



Cómo enseñar Naturaleza de la Ciencia (NDC) a través de experiencias escolares de investigación científica

Antonio García-Carmona
Universidad de Sevilla

En este artículo se hace una propuesta para integrar, de manera explícita y reflexiva, contenidos de Naturaleza de la ciencia (NDC) en la educación científica básica. Para concretarlo, se argumenta sobre el potencial que tienen las investigaciones científicas escolares. Ello se ilustra con un ejemplo de actividad experimental sobre la conducción térmica de los cuerpos, que podría llevarse a cabo en 2.º curso de educación secundaria obligatoria (ESO).

Palabras clave: actividades experimentales, enseñanza de las ciencias, investigación científica, Naturaleza de la ciencia.

How to teach the nature of science through scientific research at school

This paper puts the case for including the contents of the nature of science in basic science education and gives some guidelines for teaching the nature of science through an explicit, reflective approach. It argues that scientific research at school has huge potential for doing so. This is illustrated with an example of a practical activity on thermal conduction in bodies that could be carried out in second-year secondary classes.

Keywords: experimental activities, science teaching, scientific research, nature of science.

Ya se ha puesto de manifiesto en este monográfico la importancia de integrar la Naturaleza de la ciencia (en adelante, NDC) como contenido básico de la educación científica. Esto es, la promoción de una comprensión básica sobre qué es, cómo se construye y cómo evoluciona la ciencia.

Sin embargo, la realidad actual es que la enseñanza de la NDC, sugerida en los currículos de ciencias –de manera más o menos

explícita–, no tiene todavía la incidencia deseada en las aulas; bien porque el profesorado no suele tener la formación adecuada para ello (García-

Se hace necesario promover programas de formación del profesorado orientados a adquirir un conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la NDC, que incluyan, entre otras cuestiones, el conocimiento de materiales y recursos didácticos para implementar su enseñanza en el aula

Carmona, Vázquez y Manassero, 2011), o bien porque, aun teniéndola, concibe la NDC como un contenido de estatus inferior al de los contenidos de ciencias más clásicos (Akerson y Abd-El-Khalick, 2003). Por ello, como muestra la investigación realizada en la última década, en las

escuelas se siguen fomentando ideas inadecuadas sobre la ciencia y sus características (García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2012).

En consecuencia, se hace necesario promover programas de formación del profesorado orientados a adquirir un conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la NDC (Acevedo, 2009a). Programas que incluyan, entre otras cuestiones, el conocimiento de materiales y recursos didácticos para implementar su enseñanza en el aula.

Con el deseo de contribuir a esto último, el propósito de este artículo es aportar algunas ideas y orientaciones para integrar la NDC con el resto de contenidos de ciencias en la etapa de ESO. Para ello, se elige como contexto las actividades experimentales que habitualmente se hacen (o podrían hacerse) en el aula o laboratorio.

■ ¿Cómo enseñar NDC?

Antes de ofrecer pautas didácticas y metodológicas específicas para la enseñanza de nociones sobre NDC, es conveniente determinar el marco de contenidos que se tendrán en cuenta. En este trabajo se adopta la propuesta de Lederman y Lederman (2004) sobre aquellos aspectos de la NDC que pueden ser asequibles para estudiantes de educación secundaria (véase el cuadro 1).

Establecidos los aspectos de la NDC que podrían ser considerados en la etapa de educación secundaria, la siguiente cuestión es cómo integrarlos en el aula. Al igual que cualquier contenido de ciencia, los relativos a la NDC deberán ser cuidadosamente transformados en conocimiento escolar, a fin de hacer efectiva su enseñanza. Lógicamente, este proceso de transposición didáctica conllevará ciertas simplificaciones, matizaciones, limitaciones, etc., respecto a la auténtica NDC (Taber, 2008); sin

Existen dos posibilidades a la hora de plantearse la enseñanza de nociones de NDC: mediante un enfoque implícito, y a través de un enfoque explícito, en el que se hace una introducción palpable y específica de contenidos de NDC

embargo, permitirá un primer acercamiento de los estudiantes a una visión más real y no estereotipada de la ciencia.

A la hora de plantearse la enseñanza de nociones de NDC, podrían barajarse dos posibilidades. Por un lado, hacerlo mediante un enfoque implícito, es decir, considerando que con el solo hecho de involucrar a los estudiantes en tareas de investigación científica (escolar) ya se estaría generando el clima apropiado para que aprendan sobre NDC; y, por otro, a través de un enfoque explícito en el que se hace una introducción palpable y específica de contenidos de NDC.

La investigación didáctica muestra una mayor eficacia del enfoque explícito (Acevedo, 2009b), sobre todo cuando su implementación en el aula conlleva un proceso de reflexión en torno a los aspectos de la NDC que se aborden. El enfoque implícito resulta, en cambio, criticable; fundamentalmente si no se implementa con un mínimo esfuerzo intencional, por parte del profesorado, para que los estudiantes aprendan sobre NDC.

Los contextos o estrategias más habituales para la enseñanza explícita de nociones de NDC son (García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2012):

- El análisis de aspectos sociocientíficos de controversia (p. ej., investigación con células madre, interpretación de datos para determinar las causas del cambio climático...).

1. Distinguir entre leyes científicas y teorías

Las leyes son enunciados de las relaciones entre dos o más fenómenos, que surgen a consecuencia de los modelos construidos por los científicos para interpretar la realidad observada. Por ejemplo, la ley de Ohm relaciona la variación de la intensidad de corriente eléctrica entre dos puntos de un circuito, con cierta resistencia eléctrica, y el voltaje aplicado entre éstos. En cambio, las teorías son explicaciones inferidas a partir de las observaciones sobre los fenómenos. La teoría sobre el campo eléctrico, que explicaría la ley de Ohm, sería un ejemplo. Las teorías y las leyes son dos tipos distintos de conocimiento científico; por tanto, no se convierten unas en otras, en sentido jerárquico.

2. El conocimiento científico está basado o surge –al menos, en parte– de las observaciones del mundo natural

Todas las teorías y leyes que proponen los científicos deben ser comprobadas empíricamente para validarlas o refutarlas. Por ejemplo, la teoría general de la relatividad fue formulada por A. Einstein en el 1015, pero no fue confirmada experimentalmente hasta 1919.

3. La imaginación y creatividad de los científicos tienen un papel esencial en la construcción de conocimiento científico

Los científicos tienen que ser imaginativos y creativos para intentar establecer las mejores hipótesis explicativas sobre los fenómenos estudiados, así como para diseñar los mejores experimentos que les permitan comprobar la validez de éstas. La pericia y creatividad con que Lavoisier realizó e interpretó sus experimentos (combustión, composición del aire...), y que dieron origen a la química moderna, es un buen ejemplo.

4. El conocimiento científico es, en parte, subjetivo

El conocimiento científico ya establecido, las creencias, habilidades, experiencias, expectativas..., de los científicos influyen a la hora de planificar y recopilar los datos de sus observaciones, así como en su interpretación. Por tanto, aun cuando el conocimiento científico puede ser considerado objetivo, su construcción y establecimiento requiere de una aprobación consensuada de la comunidad científica (proceso intersubjetivo). Por ejemplo, recientemente la comunidad científica decidió quitar a Plutón la condición de planeta, que ha tenido durante 76 años.

5. La ciencia afecta y se ve afectada por las condiciones y circunstancias del contexto sociocultural en que se desarrolla

Factores como la política, la economía, la religión, la cultura, necesidades sociosanitarias, ambientales..., influyen en que unos campos de la ciencia tengan más interés o apoyos que otros; que ciertas teorías sean mejor acogidas que otras, etc. El desarrollo científico también influye en la configuración sociocultural; por ejemplo, los avances científico-tecnológicos en microelectrónica desencadenaron lo que hoy conocemos como era de la Información.

6. El conocimiento científico está sujeto a cambios

Las leyes y teorías científicas son conocimientos tentativos, es decir, planteados con el intento de poder explicar fenómenos de la naturaleza; además, son los mejores conocimientos que en cada momento se tienen sobre ellos. Los avances en las técnicas e instrumentos de investigación empleados, y el avance en conocimiento teórico, entre otros, posibilitan la aparición de nuevas pruebas o reinterpretaciones de las leyes y teorías ya conocidas, que pueden dar lugar a la desestimación de teorías o leyes establecidas, y a la aceptación de otras nuevas, con el fin de explicar mejor los fenómenos estudiados.

Cuadro 1. Aspectos de la NDC que pueden ser enseñados en educación secundaria (Lederman y Lederman, 2004) [Los ejemplos incluidos son del autor de este artículo]

- La revisión y análisis de pasajes de la historia de la ciencia (p. ej., el paso de la alquimia a la química, concepciones respecto al lugar de la tierra en el universo, la evolución del modelo atómico, vida y obra de científicos relevantes...).
- La realización de experiencias escolares de investigación científica.

De los enfoques o contextos anteriores, nos centramos en el correspondiente a las actividades experimentales. No es nuestro propósito detenernos en resaltar el reconocido interés didáctico de las actividades experimentales en la educación científica, sino destacar su potencial para integrar la enseñanza de nociones de NDC en el aula o laboratorio.

El currículo oficial de la ESO insinúa la integración de nociones de NDC en la educación científica para esta etapa. Específicamente, tras explicar la importancia de promover entre los estudiantes tareas propias de investigación científica, el documento subraya lo siguiente (MEC, 2007, p. 687):

[...] significa reconocer la naturaleza, fortalezas y límites de la actividad investigadora como construcción social del conocimiento [científico] a lo largo de la historia.

La enseñanza de nociones de NDC a través de experiencias escolares de investigación científica presenta una serie de ventajas (p. ej., Lederman y Lederman, 2004) que conviene destacar:

- Prácticamente cualquier actividad experimental, sobre el contenido de ciencia que sea, puede ser fácilmente condicionada para integrar cuestiones relativas a la NDC.
- Las actividades experimentales permiten integrar nociones de NDC, de forma explícita y reflexiva, durante su desarrollo.

- La integración de cuestiones de NDC durante el desarrollo de una actividad experimental no acarrea un aumento de tiempo significativo.
- La integración de cuestiones de NDC en una actividad experimental no supone desviación alguna del contenido de ciencia escolar sobre el que esta versa, sino que, al contrario, favorece la comprensión de los fenómenos y conceptos científicos puestos en juego (Domin, 2009).

■ Enseñar NDC con la actividad «investigando conductores y aislantes térmicos de nuestro alrededor»

Vamos a ilustrar con una actividad experimental cómo integrar nociones de NDC. Para ello, primero describiremos cómo se llevaría a cabo la actividad sin la integración de la NDC, y luego reestructurada para enseñar NDC, a fin de que pueda valorarse el cambio requerido.

El estudio del calor, sus manifestaciones y aplicaciones en la vida cotidiana constituye uno de los contenidos básicos del currículo de ciencias para el 2.º curso de ESO (13-14 años). Se espera que los estudiantes se aproximen a la idea de calor como aquella energía que intercambian los cuerpos a causa de su diferencia de temperaturas, y que siempre se transfiere desde el cuerpo con mayor temperatura hasta el de menor temperatura. También se pretende que entiendan que existen tres mecanismos básicos para la transferencia de calor: conducción, convección y radiación.

En este caso, nos centraremos en estudiar la transferencia de calor por conducción en los cuerpos. El propósito es que los estudiantes identifiquen y entiendan el carácter conductor o aislante térmico que tienen algunos materiales de su entorno cotidiano.

Desarrollo de la investigación sin integración de la NDC

A fin de motivar y poner en situación a los estudiantes en la realización de la experiencia, se les puede plantear una serie de cuestiones previas; por ejemplo:

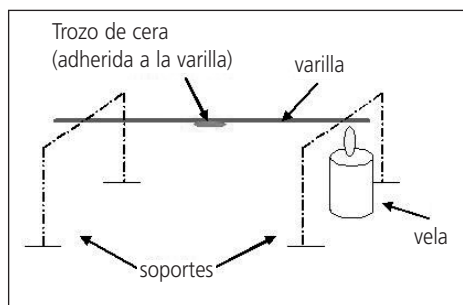
¿Te has enfrentado a situaciones en las que querías enfriar o calentar algo rápidamente?; ¿te has quemado alguna vez con una cuchara metálica que estaba dentro de un vaso de leche caliente?; ¿qué hubiese pasado si la cuchara fuese de plástico?; ¿por qué la sartén tiene el mango de plástico?; ¿por qué en invierno preferimos sentarnos en un banco de madera, antes que en uno de metal?, y cualquier otra pregunta que nos parezca oportuna.

Tras abordar en clase las cuestiones anteriores, se inicia la actividad planteando la siguiente pregunta:

De los siguientes materiales: cobre, acero, aluminio, vidrio, madera, plástico..., ¿cuál será el mejor conductor térmico y cuál el mejor aislante?

Organizados en equipos de 2 o 3 estudiantes, se les pide que ordenen –a modo de hipótesis– de mayor a menor los materiales anteriores, según su capacidad de conducción térmica. A continuación, se facilita a cada equipo el material necesario para hacer la experiencia; esto es: varillas de diferentes materiales (por ejemplo, de los indicados arriba) de aproximadamente 5 mm de grosor y 10-15 cm de longitud;¹ unos soportes para las varillas; una vela o mechero de alcohol; cera fácil de moldear, y un cronómetro.

Se trata de que con cada varilla los equipos hagan el montaje del cuadro 2. En un extremo de la varilla se coloca la vela encendida para calentarla,² y a cierta distancia (la misma para todas las varillas) un trozo de cera adherida a la varilla por la parte inferior. Los equipos tienen que medir el tiempo que tarda en caerse la cera en cada una de las varillas.³ La rapidez con que se transfiere el calor a través del material da cuenta de su capacidad para conducirlo.⁴



Cuadro 2. Esquema de montaje para realizar la actividad experimental sobre la conducción térmica en materiales

Los estudiantes deben comparar los resultados obtenidos con su hipótesis inicial, respecto a la conductividad térmica de los objetos analizados, y volver a plantearse las preguntas del inicio, a fin de comprobar el grado de comprensión alcanzado con la actividad.

Desarrollo de la investigación con integración de la NDC

La experiencia planteada como acabamos de ver probablemente no fomente entre los estudiantes la reflexión en torno a cuestiones referidas a la NDC. Por tanto, habría que replantearla cuidadosamente con objeto de que pueda integrarse dicha reflexión, sin que ello suponga una desatención del conocimiento que, sobre el calor, esperamos que los estudiantes alcancen.

Se puede empezar igualmente discutiendo en clase las cuestiones preliminares orientadas a motivar a los estudiantes por el tema de la conducción térmica en los materiales. Luego, se formula el interrogante-guía para su desarrollo (¿cuál será mejor conductor térmico y cuál mejor aislante?), y se les explica en qué consiste la investigación⁵ que realizará cada equipo. Justo cuando cada equipo empiece con el montaje de la experiencia, se les puede plantear la siguiente pregunta:

[1] ¿Qué esperáis observar exactamente con el experimento? ¿Qué os ayudará a contestar a la pregunta planteada en la actividad: lo que observéis o lo que deduzcáis a partir de esa observación?

Esta primera pregunta, que los estudiantes tratarán de contestar reflexivamente con la ayuda del profesor, pretende incidir en la diferencia entre observación e inferencia en ciencias. La intención es que los estudiantes reflexionen en torno a si lo que realmente observan es el calor o manifestaciones de éste; que piensen por qué el hecho de que el calor se transfiera más rápidamente en un material que en otro permite deducir que tal material es mejor conductor térmico.

A continuación, los equipos realizan la experiencia. Tras su finalización, y después de que cada equipo presente sus conclusiones al resto de la clase, vuelven a reflexionar en torno a la secuencia de preguntas que siguen.

Con objeto de que los estudiantes tomen conciencia de la importancia de las pruebas empíricas en la construcción de conocimiento científico, se les puede preguntar:

[2] ¿Qué os ha aportado la realización de esta experiencia con vistas a contestar la pregunta que se planteaba al inicio de la actividad? ¿Os quedáis ahora más satisfechos, respecto a la comprensión del fenómeno, que si sólo lo hubieseis estudiado por el libro, o simplemente os lo hubiera explicado el profesor?

Para abordar la importancia de la imaginación y creatividad de los científicos en la construcción de conocimiento científico, se les pide que piensen sobre la siguiente cuestión:

[3] ¿Se os ocurre otro modo de comprobar la capacidad de los materiales para transferir calor? ¿En qué creéis que se basan los científicos para hacer sus comprobaciones de una manera u otra?

Es probable que, aunque las conclusiones entre los distintos equipos sobre la experiencia sean similares, los procedimientos seguidos por cada uno hayan sido algo distintos. Con el fin de que los estudiantes tomen conciencia del papel que tienen las habilidades de los investigadores en la planificación y recopilación de datos, así como la necesidad de llegar a acuerdos y tomar decisiones tanto en el diseño de la experiencia como en la recogida e interpretación de los datos (carácter subjetivo de la ciencia), se les puede preguntar:

[4] ¿Cómo habéis decidido cuál era la distancia que debía haber entre la llama de la vela y el trozo de cera en las varillas para hacer la investigación? ¿Cómo os habéis organizado para medir los tiempos? ¿Habéis comprobado si se obtienen los mismos resultados cambiando la distancia entre la vela y la cera? ¿Creéis que para comprobar la validez de una hipótesis es suficiente con hacer el experimento una sola vez? ¿Por qué creéis que los científicos repiten muchas veces el mismo experimento?

Si se estima oportuno, tras las cuestiones anteriores, los equipos pueden volver a repetir la experiencia, ahora cambiando la distancia entre la vela y la plastilina/silicona, y comprobar si vuelven a obtener los mismos resultados que antes. En cuanto a cómo la ciencia afecta a (y es afectada por) las circunstancias de cada momento histórico, se les puede pedir que reflexionen sobre lo siguiente:

[5] ¿Qué interés puede tener, hoy día, para los científicos investigar sobre el comportamiento térmico de los materiales? ¿Creéis que tiene el mismo interés que hace cien años? ¿Por qué?

Finalmente, con el fin de incidir reflexivamente en la cuestión de que el conocimiento científico es provisional y evolutivo, se puede preguntar:

[6] ¿Creéis que si, en vez de los materiales y artilugios usados para realizar esta actividad, hubieseis utilizado otros más sofisticados, como los que utilizan los científicos en sus laboratorios, los resultados hubiesen sido mejores o diferentes? ¿Creéis que siempre se ha sabido lo mismo sobre el calor, o ahora sabemos más sobre él que antiguamente? ¿A qué creéis que se debe esto?

Con las respuestas consensuadas en cada equipo, respecto a las cuestiones anteriores, se vuelve a hacer una puesta en común en clase, al objeto de que ello suponga una reflexión conjunta.

Queremos terminar diciendo que optamos por posponer para el final de la etapa de ESO o bachillerato la reflexión en torno a la distinción

entre leyes y teorías científicas. Asimismo, deseamos recalcar que todas las preguntas anteriores son sólo orientativas, ya que debe ser cada profesor, conforme a sus estudiantes, quien las formule e implemente del modo más pertinente para que lleguen a ser didácticamente efectivas.

■ Reflexión final

En este trabajo hemos destacado el potencial de las actividades prácticas o experimentales para integrar la enseñanza y aprendizaje de nociones de NDC. Ello lo hemos ilustrado con un ejemplo que resulta viable para el nivel de ESO. Somos conscientes, sin embargo, de que su integración no llegará a ser efectiva con la realización de actividades puntuales ni de un solo tipo. Lo ideal es que su enseñanza se plantee con una continuidad progresiva a lo largo de un curso y etapa escolar, así como mediante la combinación de diferentes tipos de actividades y contextos como los que han sido señalados.

En etapas educativas básicas como la ESO, más allá de que los estudiantes lleguen a comprender de manera profunda qué es y cómo funciona la ciencia, lo que debería pretenderse es que el alumnado se inicie en la reflexión sobre estas cuestiones. Sólo así se irán aproximando a una concepción más realista y asumible de la ciencia. En este sentido, queremos insistir en que el aprendizaje de nociones de NDC pasa por que los estudiantes aprendan a argumentar reflexivamente en torno a cuestiones de ciencias, donde no se esperan respuestas correctas o incorrectas, sino, más bien, visiones o posicionamientos que abundan en cómo se construye el conocimiento científico y las circunstancias que subyacen en ello. Una buena forma de iniciar a los estudiantes en tal empresa es a través de experiencias de investigación con fenómenos que les resulten familiares y perceptibles en sus vidas diarias.

Notas

1. Si no es posible conseguir una varilla del material en cuestión, se puede usar también una fina «tira» del mismo material. En el caso del aluminio, se puede conseguir haciéndola manualmente con papel de aluminio doméstico. Y, respecto a la cerámica, en su lugar se

puede hacer una especie de fina tira con barro escolar, dejando que seque y quede rígida.

2. Si se decide experimentar con una varilla de madera (por ejemplo, la de un pincel escolar), habría que cubrirla con alguna chapa metálica en la zona donde incida la llama de la vela para que no arda. Y, con el plástico, se aconseja utilizar un cable de cobre cubierto por aislante, como los utilizados en las instalaciones eléctricas, y pelarlo un poco en uno de los extremos para que la llama de la vela incida sobre el cobre. Esto permitirá comprobar la diferencia de conductividad térmica entre el cobre y el cobre cubierto con plástico.
3. Se aconseja que el trozo de cera no se coloque muy alejado de la fuente de calor, con la idea de que no se prolongue demasiado el tiempo de espera.
4. Una variante de esta experiencia puede encontrarse en el siguiente enlace: <http://fq-experimentos.blogspot.com/2011/07/177-conductividad-termica-de-los.html> [Consulta: febrero 2012]
5. Esta explicación debe ser genérica, para dejar cierto margen a los estudiantes para que tomen decisiones en el montaje y desarrollo.

Referencias bibliográficas

- ACEVEDO, J.A. (2008): «El estado actual de la naturaleza de la ciencia en la didáctica de las ciencias». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 5(2), pp. 134-169.
- (2009a): «Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (II): una perspectiva». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 6(2), pp. 164-189.
- (2009b): «Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia». *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, vol. 6(3), pp. 355-386.

AKERSON, V.L.; ABD-EL-KHALICK, F. (2003): «Teaching elements of nature of science: a yearlong case study of a fourth-grade teacher». *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 40(10), pp. 1025-1049.

GARCÍA-CARMONA, A.; VÁZQUEZ, A.; MANASSERO, M.A. (2011): «Estado actual y perspectivas de la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia: una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 29(3), pp. 403-412.

— (2012): «Comprensión de los estudiantes sobre Naturaleza de la Ciencia: análisis del estado actual de la cuestión y perspectivas». *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 30(1), pp. 23-34.

DOMIN, D.S. (2009): «Considering Laboratory Instruction through Kuhn's View of the Nature of Science». *Journal of Chemical Education*, vol. 86(3), pp. 274-276.

LEDERMAN, N.G.; LEDERMAN, J.S. (2004): «Revising instruction to teach nature of science». *The Science Teacher*, vol. 7(9), pp. 36-39.

«Real Decreto 1631/2006, de 29 de diciembre, por el que se establecen las enseñanzas mínimas correspondientes a la Educación Secundaria Obligatoria». *BOE*, (5 de enero), núm. 5.

TABER, K. (2008): «Towards a Curricular Model of the Nature of Science». *Science & Education*, núm. 17, pp. 179-218.

Dirección de contacto

Antonio García-Carmona

Universidad de Sevilla

garcia-carmona@us.es

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