



Indagación reflexiva e historia de la ciencia para construir una visión adecuada sobre la naturaleza de la ciencia en formación inicial de profesorado

- Reflective Inquiry and History of Science to Build and Adequate View of Nature of Science in Initial Teacher Education
- Indagação reflexiva e histórica da ciência para construir uma visão adequada da natureza da ciência na formação inicial de professores

Resumen

La formación de ciudadanos alfabetizados científicamente implica una enseñanza eficaz sobre cómo funciona el complejo entramado de la comunidad científica y sus diversas relaciones con nuestro sistema social. En consecuencia, la mejora de la calidad de la educación científica requiere reforzar la formación del profesorado desde sus etapas más iniciales. En este artículo de investigación se muestran los cambios observados en la visión sobre aspectos claves de la Naturaleza de la Ciencia (NdC) del profesorado en formación inicial de Educación Primaria, tras la aplicación de una propuesta didáctica basada en la historia de la ciencia, que integra la indagación a través de diferentes escenarios de aprendizaje, en un marco explícito y reflexivo. El progreso en las concepciones de los participantes se muestra a través del tamaño del efecto. Los resultados muestran una evolución positiva tanto en aspectos relacionados con la dimensión epistemológica como sociológica de la NdC en el grupo experimental respecto al grupo control, ofreciendo evidencias sobre el interés de la propuesta didáctica para la mejora de la formación inicial de profesorado en este ámbito.

Palabras clave

Formación inicial de profesorado; naturaleza de la ciencia; historia de la ciencia; indagación; epistemología de la ciencia; sociología de la ciencia

Cristina Cobo Huesa*
Marta Romero Ariza**
Ana María Abril Gallego***

* Departamento de Didáctica de las Ciencias. Campus Las Lagunillas s/n. Universidad de Jaén. España.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-8850-7636>.
Correo: cchuesa@ujaen.es

** Departamento de Didáctica de las Ciencias. Campus Las Lagunillas s/n. Universidad de Jaén. España.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-2930-4089>.
Correo: mromero@ujaen.es

*** Departamento de Didáctica de las Ciencias. Campus Las Lagunillas s/n. Universidad de Jaén. España.
Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9160-711X>.
Correo: amabril@ujaen.es



Abstract

The education of scientific literate citizens requires an effective teaching on the complex scientific endeavor and its implication on society. Consequently, the improvement of the quality of scientific education from this perspective should be addressed from initial teacher education. This research article presents and discusses the changes observed in undergraduate Primary School teachers' views about key aspects of the Nature of Science (NOS), after the application of a didactic proposal based on the history of science, which integrates inquiry processes into different learning scenarios, using an explicit and reflective approach. Progress in the conceptions of the participants is shown through the effect size statistic. Results shows a positive evolution in aspects related to the epistemological and sociological dimensions of the NOS in the participants when compared to the control group, which provide evidence of the utility of the intervention to improve initial teacher education in this area.

Keywords

Initial teacher training; nature of science; history of science; inquiry; epistemology of science; sociology of science

Resumo

A formação de cidadãos cientificamente alfabetizados implica um ensino eficaz de como funciona a complexa rede da comunidade científica e suas diversas relações com nosso sistema social. Consequentemente, melhorar a qualidade da educação científica requer o fortalecimento da formação de professores desde os estágios iniciais. Este artigo de pesquisa mostra as mudanças observadas na visão sobre os principais aspectos da natureza da ciência (NdC) dos professores no ensino fundamental inicial, após a aplicação de uma proposta didática baseada na história da ciência, que integra a pesquisa através de diferentes cenários de aprendizagem, em uma estrutura explícita e reflexiva. O progresso nas concepções dos participantes é mostrado através do tamanho do efeito. Os resultados mostram uma evolução positiva tanto nos aspectos relacionados à dimensão epistemológica quanto sociológica do NdC no grupo experimental em relação ao grupo controle, oferecendo evidências sobre o interesse da proposta didática para o aprimoramento da formação inicial de professores nessa área.

Palavras chave

Formação inicial de professores; natureza da ciência; história da ciência; pesquisa; epistemologia da ciência; sociologia da ciência

Introducción

La comprensión de la naturaleza de la empresa científica y sus relaciones bidireccionales con nuestra sociedad resulta esencial para formar una ciudadanía capaz de participar democráticamente en asuntos socio-científicos. En el último informe de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) 2019 se indica que los individuos científicamente alfabetizados deben comprender las principales ideas científicas y las bases del pensamiento científico y tecnológico, resaltando cómo se ha generado ese conocimiento y el grado en que dicho conocimiento se justifica por evidencias o explicaciones teóricas.

En la literatura de los últimos años, esta demanda social se refleja en un incremento de las metodologías, estrategias y los recursos educativos enfocados a alcanzar una visión adecuada sobre cómo funciona la ciencia, interacciona con la sociedad y establece conocimiento científico de confianza, aspectos englobados bajo el constructo de Naturaleza de la Ciencia (NdC) (Acevedo-Díaz, García-Carmona y Aragón-Méndez, 2017; Ariza, Abril y Quesada, 2015; Schwartz, Lederman y Crawford, 2004; Vázquez-Alonso, Aponte, Manassero-Mas y Montesano, 2016; Williams y Rudge, 2019; Yacoubian y Bou-Jaoude, 2010). Sin embargo, son muchos los esfuerzos que deben llevarse a cabo para mejorar las competencias del profesorado en promover una construcción efectiva de este conocimiento en su alumnado, siendo necesario prestar especial atención al diseño de secuencias de enseñanza-aprendizaje (SEAS) significativas que promuevan la comprensión de la NdC.

Por ello, con el fin de contribuir a una educación científica de calidad, resulta esencial centrar nuestros esfuerzos en mejorar la formación inicial del profesorado, fomentando en él actitudes adecuadas hacia la ciencia a través de metodologías que despierten su motivación y muestren el potencial de la NdC en la enseñanza de las ciencias. En este trabajo, se presenta la eficacia de una propuesta

metodológica contextualizada en la historia de la ciencia, que integra la indagación y la reflexión en torno a una controversia científica, explícitamente diseñada para mejorar la visión del profesorado en formación inicial sobre aspectos clave de la NdC.

Marco teórico

La NdC se define como un meta-conocimiento sobre la ciencia, derivado de las reflexiones interdisciplinares realizadas desde la filosofía, la historia y la sociología de la ciencia, que engloba un conocimiento acerca de la naturaleza del conocimiento y los procesos científicos (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016). Debido al carácter dinámico y complejo de la empresa científica, al constructo de NdC se le han atribuido diferentes conceptualizaciones (Kampourakis, 2016). No obstante, la literatura evidencia la existencia de un consenso internacional a favor del empleo de este constructo para abordar una serie de rasgos generales, característicos y aplicables a las distintas disciplinas científicas, e introducir el funcionamiento de la ciencia y sus características de manera efectiva a estudiantes y profesores de educación preuniversitaria (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016; Akerson, Abd-El-Khalick y Lederman, 2000; Kampourakis, 2016; Manasero, Vázquez y Acevedo, 2001). Estos rasgos se agrupan en dos grandes dimensiones, una epistemológica, relacionada con las características del conocimiento científico y su proceso de construcción, y otra sociológica, que reúne factores sociales internos y externos a la comunidad científica que influyen en la construcción, validación y difusión del conocimiento científico (Manasero et al., 2001).

La inclusión de la NdC en el currículo no solo se justifica desde su importancia para emitir juicios fundamentados sobre hechos científico-sociales que acontecen en nuestro entorno, sino también por fomentar actitudes afectivas hacia la cultura científica, promover el aprendizaje de ideas científicas (Driver, Leach, Millar y Scott, 1996) y el desarrollo de habilidades del pensamiento crítico (McDonald y McRobbie, 2012). No obstante, a pesar de

las múltiples contribuciones de la enseñanza de la NdC a la mejora de la educación científica, el profesorado presenta una serie de obstáculos que impiden su incorporación eficaz en el aula (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016; García-Carmona, Vázquez y Manassero, 2011).

Una de estas dificultades se pone de manifiesto al conocer las concepciones sobre la NdC del profesorado, tanto en ejercicio como en formación, apoyadas en una visión estática, absoluta y profundamente objetiva de la ciencia, basada en hechos y aislada del contexto (cultural, social, político, religioso, etc.) en que se desarrolla (Ariza et al., 2015; García-Carmona et al., 2011). Otro de los obstáculos que dificulta su enseñanza reside en que muchos profesores de ciencias la consideran irrelevante para la vida real (Acevedo-Díaz y García-Carmona, 2016), lo que manifiesta la necesidad de una formación de docentes que contextualice la enseñanza de la NdC en escenarios capaces de mostrar su verdadero carácter práctico, cultural, social y democrático (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2019).

Entre los recursos más efectivos para el aprendizaje de la NdC, encontramos la historia de la ciencia dado su potencial para ilustrar el funcionamiento de la comunidad científica, las interacciones Ciencia-Tecnología-Sociedad y promover el diálogo reflexivo a través del análisis de controversias científicas (Acevedo-Díaz et al., 2017, Clough, 2011). En el empleo de la historia de la ciencia, McComas (2011) sugiere adoptar un enfoque motivador, lo que remarca la importancia de crear auténticos contextos de aprendizaje. En este sentido, el aprendizaje por indagación se presenta como una metodología idónea para presentar aspectos sobre la generación y validación del conocimiento científico a través de prácticas y contextos basados en la historia de la ciencia, siempre procurando espacios para el análisis explícito y reflexivo (Abd-El-Khalick, 2013; Yacoubian y Boujaoude, 2010).

Además, más allá del empleo de la historia de la ciencia como un medio para mostrar la construcción y naturaleza del conocimiento y la práctica científica, también se presenta como un fin en sí misma (McComas, 2011) que contribuye al bagaje didáctico del futuro profesorado.

Metodología de la investigación

Muestra y contexto educativo

La metodología empleada se enmarca en un diseño cuasi-experimental pre-test-post-test con grupo control. La muestra consiste en un grupo de estudiantes universitarios, cuya edad media es de 22 años, que se están formando como futuros maestros de Educación Primaria (6-11 años). En España, la formación de docentes de Educación Primaria se recibe cursando el Grado Universitario en Educación Primaria que consta de cuatro cursos académicos. En el caso particular de nuestro estudio, la formación científica del profesorado en formación inicial se circunscribe a dos asignaturas que se imparten en el tercer y cuarto curso (Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza I y II, respectivamente). El currículo de estas asignaturas contempla conocer tendencias actuales en la enseñanza-aprendizaje las Ciencias de la Naturaleza, como la historia de la ciencia y el aprendizaje por indagación, así como el dominio y la aplicación de los elementos curriculares de

Educación Primaria, entre los cuáles encontramos aspectos sobre la NdC (Fernandes, Pires y Delgado-Iglesias, 2018).

El grupo experimental está formado por 57 estudiantes (33 mujeres, 24 hombres) de tercer curso del Grado en Educación Primaria de la Universidad de Jaén. El grupo control está formado por 30 estudiantes (18 mujeres y 12 hombres). Ambos grupos (experimental y control) son grupos naturales de aula, semejantes entre sí, matriculados en la asignatura Didáctica de las Ciencias de la Naturaleza I, distribuidos de forma aleatoria en diferentes grupos según el orden de matriculación en la asignatura. Las docentes encargadas de impartir la asignatura en cada grupo eran diferentes, siendo dos autoras del presente trabajo, las encargadas del grupo experimental. La SEA fue implementada únicamente en el grupo experimental, dentro del contexto de las prácticas de la asignatura, mientras que, en el grupo control no se llevó a cabo ninguna instrucción explícita sobre NdC a través de las metodologías empleadas en el grupo experimental. La evaluación inicial (pre-test) se aplicó en ambos grupos un mes y medio antes de la implementación de la SEA en el grupo experimental y, la evaluación final (post-test), un mes y medio después de la misma.

Intervención didáctica

La intervención didáctica implementada en el grupo experimental consistió en una SEA contextualizada en la controversia científica de la generación espontánea, titulada "Investigando sobre el origen de los seres vivos" (Cobo-Huesa, Abril y Ariza, 2019). La propuesta de aplicación de esta SEA consiste en aportar una visión global sobre la naturaleza de los procesos implicados en la construcción del conocimiento (epistemología de la ciencia) y sobre los factores internos y externos a la comunidad científica que influyen en dicha construcción (sociología interna y externa de la ciencia, respectivamente). Para tal fin, la SEA conjuga la metodología basada en el aprendizaje por indagación guiada y la historia de la ciencia como recurso didáctico, implicando cognitiva y emocionalmente al alumnado en el análisis crítico del origen de los seres vivos. La SEA fue implementada a lo largo de 6 horas presenciales (tres sesiones de dos horas cada una) y, en su desarrollo, pueden diferenciarse cuatro fases, descritas en la Tabla 1, y detalladas en más profundidad en Cobo-Huesa et al. (2019).

Tabla 1. Fases de la SEA empleada como intervención didáctica en el grupo experimental.

Fases	Propósito didáctico	Actividades	Metodología
Generar conflicto cognitivo	Evidenciar ideas previas sobre el origen de los seres vivos y la NdC.	Lectura de un pequeño texto y reflexión a través de preguntas enfocadas a cuestionar la postura de Aristóteles a favor de la generación espontánea: ¿Por qué creéis que Aristóteles dio esa explicación? ¿Podríais formular otra hipótesis diferente a la suya? ¿Creéis que Aristóteles actuó acorde al proceder científico? ¿Por qué se consideró como válida su explicación?	Lluvia de ideas. Trabajo en pequeños grupos y puesta en común en gran grupo.



Fases	Propósito didáctico	Actividades	Metodología
Reconstruir la historia de la ciencia	Promover la participación activa en la reconstrucción de la historia de la ciencia.	Diseño y desarrollo de un experimento para refutar la teoría de la generación espontánea, respondiendo a la siguiente pregunta de investigación: <i>¿Qué experimento diseñarías para demostrar que el moho de la naranja no aparece por generación espontánea?</i>	Aprendizaje por indagación guiada en el laboratorio. Trabajo en pequeños grupos.
	Explicitar los rasgos sobre NdC trabajados a lo largo de la tarea de investigación.	Reflexión a través de cuestiones sobre la naturaleza de los procesos científicos llevados a cabo por el alumnado en su investigación (véase ejemplo en Cobo-Huesa et al., 2019).	Análisis explícito y reflexivo. Trabajo en pequeños grupos y puesta en común en gran grupo.
Descubrir la historia de la ciencia	Concienciar sobre los diversos factores (personales, sociales, históricos) que influyen en la construcción del conocimiento científico.	Reflexión sobre las declaraciones y los experimentos realizados por algunas de las personalidades más relevantes implicadas en la controversia de la generación espontánea (véase ejemplo en Cobo-Huesa et al., 2019).	Aprendizaje por indagación guiada a través del análisis crítico de la historia de la ciencia. Trabajo en pequeños grupos.
Consolidar	Reforzar la asimilación de los contenidos y hacer reflexionar sobre el empleo didáctico de la historia de la ciencia.	Reflexión sobre una serie de cuestiones. A continuación, se presentan algunas de ellas: <i>¿Por qué crees que persistió durante tanto tiempo esta controversia? De acuerdo a lo que habéis trabajado estos días, ¿qué utilidad pensáis que tiene emplear la historia de la ciencia en la enseñanza de las ciencias?</i>	Análisis explícito y reflexivo. Trabajo individual.

Fuente: Elaboración propia

Instrumento de evaluación

El instrumento empleado para valorar la eficacia de la intervención en mejorar la visión de la NdC fue el Cuestionario de Opiniones sobre Ciencia, Tecnología y Sociedad (COCTS) (Manassero et al., 2001). Se trata de la versión española adaptada del *Views on Science, Technology and Society* (VOSTS) (Aikenhead y Ryan, 1992) y del *Teacher's Belief about Science-Technology-Society* (TBA-STs) (Rubba y Harkness, 1993), ambos desarrollados empíricamente a partir de entrevistas, encuestas y preguntas abiertas a estudiantes y docentes. El instrumento completo consta de un banco de 100 ítems; cada uno de ellos presenta una pequeña introducción que plantea el tema sobre la NdC a reflexionar, seguido de un número variante de frases que proponen diferentes posturas ante el tema planteado. Los encuestados valoran su grado de acuerdo con cada una de las frases a través de un formulario de respuesta múltiple con escala de tipo Likert 1-9. Estas frases han sido agrupadas en tres categorías (adecuada, plausible e ingenua) por un

panel de jueces expertos, de acuerdo a su adecuación a la visión más apropiada sobre la NdC desde los conocimientos aportados por la historia, la filosofía y la sociología de la ciencia. A los encuestados también se les ofrece la posibilidad de no valorar las frases, indicando: "No se lo suficiente sobre el tema" o "No entiendo la cuestión" (Manassero et al., 2001).

Para este estudio, se seleccionaron 10 ítems del COCTS, cuatro de ellos relacionados con la dimensión epistemológica de la ciencia, y seis de ellos, con la dimensión sociológica.

En la Tabla 2 se muestran dichos ítems, indicando la dimensión a la que pertenecen y el tema de NdC que abordan. Las puntuaciones directas de los encuestados (escala del 1 al 9) se transformaron en unos índices normalizados (escala del -1 al 1) e invariantes, a través de una métrica cuantitativa. El promedio de los índices de cada frase da lugar al índice del ítem. De este modo, cuanto más positivo y cercano al valor máximo (+1) es un índice, la opinión se considera más adecuada, mientras que cuanto más negativo y cercano al valor mínimo (-1) es un índice, la opinión representa una visión ingenua sobre dicho tema (Manassero et al., 2001).

Tabla 2. Ítems del COCTS usados en el pre-test y post-test para evaluar la eficacia de la SEA

Dimensión	Tema	Subtema: breve descripción	Ítem
Epistemología	Definición	Ciencia: el proceso general de hacer ciencia implica la observación, la formulación y comprobación de hipótesis.	10113
	Naturaleza del conocimiento científico	Observaciones: los científicos interpretan sus observaciones en base a sus creencias, experiencias y conocimiento previo.	90111
		Provisionalidad: aunque el conocimiento científico (hechos, teorías y leyes) es de confianza y perdurable, nunca es absoluto, pues siempre está sujeto a cambio.	90411
		Aproximación a las investigaciones-errores en ciencia: los errores son intrínsecos a la práctica científica y, en ocasiones, conducen a nuevos descubrimientos o avances.	90651
Sociología externa	Influencia de la Sociedad sobre la Ciencia/Tecnología	Influencia general: en la construcción del conocimiento científico influye el contexto histórico-social en que se desarrolla.	20821



Dimensión	Tema	Subtema: breve descripción	Item
Sociología interna	Características de los científicos	Motivaciones: la razón principal para hacer ciencia depende de las circunstancias personales de cada científico.	60111
		Valores y estándares: a los científicos se les asocian rasgos personales como la imaginación, creatividad, mentalidad abierta e imparcialidad.	60211
	Construcción social del conocimiento científico	Decisiones científicas-desacuerdos en ciencia: los desacuerdos en ciencia pueden deberse a razones científicas (ej. ausencia de hechos), morales y personales (ej. beneficio personal).	70211
		Decisiones científicas-aceptación de teorías científicas: en la toma de decisiones para aceptar nuevas teorías influyen la estructura lógica y coherente de la teoría, así como los propios sentimientos y motivaciones personales de los científicos implicados.	70221
		Competencia profesional: los científicos compiten por ayudas económicas que financien sus investigaciones, dando lugar a conflictos de intereses.	70411

Fuente: Elaboración propia

La eficacia de la intervención se evaluó a través del estadístico tamaño del efecto (TE). Este estadístico, basado en la cuantificación de la magnitud de la diferencia entre dos puntuaciones en unidades de desviación estándar, representa una potente herramienta para interpretar la magnitud de la efectividad de las intervenciones y su empleo es ampliamente recomendado en estudios de investigación pre-test–post-test con grupo control (Morris, 2008).

En el presente estudio, se llevó a cabo el cálculo del TE desde dos perspectivas con el fin de valorar la eficacia de la intervención en mayor profundidad. Por un lado, para valorar individualmente la magnitud del progreso experimentado dentro de cada grupo (control y experimental), para cada uno, se realizó la medida de las diferencias de puntuación obtenidas en el pre-test y post-test, dividida entre la desviación estándar ponderada de ambos (figura 1):

$$TE_{\text{intragrupal}} = \frac{M_{\text{post}} - M_{\text{pre}}}{SD_p}$$

Figura 1. Fórmula empleada para el cálculo del TE en los grupos experimental y control.

Fuente: elaboración propia modificada de Morris (2008). M_{pre} =Media pre-test; M_{post} =Media post-test; SD_p =Desviación estándar ponderada de las puntuaciones obtenidas en el pre-test y en el post-test.

Fuente: Elaboración propia

Por otro lado, se determinó la magnitud neta del efecto de la intervención considerando el progreso observado en ambos grupos, eliminando así posibles variables externas a la propia aplicación de la SEA que pudieran influir en el proceso de evaluación. Para ello, se aplicó la fórmula mostrada en la figura 2, realizando la medida de las diferencias entre el progreso experimentado por el grupo experimental y el grupo control, dividida entre la desviación estándar ponderada del pre-test y post-test de ambos grupos.

$$TE_{\text{neto}} = \frac{(M_{\text{post}, E} - M_{\text{pre}, E}) - (M_{\text{post}, C} - M_{\text{pre}, C})}{SD_{p, E+C}}$$

Figura 2. Fórmula empleada para el cálculo del TE neto de la intervención. Fuente: elaboración propia modificada de Morris (2008).

$M_{\text{pre}, E}$ =Media pre-test del grupo experimental;
 $M_{\text{post}, E}$ =Media post-test del grupo experimental;
 $M_{\text{pre}, C}$ =Media pre-test del grupo control;
 $M_{\text{post}, C}$ =Media post-test del grupo control;
 $SD_{p, E+C}$ =Desviación estándar ponderada de las puntuaciones obtenidas en el pre-test y post-test en los grupos experimental y control.

Fuente: Elaboración propia

En la interpretación del TE, valores mayores a cero indican un progreso positivo en el aprendizaje. Para valorar el grado de relevancia del TE se ha tomado como referencia un valor absoluto de 0.30 (Vázquez-Alonso et al., 2016), de manera que, cuando es igual o mayor a dicho valor, el efecto de la intervención se considera relevante. No obstante, por debajo de dicho valor, también pueden obtenerse diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.01$).

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para los grupos experimental y control, y el análisis de la eficacia de la intervención.

En la tabla 3, se indican los índices promedio obtenidos por el grupo experimental y control en cada uno de los ítems evaluados, antes (pre-test) y después (post-test) de la intervención. En líneas generales, la visión del grupo experimental mejora en tres ítems (10113_Definición ciencia, 90411_Provisionalidad, 90651_Errores en ciencia) de los cuatro bajo estudio de la dimensión epistemológica y en los seis ítems evaluados de la dimensión sociológica. Esto se traduce en un aumento de los índices promedio para cada dimensión. Respecto al grupo control, no se observa mejora en la visión de los ítems epistemológicos y, por tanto, disminuye el índice promedio final para esta dimensión, pero sí en tres ítems (20821_Sociedad y Ciencia/Tecnología, 60111_Motivaciones, 70221_Aceptación teorías científicas) de la dimensión sociológica, lo que se traduce en un aumento de su índice promedio final, aunque en menor medida que en el grupo experimental, pues hay que tener en cuenta que los índices de partida de ambos grupos difieren. Con el fin de valorar la relevancia de estos resultados y, con ello, la eficacia de la intervención, se recurrió al cálculo de los TE intragrupal y neto, tanto para los ítems como para las frases constituyentes de cada uno de ellos.

Tabla 3. Índices promedio del grupo experimental y control en el pre-test y post-test

Dimensión	Experimental		Control	
	Media (SD)	Media (SD)	Media (SD)	Media (SD)
	Pre-test (N=57)	Post-test (N=57)	Pre-test (N=30)	Post-test (N=30)
Epistemología	0.145 (0.152)	0.188 (0.153)	0.131 (0.171)	0.122 (0.133)
10113_Definición ciencia	0.116 (0.208)	0.149 (0.203)	0.134 (0.217)	0.127 (0.205)
90111_Observaciones	0.207 (0.304)	0.198 (0.311)	0.153 (0.315)	0.143 (0.220)
90411_Provisionalidad	0.110 (0.243)	0.129 (0.247)	0.127 (0.207)	0.107 (0.211)
90651_Errores en ciencia	0.147 (0.312)	0.274 (0.221)	0.109 (0.261)	0.110 (0.304)
Sociología	0.062 (0.144)	0.112 (0.126)	0.096 (0.109)	0.124 (0.092)
20821_Sociedad y Ciencia/Tecnología	0.184 (0.238)	0.244 (0.197)	0.156 (0.194)	0.268 (0.216)
60111_Motivaciones	-0.124 (0.215)	-0.013 (0.223)	-0.047 (0.182)	0.041 (0.204)
60211_Valores y estándares	0.136 (0.247)	0.154 (0.173)	0.159 (0.251)	0.124 (0.199)
70211_Desacuerdos en ciencia	0.071 (0.267)	0.121 (0.244)	0.076 (0.214)	0.057 (0.161)
70221_Aceptación teorías científicas	0.043 (0.254)	0.087 (0.247)	0.079 (0.249)	0.117 (0.202)
70411_Competencia profesional	0.062 (0.319)	0.078 (0.229)	0.152 (0.224)	0.143 (0.161)

Fuente: Elaboración propia

Las figuras 3 y 4 muestran los TE intragrupo y, por tanto, representan cómo las visiones sobre determinados aspectos de NdC han evolucionado desde el pre-test al post-test dentro de un mismo grupo. En la Figura 3 los resultados se presentan por ítem, mientras que en la Figura 4 se incluyen todas las frases asociadas a cada ítem. En ambas figuras se agrupan los resultados por dimensiones: a (epistemológica) y b (sociológica).

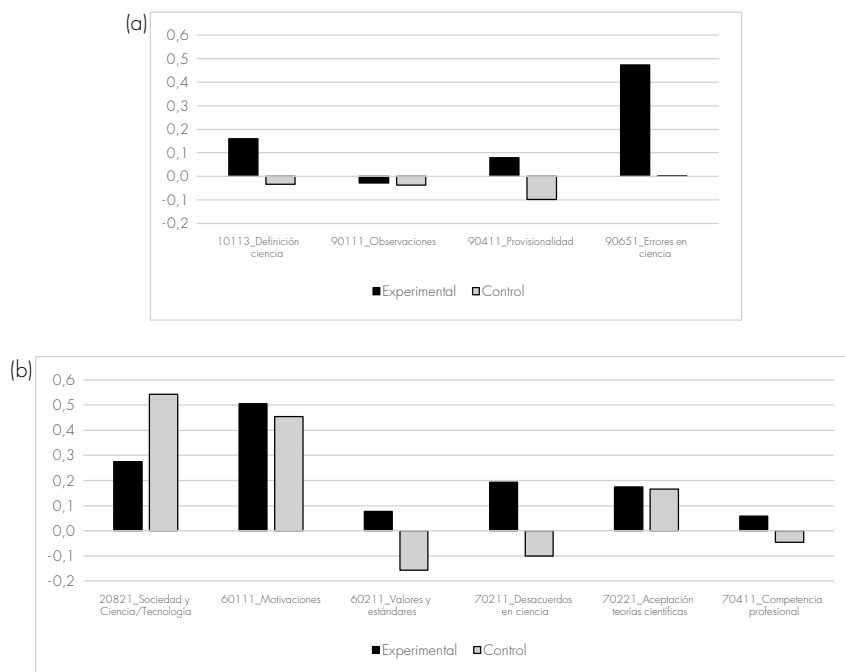


Figura 3. TE intragrupal entre el pre-test y post-test del grupo experimental y grupo control para cada ítem. 3a) TE intragrupal para los ítems sobre la dimensión epistemológica. 3b) TE intragrupal para los ítems sobre la dimensión sociológica.

Fuente: Elaboración propia

Como se había observado en la figura 2, en los ítems relacionados con la epistemología de la ciencia (figura 3a), el efecto de la intervención en el grupo experimental es positivo y superior al del grupo control en tres ítems, destacando el ítem 90651_Errores en ciencia. En cuanto a la dimensión sociológica (Figura 3b), el perfil de índices de TE para el grupo experimental presenta un TE positivo en los seis ítems y alcanza una puntuación mayor a 0.3 en uno de ellos (60111_Motivaciones). Por su parte, el grupo control experimenta en dos ítems (60111_Motivaciones y 70221_Aceptación teorías científicas) un progreso similar al del grupo experimental (aunque inferior a él), un progreso superior a éste en uno de ellos (20821_Sociedad y Ciencia/Tecnología), mientras que en el resto no hay evolución.

Para profundizar en el análisis de los ítems evaluados, se procedió al análisis de las frases constituyentes de cada uno, de igual forma que en el caso anterior (Figura 4). Las frases aparecen representadas en el siguiente formato: Código del ítem y letra identificativa de la frase_Categoría de la frase (A: Adecuada; P: Plausible; I: Ingenua) Tema del ítem.

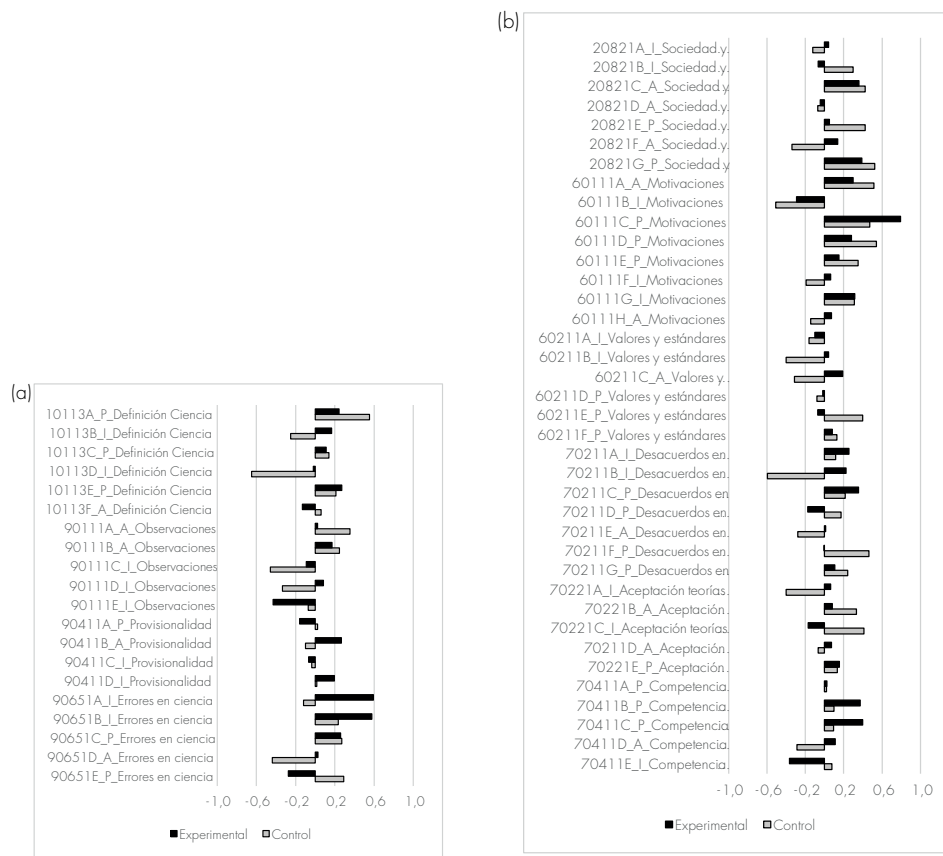


Figura 4. TE intragrupal entre el pre-test y post-test del grupo experimental y grupo control para cada frase. 4a) TE intragrupal para las frases sobre la dimensión epistemológica. 4b) TE intragrupal para las frases sobre la dimensión sociológica.

Fuente: Elaboración propia

En este caso, se observa que, en el grupo experimental, de las 20 frases correspondientes a la dimensión epistemológica de la ciencia (figura 4a), 13 de ellas (65%) presentan un índice de TE positivo, siendo en dos de ellas superior a 0.30. Por su parte, el grupo control presenta en 11 frases (55%) un TE positivo, y también en dos de ellas, es relevante (TE ≥ 0.30). En el otro extremo, resaltan los índices de TE negativos del grupo control, con un TE inferior a -0.30 en cuatro de ellas, a diferencia del grupo experimental, con solo una frase por debajo de dicho valor. Para las frases relacionadas con la sociología de la ciencia (Figura 4b), el grupo experimental exhibe en 28 de las 38 frases (74%) un TE positivo, siendo relevante en ocho de ellas. El grupo control, presenta un progreso en 23 frases (61%), 13 de ellas con TE relevante. Por último, de nuevo destaca el número de frases con TE negativos del grupo control, seis de ellas con un valor inferior a -0.30, a diferencia del grupo experimental que solo presenta dos.

Estos resultados sugieren que el grupo experimental presenta una evolución general de aprendizaje hacia visiones más informadas sobre la NdC. No obstante, los perfiles obtenidos por el grupo control dificultan la extracción de conclusiones. Por ello, con el fin de observar la magnitud de la intervención, se calculó el TE neto teniendo en cuenta la evolución de ambos grupos.

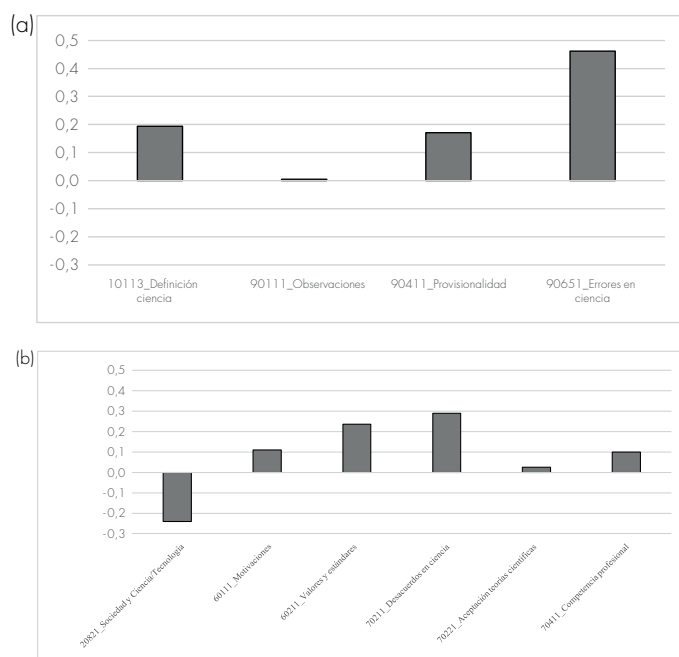


Figura 5. TE neto entre el progreso del grupo experimental y el grupo control para cada ítem. 5a) TE neto para los ítems sobre la dimensión epistemológica. 5b) TE neto para los ítems sobre la dimensión sociológica.

Fuente: Elaboración propia

Respecto al TE neto de la intervención para cada ítem (Figura 5), en la dimensión epistemológica (Figura 5a), se observa un TE positivo de la intervención en tres ítems, de nuevo, destacando el ítem 90651_Errores en ciencia. En cuanto a la dimensión sociológica (figura 5b), el perfil de los índices del TE se caracteriza por presentar una evolución favorable general, salvo en el ítem 20821_Sociedad y Ciencia/Tecnología. Si recordamos los índices de TE intragrupal (Figura 3), el grupo control muestra un progreso superior al del grupo experimental en el ítem 20821, lo que se traduce en un TE neto negativo. Este razonamiento se

aplica a la evolución del resto de ítems de la Figura 5 y de las frases de la figura 6. Esta metodología de cálculo del TE basada en la diferencia de ganancias entre el grupo control y el experimental nos permite centrarnos en los efectos derivados de la aplicación de la SEA, eliminando la influencia de otras variables en la evolución de las visiones de los participantes sobre determinados aspectos de NdC.

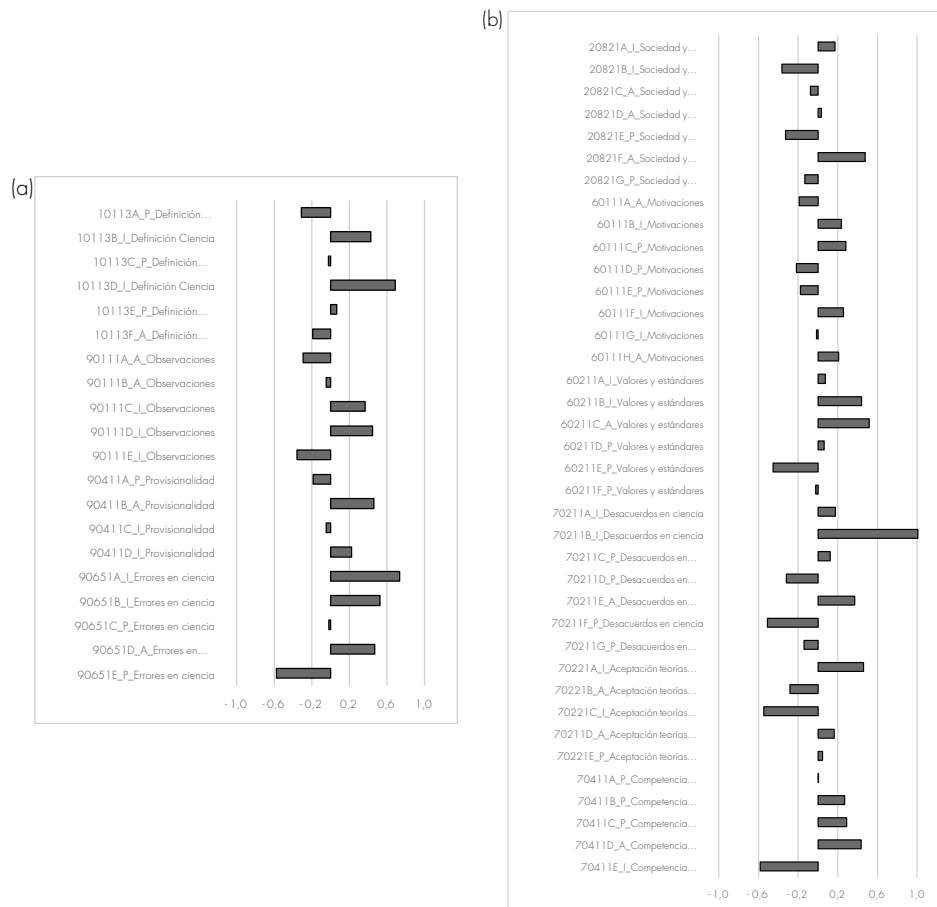


Figura 6. TE neto entre el progreso del grupo experimental y el progreso del grupo control para cada frase. 6a) TE neto para las frases sobre la dimensión epistemológica. 6b) TE neto para las frases sobre la dimensión sociológica.

Fuente: Elaboración propia

De igual modo, en la figura 6, se muestra el TE neto de la intervención para las frases que componen cada ítem. En este caso, si se atiende a la Figura 6a, en 10 de las 20 frases relacionadas con la dimensión epistemológica de la ciencia (50 %) se observa un TE positivo de la intervención, siendo en ocho de ellas superior a 0.30. Esta evaluación cuantitativa puede combinarse con un análisis cualitativo, identificando las ideas tratadas en las frases en las que se ha obtenido un TE relevante tras la implementación de la SEA:

- 10113B_I_Definición Ciencia. El proceso de hacer ciencia se describe mejor como el método científico (TE =0.43).
- 10113D_I_Definición Ciencia. El proceso de hacer ciencia se describe mejor como el uso de la tecnología para descubrir los secretos de la naturaleza (TE =0.69).
- 90111C_I_Observaciones. Las observaciones científicas no diferirán mucho, aunque los científicos crean en teorías diferentes [...] (TE =0.37).

- 90111D_L_Observaciones. Las observaciones son tan exactas como sea posible. Así es como la ciencia ha sido capaz de avanzar ($TE = 0.45$).
- 90411B_A_Provisionalidad. El conocimiento científico cambia porque el conocimiento viejo es reinterpretado a la luz de los nuevos descubrimientos [...] ($TE = 0.46$).
- 90651A_L_Errores en ciencia. [...] Si los científicos no corrigen inmediatamente los errores en sus resultados, la ciencia no avanza ($TE = 0.74$).
- 90651B_L_Errores en ciencia. Los errores retrasan el avance de la ciencia. Las nuevas tecnologías [...] reducen los errores [...] y así la ciencia avanzará más de prisa ($TE = 0.53$).
- 90651D_A_Errores en ciencia. Algunos errores pueden retrasar el avance de la ciencia, pero otros pueden conducir a nuevos descubrimientos o avances. [...] ($TE = 0.47$).

Seis de estas frases pertenecen a los ítems relacionados con la naturaleza del proceder científico (10113), la provisionalidad del conocimiento científico (90411) y el papel de los errores en la ciencia (90651), para los cuales el TE neto es positivo (Figura 5a). Las dos frases restantes pertenecen al ítem que trata la naturaleza de las observaciones científicas (90111), lo cual refleja un progreso en determinadas ideas relacionadas con dicho tema, a pesar de que el TE neto de la intervención para este ítem es prácticamente nulo. Por último, cabe destacar que seis de las frases están categorizadas dentro de una visión ingenua de la ciencia.

Estos resultados muestran una mejora en la visión del profesorado en formación inicial sobre el proceso de hacer ciencia, al desmitificar la existencia de un único método científico universal (10113B) y su asociación con la simple aplicación instrumental de la tecnología (10113D), sobre la aceptación de que los hechos científicos están sujetos a cambios

y a nuevas interpretaciones (90411B) y sobre la consideración de que los errores son intrínsecos al proceder científico (90651A y 90651B) y que, por ello, no deben considerarse como meros obstáculos, sino también como oportunidades para el aprendizaje y la mejora del trabajo científico (90651D). Igualmente, el futuro profesorado muestra una evolución positiva hacia la comprensión de la subjetividad de las observaciones en función del bagaje vivencial de los científicos (90111C, 90111D), a pesar de observarse un progreso neto prácticamente nulo en la visión sobre dicho ítem (Figura 5a).

En cuanto a la dimensión sociológica de la ciencia (figura 6b), 22 de las 38 frases (58%) presentan una evolución positiva de aprendizaje, siendo relevante en siete de ellas:

- 20821F_A_Sociedad y Ciencia/Tecnología. La sociedad influye sobre la ciencia a través de las subvenciones económicas [...] ($TE = 0.48$).
- 60211B_L_Valores y estándares. Los mejores científicos tienen tales características (mentalidad abierta, imparcialidad y objetividad), porque [...] mejor ciencia se hará ($TE = 0.44$).
- 60211C_A_Valores y estándares. Estas características (mentalidad abierta, imparcialidad y objetividad) no son suficientes. Los mejores científicos necesitan también [...] imaginación, inteligencia y honradez ($TE = 0.52$).
- 70211B_L_Desacuerdos en ciencia. [...] La opinión científica se basa completamente en el conocimiento de los hechos por los científicos ($TE = 1$).
- 70211E_A_Desacuerdos en ciencia. Los desacuerdos entre científicos pueden suceder por [...]: ausencia de hechos, desinformación, diferentes teorías, opiniones personales, valores morales, reconocimiento público y presiones de las empresas o los gobiernos ($TE = 0.37$).

- 70221A_I_Aceptaciones teorías científicas. Las decisiones de los científicos se basan exclusivamente en los hechos, en caso contrario la teoría [...] podría ser inexacta, inútil o, incluso, perjudicial ($TE = 0.46$).
- 70411D_A_Competicencias profesionales. La ciencia no es diferente de otras profesiones. Algunos científicos olvidarán los ideales de la ciencia [...], pero otros no lo harán ($TE = 0.44$).

Como puede observarse, por una parte, seis de las frases identificadas corresponden a ítems en los que se observa un TE neto de la intervención positivo (figura 5b), perteneciendo dos de ellas al ítem 60211 y, otras dos, al ítem 70211, para los cuales los TE netos fueron los más destacados. Por otra parte, otra de las frases identificadas pertenece al ítem 20821, con un TE neto de la intervención negativo (figura 5b). Por último, tres de las frases identificadas están categorizadas como ingenuas y cuatro, como adecuadas.

En este caso, el profesorado en formación inicial muestra una evolución hacia una visión más adecuada sobre la importancia de la creatividad y la imaginación para hacer ciencia (60211B, 60211C), sobre la influencia de los intereses personales y valores morales en los desacuerdos científicos (70211B, 70211E), dotando una dimensión humana a la práctica científica, y, por último, sobre el componente competencial de la profesión científica (70411D). Igualmente, este análisis ha permitido identificar un progreso en ideas de determinados temas representados en ítems para los que el TE neto de la intervención es negativo (20821) y muy cercano a cero (70221). Estas ideas están relacionadas con la aceptación de la influencia de la sociedad en la ciencia a través de subvenciones económicas (20821F) y de la influencia de aspectos diferentes a los hechos acontecidos para aceptar una nueva teoría científica (70221A), respectivamente. La idea reflejada en esta última frase puede relacionarse con el progreso observado en las frases 70211B y 70211E, donde se expresa el papel de los intereses personales y valores morales de los científicos en sus acuerdos.

Conclusiones

Este estudio tiene como objetivo valorar la eficacia de una propuesta didáctica diseñada para mejorar la visión sobre la NdC del profesorado en formación inicial. Esta propuesta se apoya en el uso de la historia de la ciencia sobre la teoría de la generación espontánea y presenta al alumnado universitario diversas oportunidades para la indagación y la reflexión explícita sobre aspectos claves de la NdC. Su eficacia ha sido evaluada a través del estadístico TE desde dos perspectivas de modo que, por un lado, se disponga de una visión detallada de lo que ocurre en cada uno de los grupos de estudio (experimental y control) antes y después de trabajar contenidos relacionados con la NdC, y por otro, se obtenga un único TE neto debido a la SEA que nos ocupa, eliminando la influencia de otros factores.

El estudio de la magnitud del efecto de la intervención en la visión sobre la NdC en cada grupo revela una evolución de aprendizaje positiva para el grupo experimental en nueve de los diez ítems evaluados, mientras que para el grupo control, solo en tres de ellos. Esto se refleja en el análisis de las frases constituyentes de cada ítem, donde el grupo control exhibe un mayor número de frases con

un TE negativo. Del estudio neto de la magnitud del efecto de la intervención, se observan unos resultados que refuerzan la eficacia de la SEA para promover una evolución hacia una visión más informada de la NdC, destacando aquellos ítems sobre la naturaleza del proceso de hacer ciencia, la provisionalidad del conocimiento científico y el papel de los errores en la ciencia; en el caso de la epistemología de la ciencia; y las motivaciones, los valores y estándares de los científicos, los desacuerdos en ciencia y la competencia profesional, en el caso de la sociología de la ciencia.

La robustez del COCTS también ha permitido llevar a cabo una evaluación cualitativa y formativa de la eficacia de la intervención, identificando qué ideas tratadas en las frases que componen dichos ítems han contribuido a mejorar la visión del tema sobre NdC abordado en cada uno. Este análisis ha puesto de manifiesto el potencial del instrumento de evaluación empleado, al permitir identificar un progreso en ideas concretas expresadas en las frases de un determinado ítem, aunque el progreso neto para este no sea favorable.

Estos resultados sugieren que la SEA promueve una visión adecuada sobre las dos grandes dimensiones de la ciencia, presentándose como una propuesta prometedora para atender a la comprensión de la NdC de manera holística, lo cual refuerza las pocas intervenciones enfocadas a mejorar ambas dimensiones de manera equitativa (Akerson et al., 2000; Kartal et al., 2018; Schwartz et al., 2004; Williams y Rudge, 2019). Además, la propuesta presentada apoya el potencial del empleo de una instrucción profunda, continua, contextualizada en diversos escenarios de aprendizaje auténticos y respaldada en un extensivo apoyo de retroalimentación y diálogo, para promover una visión adecuada sobre la ciencia (Abd-El-Khalick, 2013; Clough, 2018; Carrillo, Morales, Pezoa y Camacho, 2011; Schwartz et al., 2004; Yacoubian y Boujaoude, 2010).

Los resultados mostrados evidencian la dificultad de promover una evolución informada sobre la NdC en todos los temas evaluados

(Vázquez-Alonso et al., 2016; Williams y Rudge, 2019). Si tenemos en cuenta los índices promedio obtenidos por el grupo experimental en el post-test, en algunos ítems en los que se experimenta una evolución positiva (p. ej. 60111), la visión sigue siendo inadecuada, con un índice promedio muy cercano a 0. No obstante, a pesar del reducido tiempo de la intervención, la magnitud del efecto observado es bastante positivo, y destacable por promover la mejora de aspectos clave sobre ambas dimensiones de la NdC. Por último, resulta interesante resaltar que nueve de las frases identificadas como puntos fuertes de la enseñanza de la SEA, corresponden a frases categorizadas como ingenuas, lo cual indica la dificultad de mejorar una visión que ya es parcialmente adecuada (Ariza et al., 2015).

En resumen, este trabajo muestra la eficacia de la intervención para conseguir mejoras significativas en la comprensión de distintos aspectos relacionados con la epistemología y la sociología de la ciencia, requisitos clave para conseguir una adecuada alfabetización científica. Los resultados descritos son de especial interés para la comunidad en Didáctica de las Ciencias, que ha reivindicado repetidamente la necesidad de intervenciones basadas en la investigación que preparen al profesorado para promover una visión adecuada de la NdC. Además, el análisis detallado de los datos ha permitido identificar algunos aspectos que son más resistentes al cambio o incluso son susceptibles de sufrir una evolución negativa, apuntando a futuras líneas de actuación, resaltando el carácter revelador del presente trabajo para mejorar nuestra comprensión sobre los obstáculos y retos específicos a los que nos enfrentamos y orientar el diseño de futuras intervenciones.

Agradecimientos

Proyecto de investigación "Educación de las Competencias Científica, Tecnológica y Pensamiento Crítico Mediante la Enseñanza de Temas de Naturaleza de Ciencia y Tecnología" (EDU2015-64642-R) (MINECO/FEDER), finan-

ciado por el Ministerio de Economía y Competitividad de España y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional.

Ayuda predoctoral para la Formación de Personal Investigador, con cargo a la acción 4 del Plan de Apoyo a la Investigación de la Universidad de Jaén 2017-2019 (R5/04/2017).

Referencias

- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching with and About Nature of Science, and Science Teacher Knowledge Domains. *Science & Education*, 22(9), 2087-2107.
- Acevedo-Díaz, 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., García-Carmona, A. y Aragón-Méndez, M. M. (2017). 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. Organización de Estados Iberoamericanos para la Educación, la Ciencia y la Cultura.
- Aikenhead, G. S. y Ryan, A. G. (1992). The development of a new instrument: "Views on science-technology-society" (VOSTS). *Science Education*, 76(5), 477-491.
- Akerson, V. L., Abd-El-Khalick, F. y Lederman, N. G. (2000). Influence of a Reflective Explicit Activity-Based Approach on Elementary Teachers' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(4), 295-317.
- Ariza, M. R., Abril, A. M. y Quesada, A. (2015). ¿Qué ocurre cuando los maestros/as en formación investigan dragones? Evaluación de una secuencia de enseñanza para facilitar la comprensión de la naturaleza de la ciencia. *INTE-RACÇÕES*, 34, 67-90.
- Carrillo, L., Morales, C., Pezoa, V. y Camacho, J. (2011). La historia de la Ciencia en la enseñanza de la Célula. *Tecné Epistemé y Didáxis: TED*, 29, 112-127.
- Clough, M. P. (2011). The Story Behind the Science: Bringing Science and Scientists to Life in Post-Secondary Science Education. *Science & Education*, 20, 701-717.
- Clough, M. P. (2018). Teaching and Learning About the Nature of Science. *Science & Education*, 27, 1-5.
- Cobo-Huesa, C., Abril, A. M. y Ariza, M. R. (2019). Propuesta didáctica en la formación de profesorado para trabajar naturaleza de la ciencia y pensamiento crítico. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 3(1), 15-28.
- Driver, R., Leach, J., Millar, R. y Scott, P. (1996). *Young People's Images of Science*. Open University Press.
- Fernandes I. M. B., Pires D. M., Delgado-Iglesias J. (2018) ¿Qué mejoras se han alcanzado respecto a la Educación Científica desde el enfoque Ciencia-Tecnología-Sociedad-Ambiente en el nuevo Currículo Oficial de la LOMCE de 5º y 6º curso de Primaria en España? *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 15(1), 1101.

- García-Carmona, A., Vázquez, A. y Manassero, M. A. (2011). Estado actual y perspectivas de la enseñanza de la naturaleza de la ciencia: una revisión de las creencias y obstáculos del profesorado. *Enseñanza de las Ciencias*, 29(3), 403-412.
- 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.
- Kartal, E. E., Cobern, W. W., Dogan, N., Irez, S., Cakmakci, G. y Yalaki, Y. (2018). Improving science teachers’ nature of science views through an innovative continuing professional development program. *International Journal of STEM education*, 5(30).
- Manassero, M. A., Vázquez, A. y Acevedo, J. A. (2001). *Avaluació dels temes de ciència, tecnologia i societat*. Conselleria d’Educació i Cultura del Govern de les Illes Balears.
- McComas, W. F. (2011). The history of science and the future of science education. En P.V. Kokkotas, K.S. Malamitsa y A.A. Rizaki (Eds.), *Adapting historical knowledge production to the classroom* (pp. 37-53). Rotterdam, Países Bajos: SensePublishers.
- McDonald, C. V. y McRobbie, C. J. (2012). Utilising argumentation to teach nature of science. En B. J. Fraser, K. Tobin y C. J. McRobbie (Eds.), *Second International Handbook of Science Education*, vol. II (pp. 969-986). Dordrecht, Países Bajos: Springer.
- Morris, S. B. (2008). Estimating Effects Sizes From Pretest-Posttest-Control Group Designs. *Organizational Research Methods*, 11(2), 364-386.
- OCDE. (2019). *PISA 2018 Assessment and Analytical Framework*. PISA, OECD Publishing.
- Rubba, P. A. y Harkness, W. L. (1993). Examination of preservice and in-service secondary science teachers’ beliefs about Science-Technology-Society interactions. *Science Education*, 77(4), 407-431.
- Schwartz, R. S., Lederman, N. G. y Crawford, B. A. (2004). Developing Views of Nature of Science in an Authentic Context: An Explicit Approach to Bridging the Gap Between Nature of Science and Scientific Inquiry. *Science Teacher Education*, 88(4), 610-645.
- Vázquez-Alonso, A., Aponte, A., Manassero-Mas, M. A. y Montesano, M. (2016). A teaching-learning sequence on a socio-scientific issue: analysis and evaluation of its implementation in the classroom. *International Journal of Science Education*, 38(11), 1727-1746.
- Vázquez-Alonso, A. y Manassero-Mas, M. A. (2019). La educación de ciencias en contexto: Aportaciones a la formación del profesorado. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, 46, 15-37. <https://doi.org/10.17227/ted.num46-10538>
- Williams, C. T. y Rudge, D. W. (2019). Effects of Historical Story Telling on Student Understanding of Nature of Science. *Science & Education*. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00073-x>
- Yacoubian, H. A. y BouJaoude, S. (2010). The effect of reflective discussions following inquiry-based laboratory activities on students’ views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(10), 1229-1252.

Para citar este artículo

Cobo, C. Romero, M. y Abril, A (2020). Indagación reflexiva e historia de la ciencia para construir una visión adecuada sobre la naturaleza de la ciencia en formación inicial de profesorado. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, (48), 13-31. <https://doi.org/10.17227/ted.num48-10934>