



El papel de la imaginación y la creatividad en la construcción del conocimiento científico

Ejemplos y actividades para el aula

Miguel Ángel Gómez Crespo

IES Victoria Kent. Torrejón de Ardoz (Madrid)

M.ª Jesús Martín-Díaz

IES Jorge Manrique. Tres Cantos (Madrid)

Marisa Gutiérrez Julián

IES Tirso de Molina. Madrid

La enseñanza de la naturaleza de la ciencia, que se viene reivindicando desde la didáctica desde hace décadas, no parece encontrar espacio dentro de las aulas. Mostrar su importancia, en general, y la de la presencia de la imaginación y la creatividad en la actividad científica, en particular, así como presentar algunas actividades de aula, es el objetivo de este artículo. Sin comprender qué es la ciencia y cómo se lleva a cabo la actividad científica, difícilmente lograremos unos alumnos alfabetizados científicamente.

Palabras clave: naturaleza de la ciencia, imaginación, creatividad, alfabetización científica, actividades de aula.

The role of imagination and creativity in building scientific knowledge. Classroom examples and activities

There does not appear to be any space in lessons to teach students about the nature of science, even though teachers have been pushing for it for decades. This article aims to get across the importance of the presence of imagination in general and creativity in scientific activity in particular, as well as give some classroom activities. If we don't know what science is and how scientific activity is carried out, we won't be able to train scientifically literate students.

Keywords: nature of science, imagination, creativity, scientific literacy, classroom activities.

Desde hace décadas, varios autores, desde diferentes movimientos, han venido defendiendo la necesidad de enseñar en las aulas de secundaria qué es la ciencia y cómo se elabora. En la década de los ochenta, en el movimiento «Ciencia para todos», Reid y Hodson (1993) indicaban que los alumnos debían saber ciencia, hacer ciencia y saber sobre la ciencia, señalando en esta última categoría qué debían aprender sobre la naturaleza de la ciencia, es decir, sobre las consideraciones filosóficas y sociológicas de la práctica científica, lo que implica ser conscientes de los métodos científicos, del papel y el estatus de las teorías científicas y de las actividades de la comunidad científica. Asimismo, desde los

movimientos CTS (Ciencia, Tecnología y Sociedad) y Alfabetización Científica se ha reivindicado insistentemente la necesidad de que los alumnos aprendan sobre la naturaleza o epistemología de la ciencia: «Una persona alfabetizada científicamente debe también desarrollar una comprensión funcional de la naturaleza de la ciencia» (Abd-El-Khalick y otros, 1998). En esta línea, Ziman (1984) señalaba «Muchos alumnos estarían mejor formados para sus vidas de lo que actualmente están si se les enseñara un poco menos de ciencia y un poco más sobre la ciencia». Un paso más en la evolución de las propuestas sobre la Alfabetización Científica es la de Marco (2000), que señala tres niveles en la alfabe-

tización, situando en el tercer nivel la necesidad de conocer la naturaleza de la ciencia y la tecnología. Haciéndose eco de esta demanda exterior, los currículos derivados de la LOGSE (1990) recogieron entre sus contenidos, tanto en la ESO como en el bachillerato, algunos que hacían referencia a esta faceta fundamental para lograr una alfabetización científica.

Veinte años después, podemos asegurar que la presencia de la naturaleza de la ciencia en las aulas suele ser muy escasa. Surgen dos preguntas básicas: ¿por qué es importante que los alumnos sepan sobre la ciencia, es decir, sobre la naturaleza de la ciencia?, y ¿por qué ésta no parece tener cabida en las clases de ciencias? Responder en profundidad a estas dos cuestiones cae fuera del espacio disponible en este artículo, pero no podemos dejar de dar algunas pinceladas al respecto.

■ **¿Por qué es importante que los alumnos sepan sobre la naturaleza de la ciencia?**

Porque sabiendo cómo se construye la ciencia, cuál es la función de las teorías y los hechos experimentales (datos obtenidos de la observación y la experimentación), cuál es el papel de la imaginación y la creatividad en la interpretación de los datos y en la elaboración de teorías, cómo trabaja la comunidad científica, podrán comprender el papel y la función de la ciencia en la sociedad. Parece cada vez más necesario saber cuándo un conocimiento presentado como científico lo es en realidad o no, cuándo un problema es investigable o no desde la ciencia, cuándo el uso del término científico puede ser veraz o un simple señuelo para aumentar el consumo y saber diferenciar entre ciencia y pseudociencia. En definitiva, de esa manera los alumnos podrán participar democráticamente en la sociedad como ciudadanos críticos sobre los cada vez más

abundantes temas científicos o tecnológicos. No debemos olvidar que ésta es la finalidad fundamental de la enseñanza de las ciencias.

Además, conviene resaltar que probablemente uno de los aspectos más olvidados en las aulas sea el de la creatividad como elemento imprescindible en la gestación de teorías científicas que han supuesto un cambio profundo respecto de los planteamientos anteriores o en la confirmación de modelos. Pensemos en lo que supuso la idea del vacío en la concepción de la materia, en la necesidad de la materia oscura en la actual concepción del Universo, en la persecución de la partícula de Higgs que se realiza en los aceleradores de partículas. Y, si lo queremos plantear como interrogantes, ¿no se necesita imaginación para pensar que una fuerza actúe a millones de kilómetros de distancia, para suponer que el tiempo se dilata o para pensar en la singularidad del Big-Bang? Sin embargo, pocas veces nos detenemos en el quehacer diario a asombrarnos por la capacidad de imaginar en ciencia.

■ **¿Por qué la naturaleza de la ciencia no parece tener cabida en las clases de ciencias?**

Son múltiples los factores que parecen influir en que las innovaciones didácticas no lleguen o lleguen con lentitud a las aulas (Martín-Díaz y otros, 2004). La formación inicial y permanente del profesorado es esencial, ya que en ella la presencia de la naturaleza de la ciencia es casi nula y, en ocasiones, los docentes transmiten concepciones obsoletas sobre epistemología de la ciencia, que ya han sido superadas desde hace décadas por la filosofía y la sociología de la ciencia (Chalmers, 1984).

El sistema educativo tiene también un papel importante en la entrada de la naturaleza de la ciencia en las aulas. Dicho sistema está formado

por las administraciones educativas, la Universidad y las editoriales (Martín-Díaz y otros, 2004). Respecto a las primeras, en la competencia científica determinada por la LOE (2006) se incluyen conocimientos sobre la naturaleza de la ciencia, que son insuficientes respecto a los recogidos por PISA, como se puede observar en el cuadro 1, en el que se han comparado las capacidades incluidas en la competencia científica según PISA con las de la LOE (Cañas y otros, 2009). Se han señalado en gris las relacionadas con la naturaleza de la ciencia y se puede observar una deficiencia en la LOE.

En cuanto a la presencia de la naturaleza de la ciencia en la mayoría de los libros de texto,

normalmente está restringida a hablar en la primera unidad didáctica del «Método científico», que se describe como aquel que es necesario seguir para llegar al conocimiento de las teorías científicas. Método que comienza con la observación, que es independiente de las teorías y que conduce a una concepción totalmente objetiva y neutra de la ciencia, en la que parece no tener cabida la interpretación de unos mismos datos desde distintas teorías ni la imaginación y creatividad de los científicos en la elaboración de las teorías.

Ante este panorama no demasiado halagüeño para el aprendizaje de la naturaleza de la ciencia, vamos a tratar de acercarnos a la realidad del

Capacidades	Dimensiones de cada capacidad en PISA	Presencia en la LOE
Identificación de cuestiones científicas	<ul style="list-style-type: none"> Reconocer cuestiones investigables desde la ciencia. Utilizar estrategias de búsqueda de información científica, comprenderla y seleccionarla. Reconocer los rasgos clave de la investigación científica: relevancia, incidentes variables y control, diseño de experiencias y realización. 	<p>Casi inexistente.</p> <p>Bien representada.</p> <p>Bien representada.</p>
Explicación científica de fenómenos	<ul style="list-style-type: none"> Aplicar los conocimientos de la ciencia a una situación determinada. Describir o interpretar fenómenos científicamente y predecir cambios. Reconocer descripciones, explicaciones y predicciones pertinentes. 	<p>Bien representada.</p> <p>Bien representada.</p> <p>Inexistente.</p>
Utilización de pruebas científicas	<ul style="list-style-type: none"> Interpretar pruebas científicas, elaborar y comunicar conclusiones. Argumentar en pro y en contra de las conclusiones, e identificar los supuestos, las pruebas y los razonamientos en la obtención de ellas. Reflexionar sobre las implicaciones sociales de los avances científicos y tecnológicos. 	<p>Bien representada.</p> <p>Inexistente.</p> <p>Bien representada.</p>

Cuadro 1. Las capacidades y sus dimensiones de la competencia científica según PISA, y su presencia en la LOE (extraído de Cañas y otros, 2009)

En muchas ocasiones, los profesores no nos cuestionamos la necesidad de enseñar sobre qué es la ciencia y qué es la actividad científica, y en ocasiones no lo consideramos importante

aula. En muchas ocasiones, en los centros educativos se oyen quejas de los profesores sobre sus alumnos del tipo: «no saben formular hipótesis», «no saben interpretar los resultados de la experiencia», «no entienden la gráfica», aunque pocas veces se quejan de que no saben diferenciar un hecho de una teoría, o hacer predicciones a partir de una ley o determinar si un problema es investigable o no desde la ciencia. Debemos preguntarnos: ¿han tenido oportunidad de aprenderlo?, ¿qué hemos hecho para que nuestros alumnos aprendan a trabajar de manera científica?, ¿basta con estudiar los pasos estereotipados del llamado método científico, sin ningún tipo de reflexión sobre él y sus consecuencias?, ¿basta con realizar algunas experiencias de laboratorio en las que se sigue un guión establecido? Probablemente, no. Aprender sobre la naturaleza de la ciencia y el trabajo científico es un proceso complejo, arduo y costoso que, sin embargo, no enseñamos habitualmente en las aulas. En muchas ocasiones, los profesores no nos cuestionamos la necesidad de enseñar sobre qué es la ciencia y qué es la actividad científica, y en ocasiones no lo consideramos importante. Para poder desarrollar la competencia adecuada es necesario que proporcionemos a nuestros alumnos oportunidades para hacerlo (Gutiérrez Julián y otros, 2011), con actividades en las que poco a poco vayan poniendo en juego algunas de las dimensiones de la tabla anterior. Sólo así serán capaces de integrarlas en su aprendizaje.

En este artículo vamos a ver algunos ejemplos de cómo, en distintos niveles, proporcionamos a nuestros alumnos actividades que les permiten ir desarrollando algunas de las capacidades para hacer ciencia y comprender cómo se hace la ciencia. Vamos a centrarnos en la descripción de algunas etapas significativas de la tarea.

■ **Aprendiendo a experimentar. A la búsqueda de un problema para investigar**

Una de las primeras cosas que debemos plantearnos es que nuestros alumnos no llegan al aula sabiendo experimentar. Uno de nuestros objetivos como profesores es enseñarles a hacerlo y para ello debemos reflexionar sobre cómo encaran el trabajo cuando van a realizar una experiencia. Cuando nuestros alumnos, por ejemplo de 2.º de ESO, se enfrentan a un trabajo de laboratorio (probablemente una de sus primeras prácticas), a pesar de que normalmente reciben un guión lo suficientemente detallado y las orientaciones de su profesor, por lo general no son conscientes del objetivo de la tarea, del método seguido, ni de por qué se hace de esa manera y no de otra; no son conscientes de que el experimento es la búsqueda de la respuesta a una pregunta. Entre otras cosas, porque normalmente no han tenido muchas oportunidades de hacerse ninguna. El alumno va a tomar medidas siguiendo las instrucciones y se lo va a pasar bien, va a ser una clase amena, pero probablemente no sabe por qué hace lo que hace y, por tanto, no va a poder dar sentido a los resultados obtenidos. Mostramos aquí un ejemplo de trabajo para iniciar a alumnos de 2.º de ESO en el trabajo científico, a la vez que aprenden sobre el movimiento de los cuerpos, centrándonos en el proceso de definición del problema.

Una bola que rueda por el suelo

La primera etapa en el trabajo científico es tener un problema que investigar, un problema que el investigador reconozca como propio y con el que se identifique. Trasladando esto al aula, necesitamos que nuestros alumnos tengan un problema que resolver, que estimule su iniciativa y creatividad, para después diseñar un plan de trabajo adecuado para hacerlo. Nuestro primer objetivo va a ser que reconozcan y hagan suyo el problema y sean conscientes de lo que van a hacer y por qué lo van a hacer y, en la medida de lo posible, diseñen cómo lo van a hacer. En definitiva, se trata de que no sea el problema del profesor, sino el del alumno. Para ello establecemos un debate en clase sobre qué podemos estudiar en una bola que rueda por el suelo:

- ¿Qué magnitudes podemos medir?
- ¿Qué experimentos podemos hacer?

Son muchas las formas en que pueden estudiar ese movimiento: por ello el profesor induce la idea de realizar algunas experiencias de prueba. Habitualmente los alumnos sugieren lanzar bolas por el suelo de distintos tipos y observan que se desvían, chocan con las patas de la mesa, son difíciles de seguir, etc. Para salvar estas dificultades su primera propuesta es ir acotando el movimiento, haciendo un carril con libros y cuadernos, lanzando la bola por el borde de la pared, etc. Al final, se acaba consensuando que una buena aproximación es estudiar el movimiento de la bola por el carril que forma el borde de la pizarra (la repisa para dejar las tizas).

¿Qué podemos estudiar y medir en el movimiento de esa bola? Los alumnos, por lo general, terminan indicando que hay que medir la velocidad con la que rueda y llegando a la conclusión de que necesitan medir la distancia recorrida y el tiempo empleado. ¿Podemos repetir la experiencia todas las veces que haga falta? Sí, pero los resultados que obtienen son muy dispares, se dan cuenta de que necesitan controlar variables. Es necesario que la bola salga siempre con la misma velocidad. Rápidamente, alguien sugiere utilizar una rampa de lanzamiento, siempre la misma (un cuaderno apoyado en el borde de la pizarra, con marcas de tiza para que siempre tenga la misma pendiente). El siguiente paso es comenzar a medir y para ello se reparten los papeles entre todos los alumnos; los que tienen cronómetro miden el tiempo, otros miden la distancia, otros efectúan el lanzamiento, otros anotan los resultados. Todos participan con alguna tarea en el experimento de aula.

Ahora es necesario organizar e interpretar los datos obtenidos, se aprecian las ventajas de utilizar tablas y es el momento de introducir algunos conocimientos de cinemática y surgen nuevas preguntas:

- ¿Cómo podemos agrupar los datos?
- ¿Pueden desecharse algunos datos? ¿Cuáles?
- ¿Es necesario repetir el experimento?
- ¿Nos ayudaría el utilizar una gráfica?
- ¿Cómo podemos reflejar nuestro trabajo para enseñárselo a otros?

Se introduce la necesidad de poner por escrito lo realizado. Los alumnos trabajan en su informe personal discutiendo en pequeños grupos, en el aula, pero escribiendo cada uno el suyo, con la supervisión del profesor. La tarea del profesor es ayudar a generar ese informe y corregir los errores en tiempo real ayudando a que los alumnos aprendan sobre ello.

La reflexión sobre los datos obtenidos lleva a nuevas preguntas y nuevos problemas: ¿la bola lleva siempre la misma velocidad en todo su recorrido?, ¿podemos llegar a averiguarlo? Alguien propone medir la velocidad en diferentes tramos. Tenemos una nueva pregunta y vuelta a empezar. Trabajamos de esta forma, aproximadamente durante dos semanas. Para muchos profesores, *a priori*, este sistema de trabajo supone una pérdida de tiempo, puesto que el currículo es muy amplio y son muchos los conceptos que enseñar. Sin embargo, nuestros alumnos, a la vez que están aprendiendo sobre las leyes del movimiento, están practicando capacidades necesarias para aprender los conceptos científicos, a hacer ciencia y sobre la ciencia.

■ Interpretando pruebas. Caja negra

A continuación, desarrollamos con más detalle otra de las etapas importantes en el trabajo de la ciencia como es la interpretación de resultados, siendo conscientes de que siempre viene condi-

cionada por la teoría científica o modelo científico aceptado. La gran pregunta para nuestros alumnos sería: ¿por qué pienso lo que pienso y cómo puedo ponerlo a prueba?

Vamos a mostrar aquí un ejemplo clásico de las llamadas *actividades de caja negra* (Fernández Uría, 1979), llevada a cabo con alumnos de 4.º de ESO en grupos de tres alumnos. La actividad consiste en dar a los alumnos una caja de cartón, totalmente cerrada, que contiene tres objetos más o menos cotidianos y sobre la que pueden hacer todo tipo de experiencias, pero sin llegar a abrirla. Su tarea es averiguar qué contiene la caja y exponer a sus compañeros sus conclusiones y los razonamientos que les han llevado a ellas. El trabajo del profesor consiste en fomentar la discusión en los grupos ayudando a que den coherencia a sus propuestas y resaltando sus contradicciones para que avancen en su investigación. Vamos a describir brevemente el proceso seguido por un grupo de alumnos con una caja que contenía una bola de madera, un CD y un prisma de hierro.

La caja negra

Los alumnos comienzan agitando la caja y tienen su primera impresión a partir del ruido que hacen los objetos al moverse: un ruido metálico y otros más amortiguados; u otras características: un objeto es bastante más «pesado» que los otros; hay objetos que ruedan. Esto les lleva a las primeras hipótesis, relacionadas con las características de los materiales de la caja, su tamaño y forma física, que deben formular por escrito, y a proponer formas de comprobarlas. Los alumnos solicitan el material que necesiten (imanes, balanza, regla, etc.) y proceden a realizar las experiencias propuestas. Surgen las primeras conclusiones:

- «Hay un objeto de hierro que se desliza, pero no rueda..., tiene que ser "cuadrado"».
- «Hay un objeto que rueda en todas las direcciones».
- «Es una bola de un material poco pesado».

- «Hay algo que rueda en una sola dirección, se vuelca para los lados pero no cae y suena a plástico».
- «Creemos que es un CD».

Cuando informan a sus compañeros, surgen debates que llevan a nuevas hipótesis que es necesario comprobar: «ese objeto metálico “cuadrado” que es atraído por un imán, ¿no será también un imán?». ¿Qué podemos hacer para comprobarlo? La propuesta es inmediata: acercar la caja a otro objeto metálico para ver si lo atrae (por ejemplo, la pata de una mesa).

Se trata de una experiencia, realizada en dos sesiones de clase, en la que los alumnos tienen oportunidad de poner en juego su imaginación, reflexionar sobre su propio conocimiento y argumentar a favor o en contra de unas conclusiones. Y, sobre todo, los pone en contacto con una faceta muy importante de la actividad científica, como es la interpretación de datos a partir de unos conocimientos científicos: atracción de determinados metales por los imanes, objetos que ruedan o se deslizan, densidad, etc. Es preciso extrapolar el comportamiento de los objetos de la caja y hacerles reflexionar sobre cómo las teorías o modelos científicos dirigen la interpretación de los resultados y la discusión de las conclusiones. Esta reflexión es imprescindible para demostrar que el «método científico», descrito habitualmente en los libros de texto, que comenzaría por la observación, no sólo es simplista, sino también incorrecto (Chalmers, 1984). Así, en nuestra experiencia hemos comenzado por el planteamiento de un problema, y la observación no se ha hecho sólo al principio, sino a lo largo de la experiencia, pero, sobre todo, las observaciones realizadas han estado dirigidas por nuestros conocimientos previos (teorías) y por las hipótesis que hemos ido formulando.

■ Conclusión

La naturaleza de la ciencia debe tener un lugar en la enseñanza de las ciencias, porque su aprendi-

zaje es fundamental para lograr la alfabetización científica de todos los ciudadanos. Los profesores no estamos acostumbrados a incluirla en los contenidos que enseñamos, porque dudamos de su importancia o porque no sabemos cómo abordar su enseñanza. En este artículo hemos pretendido dar algunas ideas para disipar esas dudas o mostrar algunas actividades que ayuden en el aula. Una vez que se ha asumido e interiorizado su importancia, la naturaleza de la ciencia aparece de una manera transversal en muchas de las actividades que realizamos en el aula.

Referencias bibliográficas

- ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R.L.; LEDERMAN, N.G. (1998): «The nature of science and instructional practice: Making the unnatural natural». *Science Education*, vol. 82 (4).
- CAÑAS, A.; MARTÍN-DÍAZ, M.J.; NIEDA, J. (2009): «Definición y secuenciación de la competencia científica en la LOE». *Aula de Innovación Educativa*, núm. 186, pp. 7-10.
- CHALMERS, A. (1984): *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* Madrid. Siglo XXI.
- FERNÁNDEZ URÍA, E. (1979): *Estructura y didáctica de las ciencias*. Ministerio de Educación/INCE.
- GUTIÉRREZ JULIÁN, M.S.; MARTÍN-DÍAZ, M.J.; GÓMEZ CRESPO, M.A. (2011): «El desarrollo de las competencias básicas desde la química». *Aula de Innovación Educativa*, núm. 207, pp. 10-16.

MARCO, B. (2000): «La alfabetización científica», en PERALES, F.J.; CAÑAL, P. (eds.): *Didáctica de las ciencias experimentales*. Alcoy. Marfil.

MARTÍN-DÍAZ, M.J.; GUTIÉRREZ JULIÁN, M.S.; GÓMEZ CRESPO, M.A. (2004): «¿Hay crisis en la educación científica? El papel del movimiento CTS», en *Perspectivas CTS na Inovação de Educação en ciencia*, III Seminario Ibérico CTS no Encino das Ciências, Aveiro (Portugal). Universidade de Aveiro, pp. 39-46.

— (2011): «Las ciencias en la ESO desde la perspectiva de la alfabetización científica», en CAAMAÑO, A. (coord.): *Complementos de formación disciplinar*. Barcelona. Graó.

REID, D.; HODSON, D. (1993): *Ciencia para todos en secundaria*. Madrid. Narcea.

ZIMAN, J. (1984): *An introduction to science stu-*

dies: The philosophical and social aspects of science and technology. Cambridge. Cambridge University Press.

Direcciones de contacto

Miguel Ángel Gómez Crespo

IES Victoria Kent. Torrejón de Ardoz (Madrid)
magc101@gmail.com

M.ª Jesús Martín-Díaz

IES Jorge Manrique. Tres Cantos (Madrid)
mariajesus.martin@gmail.com

Marisa Gutiérrez Julián

IES Tirso de Molina. Madrid
marisa.gutierrezjulian@gmail.com

Este artículo fue solicitado por ALAMBIQUE. DIDÁCTICA DE LAS CIENCIAS EXPERIMENTALES en febrero de 2012 y aceptado en mayo de 2012 para su publicación.