



DIDÁCTICA

Historia de la ciencia para enseñar naturaleza de la ciencia: una estrategia para la formación inicial del profesorado de ciencia



José Antonio Acevedo-Díaz^a, Antonio García-Carmona^{b,*} y María del Mar Aragón^c

^a Huelva, España

^b Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla, Sevilla, España

^c Departamento de Didáctica, Universidad de Cádiz, Cádiz, España

Recibido el 2 de octubre de 2016; aceptado el 9 de diciembre de 2016

Disponible en Internet el 20 de enero de 2017

PALABRAS CLAVE

Educación científica;
Formación del
profesorado;
Historia de la ciencia;
Naturaleza de la
ciencia

KEYWORDS

Science education;
Teacher education;
History of science;
Nature of science

Resumen Se presenta una propuesta fundamentada para la formación inicial del profesorado de ciencia sobre la naturaleza de la ciencia, mediante el uso de la historia de la ciencia (HDC). Esta se concreta en la lectura reflexiva de textos sobre relatos de casos y controversias de HDC, elaborados por los autores de este trabajo, y de los que se proporciona una descripción breve. Se indican los aspectos metodológicos para la implementación en el aula, y la evaluación cualitativa de las reflexiones de los participantes por medio de rúbricas con niveles de progresión.

© 2016 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

History of science to teach nature of science: A strategy for initial science teacher education

Abstract This paper presents a didactic approach for initial science teacher education on the nature of science (NDC) using the history of science (HDC). This approach is developed through a reflective reading of stories about cases and controversies from HDC, which has been made by the authors of this work. A brief description of the stories and the methodological strategy for its implementation in the classroom are included. Also, the qualitative assessment of the participants' reflections through a rubric with levels of progression is described.

© 2016 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: garcia-carmona@us.es (A. García-Carmona).

La revisión por pares es responsabilidad de la Universidad Nacional Autónoma de México.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.eq.2016.12.003>

0187-893X/© 2016 Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

In memoriam de Andoni Garritz

La historia, filosofía y sociología de la ciencia no tienen todas las soluciones para la crisis educativa actual pero sí tienen algunas respuestas: [...] humanizar las ciencias [...], hacer las clases más estimulantes y reflexivas, [...] y un mejor conocimiento de la estructura de la ciencia [...]. (Garritz, 2010, p. 321).

Introducción

La comprensión de la naturaleza de la ciencia (NDC) es el componente más importante de la alfabetización científica de la ciudadanía porque su conocimiento, adecuado o no, es en el que las personas se basan para valorar los asuntos públicos que involucran a la ciencia y la tecnología (Shamos, 1995). Algunos documentos educativos internacionales la consideran clave para la cultura científica (Organisation for Economic Co-operation and Development [OECD], 2009; NGSS [Next Generation Science Standards], 2013), con valor *per se* y capacidad para enriquecer la educación científica (Acevedo, 2008).

El interés por la enseñanza de la NDC y la historia de la ciencia (HDC) es creciente en Iberoamérica (e.g., Chamizo, Castillo y Pacheco, 2012; Izquierdo, García-Martínez, Quintanilla y Adúriz-Bravo, 2016; Quintanilla, Daza y Cabrera, 2014), a pesar de las trabas que existen para su introducción curricular. Así, en algunos países como España, la NDC aún está muy lejos de consolidarse como un componente clave de la educación científica de los distintos niveles educativos (Acevedo, 2010; Banet, 2010), pues la atención que recibe es escasa y muy mejorable. Una consecuencia inmediata es que el conocimiento de la NDC es poco adecuado entre los profesores de ciencia (Vázquez, García-Carmona, Manassero y Bennassar, 2013; García-Carmona y Acevedo, 2016). Por tanto, es urgente promover acciones formativas que ayuden al profesorado de ciencia a adquirir una comprensión básica de aspectos de la NDC, así como a manejar recursos, estrategias educativas y técnicas de evaluación para implementar la NDC en sus clases de ciencia con eficacia (Acevedo, 2010; Clough, 2011b; García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2011; Wahbeh y Abd-El-Khalick, 2014); i.e., a empezar a desarrollar algunos elementos clave para el desarrollo posterior de su conocimiento didáctico sobre la NDC (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016a).

Hay diferentes propuestas sobre los contenidos de NDC que deben tratarse en la educación científica, las cuales se han discutido recientemente desde enfoques diversos (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016a; Dagher y Erduran, 2016; Kampourakis, 2016). Sin embargo, durante la primera década de este siglo, la perspectiva que ha prevalecido en la bibliografía internacional es la centrada en los aspectos epistémicos (e.g., Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz, 2002). De manera que aspectos no-epistémicos, como la comunicación científica, la personalidad del científico, las relaciones profesionales dentro de la comunidad científica, la política, la economía, etc., no han sido atendidos o se ha hecho de manera insuficiente (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016a).

Los aspectos no-epistémicos afloran sobre todo en la ciencia privada, o contexto del descubrimiento, según la terminología del filósofo positivista Reichenbach; esto es,

durante el proceso de elaboración del conocimiento. En la década de 1930, este filósofo distinguió entre el contexto del descubrimiento y el contexto de justificación (ciencia pública). Si bien, para él, los filósofos de la ciencia no deberían ocuparse de la génesis de los descubrimientos científicos, sino de los resultados finales de la investigación científica, expresados en artículos y libros; a saber: los hechos descubiertos, las teorías elaboradas, los métodos lógicos empleados y la justificación empírica de las consecuencias y predicciones derivadas de las teorías (Vázquez, Acevedo, Manassero y Acevedo, 2001). Con esta distinción, los aspectos no-epistémicos estarían excluidos, quedando reducida la comprensión de la NDC a los aspectos epistémicos. Sin embargo, la filosofía de la ciencia contemporánea ha superado esa dicotomía, y ambos contextos se consideran un continuo inseparable.

Así pues, frente a una visión de la NDC limitada a lo epistémico, actualmente se reivindica la incorporación de factores no-epistémicos relacionados con las dimensiones sociales, interna y externa, de la ciencia (Abd-El-Khalick, 2012; Irzik y Nola, 2014; Martins, 2015; Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016a; Dagher y Erduran, 2016), que muestre una visión más holística de la NDC (Allchin, 2011).

El propósito de este artículo es presentar ejemplos que se enmarcan en una propuesta fundamentada para enseñar NDC mediante la HDC, siguiendo tales recomendaciones. Esta se concreta en la lectura reflexiva de narraciones de casos y controversias de HDC, elaborados por los autores de este trabajo.

Fundamentos

Desde hace años, la HDC se viene proponiendo como un recurso adecuado para la enseñanza sobre la NDC en la educación científica (e.g., Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Matthews, 2015). No obstante, se ha mostrado que su efectividad requiere plantear de manera explícita a los estudiantes la identificación de aspectos de la NDC y una reflexión crítica sobre ellos (McComas, 2008; Acevedo, 2009; Rudge y Howe, 2009). Son de gran interés, al respecto, los casos de HDC y las controversias que han mantenido los científicos en la construcción de teorías científicas.

Hay distintas formas de emplear la HDC en la enseñanza de la NDC, pero la que se propone en este artículo se basa en la lectura de relatos sobre casos y controversias de HDC, mediante textos elaborados expresamente para ello. El uso didáctico de estas narraciones requiere de su adaptación al contexto educativo. Para ello, se hace una selección que simplifica en parte los hechos históricos (Acevedo, García-Carmona y Aragón, 2016b), pero cuidando que las omisiones no conduzcan a una pseudohistoria (Allchin, 2004) y evitar así una imagen deformada de la ciencia (Forato, Martins y Pietrocola, 2011). También se debe procurar que las narraciones incluyan palabras de los científicos para resaltar el lado humano de la ciencia y dotar de autenticidad a las ideas de la NDC que ilustran (Clough, 2011a). Asimismo, debe evitarse mostrar una visión mítica de los científicos y de la ciencia (Numbers y Kampourakis, 2015), enfatizando unos aspectos, minimizando otros u omitiendo los errores y fracasos (Allchin, 2003). Tampoco se debe promover una interpretación anacrónica del pasado, que exagere la impor-

tancia de su contribución a la ciencia contemporánea; *i.e.*, dar una visión *whig* de la HDC. Más bien se trata de propiciar la ciencia en el contexto social de su época y los factores contingentes de su desarrollo. De no ser así, se transmitirá una falsa visión acumulativa y lineal de la ciencia en progreso continuo hasta su estado actual (Monk y Osborne, 1997).

Textos con narraciones de casos y controversias de la historia de la ciencia

Para el desarrollo de la propuesta, se han elaborado 4 textos de casos y controversias de la HDC que se describen a continuación con brevedad.

Semmelweis y la fiebre puerperal

Circa 1840, las mujeres que parían en los hospitales corrían gran riesgo de morir por fiebre puerperal. La situación era muy grave cuando Semmelweis entró a trabajar en el Hospital General de Viena, en 1846. Según la etiología oficial de la época, la infección era debida a la transferencia de miasmas, que contenían partículas envenenadas, de la exhalación pútrida de una persona enferma a otra sana. Otra teoría médica de entonces era la del contagio, que convivía en armonía con la anterior; incluso se usaba a veces una combinación de ambas para explicar las enfermedades. Según esta teoría, el contagio solo podía provocarlo la misma enfermedad. Pero Semmelweis observó que la fiebre puerperal podía ser transmitida también por otras enfermedades como el carcinoma del útero, por lo que no se trataba de un contagio en el mismo sentido que el de la teoría del contagio.

Tras un intenso trabajo, Semmelweis propuso una práctica clínica basada en la desinfección de las manos mediante un lavado a fondo con una disolución de cloruro de calcio. A pesar de obtener buenos resultados y disminuir notablemente el número de muertes de parturientas, su propuesta no fue aceptada por la comunidad médica.

Se cuestiona una interpretación positivista y empirista del trabajo de Semmelweis. El rechazo de sus ideas se explica mediante factores epistémicos (*e.g.*, carecer de una teoría alternativa; la ausencia de experimentos controlados en el laboratorio; etc.) y no-epistémicos (despreocupación por la comunicación científica; rasgos psicológicos de su personalidad; conflictos con las autoridades médicas y la mayoría de sus colegas; circunstancias políticas y nacionalistas de la época; etc.).

El texto del relato de este caso de HDC, con unas 3,000 palabras, se ha publicado en [Acevedo et al. \(2016b\)](#).

La controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación

Durante los siglos XVIII y XIX, algunos químicos intentaron formular la fermentación alcohólica mediante reacciones químicas. Liebig creía que la fermentación era una descomposición química causada por la putrefacción de una sustancia animal o vegetal, pero que no requería de la intervención de microorganismos; *i.e.*, no era un proceso

biológico. Consideraba que la fermentación se producía por la transferencia de vibraciones moleculares (movimiento) del fermento (la levadura) a las moléculas de azúcar, que se mantenía mientras hubiera descomposición. Esta interpretación era coherente con la visión mecanicista del mundo, derivada de las contribuciones de Newton, que Lavoisier y otros introdujeron en la Química.

Una alternativa a la interpretación química de la fermentación era la vitalista, que consideraba a la levadura un organismo vivo que se nutre cuando el azúcar fermenta. A partir de esta idea, Pasteur desarrolló su teoría sobre la fermentación, asumiendo que la causa del fenómeno era la actividad biológica de ciertas levaduras (microorganismos). Al contrario que Liebig, consideraba que la levadura era un organismo vivo que participaba en el proceso, y que su acción sobre el azúcar no tenía que ver con procesos de desorganización o putrefacción.

En la controversia entre Pasteur y Liebig sobre la fermentación, se pone claramente de manifiesto la influencia de las creencias teóricas diferentes de ambos científicos respecto a la interpretación del fenómeno que están observando. Pasteur lo considera un proceso biológico, mientras que Liebig cree que se trata de un proceso químico. Otro factor epistémico que influyó en las interpretaciones distintas de ambos científicos sobre la fermentación fue la manera diferente de clasificar las fermentaciones; más fecunda la de Pasteur. Sin embargo, no pasa inadvertida la influencia de diversos factores no-epistémicos que jugaron a favor de Pasteur en esta polémica, tales como sus habilidades retóricas y estrategias semánticas, en las que era un maestro; la repercusión social, industrial y económica de su teoría en distintos aspectos prácticos relacionados con la mejora de las técnicas de fermentación en las industrias del vino, la cerveza y el vinagre, así como la invención de la pasteurización para conservar y transportar alimentos como la leche; e incluso la influencia del patriotismo nacionalista, cuando Pasteur llegó a apelar a la oposición entre su «ciencia francesa» y la «ciencia alemana» de Liebig, en una época en la que Prusia (Alemania) y Francia eran enemigas.

El texto de la narración de esta controversia de HDC tiene unas 3,300 palabras, y ha sido elaborado por [Acevedo-Díaz y García-Carmona \(2016c\)](#).

Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN

La elucidación de la estructura molecular del ADN por Watson y Crick, en 1953, fue uno de los grandes descubrimientos científicos del siglo XX. Por tal motivo, recibieron, junto con Wilkins, el Premio Nobel de Medicina y Fisiología en 1962. La mención decía: «Por sus descubrimientos sobre la estructura molecular de los ácidos nucleicos y su trascendencia en la transferencia de la información en el material vivo». Entre las 3 conferencias de los galardonados se citaban 96 referencias, pero ninguna de ellas era de Rosalind Franklin, fallecida en 1958 con solo 38 años de edad.

Sin olvidar el trabajo de los científicos laureados con el Nobel, el relato se ocupa de las importantes contribuciones de Franklin a la elucidación de la estructura molecular del ADN mediante cuidadosas técnicas de difracción de rayos X. Se ponen de manifiesto los propósitos distintos de cristalógrafos y genetistas respecto a la elucidación de

la estructura del ADN, así como las diferentes metodologías puestas en juego; de base empírica la de Franklin y más teórica, mediante la construcción de modelos hipotéticos, la de Watson y Crick.

Asimismo, surgen otras cuestiones de la práctica científica real, ligadas a aspectos no-epistémicos, como las tensiones y falta de colaboración entre Franklin y Wilkins frente al gran espíritu de colaboración que mostraron Watson y Crick, dando lugar a un resultado científico más fructífero; la falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento y sin el reconocimiento debido; o las posibles dificultades que tuvo Franklin por el hecho de ser mujer en la ciencia de la época.

El texto del relato de este caso de HDC, con unas 4,300 palabras, está publicado en [Acevedo-Díaz y García-Carmona \(2016b\)](#).

La controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea

Durante siglos se creyó que, en circunstancias favorables, podían surgir seres vivos de mayor o menor tamaño en un recinto cerrado sin la intervención de progenitores

semejantes a ellos; *e.g.*, Aristóteles en la antigua Grecia, entre otros muchos. Esta teoría se conoce como generación espontánea. A partir del siglo XVII, se informaba periódicamente de experimentos favorables y contrarios a esta teoría. La creencia en la generación espontánea se revitalizó más adelante con el empleo del microscopio, atribuyéndose a seres microscópicos nuevos, que podían verse proliferar en pocas horas con ese instrumento. Las polémicas continuaron entonces acerca del origen de estos microorganismos en los caldos de cultivo.

A principios del siglo XIX, Lamarck defendió la generación de organismos primitivos a partir de los cuales comenzaron las distintas líneas evolutivas (teoría transformista). Se produjo entonces un debate prolongado entre partidarios y contrarios a la generación espontánea asociada al transformismo. En esta controversia, no solo se dieron argumentos científicos, sino religiosos, filosóficos y políticos de carácter nacionalista. En 1859, Pouchet publicó un extenso tratado de su teoría sobre la generación espontánea, a la que llamó heterogénesis, la cual permitía explicar las discontinuidades y rupturas en las formas de vida después de las catástrofes geológicas. Pasteur era contrario a la generación espontánea, y se enfrentó a Pouchet en un largo y agrio debate entre 1859 y 1864.

Tabla 1 Aspectos de NDC abordados

Aspectos epistémicos: naturaleza de los procedimientos de la ciencia	Aspectos epistémicos: naturaleza del conocimiento científico
Observación e inferencia	Características de las teorías científicas
Metodologías científicas	Diferencias entre leyes y teorías científicas
Papel de las hipótesis	Diferencias y relaciones entre ciencia y tecnología
Creatividad e imaginación	Diferencias en la interpretación científica de un mismo fenómeno
Papel de la experimentación en la ciencia	Provisionalidad de las teorías científicas
Papel de los errores en el desarrollo de la ciencia	Dominancia de algunas teorías científicas sobre otras
Influencia de las creencias personales, actitudes y habilidades de los científicos	Carácter tentativo y dinámico del conocimiento científico
Papel de los esquemas de clasificación	
Interés de las controversias científicas para el avance de la ciencia	
Diseños de investigación y resultados experimentales	
Influencia de la especialidad del científico en la planificación y desarrollo de una investigación científica	
Pregunta que dirige la investigación y objetivos perseguidos	
Modelos y modelización en la ciencia	
Aspectos no-epistémicos: factores internos a la comunidad científica	Aspectos no-epistémicos: factores externos a la comunidad científica
Papel de la comunicación científica	Influencia de la política en la ciencia
Relaciones profesionales dentro de la comunidad científica	Patriotismo nacionalista
Personalidad del científico	Papel de las patentes
Relaciones personales entre científicos	Contexto histórico, social y cultural
Papel de la comunidad científica en la aceptación de las teorías científicas	Apoyo político a la investigación
Habilidad retórica y estrategias semánticas para persuadir de las ideas propias	Apoyo económico a la investigación
Cooperación científica	Influencia de la sociedad en la ciencia
Competitividad científica	Influencia de la ciencia en la sociedad
Aspectos morales y éticos	Impacto de la ciencia en asuntos socioeconómicos
Influencia del género	Ciencia y religión
	Papel de la prensa en la divulgación de la ciencia

Tabla 2 Ejemplos de rúbrica de evaluación de aprendizajes sobre NDC

Cuestiones	Nivel 4	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 0
Identificación de observaciones e inferencias, y sus diferencias	Indica la mayoría de observaciones Indica la mayoría de las inferencias Relaciona ambas adecuadamente Diferencia ambas adecuadamente	Cumple de manera adecuada 3 de los 4 requisitos del nivel 4	Cumple de manera adecuada 2 de los 4 requisitos del nivel 4	Cumple de manera adecuada uno de los requisitos del nivel 4	No cumple de manera adecuada ninguno de los requisitos del nivel 4
Detección de factores epistémicos y no-epistémicos que dieron lugar al rechazo de las ideas de Semmelweis	Indica 4 factores, entre los que hay tanto epistémicos como no-epistémicos, con argumentos razonados	Indica 3 factores, entre los que hay tanto epistémicos como no-epistémicos, con argumentos razonados	Indica 2 factores epistémicos o no-epistémicos, con argumentos razonados	Indica un factor epistémico o no-epistémico, con o sin argumentos razonados	No se indica ningún factor

Se muestra, pues, la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea y los famosos experimentos involucrados en ella. En esta polémica no solo intervinieron científicos, sino también filósofos, teólogos, políticos, periodistas, y la ciudadanía en general, que influyeron de un modo u otro. Se pone así de manifiesto la influencia de factores epistémicos y numerosos factores no-epistémicos en la controversia.

El texto de la narración de esta controversia de HDC tiene unas 3,200 palabras, y fue elaborado por [Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón \(2016a\)](#).

Aspectos de naturaleza de la ciencia abordados con los textos de historia de la ciencia

Los textos anteriores permiten plantear múltiples y diversas cuestiones sobre aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, reconocibles en la narración, que deben ser discutidas y razonadas mediante un trabajo en grupo, tal y como se indicará más adelante.

En la [tabla 1](#) se resumen los diferentes aspectos de NDC que se han tratado entre los 4 textos descritos anteriormente. Por un lado, se indican los aspectos epistémicos organizados en 2 grupos (naturaleza de los procedimientos de la ciencia y naturaleza del conocimiento científico); y, por otro, los no-epistémicos, clasificados en factores internos y externos a la comunidad científica.

Aspectos metodológicos

Para implementar los textos históricos, se recomienda organizar a los estudiantes de profesorado en grupos pequeños. La intervención educativa que se propone se desarrolla en 3 fases consecutivas: (i) lectura del texto del caso histórico y respuestas de los grupos a diversas cuestiones de NDC; (ii) puesta en común, dirigida por el educador, mediante debates entre todos los grupos de sus respuestas anteriores, y (iii) conclusiones finales de los grupos tras la sesión anterior, que

se concretan en la reelaboración de sus respuestas iniciales. Las respuestas iniciales y finales deben ser registradas por los grupos en informes que se entregan al educador para su evaluación.

Al final de la actividad, es conveniente realizar una sesión con todos los participantes para que valoren su pertinencia, lo que han aprendido y la metodología de trabajo empleada, entre otros aspectos.

Las respuestas de los grupos a las cuestiones de NDC se evalúan con una rúbrica de 5 niveles (0 a 4), que se aplica mediante un proceso de análisis interjueces. El nivel más alto (nivel 4) corresponde a las respuestas más completas, motivadas con citas adecuadas de los aspectos de NDC planteados que aparecen en la narración. La clasificación de las respuestas decrece de nivel según lo incompletas que sean, hasta llegar al nivel más bajo (nivel 0), en el que se ubican las que son inadecuadas o no se refieren a ninguno de los rasgos indicados en el nivel 4. En la [tabla 2](#) se muestran 2 ejemplos de rúbrica de evaluación de este tipo ([Aragón-Méndez, García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2016](#)).

Conclusión

No es fácil conseguir resultados de aprendizaje relevantes sobre aspectos de NDC con una propuesta como la mostrada en este artículo, que sugiere una intervención educativa breve para adaptarla a las posibilidades reales y asumibles habitualmente en la formación inicial del profesorado de ciencia en España. Aun así, los resultados aún sin publicar que estamos obteniendo apuntan a que (i) la lectura crítica y reflexiva de los textos propuestos es útil para tratar de forma explícita aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC en la formación inicial del profesorado de ciencia, y que (ii) la metodología aplicada es bastante adecuada, como manifiestan los participantes en una de las intervenciones educativas realizada siguiendo esta propuesta.

Lo novedoso de la propuesta no se limita al uso de textos de HDC, preparados expresamente por los autores de este artículo para enseñar NDC en la educación científica. También afecta a los aspectos metodológicos, como se ha

descrito más arriba. Entre ellos, la evaluación basada en un enfoque interpretativo riguroso, que no es muy habitual en el caso del aprendizaje de NDC, y una evaluación desarrollada a partir del análisis interjueces de los informes de los participantes, mediante rúbricas en las que se detallan los niveles de progresión de los participantes para cada aspecto tratado.

El interés de la propuesta no radica solo en su potencial para que los estudiantes de profesorado de ciencia mejoren su comprensión de algunos aspectos de NDC, sino también para que conozcan y asimilen un recurso adecuado con el que introducir contenidos de NDC en sus propias clases de ciencia cuando sean docentes.

La formación del profesorado de la NDC usando la HDC no garantiza necesariamente que los profesores vayan a enseñar NDC. Sin embargo, proporciona una estrategia adecuada, que es uno de los componentes del modelo hexagonal del conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de NDC, discutido en otro lugar (Acevedo y García-Carmona, 2016a). Asimismo, las propuestas que se han presentado incluyen otro componente básico de dicho modelo hexagonal: la evaluación del aprendizaje de aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC, la cual se concreta en el uso de rúbricas como la mostrada. Pero, para favorecer la integración de nociones de NDC en la educación científica, quizá sea más importante tener una actitud pragmática como educadores, y plantear situaciones educativas adaptables a la realidad habitual de las clases de ciencia. La implementación de este tipo de propuestas en educación secundaria permite obtener resultados más que aceptables, tal y como se muestra en un trabajo reciente de los autores (Aragón-Méndez, García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2016).

Por último, es preciso advertir que si bien la HDC puede ser un buen recurso para aprender sobre NDC, su carácter complejo y multifacético hace necesario el uso combinado de otros recursos educativos adicionales (e.g., análisis crítico y reflexivo de controversias científicas y sociocientíficas actuales, realización de indagaciones científicas con tareas metacognitivas sobre el proceso seguido, etc.) para lograr una integración más amplia, holística y efectiva de la NDC en las clases de ciencia. Asimismo, en países como España, con currículos de ciencia escolar aún muy conservadores, hay que reivindicar que la NDC se incluya de manera explícita y al mismo nivel que otros contenidos de ciencia más habituales. Mientras esto no suceda, será muy difícil conseguir que el profesorado conciba la NDC como un contenido esencial de la educación científica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias

- Abd-El-Khalick, F. y Lederman, N. G. (2000). The influence of history of science course on students' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(10), 1057-1095.
- Abd-El-Khalick, F. (2012). Nature of science in science education: Toward a coherent framework for synergistic research and development. En B. J. Fraser, K. Tobin, y C. McRobbie (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 1041-1060). Dordrecht: Springer.
- 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*, 5(2), 178-198.
- Acevedo, J. A. (2009). Enfoques explícitos versus implícitos en la enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 6(3), 355-386.
- Acevedo, J. A. (2010). Formación del profesorado de ciencias y enseñanza de la naturaleza de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 7(3), 653-660.
- Acevedo-Díaz, J. A. y García-Carmona, A. (2016a). «Algo antiguo, algo nuevo, algo prestado». Tendencias sobre la naturaleza de la ciencia en la educación científica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 3-19.
- Acevedo-Díaz, J. A. y García-Carmona, A. (2016b). Rosalind Franklin y la estructura del ADN: un caso de historia de la ciencia para aprender sobre la naturaleza de la ciencia. *Revista Científica*, 25, 162-175.
- Acevedo-Díaz, J. A. y García-Carmona, A. (2016c). Uso de la historia de la ciencia para comprender aspectos de la naturaleza de la ciencia. Fundamentación de una propuesta basada en la controversia Pasteur versus Liebig sobre la fermentación. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 11(33), 203-226.
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A. y Aragón, M. M. (2016a). La controversia Pasteur vs. Pouchet sobre la generación espontánea: un recurso para la formación inicial del profesorado en la naturaleza de la ciencia desde un enfoque reflexivo. *Ciência & Educação*, 22(4), 913-933.
- Acevedo, J. A., García-Carmona, A. y Aragón, M. M. (2016b). Un caso de Historia de la Ciencia para aprender Naturaleza de la Ciencia: Semmelweis y la fiebre puerperal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(2), 408-422.
- Allchin, D. (2003). Scientific myth-conceptions. *Science Education*, 87(3), 329-351.
- Allchin, D. (2004). Pseudohistory and pseudoscience. *Science & Education*, 13(3), 179-195.
- Allchin, D. (2011). Evaluating knowledge of the nature of (whole) science. *Science Education*, 95(3), 518-542.
- Aragón-Méndez, M. M., García-Carmona, A. y Acevedo-Díaz, J. A. (2016). Aprendizaje de estudiantes de secundaria sobre la naturaleza de la ciencia mediante el caso histórico de Semmelweis y la fiebre puerperal. *Revista Científica*, 27, 1-23.
- Banet, E. (2010). Finalidades de la educación científica en educación secundaria: aportaciones de la investigación educativa y opinión de los profesores. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(2), 199-214.
- Chamizo, J. A., Castillo, D. y Pacheco, I. (2012). La naturaleza de la química. *Educación Química*, 23(E2), 298-304.
- Clough, M. P. (2011a). The story behind the science: Bringing science and scientists to life in post-secondary science education. *Science & Education*, 20(7-8), 701-717.
- Clough, M. P. (2011b). Teaching and assessing the nature of science. *The Science Teacher*, 78(6), 56-60.
- Dagher, Z. R. y Erduran, S. (2016). Reconceptualizing the nature of science for science education. Why does it matter? *Science & Education*, 25(1-2), 147-164.
- Forato, T. C. M., Martins, R. A. y Pietrocola, M. A. (2011). Historiografía e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27-59.
- García-Carmona, A. y Acevedo, J. A. (2016). Concepciones de estudiantes de profesorado de Educación Primaria sobre la naturaleza de la ciencia: Una evaluación diagnóstica a partir de reflexiones en equipo. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, 21(69), 583-610.
- García-Carmona, A., Vázquez, A. y 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*, 29(3), 403–412.
- Garritz, A. (2010). La enseñanza de la ciencia en una sociedad con incertidumbre y cambios acelerados. *Enseñanza de las Ciencias*, 28(3), 315–326.
- Izquierdo, M., García-Martínez, A. G., Quintanilla, M. y Adúriz-Bravo, A. (2016). *Historia, filosofía y didáctica de las ciencias: aportes para la formación del profesorado de ciencias*. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Irzik, G. y Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. En M. Matthews (Ed.), *International handbook of research in history, philosophy and science teaching* (pp. 999–1021). Dordrecht: Springer.
- Kampourakis, K. (2016). The “general aspects” conceptualization as a pragmatic and effective means to introducing students to nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 53(5), 667–682.
- Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F., Bell, R. L. y Schwartz, R. S. (2002). Views of nature of science questionnaire: Towards valid and meaningful assessment of learners’ conceptions of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), 497–521.
- Martins, A. F. P. (2015). Natureza da ciência no ensino de ciências: uma proposta baseada em temas e questões? *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 32(3), 703–737.
- Matthews, M. R. (2015). *Science teaching: The contribution of history and philosophy of science (20th Anniversary Revised and Expanded Edition)*. New York: Routledge.
- McComas, W. F. (2008). Seeking historical examples to illustrate key aspects of the nature of science. *Science & Education*, 17(2–3), 249–263.
- Monk, M. y Osborne, J. (1997). Placing the history and philosophy of science on the curriculum: a model for the development of pedagogy. *Science Education*, 81(4), 405–424.
- NGSS. (2013). *The Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington: National Academy of Sciences.
- Numbers, R. L., y Kampourakis, K. (Eds.). (2015). *Newton’s apple and other myths about science*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD). (2009). *PISA 2009. Assessment framework-key competencies in reading, mathematics and science*. Paris: OCDE.
- Quintanilla, M., Daza, S. y Cabrera, H. G. (Comp.) (2014). *Historia y Filosofía de la Ciencia Aportes para una “nueva aula de ciencias”, promotora de ciudadanía y valores*. Santiago de Chile: Bellaterra.
- Rudge, D. W. y Howe, E. M. (2009). An explicit and reflective approach to the use of History to promote understanding of the nature of Science. *Science & Education*, 18(5), 561–580.
- Shamos, M. H. (1995). *The myth of scientific literacy*. New Brunswick, NJ: Rutgers University Press.
- Vázquez, A., Acevedo, J. A., Manassero, M. A. y Acevedo, P. (2001). Cuatro paradigmas básicos sobre la naturaleza de la ciencia. *Argumentos de Razón Técnica*, 4, 135–176.
- Vázquez, A., García-Carmona, A., Manassero, M. A. y Bennàssar, A. (2013). Science teachers’ thinking about the nature of science: A new methodological approach to its assessment. *Research in Science Education*, 43(2), 781–808.
- Wahbeh, N. y Abd-El-Khalick, F. (2014). Revisiting the translation of nature of science understandings into instructional practice: Teachers’ nature of science pedagogical content knowledge. *International Journal of Science Education*, 36(3), 425–466.