



Comprensión del alumnado de Secundaria sobre la dimensión sociológica de la naturaleza de la ciencia a partir de la historia de la ciencia

Antonio García-Carmona¹, José Antonio Acevedo-Díaz²,
María del Mar Aragón-Méndez³

¹Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales, Universidad de Sevilla. E-mail: garcia-carmona@us.es. ²Inspector de Educación jubilado, Huelva, España.

³Departamento de Didáctica, Universidad de Cádiz.

[Recibido el 4 de octubre de 2018, aceptado el 19 de noviembre de 2018]

Este artículo presenta un meta-análisis de los resultados de tres estudios cualitativos sobre la comprensión de la dimensión sociológica de la naturaleza de la ciencia (NDC), usando tres casos de historia de la ciencia (HDC): “Semmelweis y la fiebre puerperal”, “La controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea” y “Rosalind Franklin y la elucidación de la estructura del ADN”. Los tres estudios fueron llevados a cabo con alumnado de Educación Secundaria (4º de ESO, 1º de Bachillerato y 2º de Bachillerato) mediante una estrategia basada en la reflexión crítica y el debate sobre cuestiones de NDC. El meta-análisis se concretó en determinar las referencias del alumnado en sus respuestas argumentadas a los descriptores de sociología de la ciencia, establecidos en las rúbricas empleadas para la evaluación. Se concluye que el alumnado de Educación Secundaria, en general, mejoró su comprensión sobre la influencia de aspectos sociológicos en el desarrollo de la ciencia, a partir de la reflexión y discusión crítica en torno a los casos de HDC seleccionados.

Palabras clave: educación secundaria; historia de la ciencia; naturaleza de la ciencia; sociología de la ciencia.

Secondary students' understanding of the sociological dimension of the nature of science through the history of science

This article presents a meta-analysis of the results from three qualitative studies on the understanding of the sociological dimension of the nature of science (NOS) using three cases of the history of science (HOS): “Semmelweis and the childbed fever”, “The controversy between Pasteur and Pouchet on spontaneous generation”, and “Rosalind Franklin and the elucidation of the structure of DNA”. The three studies were conducted with secondary school students (15-18 years old) through a strategy based on critical reflection and debate on NOS issues. The analysis focused on determining the students' references to the sociology of science descriptors, according to the assessment rubrics employed, that they included in their argued responses. It is concluded that the secondary students improved their understanding of how the sociological aspects influence the science development through the reflection and critical discussion around the HOS cases that were selected.

Keywords: history of science; nature of science; secondary education; sociology of science.

Para citar el artículo. García-Carmona, A., Acevedo-Díaz, J. A. y Aragón-Méndez, M. A (2018). Comprensión del alumnado de Secundaria sobre la dimensión sociológica de la naturaleza de la ciencia a partir de la historia de la ciencia. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 2(2), 43-54. DOI: <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4519>

Contacto. garcia-carmona@us.es, ja.acevedodiaz@gmail.com, mmaragonmendez@gmail.com

Introducción

Existe cierto consenso internacional en considerar la naturaleza de la ciencia (NDC) como un conocimiento clave para la alfabetización científica de la ciudadanía. Sin embargo, se cuestiona críticamente qué aspectos de la NDC serían los más adecuados para el currículo de ciencia en la educación preuniversitaria (Allchin, 2011; Dagher y Erduran, 2016; Hodson y Wong, 2017; Martins, 2015; entre otros). Hasta ahora, los aspectos que han dominado en la bibliografía internacional son los siete principios de Lederman (2007), que constituyen una lista restringida prácticamente a la naturaleza epistémica del conocimiento científico; esto es, a los rasgos característicos de los productos elaborados por la ciencia (diferencias entre ley y teoría científica, el carácter tentativo del conocimiento científico, etc.). Si bien, hoy día, se reclama con vigor que la enseñanza sobre la NDC preste atención también a asuntos de los que se ha ocupado tradicionalmente la sociología de la ciencia (interna y externa a las comunidades científicas), dada su influencia notoria en la construcción del conocimiento científico, tanto en el pasado como en el presente (Allchin, 2004).

En la década de 1930, el filósofo positivista Reichenbach diferenció entre el contexto del descubrimiento (ciencia privada) y el contexto de justificación (ciencia publicada). Para este filósofo, la filosofía de la ciencia no debería 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. Con esta distinción, los aspectos de naturaleza no-epistémica como los sociológicos, que afloran sobre todo en el contexto del descubrimiento, estarían excluidos. De manera que, la comprensión de la NDC quedaría así reducida a una visión epistémica, o puramente racional, del conocimiento científico producido.

Sin embargo, la filosofía de la ciencia contemporánea ha superado esa dicotomía, y ambos contextos de la investigación científica se consideran hoy un continuo inseparable para entender cómo se construye y evoluciona la ciencia (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez, 2017a). Por tanto, no es posible adquirir una comprensión básica y holística de la NDC sin atender a los aspectos sociológicos que intervienen cuando la ciencia está en construcción. Es verdad que, sin cierta perspectiva del desarrollo científico, no es fácil tomar conciencia de la presencia o influencia de tales aspectos. En este sentido, la historia de la ciencia (HDC) se muestra especialmente útil, ya que permite conocer y analizar la influencia de multitud de aspectos epistémicos y sociológicos hasta llegar al conocimiento científico hoy establecido (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2017).

Como sucede en las investigaciones de las científicas y científicos, los aspectos sociológicos de la NDC están también presentes en los razonamientos, argumentos y decisiones de las personas cuando se enfrentan a las complejas cuestiones científicas actuales, que les afectan en su día a día (Acevedo, 2006). En consecuencia, la comprensión de la dimensión sociológica de la NDC favorecerá una alfabetización científica de la ciudadanía más completa, en aras de afrontar los retos de una sociedad como la actual, impregnada de ciencia y tecnología (Acevedo y García-Carmona, 2016). Sin embargo, existe un enorme déficit en la bibliografía internacional de investigaciones empíricas, realizadas en el aula con precisión y rigor, que incluyan aspectos sociológicos en la comprensión de la NDC.

Objetivo

A la vista de lo comentado anteriormente, el propósito de este trabajo es presentar un meta-análisis¹ de los resultados de tres estudios cualitativos previos sobre la comprensión de alumnado de Educación Secundaria (ESO y Bachillerato) (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón, 2017a) acerca de la influencia de aspectos sociológicos, de diversa índole, en el desarrollo de la ciencia. Para ello, se analizan globalmente los resultados de la evaluación de los argumentos elaborados por el alumnado al responder a cuestiones abiertas sobre la NDC, enmarcadas en tres casos de HDC. Los tres casos de HDC implementados y evaluados fueron: “Simmelweis y la fiebre puerperal”, “La controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea”, y “Rosalind Franklin y la elucidación de la estructura del ADN”.

Marco teórico

La determinación de qué contenidos sobre la NDC deberían tratarse en la educación científica sigue siendo objeto de debate en la actualidad (Kampourakis, 2016; Wallace, 2017). En este debate existe una corriente importante que reivindica que, junto a la epistemología de la ciencia, se preste atención a la sociología de la ciencia porque ambas dimensiones se complementan y proporcionan una visión más holística de la NDC, con vistas a mejorar la alfabetización científica al respecto (Acevedo, García-Carmona y Aragón, 2017a; Allchin, 2011; Dagher y Erduran, 2016).

En esta línea, Martins (2015) sugiere tratar temas de NDC mediante dos ejes principales: (i) histórico y sociológico (papel del científico y de la comunidad científica; intersubjetividad; comunicación del conocimiento científico; cuestiones morales, éticas y políticas relacionadas con la ciencia; influencias históricas y sociales; etc.), y (ii) epistemológico (origen empírico vs. teórico del conocimiento; métodos/procesos de la ciencia, que incluiría aspectos relativos a hipótesis, observaciones e inferencias, creatividad, evaluación de teorías, etc.; naturaleza del conocimiento científico, como leyes y teorías, modelos científicos, etc.). Ambos ejes estarían interrelacionados, es decir, los aspectos epistémicos que caracterizan la naturaleza del conocimiento científico producido provienen de una construcción intersubjetiva (colectiva), histórica y social. Esta división en dos ejes se asemeja a la propuesta de Irzik y Nola (2014), quienes sugieren una división entre (i) ciencia como un sistema cognitivo-epistémico de pensamiento y práctica, y (ii) ciencia como un sistema social-institucional.

En este sentido, Acevedo y García-Carmona (2016) parten de un enfoque basado en la tradición Ciencia-Tecnología-Sociedad (CTS), y proponen cuatro dimensiones para comprender la NDC: (i) epistemología de la ciencia; (ii) relaciones entre ciencia y tecnología; (iii) sociología interna de la ciencia; y (iv) sociología externa de la ciencia. Esta perspectiva es coherente con la práctica científica real. Los rasgos característicos de la sociología interna y externa de la ciencia, que se adoptan en este trabajo, se recogen en la tabla 1.

1 Un *meta-análisis* suele emplearse para hacer una revisión sistemática, con ayuda de herramientas estadísticas, de los resultados de una muestra generalmente amplia de estudios empíricos sobre un mismo problema (Ruiz-Corbella y López Gómez, 2017). Si bien, en este trabajo se utiliza el término en un sentido puramente etimológico; es decir, para hacer referencia a un análisis de los resultados derivados de tres estudios empíricos sobre una misma cuestión de fondo, que fueron realizados con anterioridad.

Tabla 1. Aspectos sociológicos de la NDC abordados en los casos de HDC analizados (adaptado de Acevedo y García-Carmona, 2016, y Acevedo, García-Carmona y Aragón, 2017a)

Aspectos sociológicos internos a la comunidad científica	Aspectos sociológicos externos a la comunidad científica
<ol style="list-style-type: none"> 1. Papel de la comunicación científica. 2. Relaciones profesionales dentro de la comunidad científica. 3. Personalidad de las científicas y científicos. 4. Relaciones personales entre los miembros de la comunidad científica. 5. Papel de la comunidad científica en la aceptación de las teorías científicas. 6. Habilidad retórica y estrategias semánticas para persuadir de las ideas propias. 7. Cooperación/colaboración científica. 8. Competitividad científica. 9. Aspectos morales y éticos. 10. Influencia del género. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Influencia de la política en la ciencia. 2. Influencia del patriotismo nacionalista. 3. Contexto histórico, social y cultural. 4. Apoyo político a la investigación. 5. Apoyo económico a la investigación. 6. Influencia de la sociedad en la ciencia. 7. Influencia de la ciencia en la sociedad. 8. Impacto de la ciencia en asuntos socio-económicos. 9. Ciencia y religión. 10. Papel de la prensa en la divulgación de la ciencia.

En cuanto a cómo enseñar NDC, los resultados de estudios empíricos muestran que la manera más eficaz para ello es que se haga de manera explícita y con un enfoque reflexivo (Abd-El-Khalick, 2012; Acevedo y García-Carmona, 2016; Clough, 2018; Lederman, 2007). Esto es, asumiendo la NDC como un contenido curricular específico, con objetivos de aprendizajes propios, que requiere del diseño de actividades para que el alumnado piense y discuta desde la reflexión crítica, así como un sistema de evaluación apropiado. En este trabajo, esto último se concreta mediante el diseño de rúbricas con indicadores para determinar los distintos niveles de aprendizaje logrados sobre aspectos de NDC.

Asimismo, es recomendable elegir contextos propicios para que el alumnado pueda reconocer, reflexionar y discutir sobre determinados aspectos de NDC. Al respecto, resulta especialmente interesante el análisis reflexivo y crítico de episodios controvertidos de la HDC (Acevedo y García-Carmona, 2017; Allchin, 2011; Clough, 2011), tal y como se ha avanzado anteriormente.

Metodología

Contexto académico y breve descripción de la propuesta de enseñanza

Los tres casos de HDC fueron implementados con alumnado de un instituto de Educación Secundaria de Cádiz, que acoge a una población de perfil sociocultural medio. A la hora de decidir qué caso sería implementado en cada curso de Secundaria, se tuvo en cuenta, principalmente, que el contenido científico tratado en la narración fuese (a) asequible para el alumnado en cuestión, y (b) concordante con el currículo de ciencia escolar correspondiente. De este modo, se decidió implementar el caso de “Semmelweis y la fiebre

puerperal” en 4º de ESO (18 alumnas y alumnos), “La controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea” en 1º de Bachillerato (20 alumnas y alumnos), y “El caso de “Rosalind Franklin y la elucidación de la estructura del ADN” en 2º de Bachillerato (14 alumnas y alumnos). Todos ellos fueron implementados por la misma profesora y evaluados por los tres autores del presente trabajo. Pueden consultarse más detalles del alumnado participante, y de las asignaturas empleadas para ello, en Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez (2017a).

Los textos de los casos de HDC se adaptaron ligeramente de los preparados originalmente, que estaban destinados a la formación del profesorado de ciencia, así como las cuestiones de NDC planteadas en el caso de “Semmelweis y la fiebre puerperal”. Estas adaptaciones están disponibles como documentos de trabajo en Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez (2015, 2016, 2017b).

Los aspectos de NDC abordados entre los tres casos de HDC hacen referencia tanto a aspectos sociológicos internos y externos a la comunidad científica. A continuación, se señalan estos aspectos, indicándose entre paréntesis el caso o casos en los que han sido tratados.

a) *Aspectos de sociología internos a la comunidad científica*: (1) comunicación científica: publicaciones, congresos, seminarios, correspondencia privada, etc. (Semmelweis y Generación espontánea); (2) relaciones profesionales entre los miembros de la comunidad científica (Semmelweis y Generación espontánea); (3) personalidad de las científicas y científicos (Semmelweis); (4) relaciones personales entre los miembros de la comunidad científica (Semmelweis y ADN); (5) aceptación y rechazo de las teorías científicas por la comunidad científica: comisiones académicas y evaluación por pares académicos (Generación espontánea); (6) habilidades retóricas para persuadir de las ideas propias a los demás (Semmelweis y Generación espontánea); (7) cooperación y competitividad científica (ADN); (9) valores morales y éticos (ADN); y (10) influencia del género (ADN).

b) *Aspectos de sociología externos a la comunidad científica*: (1) influencia socio-política: gobiernos, grupos de presión o lobbies, etc. (Generación espontánea); (3) contexto histórico, social y cultural (Semmelweis y Generación espontánea); (5) apoyo económico y político a la investigación (Generación espontánea); (9) influencia de la religión (Generación espontánea); (10) papel de la prensa en la divulgación de la ciencia (Generación espontánea).

En las tres implementaciones, el alumnado se organizó en grupos pequeños de trabajo para el desarrollo de las actividades. Se emplearon unas cinco horas en cada implementación, que se estructuraron en tres fases:

- (I) lectura del relato del caso de HDC y respuestas a diversas cuestiones de NDC, a partir de la reflexión y discusión entre los miembros de cada grupo, que se redactaron en un informe inicial (2 horas);
- (II) sesión con el grupo-clase, dirigida por la profesora, para que los grupos compararan y debatieran sus respuestas iniciales (1 hora); y
- (III) conclusiones de los grupos tras la sesión anterior, que se concretaron en la revisión y reelaboración/ampliación de sus respuestas iniciales. Estas respuestas también se registraron por los grupos en sus informes finales, que entregaron para su evaluación (2 horas).

Las cuestiones sobre aspectos sociológicos de la NDC, que se plantearon al alumnado en cada caso, se recogen en la tabla 2.

Tabla 2. Cuestiones sobre aspectos sociológicos de la NDC, discutidas en cada caso de HDC

<p>• Caso de Semmelweis y la fiebre puerperal</p> <p>C5. ¿Qué aspectos crees que influyeron negativamente en la aceptación de las propuestas de Semmelweis? ¿Por qué?</p> <p>C6. ¿Cuáles de los aspectos anteriores crees que influyeron más?</p> <p>• Controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea</p> <p>C4. ¿Crees que hubo subjetividad en la controversia? ¿Por qué?</p> <p>C5. ¿Crees que el procedimiento que empleó la comunidad científica para juzgar la controversia evitó la subjetividad? ¿Por qué?</p> <p>C6. ¿Crees que influyó la religión en la controversia? ¿Por qué?</p> <p>C7. ¿Crees que influyó la política en la controversia? ¿Por qué?</p> <p>C8. ¿Qué procedimientos crees que se usaron para comunicar los resultados de las investigaciones a sus colegas y al público interesado? Coméntalos.</p> <p>C9. ¿Qué aspectos crees que influyeron más en la resolución de la controversia? ¿Por qué?</p> <p>• El caso de Rosalind Franklin y la elucidación de la estructura del ADN</p> <p>C4. ¿Qué aspectos epistémicos y no-epistémicos (sociológicos) crees que pudieron influir para que Rosalind Franklin no fuera la primera en dilucidar la estructura del ADN?</p>

Instrumentos de análisis de datos y evaluación

Respecto a la evaluación de aprendizajes sobre NDC, nos alineamos con Allchin (2011), que propone un enfoque contextual mediante el análisis interpretativo de casos actuales e históricos de la ciencia. Por tanto, la metodología de evaluación de los aspectos de NDC abordados con la actividad presenta las características siguientes: (1) es cualitativa; (2) está contextualizada mediante casos de HDC; (3) es interpretativa a partir de los informes producidos por el alumnado; y (4) se analiza mediante rúbricas.

Tabla 3. Rúbrica de evaluación de la cuestión 5 del caso de Semmelweis y la fiebre puerperal

C5. ¿Qué factores crees que influyeron negativamente en la aceptación de las propuestas de Semmelweis? ¿Por qué?	
Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
<p>Indica, con argumentos razonados, cuatro aspectos, entre los que hay de tipo <i>epistémico</i> y de tipo <i>no-epistémico (sociológico)</i>, tales como*:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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; - ... 	<p>Nivel 3: Indica tres aspectos, entre los que hay epistémicos y sociológicos, con argumentos razonados.</p> <p>Nivel 2: Indica dos aspectos epistémicos o sociológicos, con argumentos razonados.</p> <p>Nivel 1: Indica razonadamente un aspecto, epistémico o sociológico, dando argumentos válidos.</p> <p>Nivel 0: No se indica ningún aspecto.</p>

*En este caso, solo se exponen los ejemplos de la rúbrica relativos a los aspectos sociológicos implicados en la cuestión.

Para la evaluación de las respuestas a cada una de las cuestiones planteadas, se estableció una escala de progresión que permitiera el análisis del nivel de aprendizaje alcanzado por el alumnado. Se decidieron cinco niveles, de 0 a 4, correspondiendo el máximo aprendi-

zaje conseguido al nivel 4. Los descriptores que definen el nivel máximo se establecieron tomando como punto de partida el texto de la narración de HDC, los puntos de vista actuales sobre la NDC, y la información proporcionada por las respuestas de los grupos. Estos descriptores se modificaron y reestructuraron varias veces hasta ser consensuados por los autores de este trabajo. Los diferentes niveles de progresión y los descriptores correspondientes se recogieron posteriormente en una rúbrica de evaluación para cada controversia empleada. A modo de ejemplo, se muestran las rúbricas correspondientes a la cuestión 5 de “El caso de Semmelweis y la fiebre puerperal” (tabla 3), las cuestiones 6 y 8 de “La controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea” (tabla 4), y la relativa a la cuestión 4 de “El caso de Rosalind Franklin y la elucidación de la estructura del ADN” (tabla 5).

Tabla 4. Rúbrica de evaluación de las cuestiones 6 y 8 de la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea

C6. ¿Crees que influyó la religión en la controversia? ¿Por qué?	
Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
<p>Se considera que hubo influencia de la religión en la controversia, y se dan, al menos, 3 de los argumentos siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Pasteur pretendía rebatir el materialismo ateo, que se asociaba a la generación espontánea. 2) Pouchet afirmaba que la negación de su teoría sobre la generación espontánea equivalía a adoptar una posición atea y caer en el darwinismo. 3) Ambos científicos usaron la religión para rebatir las ideas contrarias a sus teorías. 4) Tanto ateos como burgueses católicos asociaron la generación espontánea al darwinismo para prescindir de la existencia de Dios. 	<p>Nivel 3: Se considera la influencia de la religión, y se aportan 2 argumentos del nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se considera la influencia de la religión, y se aporta 1 argumento del nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se considera la influencia de la religión, pero no se aportan argumentos.</p> <p>Nivel 0: No se considera la influencia de la religión.</p>
C.8 ¿Qué procedimientos crees que se usaron para comunicar los resultados de las investigaciones a sus colegas y al público interesado? Coméntalos.	
Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
<p>Se citan, al menos, 3 de las siguientes formas de comunicación científica:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Memorias y libros. 2) Por medio de la Academia de Ciencias de Francia. 3) Conferencias científicas. 4) Correspondencia entre miembros de la comunidad científica. 5) La prensa diaria. <p>Y cada una de estas se justifica, al menos, con un argumento válido de entre los siguientes:</p> <ol style="list-style-type: none"> a) La exposición ante comisiones formadas por pares académicos. b) Las habilidades retóricas de Pasteur. c) Las facilidades que tuvo Pasteur para exponer sus ideas en conferencias públicas. d) El acceso que tuvo Pouchet para dar a conocer sus ideas en la prensa. e) La correspondencia privada entre Pasteur y Pouchet, así como entre cada uno de ellos y otros miembros de la comunidad científica, etc. f) Otros argumentos que aludan a la multiplicidad de formas de comunicación científica. 	<p>Nivel 3: Se citan 2 formas de comunicación científica del nivel 4; y cada una de estas se justifica, al menos, con un argumento válido de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 2: Se cita 1 forma de comunicación científica del nivel 4, y esta se justifica, al menos, con un argumento válido de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 1: Se cita alguna forma de comunicación científica del nivel 4, pero no se justifica con ningún argumento válido de los indicados en el nivel 4.</p> <p>Nivel 0: No se cita ninguna forma de comunicación científica del nivel 4.</p>

Conviene subrayar que los descriptores de las rúbricas de evaluación no deben entenderse como principios de NDC que el alumnado debería aprender como conocimientos declarativos. Como se ha señalado más arriba, el enfoque promovido para aprender sobre NDC está basado en la argumentación crítica y reflexiva. Por tanto, el establecimiento de tales descriptores tiene la función de orientar la evaluación de las respuestas del alumnado para determinar niveles y progresiones de aprendizaje sobre los aspectos de NDC tratados.

Tabla 5. Rúbrica de evaluación de la cuestión 4 del caso de Rosalind Franklin y la elucidación de la estructura del ADN

C4. ¿Qué aspectos epistémicos y no-epistémicos (sociológicos) crees que pudieron influir para que Rosalind Franklin no fuera la primera en dilucidar la estructura del ADN?	
Nivel 4 (máximo)	Niveles 3 – 0
<p>Indica más de dos aspectos, tanto epistémicos como sociológicos, con argumentos válidos. Entre los aspectos sociológicos* se señalan:</p> <p>a) La falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin sin su conocimiento ni reconocimiento.</p> <p>b) Las tensiones y falta de colaboración entre Franklin y Wilkins frente al gran espíritu de colaboración que mostraron Watson y Crick.</p> <p>c) El carácter competitivo de Watson y Crick.</p> <p>d) Las posibles dificultades que tuvo Franklin por ser mujer en la ciencia de la época.</p>	<p>Nivel 3: Indica razonadamente al menos un aspecto epistémico y un aspecto sociológico, dando argumentos válidos.</p> <p>Nivel 2: Indica razonadamente solo aspectos del mismo tipo, epistémicos o sociológicos, dando argumentos válidos.</p> <p>Nivel 1: Indica razonadamente un aspecto, epistémico o sociológico, dando argumentos válidos.</p> <p>Nivel 0: No indica ningún aspecto, o bien se cita alguno, pero no se dan argumentos válidos.</p>

*En este caso, solo se expone la parte de la rúbrica de la cuestión que se refiere a la dimensión sociológica.

La validez y fiabilidad de este sistema de evaluación fueron establecidas mediante procesos de análisis inter- e intra-jueces iterativos, realizados por los autores, y el uso de descriptores de baja inferencia; ambos muy recurrentes y apropiados en investigaciones cualitativas como esta (Seale, 1999). Más detalles sobre el proceso de validación y fiabilidad seguido pueden consultarse en Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón (2017a).

El meta-análisis planeado se concretó en hacer un análisis global de: (i) el número total de referencias de los equipos de alumnado a los descriptores de los aspectos sociológicos, establecidos en las rúbricas de evaluación de los tres estudios, y (ii) la cantidad de veces que tales descriptores fueron aludidos como argumentos en conjunto.

Resultados

El número total de descriptores de la dimensión sociológica de la NDC, recogidos en las rúbricas fue más elevado en los informes finales (95%) que en los iniciales (68%) (véase la tabla 6). Asimismo, la cantidad de veces que se citaron en total tales descriptores aumentó notablemente, aproximadamente el doble, en los informes finales respecto de los iniciales. Puede comprobarse que este incremento es muy similar en cada uno de los tres casos de HDC implementados. Asimismo, cabe señalar que, si bien esta comprensión ya se manifestó de manera suficiente en los informes iniciales elaborados, mejoró en los informes finales. En consecuencia, estos resultados muestran que el alumnado de Educación

Secundaria es capaz de apreciar y comprender la influencia de los aspectos sociológicos de la NDC en los casos de HDC tratados.

En la obtención de los resultados finales, hay que resaltar la influencia que tuvo la sesión con el grupo-clase, en la que se debatieron las ideas que los grupos plasmaron en los informes iniciales. Para ello, el papel de la profesora durante esta sesión resultó clave. Sin ánimo de ser exhaustivos (una información mucho más amplia y detallada puede consultarse en Acevedo, García-Carmona y Aragón, 2017a), en lo que sigue se presentan algunos ejemplos de respuestas de los grupos de alumnado donde se observaron progresiones de comprensión destacadas respecto a los tres casos de HDC analizados.

Tabla 6. Aspectos de sociología de la NDC relativos a los tres casos de HDC analizados

Casos de HDC	Nº de grupos	Nº de descriptores de las rúbricas	Nº de descriptores citados		Nº de veces que se citan los descriptores	
			Inicial	Final	Inicial	Final
Semmelweis	5	11	7	11	14	29
ADN	4	4	3	4	5	12
Generación espontánea	5	23	16	21	34	68
TOTAL	14	38	26 (68%)	36 (95%)	53	109

En el contexto del caso de Rosalind Franklin y la estructura del ADN, solo uno de los cuatro grupos se refirió, en su respuesta inicial, a las posibles dificultades que tuvo Franklin por ser mujer en la ciencia de la época. En cambio, tras el debate y la discusión en gran grupo, las alusiones a este descriptor de la rúbrica se incluyeron en las respuestas de todos grupos. Uno de ellos lo expresaba de la siguiente manera: *“Wilkins, debido a que Franklin era mujer, la consideró como una mera ayudante, y se comportaba como si fuese el jefe de la investigación, lo que Franklin no aceptaba.”*

Asimismo, la falta de ética de Watson y Crick al usar datos de Franklin, sin su conocimiento ni reconocimiento, no fue aludida tampoco por ningún grupo en las respuestas iniciales; pero, tras la puesta en común, dos de los cuatro grupos lo expresaron en sus argumentos finales con respuestas como la siguiente: *“Cuando Watson y Crick publicaron los resultados, [...] no admitieron el hecho de [que] ser los primeros en publicar los resultados fue gracias a las investigaciones de ella [Franklin]”.*

Con respecto a la controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea, alguna referencia a la influencia de la religión en la ciencia solo se encontró en la respuesta inicial de uno de los cinco grupos. Mientras que al final de la actividad, tres grupos hicieron alusiones en sus respuestas al descriptor *“Pasteur pretendía rebatir el materialismo ateo, que se asociaba a la generación espontánea”.* Un ejemplo de respuesta con referencia al mismo es la siguiente: *“[...] Pasteur [...] usó el mismo argumento [contra la generación espontánea] para que la gente relacionase a Pouchet con el ateísmo y el materialismo [...]”.*

En cuanto a la influencia política y social en la construcción de la ciencia, un único grupo incluyó entre sus argumentos iniciales alguna alusión a la interpretación errónea de la teoría de Pouchet sobre la generación espontánea (Heterogénesis), que se asoció al darwinismo y sirvió de apoyo a ideas revolucionarias contra el poder institucional. Si bien, tras los debates y discusiones intergrupales, terminaron siendo tres de los cinco grupos los que se refirieron a ello con respuestas como la siguiente:

«La burguesía, que era la clase dominante, pretendía que su situación nunca cambiase, así que no le podía gustar la idea de la evolución de Darwin que implicaba cambios. Por eso, el darwinismo era considerado más revolucionario, y como el darwinismo se asoció al ateísmo y a la generación espontánea, influyó en contra de Pouchet en la controversia, que no fue bien visto por la clase dominante».

También en el contexto de esta misma controversia, y con respecto a la comunicación científica, tres grupos ya hacían alusión en sus respuestas iniciales a las habilidades retóricas de Pasteur. Tras la puesta en común, los cinco grupos terminaron haciendo alguna referencia a ello con respuestas como la siguiente: “[...] *Pasteur [...] tenía grandes dotes de orador, lo que le favoreció bastante*”.

En cuanto al uso de la prensa para dar a conocer ideas científicas, los grupos no hicieron referencia alguna a ello en sus respuestas iniciales. Solo tras las discusiones y debates en clase con los demás grupos, se logró que todos grupos se refirieran a ello en sus respuestas finales. Así lo indicaba uno de ellos: “[...] *Pouchet en cambio, en lugar de dar conferencias, utilizó la prensa para dar a conocer sus ideas [...]*”.

De la misma manera, no se encontraron alusiones al descriptor de la rúbrica “El acceso que tuvo Pouchet para dar a conocer sus ideas en la prensa”, en las respuestas iniciales de los grupos. Sin embargo, tras exponer y discutir sobre ello en clase, los cinco grupos lo refirieron en sus argumentos finales. Por ejemplo: “[...] *Pouchet [...] tenía buenas relaciones con los periodistas [...]*”.

Conclusiones

Del meta-análisis realizado a partir de los resultados de los tres estudios empíricos previos, relativos a la comprensión del alumnado de Educación Secundaria sobre aspectos sociológicos de la NDC, se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- 1) La lectura inicial, en pequeño grupo, de los casos de HDC seleccionados favoreció que el alumnado hiciera alusiones en sus primeras respuestas al 68% de total de descriptores relativos a la dimensión sociológica de la NDC, que fueron establecidos en las tres rúbricas de evaluación (véase la tabla 4). Si bien, la cantidad de estas alusiones iniciales varió de un estudio a otro. Así, en los estudios referidos a los casos de Rosalind Franklin y la estructura del ADN, y de la Generación espontánea, las alusiones se situaron en torno a las tres cuartas partes del total de sus descriptores correspondientes; mientras que, en el estudio sobre el caso de Semmelweis y la fiebre puerperal, esas referencias iniciales a los descriptores de su rúbrica no alcanzaron las dos terceras partes.
- 2) Tras las puestas en común en clase, donde los grupos compartieron y discutieron sus argumentos ante las cuestiones de NDC tratadas, las referencias a los descriptores de la dimensión sociológica aumentaron hasta el 95% del total de estos. Destaca, además, que tanto en el estudio relativo al caso de Semmelweis y la fiebre puerperal, como en el de Rosalind Franklin y la estructura de ADN, todos los descriptores indicados en las rúbricas de evaluación correspondientes fueron señalados en el conjunto de las respuestas finales de los grupos. Esto pone de relieve el papel positivo que tuvo la segunda fase de discusión y debate en gran grupo, dirigidos por la profesora en el aula. Asimismo, se consiguió que el alumnado lograra incrementar notablemente sus argumentos a la hora de razonar y comprender algunos aspectos sociológicos que influyeron o condicionaron el desarrollo de la ciencia, en los contextos de HDC analizados.

En síntesis, el presente trabajo revela la eficacia de las actividades de análisis crítico-reflexivo de los tres casos de HDC implementados para aprender sobre la dimensión sociológica de la NDC en Educación Secundaria (ESO y Bachillerato). En consecuencia, consideramos que son necesarios más estudios empíricos en el aula, que presten atención a la comprensión de tales aspectos, en una proporción similar a la de los aspectos epistémicos, a fin de adquirir una comprensión más holística de la NDC.

Referencias bibliográficas

- 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, & C. J. McRobbie (eds.), *Second International Handbook of Science Education* (pp. 1041-1060). Dordrecht: Springer.
- Acevedo, J. A. (2006). Relevancia de los factores no-epistémicos en la percepción pública de los asuntos tecnocientíficos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(3), 369-390.
- Acevedo, J. A. y García-Carmona, A. (2016). «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. (2017). *Controversias en la historia de la ciencia y cultura científica*. Madrid: Los Libros de la Catarata.
- Acevedo, J. A., García-Carmona, A. y Aragón, M. M. (2015). *Semmelweis y la fiebre puerperal – Texto de Historia de la Ciencia para Educación Secundaria Obligatoria*. Documento de trabajo. Recuperado de ResearchGate. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4404.0087>
- Acevedo, J. A., García-Carmona, A. y Aragón, M. M. (2016). *Rosalind Franklin y la doble hélice del ADN - Texto de Historia de la Ciencia para Educación Secundaria (17-18 años de edad)*. Recuperado de Research Gate. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.36750.97603>
- Acevedo-Díaz, J. A., García-Carmona, A. y Aragón-Méndez, M. M. (2017a). *Enseñar y aprender sobre naturaleza de la ciencia mediante el análisis de controversias de historia de la ciencia. Resultados y conclusiones de un proyecto de investigación didáctica*. Madrid: OEI.
- Acevedo, J. A., García-Carmona, A. y Aragón, M. M. (2017b). *La controversia entre Pasteur y Pouchet sobre la generación espontánea – Texto de Historia de la Ciencia para Educación Secundaria (17-18 años de edad)*. Recuperado de Research Gate. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.13633.56162>
- Allchin, D. (2004). Should the sociology of science be rated X? *Science Education*, 88(6), 934-946.
- Allchin, D. (2011). Evaluating Knowledge of the Nature of (Whole) Science. *Science Education*, 95(3), 518-542.
- Clough M. P. (2011). 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. (2018). Teaching and Learning About the Nature of Science. *Science & Education*, 27(1-2), 1-5.

- 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.
- Hodson, D. y Wong, S. L. (2017). Going Beyond the Consensus View: Broadening and Enriching the Scope of NOS-Oriented Curricula. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 3-17.
- 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.
- Lederman, N. G. (2007). Nature of science: past, present, and future. En S. K. Abell y N. G. Lederman (eds.), *Handbook of Research on Science Education* (pp. 831-879). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- 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.
- Ruiz-Corbella, M. y López Gómez, E. (2017). El Meta-análisis como metodología de investigación en educación. *Aula Magna 2.0*. Recuperado de: <https://cuedespyd.hypotheses.org/3064>
- Seale, C. (1999). *The quality of qualitative research. Introducing qualitative methods series*. London: Sage.
- Wallace, J. (2017). Teaching NOS in an age of plurality. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 17(1), 1-2.