



Aprendizaje de estudiantes de secundaria sobre la naturaleza de la ciencia mediante el caso histórico de Semmelweis y la fiebre puerperal

Secondary students' learning about the nature of science through the historical case of Semmelweis and childbed fever

Aprendizagem de estudantes do ensino médio sobre a natureza da ciência por meio de o caso histórico de Semmelweis e a febre puerperal

María del Mar Aragón-Méndez¹

Antonio García-Carmona²

José Antonio Acevedo-Díaz³

Fecha de recepción: agosto 2016

Fecha de aceptación: diciembre 2016

Para citar este artículo: 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, 302-317. **Doi:** [10.14483/udistrital.jour.RC.2016.27.a1](https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.RC.2016.27.a1)

Resumen

Se presentan los resultados de la evaluación de una actividad para el aprendizaje de algunos aspectos de naturaleza de la ciencia (NDC) empleando como contexto el caso histórico de la investigación de Semmelweis sobre la fiebre puerperal. La actividad está dirigida a estudiantes de 4º curso de Educación Secundaria (15-16 años), y se ha implementado mediante un enfoque explícito y reflexivo. Para la evaluación del aprendizaje de los estudiantes se usa una rúbrica, que se aplica mediante un proceso de análisis inter-jueces, y el diario de la profesora. Globalmente, los resultados indican una progresión de las ideas iniciales de los estudiantes sobre NDC, con un nivel de comprensión moderado respecto a los aspectos epistémicos y mayor en los no-epistémicos. Por tanto, se evidencia el potencial didáctico de la actividad para aprender sobre NDC. Finalmente, se indican algunas implicaciones educativas de la experiencia.

Palabras clave: educación científica, educación secundaria, historia de la ciencia, naturaleza de la ciencia, Semmelweis.

Abstract

This paper presents the findings from the assessment of an activity for learning some nature of science (NOS) aspects using as context the historical case of Semmelweis' research on childbed fever. The activity is intended for 15-16-year-old students and it was performed from an explicit and reflective approach. A rubric was employed to assess students' learning, which was applied using a method of inter-rate analysis. Also, the teacher's diary was used as a complementary tool of assessment. Globally, the findings show students' progression in understanding the aspects of NOS addressed. The students attained a moderate level of understanding in relation to epistemic aspects, but their levels of understanding

¹. Universidad de Cádiz, España. Contacto: mariadelmar.aragon@uca.es

². Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla, España. Contacto: garcia-carmona@us.es

³. Inspector de Educación, Huelva, España. Contacto: ja_acevedo@vodafone.es

were higher regarding the non-epistemic. Therefore, the pedagogical potential of the activity for learning on NOS is evidenced. Finally, some educational implications of the experience are proposed.

Keywords: secondary education, history of science, nature of science; Semmelweis, science education.

Resumo

Este artigo apresenta os resultados da avaliação de uma atividade voltada para a aprendizagem de alguns aspectos da natureza da ciência (NDC), utilizando como contexto o caso histórico da investigação Semmelweis sobre a febre puerperal. A atividade é destinada a alunos do 4º ano do ensino secundário (15-16 anos) e foi implementada por meio de uma abordagem explícita e reflexiva. Para a avaliação da aprendizagem do aluno é utilizada uma rubrica, que é aplicada por meio de um processo de análise inter-juízes e, também, do diário da professora. No geral, os resultados indicam uma progressão das idéias iniciais dos estudantes sobre NDC, com um nível de compreensão moderado sobre os aspectos epistêmicos e maior em aspectos não-epistêmicos. Portanto, se evidencia o potencial da atividade para a aprendizagem sobre a NDC. Finalmente, são propostas algumas implicações educacionais da experiência.

Palavras chave: ensino de ciências, ensino secundário, história da ciência, natureza da ciência, Semmelweis.

Introducción

Es notorio que la ciencia tiene un papel fundamental en el desarrollo de la sociedad. Es necesario, pues, que la ciudadanía posea cierta cultura científica para comprender el mundo que le rodea y participar con responsabilidad en asuntos sociocientíficos. En este sentido, la educación científica básica debe perseguir la alfabetización científica de todos los ciudadanos (Acevedo, 2004; Bybee, 1997).

Hoy día existe un amplio consenso en considerar la naturaleza de la ciencia (NDC) como un conocimiento clave de la alfabetización científica (Hodson, 2014). Por ello, es preciso emprender

procesos educativos factibles, al respecto, en las clases de ciencia desde los niveles básicos. Sin embargo, la enseñanza de la NDC aún no se ha consolidado en los currículos de ciencia escolar (e.g., García-Carmona y Acevedo, 2016; Lederman, 2007), sobre todo si se compara con otros contenidos más clásicos. La NDC apenas se aborda en las clases de ciencia, o bien su tratamiento es insuficiente por la visión limitada que se ofrece de ella, centrada generalmente en aspectos epistémicos, pese a la demanda de una orientación más holística y coherente con la complejidad de la construcción de la ciencia (Acevedo y García-Carmona, 2016a; Erduran y Dagher, 2014).

La escasa comprensión del profesorado sobre la NDC impide su incorporación explícita en la educación científica (Acevedo, 2010). Y, cuando el profesorado dispone de cierto conocimiento sobre el tema, otras causas dificultan su tratamiento en las clases de ciencia, tales como la escasez de recursos con los que cuenta para abordarla con eficacia, y el poco conocimiento que tiene de instrumentos y métodos adecuados para su evaluación (Acevedo, 2008).

Ante esto, se propone una actividad para abordar en 4º curso de Educación Secundaria (15-16 años) aspectos epistémicos y no-epistémicos de NDC. Para ello, se seleccionó como contexto un relato histórico de las investigaciones del médico Ignaz Philipp Semmelweis sobre la fiebre puerperal. La narración se adaptó de la propuesta por Acevedo, García-Carmona y Aragón (2016b) para la formación inicial de profesores de ciencias de Secundaria⁴.

A fin de analizar la eficacia de este recurso educativo para aprender NDC en Educación Secundaria, se planificó un estudio, de perfil cualitativo, concretado en las siguientes dos preguntas de investigación:

¿Qué concepciones sobre la NDC muestran los estudiantes tras una primera lectura reflexiva del caso Semmelweis? ¿Qué cambios se producen en

⁴ Véase la adaptación para Educación Secundaria en Acevedo, García-Carmona y Aragón (2015).

las concepciones de los estudiantes sobre la NDC después de concluir la actividad?

El propósito del presente artículo es presentar los resultados y conclusiones derivadas del análisis de las cuestiones anteriores.

Marco teórico

Qué y cómo enseñar sobre NDC

A la hora de planificar la enseñanza de la NDC cabe plantearse qué aspectos de esta abordar, incluyendo consideraciones metodológicas y procedimientos de evaluación.

Sobre qué contenidos de NDC se deben tratar en la educación científica, existen diversas propuestas (e.g., Abd-El-Khalick, 2012; Erduran y Dagher, 2014; Irzik y Nola, 2014; Lederman, Abd-El-Khalick, Bell y Schwartz, 2002; Matthews, 2012; Osborne, Collins, Ratcliffe, Millar y Duschl, 2003), que han sido discutidos recientemente por Acevedo y García-Carmona (2016a), Dagher y Erduran (2016) y Kampourakis (2016), entre otros. Estos contenidos se pueden estructurar en torno a cuatro grandes ámbitos (Acevedo, Vázquez, Manassero y Acevedo, 2007): *epistemología de la ciencia* (diferencias entre observación e inferencia, papel de leyes y teorías, creatividad e imaginación, base empírica, provisionalidad, modelización, serendipia, etc.); *relaciones entre ciencia y tecnología* (diferencias entre ciencia y tecnología, influencias mutuas, noción de tecnociencia, etc.); *sociología interna de la ciencia* (construcción social de conocimiento científico, intereses y valores de los científicos, comunicación profesional del conocimiento, influencias de los individuos y las naciones, etc.); y *sociología externa de la ciencia* (influencia de la ciencia en la sociedad y viceversa, problemas y decisiones sociales, responsabilidad social, lobbies y grupos de influencia, etc.). Tales ámbitos son coherentes con una práctica científica más real (Acevedo, 2006; Acevedo y García-Carmona, 2016a).

Respecto a cómo incorporar la NDC en la educación científica, sea cual sea el planteamiento metodológico, surge, en primer lugar, la posibilidad de hacerlo desde un enfoque implícito o explícito. El primero supone que la mera realización de experiencias o indagaciones científicas de distinta índole por los estudiantes conlleva la comprensión de la naturaleza de los procesos empleados. Por el contrario, el segundo plantea la necesidad de planificar y evaluar actividades específicas para que los estudiantes reflexionen sobre algunos aspectos de NDC mediante tareas metacognitivas. Nos decantamos por un enfoque explícito, en el que la NDC se incluye de forma planificada como contenido curricular (Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Acevedo, 2009). Además, se hace desde una perspectiva reflexiva planteando cuestiones que inviten a los estudiantes a pensar sobre tales aspectos (Clough, 2011b).

En segundo lugar, cabe plantearse qué estrategias metodológicas pueden ser las más apropiadas para el aprendizaje de la NDC. García-Carmona, Vázquez y Manassero (2012) señalan tres contextos habituales al respecto: 1) enseñanza de la NDC con actividades de indagación acompañadas de tareas reflexivas sobre los procesos realizados; 2) enseñanza de la NDC mediante el análisis de problemáticas sociocientíficas (cambio climático, ingeniería genética, etc.), donde los estudiantes elaboran argumentos de posicionamiento basados en conocimiento científico, factores sociales, económicos, etc. a partir de la gestión de diferentes fuentes de información; y 3) enseñanza de la NDC mediante el uso de la historia de la ciencia (HDC), sobre el cual nos ocuparemos con más detalle a continuación.

La historia de la ciencia como contexto para aprender sobre NDC

La HDC es un escenario adecuado para entender la NDC (Abd-El-Khalick, 1999; Irwin, 2000; Niaz, 2016). Permite contextualizar de forma explícita la enseñanza de aspectos de esta (Acevedo y

García-Carmona, 2016b,c; Acevedo, García-Carmona y Aragón, 2016a,b; Clough, 2011a; Niaz, 2009), ilustrando cuestiones epistemológicas, ontológicas y sociológicas de la NDC (McComas, 2008). Asimismo, sitúa el contenido de la ciencia en un contexto humano, social y cultural más amplio (Matthews, 2015; Kolstø, 2008).

Las narraciones de HDC proporcionan un contexto apropiado y motivador para los estudiantes, que permite abordar de manera explícita y reflexiva aspectos de NDC tales como la naturaleza de las investigaciones científicas, los razonamientos de los científicos, las características del conocimiento científico producido y diversos aspectos contextuales de sociología de la ciencia (Acevedo y García-Carmona, 2016a).

El uso de estas narraciones precisa de ciertas cautelas. Habitualmente, los problemas abordados son situaciones complejas en las que intervienen muchos factores, que pueden convertirse en contenidos de aprendizaje sobre NDC. Tolvanen, Jansson, Vesterinen y Aksela (2014) recomiendan centrarse solo en algunos aspectos de NDC en vez de hacer un debate general sobre esta. Al respecto, tiene interés promover la reflexión razonada sobre algunas cuestiones que emanen de lectura de casos o de controversias de HDC. No obstante, la delimitación y selección de las cuestiones de NDC que se vayan a tratar no pueden llevar a deformaciones o simplificaciones históricas excesivas, que den lugar a estereotipos extremos (Allchin, 2003).

Asimismo, deben incluirse ciertos elementos en el uso de la HDC para aprender sobre NDC, tales como palabras de los científicos, cuando proceda, para acentuar el lado humano de la ciencia y añadir autenticidad a las ideas de NDC que ilustran; comentarios que atraigan la atención de los estudiantes hacia aspectos clave de NDC; y preguntas para provocar la reflexión crítica sobre los diferentes aspectos abordados (Clough, 2011b).

Un último aspecto clave en la incorporación de la NDC a la educación científica es su evaluación (Acevedo y García-Carmona, 2016a). Si la evaluación es un asunto no resuelto del todo

en la educación científica en general, aún lo está menos en la enseñanza de la NDC. Diversos estudios (Abd-El-Khalick, 2014; Kim, Ko, Lederman y Lederman, 2005; Nam, Mayer y Choi, 2007) han confirmado la dificultad de los profesores para evaluar la comprensión de cuestiones sobre NDC. Por ello, es preciso proporcionar ejemplos de instrumentos y técnicas de evaluación que apoyen y mejoren la enseñanza de la NDC (Nam, Mayer y Choi, 2007).

En la evaluación de aspectos de NDC se suelen usar cuestionarios, mapas conceptuales y entrevistas. Una alternativa es el análisis interpretativo inter-jueces de respuestas, elaboradas desde la reflexión, a cuestiones relacionadas con aspectos de NDC que se desprendan de un texto sobre un caso o una controversia de HDC adaptado al ámbito educativo (Acevedo, García-Carmona y Aragón, 2016a,b).

Metodología

Descripción de la actividad y el contexto

La actividad propone la lectura de una narración histórica de la investigación de Semmelweis sobre la fiebre puerperal, y una reflexión sobre aspectos de NDC incluidos en ella. El texto de la narración, desarrollado en Acevedo, García-Carmona y Aragón (2016b), tiene algo más de 2300 palabras y presenta ciertas características que lo diferencian de otros anteriores, basados en el propuesto por el filósofo positivista Hempel (1973). Incluye notas a pie de página con detalles para situarlo en su contexto histórico y dar algunas informaciones adicionales. También presenta citas textuales del diario y cartas de Semmelweis. Este caso tiene interés didáctico para aprender NDC, y los contenidos científicos implicados en el mismo son relativamente asequibles para estudiantes de 4º curso de Educación Secundaria (15-16 años). Suele despertar interés y permite el análisis de aspectos epistémicos y no-epistémicos de la investigación científica. Su temática no guarda relación con los contenidos

específicos de la materia de Física y Química, por lo que se planteó como una actividad transversal sobre la investigación científica.

La actividad fue implementada por la coautora con un grupo de 18 estudiantes del citado nivel, en la asignatura de Física y Química, de un instituto de Enseñanza Secundaria urbano de nivel socio-cultural medio. Los alumnos trabajaron en grupos pequeños (5 grupos con 3 o 4 alumnos). Se pretendía el aprendizaje de los siguientes aspectos de NDC:

- a. Identificación de observaciones, inferencias, y sus diferencias.
- b. Reconocimiento de los principales rasgos de la metodología de investigación científica.
- c. Reconocimiento de muestras de creatividad y originalidad.
- d. Diferencia entre hipótesis y teoría.
- e. Detección de factores epistémicos y no-epistémicos que dieron lugar al rechazo de las ideas de Semmelweis.
- f. Valoración de la importancia de los factores que influyeron más en el rechazo del conocimiento científico.

Implementación de la actividad

La actividad se desarrolló en cuatro sesiones, estructuradas en tres fases diferentes:

Fase 1. Lectura del caso histórico y respuestas a las preguntas planteadas en la tabla 1 para trabajar los aspectos de NDC indicados. Antes de la

lectura no medió enseñanza. Las respuestas, derivadas de la reflexión y discusión entre los miembros de cada grupo, se redactaron en un informe inicial. Se emplearon dos sesiones de una hora.

Fase 2. Puesta en común colectiva de las respuestas de los grupos a las cuestiones formuladas. La profesora actuó moderando los debates y como guía, haciendo aclaraciones y enriqueciendo los debates. Cuando surgieron ideas de NDC muy alejadas de las aceptadas actualmente, procuró generar conflictos cognitivos para que se produjera un replanteamiento de las ideas iniciales. Se realizó en una sesión de una hora.

Fase 3. Tras la puesta en común, cada grupo revisó sus respuestas iniciales, completando, matizando o ratificando sus primeros planteamientos. Las conclusiones se recogieron en un informe final. Se utilizó una sesión de una hora.

Evaluación

Se usó un enfoque interpretativo para la evaluación de los aprendizajes sobre NDC. La principal fuente de información fue el conjunto de informes que elaboraron los grupos de estudiantes tras las fases 1 y 3. Además, la profesora usó como instrumento complementario de evaluación un diario, donde registró detalles de la puesta en común realizada durante la segunda fase.

La evaluación de los aprendizajes de cada aspecto de NDC se realizó mediante una escala de progresión. Se decidieron 5 niveles, de 0 a 4. Para su descripción se identificaron, en primer lugar,

Tabla 1. Cuestiones de NDC planteadas para el caso Semmelweis.

C1. ¿Cuáles crees que fueron las observaciones realizadas por Semmelweis y cuáles crees que fueron sus inferencias en la investigación científica?
C2. ¿Cuáles crees que son las principales características de la metodología de investigación de Semmelweis?
C3. ¿Crees que Semmelweis fue original y creativo en su investigación? ¿Por qué?
C4. ¿Crees que la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en una teoría?
C5. ¿Qué factores crees que influyeron negativamente en la aceptación de las propuestas de Semmelweis? ¿Por qué?
C6. ¿Cuáles de los factores anteriores crees que influyeron más?

Fuente: Elaboración propia.

los elementos que se esperaban presentes en las respuestas de los equipos. De forma general, y teniendo en cuenta que para cada uno de los aspectos evaluados se matizaron los indicadores, el nivel 4 corresponde a una buena comprensión de los aspectos de NDC propuestos. El resto de los niveles describen el diferente grado de aproximación al aprendizaje considerado como más adecuado. Los niveles de aprendizaje para cada uno de los aspectos de NDC, y los indicadores descriptivos correspondientes, se recogen como rúbrica en la tabla 2.

Los indicadores que definen los niveles de comprensión en la rúbrica se establecieron tomando como punto de partida la información proporcionada por el texto de la narración y las respuestas de los grupos de estudiantes. Tales indicadores fueron modificados y reestructurados varias veces hasta ser consensuados completamente por los autores de este trabajo.

Para asignar un determinado nivel de aprendizaje a las respuestas de los equipos, los autores siguieron el método de análisis basado en la consecución de acuerdos interjueces. En total, hubo 87 coincidencias de 90 posibles (96.7%) para los niveles iniciales en una primera ronda. Para los niveles finales, hubo 89 coincidencias (98.9%) en la primera ronda. El acuerdo fue total en ambos casos en segunda ronda. Esto es indicativo de que la categorización establecida es suficientemente unívoca, por lo que se considera que el instrumento de evaluación de aprendizaje de aspectos de NDC desarrollado es potencialmente fiable.

Resultados y discusión

A continuación, se describen y analizan los resultados obtenidos, con atención a la evolución de los niveles de aprendizaje logrados a partir de la comparación de las ideas iniciales y finales, expresadas por cada grupo (figura 1).

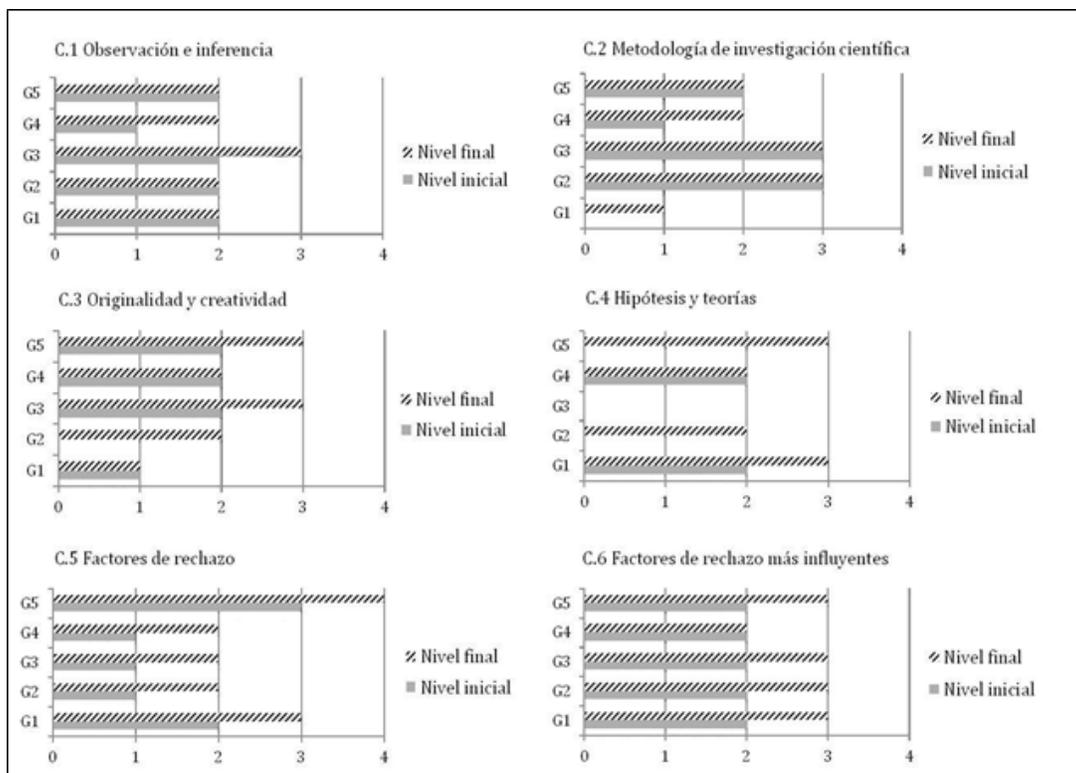


Figura 1. Evolución de niveles de aprendizaje para los aspectos de NDC abordados.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. Rúbrica para la evaluación de aprendizajes sobre NDC y determinación del nivel de progresión.

Aspectos de NDC	Nivel 4	Nivel 3	Nivel 2	Nivel 1	Nivel 0
Observación e inferencia	Indica la mayoría de las observaciones. Indica la mayoría de las inferencias. Relaciona ambas adecuadamente. Diferencia ambas adecuadamente.	Cumple de manera adecuada tres de los cuatro requisitos del nivel 4.	Cumple de manera adecuada dos de los cuatro requisitos del nivel 4.	Cumple de manera adecuada uno solo de los requisitos del nivel 4.	No cumple de manera adecuada ninguno de los requisitos del nivel 4.
Rasgos de la metodología de investigación científica	Indica: La realización de observaciones. El análisis de datos. La formulación de hipótesis. La comprobación de hipótesis.	Indica de manera adecuada tres características del nivel 4.	Indica de manera adecuada dos características del nivel 4.	Indica de manera adecuada una característica del nivel 4.	No indica ninguna característica del nivel 4, o bien no lo hace de manera adecuada.
Creatividad y originalidad	Indica que fue creativo, aportando más de dos razones, y no muestra ideas erróneas sobre el proceso de investigación.	Indica que fue creativo, aportando dos razones, y no muestra ideas erróneas sobre el proceso de investigación.	Indica que fue creativo y aporta una razón, sin mostrar ideas erróneas sobre el proceso de investigación.	Indica que fue creativo y aporta una o más razones, pero muestra ideas erróneas sobre el proceso de investigación.	No se indica que fuera creativo. O bien, aunque indique que lo fue, no se dan razones.
Hipótesis y teorías	Indica que la hipótesis no llegó a convertirse en teoría científica porque no explicaba la naturaleza de la materia putrefacta, ni tampoco su relación causal con la fiebre puerperal.	Indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica, pero la justificación que da es solo una de las dos señaladas en el nivel 4.	Indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica, pero la justificación que da es simple.	Indica que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica, sin dar alguna justificación o es muy ingenua.	Indica que la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en teoría científica, y lo justifica de manera ingenua.
Factores epistémicos y no-epistémicos (contextuales) de rechazo	Indica cuatro factores, entre los que hay epistémicos y contextuales, con argumentos razonados.	Indica tres factores, entre los que hay epistémicos y contextuales, con argumentos razonados.	Indica dos factores epistémicos o contextuales, con argumentos razonados.	Indica un solo factor contextual o epistémico, con o sin argumentos razonados.	No se indica ningún factor.
Valoración de factores de aceptación o rechazo	Indica al menos dos factores epistémicos y dos contextuales, dando argumentos válidos.	Indica un factor epistémico y uno contextual, dando argumentos válidos.	Indica un solo factor, epistémico o contextual, con argumentos válidos.	Indica algún factor, epistémico o contextual, sin argumentar.	No indica ningún factor, o bien cita alguno, pero no da argumentos válidos.

Fuente: Elaboración propia.

C1. Identificación de observaciones, inferencias, y sus diferencias

La profesora tuvo que aclarar el significado del término inferencia porque ningún estudiante conocía su significado. Después de la lectura, todos los grupos detectaron observaciones e inferencias, aunque fueron pocas en comparación con las que aparecen en el texto. Además, las explicaciones dadas mostraron que diferenciaban unas de otras, a excepción de un grupo. Cuatro grupos se situaron en el nivel 2 y uno en el nivel 1.

En la segunda fase, se profundizó en la caracterización de ambos términos. Para favorecer la discusión, la profesora planteó dos preguntas: ¿todos los médicos observaban lo mismo?, y ¿todos los médicos inferían lo mismo? Algunos estudiantes comenzaron la discusión indicando que todos los médicos hacían las mismas observaciones sobre las muertes de las mujeres y las circunstancias que las rodeaban; pero no todos realizaban las mismas inferencias. Incluso varios estudiantes apuntaron el hecho de que las observaciones realizadas por los científicos no coinciden en ocasiones, aunque no ocurriera así en este caso. También se procuró centrar la atención en otras observaciones e inferencias que no fueron explicitadas en el primer informe. Para ello, se preguntó por las observaciones realizadas antes de la investigación de Semmelweis, las que fueron fruto de su investigación, y otras que surgieron de hechos paralelos.

En el informe final, tras la tercera fase, cuatro grupos indicaron más observaciones e inferencias, pero aun así insuficiente para considerar una progresión en tres de ellos. Asimismo, las explicaciones del grupo que no diferenciaba entre observación e inferencia fueron mejores. Cuatro grupos mejoraron su comprensión del concepto de inferencia. Por ejemplo, el grupo 1 señaló que: “Aunque los otros médicos podían ver lo mismo, no hicieron las mismas inferencias. Klein pensaba que había otras causas que provocaba que se muriesen más mujeres en el PP [primer pabellón]”. Y el grupo 5 extrajo conclusiones más generales

sobre la subjetividad de las inferencias: “Si las inferencias que hacen los científicos son diferentes, puede que algunas de las teorías actuales no sean ciertas y haya alguien más adelante que haga inferencias diferentes”.

Al final, cuatro grupos se situaron en el nivel 2 y uno en el nivel 3. Se produjo, pues, una mejora pequeña en la comprensión de la naturaleza de las observaciones e inferencias, aunque identificaron un mayor número de estas en la narración.

C2. Reconocimiento de los principales rasgos de la metodología de investigación científica

Se pretendía que los estudiantes identificasen cuatro rasgos de la metodología de investigación empleada por Semmelweis: la realización de observaciones, el análisis de los datos disponibles, la formulación de hipótesis para responder a interrogantes y la comprobación de hipótesis mediante pruebas experimentales (tabla 2).

Tras la primera lectura, un grupo no detectó características de la metodología de Semmelweis; del resto de grupos, uno identificó una característica (nivel 1), otro reconoció dos (nivel 2) y dos detectaron tres (nivel 3).

En la segunda fase, los grupos expusieron sus ideas sobre la metodología seguida por Semmelweis. La principal dificultad fue la capacidad de generalizar; esto es, de expresar en qué consistía la metodología sin necesidad de detallar lo que Semmelweis hizo en concreto. Además, algunos estudiantes identificaban el método de Semmelweis con la manera de examinar a las parturientas, en vez de con la metodología de sus investigaciones. Esto pudo deberse a que no tuvieran una idea formada del concepto de metodología científica, y prestaran más atención a la práctica médica de Semmelweis que a su procedimiento de investigación. Las preguntas de la profesora durante la segunda fase se dirigieron a centrar la atención de los estudiantes en esto, incidiendo más en el *cómo* que en el *qué* de la investigación. También les preguntó si creían que todas las investigaciones

se hacían del mismo modo. Algunos dijeron que siempre habría que comprobar las hipótesis, pero la mayoría no supo qué responder. La finalidad era reflexionar sobre el hecho de que no existe un método único en la investigación científica, y que solo se estaba analizando un caso.

En la fase final se apreció una mejora pequeña respecto a las dificultades descritas antes, con la progresión de dos grupos hacia ideas mejor informadas. Centrarón su atención en la investigación de Semmelweis y se expresaron de una forma más general sobre esta, aunque ningún grupo llegó a identificar todos los rasgos de su metodología. Todos los grupos se refirieron a la comprobación de hipótesis. Por ejemplo, el grupo 1, que inicialmente no había detectado ningún rasgo de la investigación, señaló que Semmelweis “lba comprobando una a una las suposiciones que hacía para comprobar si eran ciertas o no.”; y el grupo 4, que en la fase inicial solo aludió al tratamiento estadístico de datos, apuntó que “Empezó a buscar por qué se morían y fue probando poco a poco, cosa por cosa hasta que encontró por qué”.

Otro aspecto que reconocieron mayoritariamente fue el análisis de datos, posiblemente influidos por la presencia en el texto de una gráfica que compara la mortalidad entre el primer y segundo pabellón. Aunque durante la discusión todos los grupos comentaron que Semmelweis hacía continuamente suposiciones buscando la razón por la que se morían las mujeres, solo uno citó la formulación de hipótesis como un rasgo de la investigación; aunque todos se refirieron a su comprobación.

C3. Reconocimiento de muestras de creatividad y originalidad

Se esperaba que, después de la actividad, los estudiantes citasen muestras de creatividad y originalidad en el trabajo de Semmelweis, tales como: la aplicación de la estadística clínica, poco habitual en la investigación médica de entonces; la elaboración de hipótesis novedosas en aquella época; el establecimiento de relaciones nuevas entre enfermedades,

como la que causó la muerte del profesor de anatomía patológica y la fiebre puerperal, etc.

En la fase inicial, cuatro grupos detectaron al menos una evidencia de creatividad y originalidad, aunque en algunos casos, al aportar las razones, mostraron creencias erróneas del procedimiento de investigación seguido por Semmelweis, o sobre sus interpretaciones. Por ejemplo, el grupo 1 creía que este asociaba la enfermedad con la transmisión de microorganismos: “Era creativo y original el pensar en la transmisión de microorganismos y materia putrefacta a través de las manos de los estudiantes y el pensar en un método que destruya esas sustancias perjudiciales.” Se estimó como nivel máximo de aprendizaje que los alumnos reconocieran más de dos muestras de creatividad y originalidad, aportando razones que no incluyeran ideas erróneas sobre la investigación (tabla 2); lo que no se produjo en ningún caso.

Durante la segunda fase, se comprobó que la mayoría de los grupos consideraba a Semmelweis creativo, aunque algunos confundían creatividad con perseverancia. Para propiciar el debate, la profesora preguntó si pensaban que la creatividad era una característica de los artistas y no de los científicos; y si el trabajo de estos consistía sobre todo en seguir un procedimiento más metódico. En ningún caso mostraron esta creencia, manifestando que sin creatividad la ciencia no avanza.

En la tercera fase se evidenció algún progreso; tres de los cinco grupos mejoraron el nivel de aprendizaje y no mostraron ideas erróneas sobre la investigación de Semmelweis. En algunas de las explicaciones sobre creatividad, los estudiantes hicieron uso de conceptos nuevos como el de inferencia. Por ejemplo, el grupo 2 escribió: “Fue original ya que no se dejó llevar por los demás médicos a pesar de las críticas y porque se negó a las teorías e inferencias de los otros médicos.”

C4. Diferencia entre hipótesis y teoría

Se pretendía que los alumnos consiguieran diferenciar una hipótesis de una teoría. Para ello,

debían indicar que la hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en teoría científica porque no tenía capacidad interpretativa; concretamente no explicaba la naturaleza de la materia putrefacta, ni tampoco su relación causal con la fiebre puerperal. Estas afirmaciones corresponderían a un nivel 4 en la escala de progresión establecida (tabla 2).

Al preguntar si la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en una teoría, el análisis de las respuestas dadas en la fase inicial reflejó ideas ingenuas de los estudiantes sobre el concepto de teoría. Tres grupos señalaron que las hipótesis se convirtieron en una teoría porque actualmente se toman medidas de higiene similares a las propuestas, confundiendo así teoría con práctica médica, desde una perspectiva del presente. Estos grupos se situaron en un nivel 0. De los dos grupos que indicaron que las hipótesis no se convirtieron en una teoría, ninguno mencionó la capacidad de las teorías para explicar las observaciones y los hechos experimentales, ni para hacer predicciones. Las razones aportadas fueron simples, como la del grupo 4: “La hipótesis de Semmelweis no llegó a convertirse en una teoría porque no fue aceptada por muchos científicos, aunque se demostró que la mortalidad disminuía.”

Durante la segunda fase, la profesora planteó preguntas que permitiesen una discusión que facilitara la evolución de las ideas de los estudiantes sobre el concepto de teoría. Por ejemplo, se preguntó si se elabora una teoría cada vez que se comprueba una hipótesis en una investigación experimental; si bastó con la comprobación de una hipótesis para la formulación de la teoría atómica; ¿por qué decimos que la teoría atómica o la teoría de la evolución son teorías?; o ¿por qué la teoría de cuerdas, que no está completamente aceptada, se considera una teoría? Después se volvió a preguntar si la hipótesis de Semmelweis llegó a convertirse en una teoría científica.

Al finalizar la tercera fase, las respuestas de los estudiantes mostraron cierta mejora en la comprensión del concepto de teoría. Solo el grupo 3 mantuvo que la hipótesis de Semmelweis se

convirtió en teoría (“Sí, porque como habíamos dicho antes se demostró que tenía razón y hoy en día todo el mundo se lava las manos.”), apoyándose en la aceptación de una práctica médica como criterio para considerarla una teoría, en vez de en su naturaleza interpretativa y predictiva. Pese a la discusión sobre las teorías, parece que influye más el uso cotidiano que se hace del término. Dos de los grupos afirmaron ahora que las hipótesis de Semmelweis no se convirtieron en teoría, pero las razones que aportaron fueron simples. Por ejemplo, el grupo 2 respondió que fue Pasteur quien formuló una teoría sobre la transmisión de enfermedades, pero no discutió si las ideas de Semmelweis podían constituir una teoría o no:

No, más tarde se encontró que tenía una lógica porque transmitía microbios pero no era una teoría completa la conclusión de Semmelweis. Semmelweis no hizo una teoría sobre la fiebre puerperal, sino que cuando murió Luis Pasteur fue quien propuso la teoría germinal con base en las observaciones de Semmelweis.

Los otros dos grupos explicaron que las conclusiones de Semmelweis no tenían un carácter interpretativo, aunque solo especificaron uno de los dos hechos clave que quedaron sin explicación. Por ejemplo, el grupo 1 señaló que: “Una teoría tiene que ser más completa y Semmelweis no da motivos para explicar que la materia putrefacta causa las infecciones.”

C5. Detección de factores epistémicos y no-epistémicos que dieron lugar al rechazo de las ideas de Semmelweis

Se esperaba que los estudiantes citaran factores epistémicos que pudieron provocar el rechazo de las ideas de Semmelweis, tales como: carecer de una teoría sobre la naturaleza de la materia putrefacta; no establecer una relación causal entre la materia putrefacta y la fiebre puerperal; no realizar experimentos controlados en el laboratorio; no

hacer una caracterización más precisa del principio activo presente en la materia cadavérica, basada en pruebas empíricas usando el microscopio; etc. Asimismo, como factores no-epistémicos podrían señalar, por ejemplo, desinterés de Semmelweis por la comunicación científica; dificultades para la comunicación de sus ideas; personalidad conflictiva y autoritaria; política nacionalista y separatista de su país de origen; etc.

La mayoría de los grupos se situaron en el nivel 1 en la fase inicial, y solo uno de ellos alcanzó el nivel 3. Esto es, la mayoría señaló un único factor de rechazo de las nuevas ideas, aportando o no argumentos.

En la puesta en común de esta cuestión se puso de manifiesto la existencia de diversas creencias sobre la aceptación de las ideas científicas. Los estudiantes no entendían que el acuerdo entre los científicos no hubiera sido inmediato ante los resultados presentados por Semmelweis, y les resultaba increíble que las nuevas ideas pudieran ser rechazadas. Razonaban mediante las teorías aceptadas actualmente, y no podían desprenderse de sus propios modelos sobre la transmisión de las enfermedades al valorar los resultados de Semmelweis.

Para que se cuestionaran la importancia de los modelos y las teorías que los científicos manejan, la profesora pidió que se pusieran en el caso de un médico que había recibido formación en la que basaba su práctica profesional, y que propusieran una práctica médica que contradijera su conocimiento médico. También sugirió que analizaran una situación hipotética en la que les aconsejaran una práctica nueva sin una explicación bien fundamentada. Tras esto, un estudiante identificó las dificultades de los médicos de la época de Semmelweis para aceptar sus ideas nuevas con sus propias dificultades para entender aspectos de la física que contradicen el sentido común.

La profesora promovió también la discusión sobre la importancia de la comunicación de la ciencia, el papel de los congresos y las publicaciones. Los estudiantes comprendieron la importancia de

estos aspectos, pero no que pudiera ser clave para la aceptación de una teoría. Asimismo, trató el problema de la pertinencia de los procedimientos de investigación; por ejemplo, abordó el uso del microscopio, entre otros. Una dificultad encontrada fue que los estudiantes situaran históricamente la importancia del microscopio en la investigación de las enfermedades.

Durante la discusión, también se puso de manifiesto que los aspectos no-epistémicos de tipo psicológico, como la personalidad de Semmelweis. Estos fueron los que más habían llamado la atención de los estudiantes. La mayoría no contempló inicialmente las cuestiones políticas, por lo que fue necesario orientar la discusión en este sentido. Para ello, se preguntó sobre la nacionalidad de Semmelweis y el contexto histórico. Algunos se mostraron contrarios a aceptar que los aspectos políticos o las relaciones humanas pudieran influir en la aceptación de las teorías científicas; pero otros destacaron citas del texto para rebatirlo.

Tras la tercera fase, se encontró una mejora en todos los grupos respecto a la detección de los factores que dieron lugar al rechazo de las ideas de Semmelweis. Prácticamente todos los grupos indicaron factores epistémicos y contextuales, aportando argumentos razonados. Por ejemplo, el grupo 5 señaló en su informe final que: "No había una razón de lo que decía, no era lógico según las ideas que había entonces. Además, no se llevaba bien con el director del hospital."

C6. Valoración de la importancia de los factores que influyeron más en el rechazo del conocimiento científico

Por último, los estudiantes debían valorar la importancia de los factores epistémicos y no-epistémicos en el rechazo del conocimiento científico. Se pretendía que citaran al menos dos factores epistémicos (carecer de una teoría sobre la naturaleza de la materia putrefacta; no establecer una relación causal entre la materia putrefacta y la fiebre puerperal; no hacer experimentos de laboratorio controlados;

no hacer una caracterización más precisa, basada en pruebas empíricas usando el microscopio, del principio activo presente en la materia cadavérica; etc.), y dos factores contextuales (desinterés por la comunicación científica; dificultad personal para la comunicación de las ideas; personalidad conflictiva y autoritaria de Semmelweis; política nacionalista y separatista; etc.), dando argumentos válidos en la valoración.

Inicialmente todos los grupos se situaron en el nivel 2, señalando solo un factor determinante del rechazo de las ideas de Semmelweis en su época, sin que predominaran los factores de un tipo u otro.

Durante la segunda fase se pidió a los grupos que dieran razones para defender sus posiciones iniciales. Después, se les invitó a que considerasen los condicionantes y valorasen la importancia que pudieron tener. Un grupo destacó la dificultad de saber lo que más influyó, teniendo en cuenta que, además, era algo que ocurrió hace mucho tiempo. Otro grupo resaltó que incluso es difícil saber las causas de los sucesos actuales. Ante ello, la profesora indicó que se trataba de hacer una valoración personal, teniendo en cuenta lo que conocían del caso.

Concluida la tercera fase, cuatro grupos consideraron un factor más como mínimo, incluyendo al menos un factor epistémico y otro contextual. Por ejemplo, el grupo 5 había indicado inicialmente que influyó [...] sobre todo su manera de llamar la atención a los demás miembros de la comunidad científica que no estaba de acuerdo con él, con insultos y llamándoles asesinos.", y posteriormente añadió que [...] pudo influir igualmente la mala comunicación científica y que lo que decía no se comprendía en su época porque no estaba de acuerdo con las teorías existentes."

Conclusiones e implicaciones para la enseñanza

Se han descrito los resultados educativos de la implementación de una actividad sobre el caso

Semmelweis y la fiebre puerperal para aprender reflexivamente algunos aspectos de NDC. La actividad permitió a los estudiantes una aproximación a esta tras una primera fase de reflexión. El trabajo en equipo y las discusiones del grupo-clase mejoraron en alguna medida el aprendizaje sobre la NDC.

También se ha propuesto una evaluación basada en un enfoque interpretativo, poco habitual en el caso del aprendizaje de aspectos de NDC. El análisis de las producciones de los estudiantes, mediante una rúbrica en la que se detallan los niveles de progresión para cada uno de los aspectos de NDC tratados, resultó útil para evaluar el aprendizaje logrado al respecto. Este método también se puede utilizar en la evaluación habitual en el aula sobre el tópico.

Aunque no se usó ningún instrumento específico para evaluar las actitudes y motivaciones de los estudiantes, se puede afirmar que la actividad despertó un gran interés en ellos. Les pareció importante aprender sobre el trabajo de los científicos y todo lo que rodea a la investigación científica. Sería interesante confirmar esto en el futuro de una manera más rigurosa.

Globalmente, la propuesta educativa propició que emergieran creencias sobre NDC, que fueron el punto de partida para promover su evolución hacia otras ideas más adecuadas. Por ejemplo, muchos estudiantes manifestaron inicialmente que las inferencias son objetivas si se basan en la experiencia, y que son independientes del marco teórico; también que una hipótesis aceptada es una teoría; o que los factores sociales no influyen en la aceptación de las nuevas ideas científicas. Estas creencias ingenuas sobre NDC, evolucionaron favorablemente a lo largo del desarrollo de la actividad. Asimismo, el trabajo reflexivo en grupo contribuyó a la mejora del aprendizaje, lográndose respuestas más elaboradas después de las discusiones sobre los aspectos tratados.

Haciendo un balance de los aprendizajes, los estudiantes mejoraron, al menos parcialmente, la comprensión de aspectos tanto epistémicos como

no-epistémicos; estos últimos menos habituales en las propuestas didácticas de aprendizaje sobre NDC. Concretamente diferenciaron y relacionaron los conceptos de inferencia y observación, aunque no llegaron a detectar todas las que se recogían en la narración. Asimismo, reconocieron algunos de los principales rasgos de la metodología científica seguida por Semmelweis en su investigación, siendo el análisis de datos y la verificación de hipótesis las características más aludidas. Identificaron también la creatividad y originalidad como rasgos propios de la investigación científica; si bien no siempre fueron capaces de detectar muestras de ello en el relato.

Consiguieron alguna mejora en la comprensión del concepto de teoría, reconociendo su carácter interpretativo, pero las respuestas no se argumentaron lo suficiente al no identificar todos los hechos que las conclusiones de Semmelweis no explicaban. Citaron diversos factores de rechazo de las ideas de Semmelweis, tanto epistémicos como no-epistémicos, siendo en estos últimos donde hubo más progreso en el aprendizaje. La mayoría de los estudiantes llegó a comprender la complejidad del problema, valorando la importancia de los factores no-epistémicos en la generación del conocimiento, lo mismo que los epistémicos.

Entre las dificultades detectadas, se encontró cierta limitación para manejar cantidades relativamente grandes de información, como en el caso del reconocimiento de observaciones e inferencias en el relato. Para mejorar esto, se podría sugerir a los estudiantes el uso de instrumentos organizadores de la información, como tablas, esquemas, mapas conceptuales y ejes cronológicos. Además, la mayoría de los grupos se limitó, en primera instancia, a dar una respuesta simple e inmediata, como sucedió cuando debían aportar causas sobre la no aceptación de las propuestas de Semmelweis. Esto refleja el razonamiento causal lineal y simple, propio de estudiantes de estas edades (Acevedo, 1990), pese a que el texto muestra la complejidad que caracteriza a los problemas científicos reales.

Los estudiantes también tuvieron algunas dificultades para situar históricamente algunos eventos científicos clave, proporcionando la actividad la ocasión para mejorar este aspecto.

En la implementación de la actividad, la intervención de la profesora se limitó a reconducir las ideas que iban surgiendo en las discusiones, para comprobar el potencial educativo de la narración empleada como recurso en la formación sobre la NDC. Quizá habría sido necesario mayor grado de intervención en algunos momentos. Todo recurso empleado en el aula requiere de la mediación continua del profesor en los procesos que tienen lugar, más aún cuando se tratan problemáticas complejas.

En suma, podemos decir que es factible introducir la NDC en la educación obligatoria mediante el uso de actividades de HDC, como la del caso Semmelweis y la fiebre puerperal, entre otras. Asimismo, los aspectos no-epistémicos podrían ser los más apropiados para abordar el tópico en el currículo de ciencia escolar de Secundaria, e iniciar a los estudiantes en la comprensión de algunos aspectos de NDC. Sería interesante continuar investigando más esta posibilidad con otros textos de HDC, puesto que no se suele dar cabida al aprendizaje de la NDC en la educación científica básica; y, cuando se hace, la atención se centra por lo general en la dimensión epistemológica casi exclusivamente.

Referencias bibliográficas

- Abd-El-Khalick, F. (1999). Teaching Science with History. *The Science Teacher*, 66(9), 18-22.
- 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. In B.J. Fraser, K. Tobin y C.J. McRobbie

- (Eds.), *Second international handbook of science education* (pp. 1041-1060). Dordrecht: Springer.
- Abd-El-Khalick, F. (2014). The Evolving Landscape Related to Assessment of Nature of Science. In N.G. Lederman y S.K. Abell (Eds.), *Handbook of Research in Science Education, Volume II*. (pp. 621-650). New York, NY, USA: Routledge.
- Acevedo, J.A. (1990). Razonamiento causal en una tarea de contexto natural. Un estudio evolutivo con estudiantes de Bachillerato. *Investigación en la Escuela, 10*, 61-70.
- Acevedo, J.A. (2004). Reflexiones sobre las finalidades de la enseñanza de las ciencias: educación científica para la ciudadanía. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 1*(1), 3-16.
- Acevedo, J.A. (2006). Modelos de relaciones entre ciencia y tecnología: un análisis social e histórico. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 3*(2), 198-219.
- 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, 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, 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, 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-Liebig sobre la fermentación. *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, 11*(33), 203-226.
- Acevedo, J.A., García-Carmona, A. y Aragón-Méndez, M.M. (2015). *Semmelweis y la fiebre puerperal - Texto de Historia de la Ciencia para Educación Secundaria Obligatoria*. Disponible en [ResearchGate](#). DOI: 10.13140/RG.2.1.4404.0087.
- Acevedo, 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-Méndez, 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.
- Acevedo, J.A., Vázquez, A., Manassero, M.A. y Acevedo, P. (2007). Consensos sobre la naturaleza de la ciencia: fundamentos de una investigación empírica. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias, 4*(1), 42-66.
- Allchin, D. (2003). Scientific myth-conceptions. *Science Education, 87*(3), 329-351.
- Bybee, R.W. (1997). *Achieving scientific literacy: From purposes to practices*. Portsmouth, NH: Heinemann.
- Clough, M. (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. (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.
- Erduran, S. y Dagher, Z.R. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education*. Dordrecht: Springer.
- García-Carmona, A. y Acevedo, J.A. (2016). Learning about the nature of science using newspaper articles with scientific content: A study in initial primary teacher education. *Science & Education*, 25(5-6), 523-546.
- García-Carmona, A., Vázquez, A. y Manassero, M.A. (2012). Comprensión de los estudiantes sobre Naturaleza de la Ciencia: análisis del estado actual de la cuestión y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 30(1), 23-34.
- Hempel, C. G. (1973). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid: Alianza.
- Hodson, D. (2014). Learning science, learning about science, doing science: different goals demand different learning methods. *International Journal of Science Education*, 36(15), 2534-2553.
- Irwin, A.R. (2000). Historical case studies: teaching the nature of science in context. *Science Education*, 84(1), 5-26.
- Irzik, G. y Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. In 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.
- Kim, B.S., Ko, E.K., Lederman, N.G. y Lederman, J.S. (2005). A developmental continuum of pedagogical content knowledge for nature of science instruction. International Annual Conference of the National Association for Research in Science Teaching. Dallas, TX (April 4-7).
- Kolstø, S.D. (2008). Science education for democratic citizenship through the use of the history of science. *Science & Education*, 17(8-9), 977-997.
- Lederman, N.G. (2007). Nature of science: past, present, and future. In S.K. Abell y N.G. Lederman (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates, 831-879.
- 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.
- Matthews, M. (2012). Changing the focus: From nature of science (NOS) to features of science (FOS). In M.S. Khine (Ed.), *Advances in nature of science research* (pp. 3-26). Dordrecht: Springer.
- Matthews, M. (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.
- Nam, J., Mayer, V.J. y Choi, J. (2007). Developing experienced Korean science teachers’ ability to transfer their understanding of the nature of science into their classroom teaching. In *Pedagogical content knowledge of experienced science teachers and its development in the context of curriculum reform*. Symposium presented at the 6th Conference of the European Science Education Research Association (ESE-RA). Malmö University, Malmö, Sweden (August 21-25 August).
- Niaz, M. (2009). Progressive transitions in chemistry teachers’ understanding of nature of science based on historical controversies. *Science & Education*, 18(1), 43-65.
- Niaz, M. (2016). History and philosophy of science as a guide to understanding nature of science. *Revista Científica*, 24, 7-16.

Osborne, J., Collins, S., Ratcliffe, M., Millar, R. y Duschl, R. (2003). What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. *Journal of Research in Science Teaching*, 40(7), 692-720.

Tolvanen, S., Jansson, J., Vesterinen, V.-M. y Aksela, M. (2014). How to use Historical Approach to teach Nature of Science in Chemistry Education? *Science & Education*, 23(8), 1605-1636.

