ana Franco Corrales y Florentina Cañada Cañada</i> .....	37
Dificultades de los estudiantes de Magisterio para la comprensión del concepto de densidad. <i>Beatriz Carrasquer Álvarez, Adrián Ponz Miranda, Carmen Lázaro Peinado y Joaquín Bujeda Gómez</i> .....	47
Competencias científicas en el alumnado de Magisterio. <i>Adrián Ponz Miranda, María Victoria Álvarez Sevilla, Pilar Esterán Abad, José Carrasquer Zamora, Beatriz Carrasquer Álvarez, Jorge Ignacio Laguna Andrés y Manuel Górriz Villarroya</i> .....	57
Análisis mediante el uso de MoLE de la percepción de los alumnos de ESO y Bachillerato de sus clases de ciencias. <i>Elena Charro, Esther Charro y Daniel Andrés Hernández...</i>	67
Influencia del género en las emociones experimentadas hacia el aprendizaje de Física y Química por los alumnos de Educación Secundaria Obligatoria. <i>M<sup>a</sup> Antonia Dávila Acedo, Ana Belén Borrachero Cortés, Florentina Cañada Cañada y Jesús Sánchez Martín</i> .....	85
Formas de pensar del alumnado sobre radiactividad al finalizar la enseñanza secundaria obligatoria. <i>José Manuel Domínguez Castiñeiras y Javier Corbelle Cao</i> .....	95
Análisis de las ideas iniciales que poseen los maestros en formación sobre la electricidad. Estudio de su persistencia o evolución tras una intervención didáctica. <i>David González-Gómez, Diego Airado Rodríguez y Jin Su Jeong</i> .....	107
Indagando en el aula de ciencias: primeros pasos. <i>Julià Hinojosa Lobato y Neus Sanmartí Puig</i> .....	119
La utilidad de los videojuegos en educación: concepciones de los docentes en ejercicio frente a los de formación inicial. <i>Antonio Alejandro Lorca Marín, José María Cuenca López, Bartolomé Vázquez Bernal y José Andrés Lorca Marín</i> .....	129
Aprender a enseñar Química en Primaria por talleres. <i>Rosa Martín del Pozo, María Ángeles Arillo y Patricia Martín Puig</i> .....	143
¿Qué piensa el profesorado de ciencias en formación inicial sobre el papel que debe desempeñar en el aula? <i>Carolina Martín Gámez y Teresa Prieto Ruz</i> .....	155
Elaboración y validación de un Modelo de Conocimiento con mapas conceptuales para el estudio de la Materia en 4º de Primaria. <i>María Guadalupe Martínez Borreguero, Milagros Mateos Núñez y Francisco Luis Naranjo Correa</i> .....	167

La transposición didáctica de contenidos de EpS en los estudiantes de Magisterio en Educación Infantil. <i>Beatriz Mazas Gil y Beatriz Bravo Torija</i> .....	177
Investigamos sobre las abejas a través de una propuesta en el aula de educación infantil. <i>Beatriz Montero Lancho, M<sup>a</sup> del Carmen Conde Núñez y J. Samuel Sánchez Cepeda</i> ....	187
Evidencia de un aprendizaje basado en contexto que promueve la modelización del cambio químico. <i>Sylvia Mg. Moraga y Mercè Izquierdo</i> .....	201
Desarrollo de la competencia científica a través de los ítems PISA, según la confluencia entre habilidades y conocimientos procedimentales. <i>Javier Muñoz y Elena Charro</i> .....	211
Ideas del alumnado de educación primaria sobre la energía de las máquinas. <i>Noelia Molina Rubio, Guadalupe Martínez Borreguero y Francisco Luis Naranjo Correa</i> .....	221
Experiencias innovadoras para trabajar el análisis crítico de la información que leemos y de los productos que compramos. <i>Begoña Oliveras Prat, Conxita Márquez y Neus Sanmartí</i> .....	231
Estrategias de internacionalización curricular en la Escuela de Ingenierías Agrarias (UEX). <i>María Jesús Petrón, Francisco Pérez Nevado, Ana I. Andrés y María Luisa Timón</i> .....	243
Análisis descriptivo de las creencias del profesorado de secundaria en formación inicial sobre el aprendizaje de las ciencias. <i>Alfonso Pontes Pedrajas, Francisco J. Poyato López y José M<sup>a</sup> Oliva Martínez</i> .....	251
“Control de velocidad: ¿cómo detectar la velocidad de un coche en movimiento?” La adquisición de competencias científicas a través de experimentos con sensores. <i>Joan Ramírez Serrano, Tomás Luis Aguilera Juan, Carme Artigas, Sonia Bofill Ayuda, Pere Franch Ventura, Fina Guitart Mas, Montserrat Mas Llorens, Consuelo Rios Flor y Montserrat Tortosa Moreno</i> .....	267
Influencia de las Ferias de Ciencia y Tecnología de Costa Rica en la elección de estudios superiores científicos y tecnológicos. <i>Diego Armando Retana Alvarado y Bartolomé Vázquez Bernal</i> .....	279
Propuesta de aula para mejorar la actitud de los alumnos de bachillerato ante el ruido. <i>Carlos Rodríguez Casals y Rosario Fernández Manzanal</i> .....	297
Conocimientos, actitudes e intereses de los estudiantes de Bachillerato sobre Biotecnología. <i>Cristina Ruiz González y Enrique Banet Hernández</i> .....	309
¿Cómo utilizan los estudiantes las pruebas ante un fenómeno con múltiples interpretaciones? <i>Vanessa Sesto Varela e Isabel García-Rodeja Gayoso</i> .....	321
Fundamentación de una herramienta para el análisis de la colaboración discursiva de parejas de maestros que integran las ciencias y el inglés en el aula de primaria. <i>Laura Valdés-Sánchez y Mariona Espinet</i> .....	335
Motivación de los estudiantes de 3 <sup>o</sup> de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) ante el estudio de las reacciones químicas mediante una secuencia didáctica plurimetodológica. <i>María Esther González-Felipe, Constanancio Aguirre-Pérez, José Manuel Cortés-Simarro y Ana Vázquez-Moliní</i> .....	349
Observación de la actuación docente para la mejora de la calidad de la enseñanza universitaria en clases expositivas. <i>María Dolores Víctor Ortega y Diego Airado Rodríguez</i> .....	361

# ¿CÓMO UTILIZAN LOS ESTUDIANTES LAS PRUEBAS ANTE UN FENÓMENO CON MÚLTIPLES INTERPRETACIONES?

VANESSA SESTO VARELA<sup>a</sup> E ISABEL GARCÍA-RODEJA GAYOSO<sup>b</sup>

## RESUMEN

En este capítulo se presenta un trabajo de investigación en donde se analiza la capacidad de estudiantes de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (N=12) y de maestros en formación de Educación Infantil (N=16) de generar diversas hipótesis y de contrastar su validez en base a observaciones que pudieran utilizarse como pruebas disponibles. Para alcanzar este objetivo se propuso como actividad la combustión de una vela parcialmente inmersa en agua en el interior de un recipiente invertido. Los instrumentos para la obtención de datos fueron un cuestionario tipo POE y grabaciones en audio y vídeo. Para el análisis de datos, se construyeron rúbricas de acuerdo a los niveles de competencia establecidos en el informe PISA. De los resultados obtenidos, se puede señalar que el uso de pruebas por parte de los participantes fue limitado y estuvo influenciado por sus teorías implícitas. Además, se observó que el desempeño en el uso de pruebas de los estudiantes de secundaria fue incluso superior al de los maestros en formación.

Estos hallazgos sugieren rediseñar los ambientes de aprendizaje para dar a los estudiantes la oportunidad de discutir sobre las posibles interpretaciones de los fenómenos, a fin de promover la competencia en el uso de pruebas, e incrementar la relevancia de las asignaturas vinculadas a las ciencias en el currículo del Grado en Maestro a fin de lograr una mayor continuidad en su formación científica.

**Palabras clave:** Uso de pruebas; Combustión de una vela; Educación secundaria; Maestros en formación.

<sup>a</sup> Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Ciencias de la Educación. Avda. Xoán XXIII, s/n. Campus Norte, 15782 Santiago de Compostela (España). [vanessa.sesto@usc.es](mailto:vanessa.sesto@usc.es)

<sup>b</sup> Área de Didáctica de las Ciencias Experimentales, Departamento de Didácticas Aplicadas, Universidad de Santiago de Compostela, Facultad de Ciencias de la Educación. Avda. Xoán XXIII, s/n. Campus Norte, 15782 Santiago de Compostela (España). [isabel.garcia-rodeja@usc.es](mailto:isabel.garcia-rodeja@usc.es)

## 1. INTRODUCCIÓN

Muchos de los desafíos que nos depara el siglo XXI requerirán de soluciones innovadoras de base científica. Por ello, la sociedad ha de contar con individuos en disposición de afrontar las investigaciones e innovaciones necesarias para dar respuesta a los retos económicos, sociales y ambientales a los que se enfrentará el mundo (OCDE, 2015). Ante este panorama, la competencia científica se percibe como una competencia clave. En el currículo español, la competencia científica se engloba bajo la denominación de competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (MEC, 2015). Por su parte, en el informe PISA 2015 (OCDE, 2015), la competencia científica figura dividida en tres dimensiones:

- Explicar fenómenos científicamente (modelización).
- Evaluar y diseñar experimentos y preguntas científicas (indagación).
- Interpretar datos y pruebas científicamente (argumentación).

Estas tres dimensiones están vinculadas entre sí, dado que evaluar y diseñar experimentos implica ser capaz de proporcionar formas de abordar cuestiones de forma científica, requiriendo del reconocimiento de fenómenos que puedan ser explicados por medio de la ciencia y de la selección de pruebas apropiadas (Jiménez Aleixandre, Bravo y Puig, 2009).

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). Un aspecto a tener en cuenta en relación a lo anterior es que la evaluación de distintas explicaciones a través de experimentos u observaciones, al ser un proceso social, puede estar condicionada por las teorías implícitas del observador (Jiménez Aleixandre, 2010). Para ser capaz de utilizar de forma apropiada las pruebas son necesarias dos condiciones. Por una parte, es preciso diseñar ambientes de aprendizaje y tareas que exijan la puesta en práctica de la competencia de argumentación por parte del alumnado. Por otra parte, la comprensión de las pruebas requiere de un conocimiento básico que debe enseñarse de forma explícita (Bravo, Puig y Jiménez Aleixandre, 2009). Por tanto, lo que hoy se entiende por alfabetización científica requiere no solo del conocimiento de conceptos y teorías de la ciencia, sino también del conocimiento de los procedimientos y prácticas comunes asociados a la investigación científica y de cómo estos permiten a la ciencia avanzar (OCDE, 2015). Consecuentemente, en los últimos años se ha incrementado el interés en el aprendizaje de las ciencias por parte de los estudiantes a través de las prácticas científicas, las cuales se corresponden con los tres procesos involucrados en la generación de conocimiento científico. Los estudiantes deben usar pruebas y conceptos científicos para

construir modelos o explicaciones de los fenómenos bajo estudio y participar en discursos argumentativos para proponer y discutir sobre ideas (Berland y Reiser, 2009).

El modelo propuesto por Toulmin (1958), que explica desde un punto de vista lógico la estructura de un texto argumentativo, fue muy utilizado para analizar la construcción de argumentos por parte de los estudiantes (e. g. Berland y Reiser, 2009). Toulmin (1958) identificó tres elementos básicos que están presentes en la mayoría de los argumentos con independencia del contexto en el que se producen. 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 los que se recurre para evaluar enunciados, ya sean teóricos o procedan de resultados empíricos. La justificación permite establecer la conexión entre la conclusión y las pruebas. Por tanto, un argumento es el resultado de coordinar una explicación con las pruebas que la respaldan, y argumentar implica evaluar un enunciado a través de pruebas, cuya utilización requiere identificar y seleccionar información relevante para llegar a conclusiones (Jiménez Aleixandre, 2010).

De las tres dimensiones de la competencia científica citadas en párrafos precedentes, este estudio se centra fundamentalmente en la interpretación de datos y pruebas. La experiencia propuesta exigía que los estudiantes interpretasen 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 podrían justificar el ascenso del agua, en este trabajo se analiza la capacidad de estudiantes de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) y alumnado universitario perteneciente al último curso del Grao en Maestro de Educación Infantil de generar diversas hipótesis y de contrastar su validez en base a datos observacionales que pudieran utilizarse como evidencias o pruebas disponibles.

## 2. METODOLOGÍA

El enfoque metodológico empleado en este trabajo es de tipo cualitativo. Este tipo de investigación se caracteriza por ser inductiva, es decir, los investigadores comprenden y desenvuelven conceptos e intelecciones partiendo de los datos y no recogién-dolos para simplemente evaluar modelos, hipótesis o teorías preconcebidas. Esto implica la necesidad de seguir un diseño flexible con cuestiones vagamente formuladas (Álvarez-Gayou, 2003).

En particular, esta investigación constituye un estudio de caso, definido por Yin (2003) como “una indagación empírica que investiga un fenómeno contemporáneo en su contexto real, en especial cuando los límites entre el fenómeno observado y el contexto no son claramente evidentes” (p. 13). Así, nuestro objetivo fue examinar

el desempeño en el uso de pruebas de un grupo de estudiantes de 4º de Educación Secundaria Obligatoria (ESO) en el contexto del aula y compararlo con el del alumnado del último curso del Grado en Maestro en Educación Infantil.

## 2.1. Participantes y contexto

En este estudio participaron un total 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 último curso del Grado en Maestro de Educación Infantil (21-24 años). De los estudiantes universitarios, 12 procedían de un Bachillerato vinculado a las ciencias. Para facilitar la toma y posterior análisis de los datos, los participantes de 4º de ESO se distribuyeron en dos grupos (A, B) de tres componentes, uno (C) de cuatro y otro (D) de dos. El escenario con el que se contó para la realización de la experiencia fue el laboratorio de Física del propio centro escolar, en el que estuvieron presentes además de los estudiantes, la investigadora y la docente responsable de impartirles la asignatura de Física y Química.

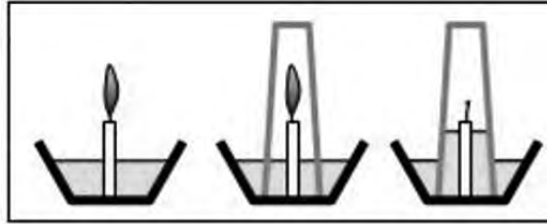
Por su parte, los maestros de Educación Infantil en formación pertenecientes al último curso de la titulación correspondiente, se organizaron en dos equipos (E, F) de seis componentes y uno (G) de cuatro. Aquellos estudiantes universitarios que en el Bachillerato habían cursado la modalidad de Humanidades y Ciencias Sociales, se distribuyeron equitativamente entre los dos equipos de seis miembros. En este caso, la actividad se desarrolló 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. El tiempo disponible para la realización de la actividad fue de 30 minutos en 4º de ESO, y de 1 hora en el caso de los estudiantes universitarios.

## 2.2. Descripción de la experiencia

El tema seleccionado fue la combustión de una vela parcialmente inmersa en agua en el interior de un recipiente invertido (figura 1). Se trata de una experiencia ya clásica (Stocklmayer, 1988), que se encuentra también entre las actividades diseñadas como parte del proyecto Mind the Gap (Jiménez Aleixandre, Gallástegui, Eirexas y Puig, 2009) para trabajar la utilización de pruebas y la argumentación en el aula de ciencias.

Figura 1  
Actividad práctica propuesta a los estudiantes



Fuente: Educarchile, 2013.

Tanto en el ámbito científico como en el escolar es frecuente que de la observación de un mismo fenómeno surjan diversas interpretaciones (García-Rodeja y Lucas, 1989) y esta experiencia es un claro ejemplo de ello (García-Rodeja y Díaz de Bustamante, 1992; García-Rodeja, 1994). Ante la multiplicidad de hipótesis que justificarían el ascenso del agua, el estudiante debe ser capaz de valorar la coherencia de cada una de las explicaciones y observaciones efectuadas, tarea que puede exigir desarrollar un diseño experimental. De esta forma, se les proporciona a los estudiantes la oportunidad de comprender que la validez de todo diseño experimental está supeditada a que este permita probar las hipótesis formuladas (García-Rodeja y Díaz de Bustamante, 1992).

Fundamentalmente, existen dos hipótesis que permitirían explicar el ascenso de agua cuando una vela parcialmente inmersa en el líquido mencionado arde en el interior de un recipiente invertido:

- Cuando la vela arde, el oxígeno del interior del recipiente que la cubre se va consumiendo, y el agua sube para ocupar el espacio dejado por este gas.
- El calor generado durante la combustión de la vela provoca un incremento de la temperatura del aire contenido en el interior del recipiente que, de acuerdo con la ley de Gay-Lussac, se expande y sale al medio exterior en forma de burbujas. Al apagarse la vela, el aire se contrae debido al enfriamiento, causando el ascenso del agua.

A pesar de que en ocasiones esta experiencia es empleada en el aula como demostración de que el aire contiene un 21% de oxígeno, en la actualidad es bien sabido que prevalece la interpretación física del fenómeno sobre la química (Vera, Rivera y Núñez, 2011).

### 2.3. Instrumento de recogida de información y análisis

El instrumento de recogida de datos fue un cuestionario diseñado mediante una estrategia didáctica tipo POE (Predicción-Observación-Explicación) en el que figuraban las siguientes cuestiones a las que cada estudiante debía responder de forma individual a pesar de trabajar en equipo:

- PREDICCIÓN: *¿qué crees que sucederá cuando se coloca un recipiente sobre una vela encendida en posición vertical en una cazuela con agua? Escribe las razones por las que crees que ocurrirá lo que has predicho.*
- OBSERVACIÓN: *describe lo que has observado.*
- EXPLICACIÓN: *explica por qué crees que ocurre lo que has observado.*

El protocolo de actuación fue el que se detalla a continuación. En primer lugar, se les indicó a los estudiantes la experiencia que iba a tener lugar y que deberían prever el resultado de un fenómeno justificando su predicción. De esta manera, todo el alumnado se ve comprometido a adoptar una posición decidiendo que conocimiento es más apropiado aplicar y cuenta con la oportunidad de aclarar y justificar sus propias preconcepciones. Luego, los estudiantes procedieron a la ejecución del experimento, viéndose obligados a describir todo lo que vieron, anotando así sus observaciones particulares de lo ocurrido. Según White y Gunstone (1992), se dan circunstancias en las que diferentes sujetos perciben cosas distintas de un mismo fenómeno, de modo que, si las observaciones no se registran en el mismo instante en el que se efectúan, algunos estudiantes es probable que modifiquen sus observaciones a consecuencia de lo que otros manifiestan haber visto. Finalmente, los participantes debían conciliar cualquier discrepancia entre su predicción y su observación para construir una explicación que justificase lo que realmente ocurría. Además de las producciones escritas de los estudiantes, se realizaron grabaciones en audio y vídeo de las sesiones para recoger la discusión establecida entre los estudiantes durante la realización de las actividades. El vídeo se emplea como un apoyo del audio para identificar de manera inequívoca a cada uno de los participantes durante las conversaciones, así como visualizar las acciones que se desenvuelven y las relaciones sociales que se establecen.

Como herramienta para el análisis, se construyeron rúbricas en interacción con los datos obtenidos y considerando los niveles de competencia científica establecidos en el informe PISA 2015 (OCDE, 2015). A pesar de que en el informe PISA figuran seis niveles (tabla 1), para la elaboración de las rúbricas se prescindió del último.

Tabla 1  
Niveles de desempeño de los estudiantes

---

*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.

---

*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.

---

*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.

---

*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.

---

*Nivel 2.* En este nivel el estudiante emplea 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.

---

*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.

---

Fuente: adaptación del informe PISA 2015 (pp. 48-49, OCDE, 2015).

Esta decisión fue adoptada al considerar que, para que la actividad propuesta fuese resuelta con éxito, era suficiente que los estudiantes desarrollaran las capacidades asociadas al nivel 5.

### 3. RESULTADOS

A continuación, se describen con más detalle las rúbricas empleadas para analizar el uso de pruebas por parte de los estudiantes ante un fenómeno que cuenta con diversas interpretaciones, ilustrando cada uno de los niveles con las producciones escritas de los participantes en aquellos casos en los que fue posible.

### 3.1. Nivel 1

El estudiante se limita a describir lo observado durante la ejecución de la experiencia. Orienta su discurso hacia 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. Da explicaciones que distan de ser compatibles con las ideas científicas, y que están basadas en preconcepciones.

*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 (estudiante C3).*

*El agua sube por el recipiente y al llegar al final se apaga. No llega el oxígeno a la vela (estudiante D1).*

### 3.2. Nivel 2

El estudiante señala una disminución de la presión en el interior del recipiente como causa del ascenso del agua, pero no explica a qué puede deberse.

*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 (estudiante C3).*

### 3.3. Nivel 3

El estudiante desenvuelve una explicación parcial del fenómeno observado. Es incapaz de interpretar las pruebas más complejas, centrándose en aspectos triviales como la progresiva disminución del oxígeno en el interior del recipiente a consecuencia de la reacción de combustión.

*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 (estudiante E5).*

### 3.4. Nivel 4

El estudiante proporciona una explicación simple del fenómeno observado atendiendo a diversos aspectos y haciendo un uso más extenso de su conocimiento. De esta forma, reconoce que durante una reacción de combustión no solo se consumen

gases, sino que también se liberan, y construye una explicación para el ascenso del agua basada en una no compensación del oxígeno consumido.

*Como el CO<sub>2</sub> es más denso que el oxígeno sale del vaso y el espacio que queda vacío se llena de agua* (estudiante B2).

*Ha ocurrido lo que he observado porque dentro del recipiente la presión ha disminuido por la combustión del O<sub>2</sub>. En la combustión se soltó no el mismo volumen y el agua sube* (estudiante B3).

### 3.5. Nivel 5

El estudiante se decanta por una interpretación física del fenómeno como resultado de la evaluación de las distintas hipótesis alternativas. Para ello aplica conocimientos procedentes de diferentes disciplinas como la Física o la Química (reacciones químicas, estequiometría, compresión y dilatación de gases, presión y equilibrio), e identifica y utiliza todas las pruebas disponibles, incluidas las menos obvias.

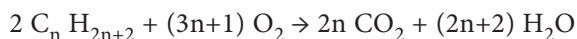
Como puede verse en la tabla 2, el desempeño de los estudiantes se situó en todos los casos por debajo del nivel 5. En esta se diferencian los resultados obtenidos en la etapa de predicción (P), previa a la observación, y en la etapa de explicación (E).

Tabla 2  
Frecuencia de los niveles de desempeño en las respuestas escritas

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

Las predicciones de todos los componentes del grupo A se situaron en el nivel 3. Llegaron a identificar todos los cambios que se producirían en el nivel del agua, pero consideraron como causa del ascenso el consumo de oxígeno sin llegar a valorar en ningún momento que en la combustión de la cera también se están liberando dióxido de carbono y vapor de agua. El vapor de agua condensaría sobre las paredes del recipiente por lo que no ejercería ninguna presión, pero el CO<sub>2</sub> sí contribuiría,

por lo que sería necesario hacer un estudio de la estequiometría de la reacción para evaluar si la afirmación anterior es correcta. De ser considerada la estequiometría de la reacción, se ve que, aunque desaparece oxígeno en una cantidad de  $(3n+1)$ , aparece  $2n$  de  $\text{CO}_2$ , compensándose su disminución en cierta medida.



Durante la observación del fenómeno, la estudiante A1 reparó en esta cuestión, poniendo en tela de juicio 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 le indicó que no se tenía por qué producir el mismo volumen de gases, mantuvo su idea inicial ya que esta información no la obligaba a reestructurar su esquema mental. Las explicaciones del grupo A se encuadraron en el nivel 4 puesto que, aunque no llegaron a verificar si realmente la cantidad de  $\text{CO}_2$  producida es insuficiente para compensar el consumo de oxígeno, tuvieron en cuenta en su discurso la formación de productos.

En el caso del grupo B, las predicciones tanto del estudiante B2 como de la estudiante B3 se situaron en el nivel 1. El primero asumió que el agua no cumplía ninguna función, limitándose a describir lo que le sucede a una vela que tiene impedida la entrada de oxígeno. Por su parte, la estudiante B3 creía en la posibilidad de que en el interior del recipiente se liberase tal cantidad de calor que la alta temperatura provocaría algún tipo de reacción química en el agua que la haría ascender. En ningún momento se planteó que el efecto de la alta temperatura sería el de provocar la expansión del aire en el interior del recipiente, forzando su salida al exterior. Finalmente, en el cuestionario donde se les pidió que diesen una explicación del fenómeno observado, todos los estudiantes proporcionaron una respuesta que se encuadró en el nivel 4, similar a la del grupo A.

En cuanto a las predicciones del grupo C, todas se situaron en el nivel 1. Creían que el agua, por tratarse de una molécula que contiene un átomo de oxígeno, podía ceder este de alguna manera, permitiendo que la reacción de combustión se mantuviera a pesar de estar impedida la entrada de aire. Por ejemplo, una estudiante de este grupo llegó a escribir como predicción en el cuestionario lo siguiente:

*Que seguirá encendida porque al estar en una cacerola con agua le proporciona oxígeno para seguir encendida. Porque el agua le proporciona el oxígeno necesario para permanecer encendida (estudiante C2).*

Tras la observación del fenómeno, la explicación de la estudiante C1 se mantuvo en el nivel 1, pero las de los demás miembros llegaron a alcanzar el nivel 3, al indicar que el agua ascendía debido a una disminución de presión en el interior del recipiente asociada al consumo de oxígeno. No tuvieron en cuenta en ningún momento los productos de la combustión.

La idea que afloró en el grupo C durante la etapa de predicción, según la cual se equiparaba el cambio de fase del agua a una descomposición de esta sustancia, es posible que derive de la incapacidad del alumnado para distinguir entre cambio químico y físico, una de las dificultades de los estudiantes en el aprendizaje de la Química a la que hacen referencia varios autores, entre ellos, Pozo y Gómez Crespo (1998). Es por ello que esta experiencia no solamente es útil para trabajar el uso de pruebas en el aula, sino también para que los estudiantes comprendan que el agua es una molécula tremendamente estable que solamente es posible descomponer en  $H_2$  y  $O_2$  por medio del suministro de energía como una corriente eléctrica (electrolisis del agua).

El grupo D mostró un nivel de desempeño muy bajo. Tanto sus predicciones como sus explicaciones se enmarcaron en el nivel 1, puesto que simplemente hacían alusión a la causa de la extinción de la llama. Describieron los cambios que experimentaba el agua, pero en ningún momento trataron de buscar una explicación a las observaciones efectuadas.

En definitiva, los estudiantes de 4º de ESO, en general, hicieron un uso muy limitado de las pruebas. En el caso del grupo A, aunque recogieron explícitamente como observación que el agua continuaba subiendo un cierto tiempo desde que la llama se apagaba, en ningún momento identificaron esto como una prueba.

En cuanto a los maestros en formación, todas las predicciones del grupo E se encuadraron en el nivel 1 al considerar que el agua suministraba el oxígeno necesario para la combustión. Tras la observación, sus explicaciones se situaron en el nivel 3, al asumir que el ascenso se debía de forma exclusiva al consumo del oxígeno, sin hacer una valoración más profunda. Asimismo, cabe destacar que algunos componentes de este grupo señalaron que el vaho observado en recipiente que cubría la vela era debido a la evaporación y posterior condensación del agua contenida en el cristizador. A pesar de que la combustión de una vela les era familiar, seguían sin ser capaces de reconocer los productos de la combustión de hidrocarburos. Esto demostró que los estudiantes poseen ciertas dificultades para transferir conocimiento de unos contextos a otros. Los resultados del grupo F fueron muy similares a los del grupo E. Por su parte, las predicciones del grupo G se enmarcaron en el nivel 1, dado que se limitaron a describir lo que le ocurría a la vela. Durante la observación del fenómeno percibieron la formación de burbujas que asociaron a una entrada de aire, y que el agua seguía subiendo tras la extinción de la llama. Pese a ello, en ningún momento identificaron estas observaciones como pruebas en las que apoyar sus explicaciones.

De forma adicional, 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. Para ello, debían utilizar diferente número de velas, pero mantener constantes las restantes variables. Si la hipótesis correcta fuese la basada en la reacción química, el nivel de agua debía ascender hasta el mismo nivel, independientemente de la cantidad de velas utilizadas. La única diferencia observada sería que las velas se apagarían antes al consumirse el oxígeno disponible en el interior del recipiente más rápido. Si la hipótesis correcta fuese la que se apoya en los principios físicos, cuanto mayor fuese el número de velas utilizadas, mayor sería el nivel alcanzado por el agua. La combustión de un mayor número de velas iría acompañada de una liberación de calor más alta, de modo que el aire se expandiría y se contraería posteriormente tras la extinción de la llama en mayor extensión. Los estudiantes de todos los grupos de maestros en formación de Educación Infantil (E, F, G) comprendieron por qué el diseño experimental descrito era adecuado para probar las dos hipótesis, y entre las dos alternativas todos optaron por la basada en principios físicos.

#### 4. CONCLUSIONES E IMPLICACIONES PARA LA ENSEÑANZA

Se observó que los estudiantes poseen dificultades en la integración de conocimientos procedentes de diversas disciplinas, viéndose limitada consecuentemente su capacidad de generar diversas hipótesis ante fenómenos con múltiples interpretaciones, y que una gran proporción posee dificultades en la diferenciación entre cambio químico y físico, interpretando los cambios de estado de líquido a vapor como una descomposición de la sustancia en cuestión.

En relación a la capacidad de utilizar las pruebas para evaluar explicaciones alternativas, se percibe que los estudiantes solo hacen uso de aquellas observaciones que encajan en sus esquemas mentales. Consecuentemente, aunque los estudiantes efectúen observaciones de calidad, esto no repercute positivamente a la hora de evaluar explicaciones alternativas de un mismo fenómeno. Además, un hallazgo destacable es que el desempeño en el uso de pruebas de los maestros en formación fue muy similar o incluso inferior al de estudiantes de 4º de la ESO. Esto pone de manifiesto la necesidad de rediseñar los ambientes de aprendizaje para darles a los estudiantes la oportunidad de discutir sobre las posibles interpretaciones de los fenómenos, con el fin de favorecer el desarrollo de competencias, entre ellas el uso de pruebas.

Los resultados de esta investigación sugieren que es necesario que las materias de ciencias cuenten con una mayor representación en el currículo de los maestros, dando una mayor continuidad a su formación científica, ya que de lo contrario los contenidos aprendidos en secundaria se olvidan. En muchos casos, no han sido cursadas materias vinculadas a las ciencias desde 3º de ESO, pues en 4º de ESO ya pasan a tener carácter optativo. A esto se une el hecho de que, en el plan de estudios del

Grado en Maestro de Educación Infantil de ciertas comunidades autónomas como Galicia, dónde se efectuó la presente investigación, solamente se incluyen, en el último curso de la titulación, dos materias en las que se tratan contenidos de ciencias. Estas materias, denominadas “Aprendizaje de las Ciencias de la Naturaleza” y “Educación Ambiental y su Didáctica”, tiene asignadas únicamente 6 y 4,5 créditos, respectivamente, en el segundo semestre del curso escolar, lo que equivale a un total de 105 horas lectivas. En su conjunto, ambas asignaturas representan tan solo el 4,3% del total de créditos necesarios para obtener la titulación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez-Gayou, J. L. (2003). *Cómo hacer investigación cualitativa. Fundamentos y metodología*. México: Paidós Educador.
- Berland, L. K., y Reiser, B. J. (2009). Making sense of argumentation and explanation. *Science Education*, 93(1), 26-55.
- Bravo, B., Puig, B., y Jiménez Aleixandre, M. P. (2009). Competencias en el uso de pruebas en argumentación. *Educación química*, 20(2), 126-131.
- 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.
- 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.
- 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*.
- 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., y Gunstone, R. F. (1992). *Probing Understanding*. Londres: The Falmer Press.
- Yin, R. K. (2003). *Case study research. Design and methods*. California: Sage Publications.