



Naturaleza de la ciencia para la enseñanza de la relatividad general: una revisión sistemática

Edwar Alfonso Castañeda Zapata

Universidad de Antioquia, Colombia

Mail: Edwar.castaneda@udea.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3463-1500>

Jaime Alberto Osorio Vélez

Universidad de Antioquia, Colombia

Mail: Jaime.osorio@udea.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6770-3550>

Sonia Yaneth López Ríos

Universidad de Antioquia, Colombia

Mail: Sonia.lopez@udea.edu.co

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2551-8255>

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar la incorporación de aspectos de la naturaleza de la ciencia en la educación básica y media, en particular, para la enseñanza de la relatividad general. Se aplica el protocolo PRISMA en una revisión sistemática de artículos científicos entre los años 2018 y 2022, proporcionados por bases de datos como Web of Science, Scopus y Dialnet. Se eligieron artículos en español, inglés y portugués que dieran cuenta de propuestas de intervención en las que se abordaran aspectos de la naturaleza de la ciencia para la formación de estudiantes de la educación básica y media. Se analizaron 41 estudios en los que se incluyen reflexiones en torno a los aspectos epistemológicos y sociológicos de la ciencia; con relación a la enseñanza de la relatividad general se privilegia el uso de noticias científicas para incluir elementos de la naturaleza de la ciencia. La investigación permite concluir que hay un interés por introducir aspectos epistémicos y no epistémicos en la enseñanza de las ciencias en estos niveles educativos, y de manera concreta, para la enseñanza de la relatividad general se incluyen cuestiones empíricas, tentativas, de género y de cooperación científica.

Palabras clave: enseñanza de las ciencias, naturaleza de la ciencia, relatividad general, revisión sistemática

Nature of science for teaching general relativity: a systematic review

ABSTRACT

This paper aims to analyze the incorporation of aspects of the nature of science in primary and secondary education, specifically for the teaching of general relativity. The PRISMA protocol is applied in a systematic review of scientific articles between 2018 and 2022, provided by databases such as Web of Science, Scopus and Dialnet. Articles in Spanish, English and Portuguese were chosen to account for pedagogical interventions addressing aspects of the nature of science for training students in primary and secondary education. Forty-one studies were analyzed, including reflections of science' epistemological and sociological characteristics. Regarding the teaching of general relativity, we found that using scientific news is privileged to include elements of the nature of science. The research allows us to conclude that there is an interest in introducing epistemic and non-epistemic aspects in the teaching of science at these educational levels, and specifically, teaching about general relativity empirical, tentative, gender and cooperation issues are included.

Keywords: general relativity, nature of science, science teaching, systematic review



1. Introducción

La alfabetización científica se constituye en un pilar fundamental de la educación en ciencias (García-Carmona, 2021; McComas y Clough, 2020), ya que permite que el estudiante, no solo comprenda conceptos, teorías y modelos asociados al conocimiento científico y tecnológico, sino también, adquiera habilidades para que piense, reflexione, comunique y tome decisiones responsables en cuestiones de ciencia y tecnología (Marín, 2021).

Para Hodson (2008), la alfabetización científica tiene dos componentes principales: la comprensión “de” la ciencia y la comprensión “acerca” de la ciencia. Este último componente está formado por contenidos procedentes de la filosofía, historia, sociología de la ciencia y tecnología, psicología, política, entre otras; esto es lo que se denomina en la literatura como la naturaleza de la ciencia (NdC) (Lederman y Lederman, 2019; Manassero y Vázquez, 2019).

Acevedo y García-Carmona (2016) manifiestan que en las últimas décadas se ha venido imponiendo un enfoque de la NdC, caracterizada por una lista de aspectos que facilitarían su alfabetización. Un representante de dicho enfoque de dominio general (DG) o “visión consenso” es Lederman (2007), quien presenta una lista de aspectos de la NdC que contribuyen a su reflexión en el contexto de la educación científica, los cuales resaltan que la ciencia es tentativa, empírica, subjetiva, basada en la imaginación y la creatividad, integrada social y culturalmente; además, incluye elementos como la diferencia entre teoría y ley, y la diferencia entre observación e inferencia.

Frente a la “visión consenso” de la NdC que aparece en la literatura, algunos autores afirman que dicho consenso ha sido criticado por reducir excesivamente su significado a cuestiones exclusivamente epistemológicas (Cobo *et al.*, 2019) y no tiene en cuenta las variaciones entre las diferentes disciplinas científicas (Irzik y Nola, 2014). Como respuesta a esta forma de concebir la NdC, los críticos defienden la idea de una visión más holística e inclusiva de NdC, donde se resalten, entre otros, la necesidad de incluir aspectos esenciales relativos a la sociología de la ciencia (Acevedo y García-Carmona, 2016).

De las críticas al enfoque DG, surgen otras propuestas, como las cuestiones metateóricas clásicas para la NdC de Adúriz-Bravo (2005), el enfoque de aproximación familiar (FRA, por sus siglas en inglés) de Irzik y Nola (2011), Reconceptualización del Enfoque Familiar (RFR, por sus siglas en inglés) de Erduran y Dagher (2014), quienes explican la ciencia como un sistema cognitivo, epistémico y socio-institucional. También se encuentra la conceptualización de naturaleza de la ciencia y tecnología llamada modelos 4 mundos de Manassero y Vázquez (2019) quienes incluyen dos dimensiones de la sociología de la ciencia: sociología interna (se aborda entre otras cosas la construcción social del conocimiento científico); y sociología externa (trata las relaciones entre ciencia, tecnología y sociedad). Estas propuestas se enmarcan en el llamado enfoque de dominio específico (DE) que tratan de resolver diferentes críticas del enfoque DG.

En este proceso de alfabetización científica, el aprendizaje de la ciencia contemporánea toma un papel importante; tanto la física cuántica como la teoría de la relatividad son la base de la física moderna y ha proporcionado los fundamentos teóricos para los desarrollos tecnológicos actuales (Choudhary *et al.*, 2020). La teoría de la relatividad fue formulada por el físico alemán Albert Einstein en 1905, en su célebre publicación titulada: Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento. En dicha teoría, Einstein muestra que las mediciones del espacio y del tiempo se ven afectadas por el movimiento; es decir, que no son propiedades absolutas, dependen del movimiento relativo (Einstein, 1905). Más adelante, en 1915 Einstein publica una serie de artículos dando

origen a la llamada relatividad general (RG), la cual habla de sistemas de referencia generales y concluye que el resultado de la curvatura del espacio-tiempo, provocada por los grandes cuerpos, es la gravedad (Einstein, 1916).

Actualmente, ya son muchas las evidencias empíricas que respaldan esta teoría, por ejemplo, en el año 2017 los físicos Rainer Weiss, Barry C. Barish y Kip Thorne, recibieron el premio Nobel de Física por sus decisivas contribuciones al Observatorio de ondas Gravitatorias por Interferometría Láser (LIGO, por sus siglas en inglés) y a la observación de las ondas gravitacionales, predichas por Einstein en 1916. Igualmente, en el año 2020, los astrónomos Roger Penrose, Reinhard Genzel y Andrea Ghez, ganaron el premio Nobel de Física por demostrar la existencia de los agujeros negros según la teoría de la relatividad y por el descubrimiento de un objeto supermasivo en el centro de la Vía Láctea.

A pesar de que esta teoría cuenta con más de cien años de existencia y con resultados comprobados, no suele formar parte del currículo de física en la educación secundaria (Dua *et al.*, 2020; Kaur *et al.*, 2017). Además, son pocas las investigaciones que existen sobre su enseñanza en este nivel (Kersting *et al.*, 2018), pero es necesario hacerlo; más aún cuando un análisis curricular da cuenta de que sigue vigente la concepción de espacios y tiempos absolutos y la gravedad como una fuerza de acción instantánea; incluso cuando los medios de comunicación hablan de los nuevos descubrimientos con sustentos en la teoría de la relatividad (Foppoli *et al.*, 2019).

Así mismo, varios autores han argumentado las ventajas pedagógicas y conceptuales que puede traer la inclusión de la RG en la educación secundaria. Por ejemplo, Hansson *et al.* (2019) señalan que la inclusión de la ciencia contemporánea se podría justificar de varias maneras, entre ellas, aumentar el interés de los estudiantes, proporcionar información sobre las investigaciones actuales; y como un marco para la enseñanza de las perspectivas de la NdC.

En este último aspecto, la RG cobra un papel importante en la escuela, ya que permite reflexionar sobre el funcionamiento de la ciencia. Al respecto, Park *et al.* (2019) añaden que la RG desde sus orígenes hasta el presente, ofrece posibilidades de enseñar cómo funciona la física como práctica científica y esfuerzo humano.

Esto quiere decir que la inclusión de la NdC en la enseñanza de la RG permitiría valorar la importancia de las reflexiones epistemológicas en el aprendizaje del conocimiento científico, motivando al estudiante a comprender cómo se construyen las teorías y su naturaleza cambiante. Este comportamiento tentativo de la ciencia se puede evidenciar, por ejemplo, cuando en la actualidad, se concibe el tiempo como algo relativo e inseparable del espacio o cuando se entiende la gravedad como una consecuencia de la deformación del espacio-tiempo, en vez de una fuerza, como lo explica Newton.

Por lo tanto, en este interés de alfabetizar científicamente a los estudiantes de educación básica y media sobre conceptos de la RG, motivado por los nuevos descubrimientos astrofísicos, como la detección de las ondas gravitacionales y la obtención de imágenes de agujeros negros, resulta necesario abordar aspectos asociados a la NdC. Para comprender qué y cómo se pueden incluir en la enseñanza de la ciencia contemporánea, este artículo se focaliza en investigaciones que han abordado la NdC en estos niveles educativos.

Teniendo presente lo anterior, el objetivo de este trabajo es realizar una revisión sistemática de literatura y analizar la incorporación de la NdC en la educación básica y media, concretamente, para la enseñanza de la RG, teniendo en cuenta que el potencial de esta teoría para enseñar diversos aspectos de la práctica científica ha sido poco explorado (Park *et al.*, 2019); dando lugar a las siguientes preguntas:

1. ¿Qué aspectos de la NdC se han incluido en las investigaciones en didáctica de las ciencias para su enseñanza en la educación básica y media?

2. ¿Qué aspectos de la NdC se han incorporado para la enseñanza de la RG en la educación básica y media?

2. Método

2.1. Estrategia de búsqueda

Se realizó una revisión sistemática sobre investigaciones en enseñanza que incluyen la NdC en la educación básica y media, y en especial para la enseñanza de la RG. Con este fin, se aplicaron los criterios propuestos en el protocolo Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) (Page *et al.*, 2021). Se realiza una búsqueda por palabra clave, resumen, título o tópico en Web of Science (Topic), Scopus (Title-Abs-Key) y Dialnet (contiene las palabras) por ser de acceso institucional y de confiabilidad en la calidad académica de sus artículos. Los descriptores que se utilizaron fueron los siguientes: “nature of science”, “general relativity”, “nature of science AND general relativity”, y “teaching AND relativity” (también las correspondientes palabras en español y portugués fueron usadas en la búsqueda). La última búsqueda se realizó entre el 10 de abril y el 30 de abril de 2023.

2.2. Criterios de inclusión y exclusión

Los criterios de inclusión y exclusión para determinar los estudios objeto de la revisión se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1.
Criterios de inclusión y exclusión para la revisión sistemática.
Elaboración propia.

Criterios	Inclusión	Exclusión
Idioma	Español, inglés y portugués	Otras lenguas como mandarín o alemán
Año de publicación	Últimos cinco años (2018, 2022, ambos incluidos)	Trabajos publicados antes de 2018 y después de 2022
Tipología	Artículos de investigación	Tesis, capítulos de libros y actas de congreso.
Población	Estudiantes de básica o media	Profesores y estudiantes universitarios
Contenido	Estudios con propuestas de enseñanza que incluyan la NdC	Publicaciones que no incluyan la NdC para su enseñanza
Disponibilidad del texto	Estudios con texto completo	Textos solo con resúmenes

Posteriormente, se procede a identificar los estudios a partir de cada uno de los descriptores propuestos. Los resultados de esta primera fase se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2.

Resultados obtenidos en cada base de datos. Elaboración propia.

Base de datos	Descriptores	Total artículos	Total artículos después de aplicar filtros
Dialnet plus	Nature of science	7775	221
	Nature of science AND general relativity	106	71
	General relativity	36694	875
	Teaching AND relativity	9.422	1539
Web of Science	Nature of science	1248737	1312
	Nature of science AND general relativity	996	4
	General relativity	21319	56
	Teaching AND relativity	219	32
Scopus	Nature of science	130417	253
	General relativity	27490	104
	Nature of science AND general relativity	203	1
	Teaching AND relativity	411	36

Después de aplicar los filtros de búsqueda, se eliminaron los duplicados utilizando Mendeley para los artículos pertenecientes a Scopus y Web of Science, quedando un total de 4314.

En la segunda fase, se leyeron los títulos y resúmenes que respondieran las preguntas de la investigación. Se excluyeron 4247 porque no eran trabajos orientados a la enseñanza de la NdC en la educación básica y media o no había propuestas de intervención. Por lo tanto, los estudios recuperados son 67.

Se hizo la búsqueda de cada artículo y se recuperó la totalidad. De esta manera, se obtuvieron 67 artículos para lectura a texto completo. Después de leer cada texto, se excluyeron algunas investigaciones por los siguientes motivos: estaban dirigidos a estudiantes universitarios o maestros en formación; no precisaron los aspectos de la NdC que se iban a incluir en las propuestas de enseñanza o no eran claros en su tratamiento; y las reflexiones sobre la NdC tenían un fin diferente a la enseñanza, como analizar la relación entre NdC y el pensamiento crítico o la argumentación. De esta manera, se seleccionaron 40 publicaciones para la revisión.

2.3. Búsqueda manual

Después de elegir los 40 artículos para el análisis, se hizo una búsqueda manual en Google Scholar, con el objetivo de identificar estudios que incluyeran la NdC en la enseñanza de conceptos de la RG. Se encontró el trabajo de García-Carmona (2020), quien utiliza

la noticia de la primera fotografía de un agujero negro del año 2019 para reflexionar sobre aspectos de la NdC. De esta manera, el número total de estudios para la revisión aumentó a 41.

En la Figura 1 se observa el proceso realizado para la selección de artículos, siguiendo el protocolo PRISMA (Page *et al.*, 2021).

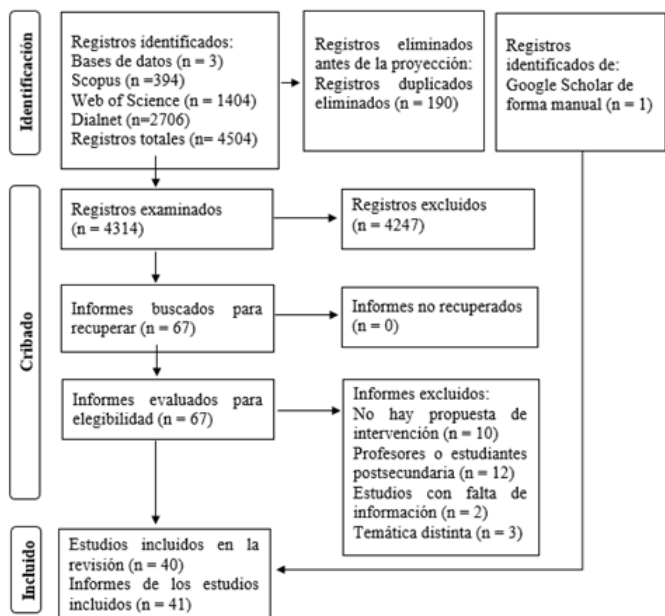


Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de artículos. Adaptado de PRISMA 2020

3. Resultados

Con el propósito de sistematizar la información de las publicaciones seleccionadas, se usa el software Microsoft Excel para recopilar y analizar los datos de cada estudio. Para esto, se definieron como variables de análisis las siguientes: autor, fecha, población, contenidos abordados, aspectos de la NdC que se incluyeron para su enseñanza y el respectivo enfoque.

En la Tabla 3 se presenta el total de publicaciones encontradas y los países donde se llevaron a cabo dichas investigaciones.

Tabla 3. Artículos por país. Elaboración propia.

País	Número de artículos
Estados Unidos	9
Turquía	4
España	4
Reino Unido	3
Chile	3
Chipre	2
Líbano	2
Israel	2
Brasil	1
China	1
Alemania	1

País	Número de artículos
Canadá	1
Argentina	1
Irlanda	1
Colombia	1
Taiwán	1
Tailandia	1
Países Bajos	1
Suecia	1
Indonesia	1
Total	41

En relación con el año de publicación de los artículos, se encuentra que un 4,8 % fueron publicados en el año 2022; un 26,8%, en el 2021; el 21,9%, en el año 2020; un 26,8%, en el 2019; y el 19,5%, en el 2018.

En la Tabla 4 se muestran las variables definidas que permiten realizar una caracterización particular de los estudios. Allí se logran identificar los aspectos de la NdC que los autores incluyeron en sus propuestas de enseñanza, para enseñar conceptos de biología, ciencias naturales, física o química. De estos estudios, se observa que 11 estuvieron dirigidos a estudiantes de primaria y 30 para nivel de secundaria o media.

Tabla 4. Publicaciones incluidas en las revisiones y las variables de análisis. Elaboración propia.

Autores	Población (Nivel educativo)	Contenidos abordados	Enfoque NdC	Aspectos de NdC
Chen <i>et al.</i> (2022)	Secundaria	Viñetas históricas	DG	Empírico, diversidad de métodos, tecnología y ciencia, controversias, ciencia y cultura, creatividad.
Herman <i>et al.</i> (2022)	Primaria	Impacto humano en el río Missouri	DE	Observación, tentatividad, aspectos socioeconómicos, éticos y debates en la ciencia, creatividad e imaginación, diversidad de métodos
García-Carmona (2021)	Secundaria	COVID-19	DE	Tentatividad, el error, debates y ética en la ciencia
Khishfe (2021)	Media	Autotrófica y el sistema nervioso, calentamiento global	DG	Subjetivo, tentatividad y empírico
Feucht <i>et al.</i> (2021)	Media	Calentamiento global	DG	Tentatividad

Autores	Población (Nivel educativo)	Contenidos abordados	Enfoque NdC	Aspectos de NdC	Autores	Población (Nivel educativo)	Contenidos abordados	Enfoque NdC	Aspectos de NdC
Rivera y Oliveira (2021)	Primaria	Electricidad	DG	Creatividad e imaginación, tentatividad, inferencia, aspecto sociocultural de la ciencia, empírico y la teoría	Shi (2021)	Secundaria	El átomo, la neblina, mecánica cuántica, cambios en la escritura	DG	Aspecto sociocultural de la ciencia, inferencial, empírico, creativo; tentativo, teorías y ley
Yacoubian (2021)	Media	Biología celular y molecular, genética, evolución y la diversidad de los seres vivos	DG	Empírico, tentatividad y subjetividad	Hansson <i>et al.</i> (2020)	Preescolar	No precisa	DG	Características y límites del conocimiento científico, elementos humanos de la ciencia; y procesos y herramientas científicas
Gandolfi (2021)	Secundaria	Medicinas, magnetismo, evolución y recursos de la Tierra	DE	Aspectos socioculturales, éticos y políticos de la ciencia, trabajo colaborativo; empírico, ciencia y tecnología, observación, tentatividad, creatividad, controversias, relación entre evidencia, explicación y teoría.	Welsh <i>et al.</i> (2020)	Secundaria	Insectos	DG	Diversidad de métodos, empírico, modelos científicos, leyes y teorías
Safkolam <i>et al.</i> (2021)	Secundaria	Historia de los científicos islámicos	DG	Tentatividad, empírico, métodos científicos, aspecto sociocultural de la ciencia, observación e inferencia, imaginación y creatividad	Akbayrak y Kaya (2020)	Primaria	La tierra, el sol y la luna	DE	Aspecto social de la ciencia
Murphy <i>et al.</i> (2021)	Primaria	Seres vivos, energía, fuerzas, Materiales, medio ambiente	DG	Empírico, tentatividad, observación e inferencia, creativa e imaginativa, aspecto sociocultural, subjetivo, métodos científicos	Ortega y Moura (2020)	Secundaria	Óptica geométrica	DG	Tentatividad, teorías, aspecto sociocultural y político de la ciencia, imaginación, creencias personales
Caymaz y Aydin (2021)	Secundaria	Energía eléctrica	DG	Empírico, tentatividad, observación e inferencia, creativa e imaginativa, aspecto sociocultural, subjetivo	Kaynak <i>et al.</i> (2020)	Primaria	Electricidad	DG	Tentatividad, empírico, creatividad, teorías y leyes, observación e inferencia, contexto sociocultural, subjetividad
Hadjilouca <i>et al.</i> (2021)	Secundaria	Propiedades electromagnéticas de los materiales	---	Ciencia y tecnología	Stadermann y Goedhart (2020)	Secundaria	Física cuántica	---	Controversias, subjetividad, creatividad, Tentatividad, modelos científicos
					Cuellar y Marzábal (2020)	Secundaria	Biografía de autores	DE	Tentatividad, mediación en la teoría, impacto sociocultural en la ciencia
					García-Carmona (2020)	Secundaria	Agujeros negros	DE	Observación e inferencia, teorías, empírico, cooperación científica
					Brunner y Abd -El-Khalick (2020)	Primaria	Gravedad, galaxias, mapas del cielo	DG	Creatividad, empírico e inferencia

Autores	Población (Nivel educativo)	Contenidos abordados	Enfoque NdC	Aspectos de NdC	Autores	Población (Nivel educativo)	Contenidos abordados	Enfoque NdC	Aspectos de NdC
Akerson <i>et al.</i> (2019)	Primaria	Gravedad	DG	Tentatividad, empírico, creatividad, teorías y leyes, observación e inferencia, contexto sociocultural, subjetividad	Cayul <i>et al.</i> (2019)	Secundaria	Ondas gravitacionales	DE	Vocación científica, la mujer en ciencia, colaboración científica, ciencia y tecnología
Hadjilouca y Constantinou (2019)	Secundaria	Óptica geométrica	----	Ciencia y tecnología	Tsybulsky <i>et al.</i> (2018a)	Media	Biología celular	----	Tentatividad, cooperación científica, diversidad metodológica, aspecto sociocultural y objetivos de la ciencia
Tirre <i>et al.</i> (2019)	Secundaria y media	Nanociencia y tecnología	DG	Provisionalidad, empírico e interpretativo	Tsybulsky <i>et al.</i> (2018b)	Media	Fisiología, biología celular y ecología	----	Tentatividad, cooperación científica, diversidad metodológica, aspecto sociocultural y objetivos de la ciencia
Gandolfi (2019)	Secundaria	Medicina, magnetismo, teoría de la evolución	DE	Colaborativo científica, cuestiones ambientales y propiedad intelectual, aspectos sociopolíticos, éticos, culturales y económicos en la ciencia, controversias	Burke <i>et al.</i> (2018)	Secundaria superior	Genética	DG	Tentatividad, empírico, creatividad, teorías y leyes, observación e inferencia, contexto sociocultural, subjetividad
Schellinger <i>et al.</i> (2019)	Primaria	No precisa	----	Propósito de la ciencia, teoría científica, tentatividad	Alan y Erdogan (2018)	Primaria	No precisa	DG	Tentatividad, empírico, subjetivo, creativo y observación e inferencia
Herman <i>et al.</i> (2019)	Secundaria	Cascada trófica	----	Métodos de la ciencia ambiental, teorías, observación e interpretación, ciencia y tecnología, influencias culturales en el medio ambiente	Cofré <i>et al.</i> (2018)	Media	Evolución	DG	Observación e inferencia, método científico; hipótesis, teoría y ley, creatividad, subjetividad, empírico
McGregor <i>et al.</i> (2019)	Primaria	Efecto invernadero	----	Naturaleza del trabajo científico, colaboración científica.	Prima <i>et al.</i> (2018)	Secundaria	Calor y temperatura	----	Explicaciones científicas, creatividad, ciencia y tecnología, contexto sociocultural
Eymur (2019)	Media	Equilibrio químico, tabla periódica	DG	Tentatividad, empírico, creatividad, teorías y leyes, observación e inferencia, contexto sociocultural, subjetividad	Moreno <i>et al.</i> (2018)	Secundaria	Evolución	DG	Observación e inferencia, empírico, subjetividad, teoría y ley
Ortega y Gil (2019)	Secundaria	Energía	DE	Dimensión social de la ciencia y la tecnología	García-Carmona <i>et al.</i> (2018)	Secundaria	Fiebre puerperal, la generación espontánea, ADN.	DE	Dimensión social de la ciencia
Carreño (2019)	Media	Primer capítulo del libro: Dios y la nueva física	----	Definiciones, comprensión del conocimiento científico, métodos, ciencia y sociedad					

En la Tabla 5 se observa la cantidad de trabajos que abordaron al menos uno de los siete elementos del enfoque de dominio general para enseñar la NdC. Allí se identifica que los aspectos de la NdC como el carácter empírico, tentativo, creativo y socialmente impregnado de la ciencia tienen una presencia significativa en los diferentes estudios.

Tabla 5.
Aspectos de la NdC del enfoque de dominio general. Elaboración propia.

Aspectos NdC	Cantidad de estudios
Socialmente impregnado	27
Tentatividad	23
Empírico	19
Creatividad	18
Inferencial	16
Subjetividad	13
Teorías y leyes	8

En la revisión también se identificaron ocho estudios que reflexionan en torno a las relaciones entre ciencia y tecnología. Por esto, algunos autores no hablan de NdC sino de NdCyT (Naturaleza de la Ciencia y la Tecnología) (Manassero y Vázquez, 2019).

En relación con los estudios que estuvieron dirigidos a la enseñanza de conceptos de la RG, se encontraron dos. El de García-Carmona (2020) propone una actividad para reflexionar sobre algunos elementos de la NdC, por medio del análisis de noticias científicas que informaron sobre la obtención de la primera imagen de un agujero negro en el año 2019. Allí el autor reflexiona sobre tres aspectos de la NdC; dos epistémicos (observación e inferencia, el papel de las teorías científicas y su verificación empírica) y uno no epistémico (la cooperación científica). Por su parte, Cayul *et al.* (2019), proponen y analizan una secuencia didáctica para la enseñanza del concepto de onda gravitacional; incorporando aspectos asociados a la sociología de las ciencias, como la colaboración científica y el asunto del género en la ciencia, principalmente el papel de la mujer en las colaboraciones científicas como en el LIGO.

4. Discusión y conclusiones

El análisis de los artículos seleccionados permite evidenciar que, para los autores, la NdC es un componente importante para lograr una alfabetización científica en los estudiantes (Rivera y Oliveira, 2021; Yacoubian, 2021); pero, también concuerdan en que la NdC es un constructo muy amplio (Ortega y Gil, 2019) y no es trivial ni su definición ni los aspectos que se pueden llevar al aula de clase (McGregor *et al.*, 2019). Es por esto que se logra identificar en la revisión dos enfoques para abordar la NdC; el enfoque de dominio general (DG) o “visión consenso” de Lederman (2007), el cual se puede identificar en 21 de los trabajos consultados y el enfoque de dominio específico (DE), al que pertenecen algunas propuestas como la RFR de Erduran y Dagher (2014) y la conceptualización de Naturaleza de la Ciencia y Tecnología de Manassero y Vázquez (2019). Este enfoque se identifica en 10 de los estudios. Con esta revisión se confirma que en los estudios existe un dominio de los siete principios de Lederman, en los cuales se priorizan los aspectos epistémicos. En cuanto al enfoque DE, las propuestas se caracterizan por tener reflexiones más profundas sobre el aspecto sociológico de la ciencia, haciendo uso de controversias socio-

científicas, historia de las ciencias, biografías escolares y noticias científicas en periódicos.

En relación con la RG, es importante tener en cuenta el trabajo de Stadermann y Goedhart (2020), quienes concluyen que los aspectos epistémicos de la NdC, como las controversias científicas, la subjetividad, creatividad, tentatividad y rol de los modelos científicos, son relevantes en el aprendizaje de la física cuántica. Además, afirman que la física cuántica brinda excelentes oportunidades para enseñar aspectos de NdC porque es un tema contemporáneo que fascina a los estudiantes y está incluido en el currículo de muchos países.

Estas conclusiones son interesantes porque la RG comparte características similares con la física cuántica; sus orígenes permiten reflexionar acerca de la manera de hacer ciencia y lo cambiante de las teorías científicas. Este aspecto tentativo de la ciencia, que aparece en 23 de los estudios analizados, parece conveniente incluirlo en propuestas de enseñanza de la RG ya que esta teoría muestra una forma distinta de entender el universo. Asimismo, la literatura resalta que la RG, además de su importancia científica, cuenta con aplicaciones astrofísicas y cosmológicas que son fascinantes para muchos estudiantes, tanto en la escuela como en la universidad (Kraus y Zahn, 2019). Respecto a la presencia de la RG en los currículos de ciencia en el mundo, los últimos hallazgos en torno a las ondas gravitacionales (Boyle, 2019) y los agujeros negros (Ferreira *et al.*, 2021), han motivado su inclusión en la escuela. Sin embargo, los pocos trabajos encontrados en esta revisión muestran que no ha sido fácil su introducción en la educación básica y media, porque se considera demasiada abstracta y con un lenguaje matemático complejo (Dua *et al.*, 2020).

Los dos estudios que estuvieron dirigidos a la enseñanza de conceptos de la RG y que incluyen la NdC, tienen en común, la importancia que dan al aspecto cooperativo/colaborativo en la ciencia. Que se evidencia en las reflexiones en torno al trabajo de los científicos en los proyectos que aportaron resultados importantes para la astrofísica moderna: el proyecto LIGO y el proyecto Telescopio del Horizonte de Eventos (EHT, por sus siglas en inglés) que permite investigar los agujeros negros. Estos proyectos también posibilitaron la reflexión sobre el carácter empírico de la RG (García-Carmona, 2020).

El asunto del género también se abordó en los dos estudios, resaltando el papel de las mujeres en los descubrimientos asociados a la RG, como los aportes de la física Gabriela González en el LIGO (Cayul *et al.*, 2019) y el de Katie Bouman para la obtención de la primera imagen de un agujero negro (García-Carmona, 2020).

En cuanto a las estrategias didácticas implementadas, ambos estudios coinciden en el uso de noticias científicas publicadas en diarios virtuales para abordar aspectos epistémicos y no epistémicos de la ciencia y enseñarles a los estudiantes los descubrimientos astrofísicos actuales. Frente a las ventajas de incluir estas noticias en el ámbito educativo, García-Carmona (2021) señala que después de una selección adecuada de noticias, ya que no fueron escritas con propósitos didácticos, éstas permiten abordar aspectos de la NdC de forma integrada y contextualizada junto con los contenidos que se encuentran en los currículos de ciencias. Esta propuesta de usar noticias científicas para enseñar NdC parece ser una herramienta útil para seguir explorando en próximas investigaciones, ya que pueden propiciar el análisis crítico y reflexivo sobre qué es la ciencia y todos los factores que influyen en ella (Jurado y Vilches, 2021).

Otro aspecto de la NdC que autores como Cayul *et al.* (2019) consideran en su propuesta, es la relación entre la ciencia y la tecnología. Esto es importante porque el desarrollo tecnológico juega un papel crucial en la RG, ya que, para lograr comprobar sus predicciones, como la existencia de las ondas gravitacionales y los agujeros negros, fue necesario la construcción de sofisticados laboratorios y

el desarrollo de algoritmos de programación avanzados para comprobar los trabajos de Einstein (Abbott *et al.*, 2019)

A modo de conclusión, esta investigación permite analizar estudios que incluyen la NdC para su enseñanza en la educación básica y media, en los que sobresalen los aspectos epistémicos descritos en el enfoque de dominio general, como el carácter empírico, tentativo, creativo y el no epistémico como el sociocultural de la ciencia, este último, respaldado por otros enfoques que valoran su impacto en el desarrollo científico. Con respecto a los dos estudios que incluyen la NdC para la enseñanza de la RG, estos abordaron las temáticas de ondas gravitacionales y agujeros negros para enseñar aspectos epistémicos, como la tentatividad y el carácter empírico de la ciencia y no epistémicos de la ciencia como la cooperación científica y el papel de la mujer en la ciencia. Se espera que estos resultados motiven las investigaciones en torno a la enseñanza de la RG, pero que por sus características históricas y lo revolucionario de sus ideas, es una fuente rica para incluir elementos de la NdC, permitiendo de esta manera, un tratamiento de la RG más contextualizado a las necesidades de los estudiantes, es decir, una alfabetización científica.

La presente revisión tiene algunas limitaciones. Como la población de estudio; considerando que para introducir aspectos de la NdC en la escuela es necesario que los profesores tengan un buen dominio de ellos, es pertinente analizar estudios que estén dirigidos a esta población para realizar una reflexión más completa sobre los beneficios de la inclusión de la NdC en estos niveles educativos. En segundo lugar, es conveniente ampliar el periodo de búsqueda de los estudios, ya que con el descubrimiento de las ondas gravitacionales en 2015 y la publicación del hallazgo en el año 2016, aparecieron algunos trabajos posteriores orientados a la enseñanza de la RG.

Referencias

- Abbott, B. P., Abbott, R., Abbott, T. D., Abraham, S., Acernese, F., Ackley, K., Adams, C., Adhikari, R. X., Adya, V. B., Affeldt, C., Agathos, M., Agatsuma, K., Aggarwal, N., Aguiar, O. D., Aiello, L., Ain, A., Ajith, P., Allen, G., Allocca, A., Aloy, M. A., ... Affeldt, C. (2019). GWTC-1: A Gravitational-Wave Transient Catalog of Compact Binary Mergers Observed by LIGO and Virgo during the First and Second Observing Runs. *Physical Review X*, 9(3). <https://doi.org/10.1103/PhysRevX.9.031040>
- 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. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.02
- Adúriz-Bravo, A. (2005). *Una introducción a la naturaleza de la ciencia, la epistemología en la enseñanza de las ciencias naturales*. Fondo de Cultura Económica.
- Akbayrak, M., y Kaya, E. (2020). Fifth-grade students' understanding of social-institutional aspects of science. *International Journal of Science Education*, 42(11), 1834-1861. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1790054>
- Akerson, V.L., Kaynak, E., y Avsar, E. B. (2019). Development of third grader's identities as "persons who understand nature of science through a gravity unit. *International Journal of Research in Education and Science*, 5(2), 450-456. <https://www.ijres.net/index.php/ijres/article/view/567>
- Alan, Ü., y Erdo an, S. (2018). Of Course Scientists Haven't Seen Dinosaurs on the Beach: Turkish Kindergartners' Developing Understanding of the Nature of Science Through Explicit-Reflective Instruction. *Early Childhood Education Journal*, 46, 695-706. <https://doi.org/10.1007/s10643-018-0892-z>
- Boyle, J. (2019). Teaching gravitational waves in the lower secondary school. Part I. A teaching module. *Physics Education*, 54(2), 025005. <http://dx.doi.org/10.1088/1361-6552/aaf779>
- Brunner, J.L., y Abd-El-Khalick, F. (2020). Improving nature of science instruction in elementary classes with modified science trade books and educative curriculum materials. *Journal of Research in Science Teaching*, 57(2), 154-183. <https://doi.org/10.1002/tea.21588>
- Burke, L.E., Wessels, A., y McAvella, A. (2018). Using Theater and Drama to Expose and Expand the Epistemic Insights of Youth Regarding the Nature of Science. *Research in Science Education*, 48, 1151-1169. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9782-z>
- Carreño, A. (2019). Dios y la nueva Física en la enseñanza de la naturaleza de la Ciencia. *Revista Científica*, 370-378. <https://revistas.udistrital.edu.co/index.php/revcie/article/view/14507>
- Caymaz, B., y Aydin, A. (2021). The Effect of Common Knowledge Construction Model-Based Instruction on 7th Grade Students' Academic Achievement and Their Views about the Nature of Science in the Electrical Energy Unit at Schools of Different Socio-economic Levels. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 19, 233-265. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10054-0>
- Cayul, E., Arriasecq, I., Greca, I. M., y Givonetti, A. (2019). Análisis de la primera implementación de la propuesta didáctica Ondas gravitacionales en contexto para la escuela secundaria: física contemporánea, divulgación científica y género. *Revista De Enseñanza De La Física*, 31, 181-188. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/26544>
- Chen, S. Y., Chen, C. H., y Liu, S. Y. (2022). History of Science Reading Materials as Everyday Homework to Improve Middle School Students' Epistemological Beliefs about Science. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 20(1), 69-92. <https://doi.org/10.1007/s10763-022-10285-3>
- Choudhary, R., Foppoli, A., Kaur, T., Blair, D., Burman, R., y Zadnik, M. (2020). A comparison of short and long Einsteinian physics intervention programmes in middle school. *Research in Science Education*, 52, 305-324. <https://doi.org/10.1007/s11165-020-09944-8>
- Cobo, 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. <https://doi.org/10.17979/arec.2019.3.1.4630>
- Cofré, H., Santibáñez, D., Jiménez, J., Spotorno, A., Carmona, F., Navarrete, K. y Vergara, C. (2018) The effect of teaching the nature of science on students' acceptance and understanding of evolution: myth or reality? *Journal of Biological Education*, 52(3), 248-261. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1326968>
- Cuellar, L., y Marzábal, A. (2020). Visiones de estudiantes de secundaria sobre Naturaleza de la Ciencia en ambientes de discusión, cuando se incorporan biografías a la clase de ciencias. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 17(3), 3102. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2020v17.i3.3102
- Dua, Y., Blair, D., Kaur, T., y Choudhary, R. (2020). ¿Can Einstein's theory of general relativity be taught to indonesian high school students? *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 9(1), 50-58. <https://doi.org/10.15294/jpii.v9i1.22468>
- Einstein, A. (1905). Zur elektrodynamik bewegter Körper. *Annalen der Physik*, 17, 891-921. <https://doi.org/10.1002/andp.2005517S113>
- Einstein, A. (1916). Die Grundlage der allgemeinen Relativitätstheorie. *Annalen der Physik*, 354 (7), 769-880. <https://doi.org/10.1002/andp.19163540702>
- Erduran, S., y Dagher, F. (2014). *Reconceptualizing the Nature of Science for Science Education*. Springer.

- Eymur, G. (2019). The influence of the explicit nature of science instruction embedded in the Argument-Driven Inquiry method in chemistry laboratories on high school students' conceptions about the nature of science. *Chemistry Education Research and Practice*, 20, 17-29. <https://doi.org/10.1039/C8RP00135A>
- Ferreira, M., Lessa, R., Da Silva, O., Paulucci, L., y Ferreira, F. (2021). Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43, e20210157. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157>
- Feucht F. C., Michaelson K., Hany S. L., Maziarz L. N., Ziegler N. E. (2021). Is the Earth Crying Wolf? Exploring Knowledge Source and Certainty in High School Students' Analysis of Global Warming News. *Sustainability*, 13(22), 12899. <https://doi.org/10.3390/su132212899>
- Foppoli, A., Choudhary, R., Blair, D., Kaur, T., Moschilla, J., y Zadnik, M. (2019). Public and teacher response to Einsteinian physics in schools. *Physics Education*, 51(1), 015001. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aae4a4>
- Gandolfi, H. E. (2021). It's a lot of people in different places working on many ideas: Possibilities from global history of science to Learning about nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 58, 551-588. <https://doi.org/10.1002/tea.21671>
- Gandolfi, H.E. (2019). In defence of non-epistemic aspects of nature of science: insights from an intercultural approach to history of science. *Cultural Studies of Science Education*, 14, 557-567. <https://doi.org/10.1007/s11422-018-9879-8>
- García-Carmona, A. (2021). Learning about the nature of science through the critical and reflective reading of news on the COVID-19 pandemic. *Cultural Studies of Science Education*, 16, 1015-1028. <https://doi.org/10.1007/s11422-021-10092-2>
- García-Carmona, A. (2020). La primera imagen de un agujero negro en los medios: una oportunidad para reflexionar sobre aspectos de naturaleza de la ciencia. *Ciências Em Foco*, 13(0), 1-14. <https://econtentos.bc.unicamp.br/inpec/index.php/cef/article/view/13857>
- García-Carmona, A., Acevedo, J., y Aragón, M. (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. <https://doi.org/10.17979/arec.2018.2.2.4519>
- Hadjilouca, R., y Constantinou, C. P. (2019). Teaching aspects of the interrelationship between science and technology: a research report on the design, enactment and evaluation of a teaching proposal. *Research in Science & Technological Education*, 37(4), 446-470. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1554560>
- Hadjilouca, R., Papadouris, N., y Constantinou, C. P. (2021). Teaching aspects of the interrelationship between science and technology: explicit or implicit approach? *Research in Science & Technological Education*, 42(2), 482-504. <https://doi.org/10.1080/02635143.2021.1912726>
- Hansson, L., Leden, L., y Pendrill, A. M. (2019). Contemporary science as context for teaching nature of science: Teachers' development of popular science articles as a teaching resource. *Physics Education*, 54(5), 055008. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/ab194e>
- Hansson, L., Leden, L., y Thulin, S. (2020). Book talks as an approach to nature of science teaching in early childhood education. *International Journal of Science Education*, 42(12), 2095-2111. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1812011>
- Herman, B. C., Poor, S. V., Oertli, R. T., y Schulte, K. (2022). Promoting Young Learners' NOS Views Through Place-Based SSI Instruction. *Science & Education*, 32(4), 947-992 <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00353-z>
- Herman, B. C., Owens, D. C., Oertli, R. T., Zangori, L., y Newton, M. (2019). Exploring the Complexity of Students' Scientific Explanations and Associated Nature of Science Views Within a Place-Based Socioscientific Issue Context. *Science & Education*, 28, 329-366. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00034-4>
- Hodson, D. (2008). *Towards Scientific Literacy. A Teachers' Guide to the History Philosophy and Sociology of Science*. Sense Publishers.
- Irzik, G., y Nola, R. (2011). A family resemblance approach to the nature of science. *Science & Education*, 20(7-8), 591-607. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9293-4>
- Irzik, G., y Nola, R. (2014). New directions for nature of science research. In M. R. Matthews (Ed.), *International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching* (pp. 999-1021). Springer
- Jurado, P. R., y Vílchez, J. M. (2021). Análisis de artículos de prensa digital para valorar su uso como recurso para la enseñanza de la Naturaleza de la Ciencia en Educación Secundaria. *Ápice. Revista de Educación Científica*, 5(1), 53-71. <https://doi.org/10.17979/arec.2021.5.1.6838>
- Kaur, T., Blair, D., Moschilla, J., Stannard, W., y Zadnik, M. (2017). Teaching Einsteinian physics at schools: part 1, models and analogies for relativity. *Physics Education*, 52(6), 065012. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aa83e4>
- Kaynak, E., Akerson, V. L., y Cevik, E. (2020). Third graders' identities as "persons who understand nature of science" through an electricity unit. *International Journal of Education in Mathematics and Technology (IJEMST)*, 8(1), 44-52. <https://doi.org/10.46328/ijemst.v8i1.771>
- Kersting, M., Henriksen, E., Vetleseter, M., y Angell, C. (2018). General relativity in upper secondary school: Design and evaluation of an online learning environment using the model of educational reconstruction. *Physical Review Physics Education Research*, 14(1), 010130. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.14.010130>
- Khishfe, R. (2021). Explicit Instruction and Student Learning of Argumentation and Nature of Science. *Journal of Science Teacher Education*, 32(3), 325-349. <https://doi.org/10.1080/1046560X.2020.1822652>
- Kraus, U., y Zahn, C. (2019). Sector models-a toolkit for teaching general relativity: III. Spacetime geodesics. *European Journal of Physics*, 40(1). <https://doi.org/10.1088/1361-6404/aae3b5>
- 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*, (vol. 1, pp.1831-879). Lawrence Erlbaum Publishers.
- Lederman, N. G., y Lederman, J. S. (2019). Teaching and learning nature of scientific knowledge: is it Déjà vu all over again? *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 1(6). <https://doi.org/10.1186/s43031-019-0002-0>
- Manassero, M. A., y Vázquez, A. (2019). Conceptualización y taxonomía para estructurar los conocimientos acerca de la ciencia. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 16(3), 3104. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i3.3104
- Marín, G. (2021). Algunas concepciones CTSA de estudiantes de noveno grado sobre conceptos termodinámicos. *Tecné, Episteme y Didaxis: ted*, 49, 239-254. <https://doi.org/10.17227/ted.num49-8645>
- McComas, W. F., y Clough, M. P. (2020). Nature of science in science instruction: Meaning, advocacy, rationales, and recommendations. In W. F. McComas (Ed.), *Nature of science in science instruction* (pp. 3-22). Springer.
- McGregor, D., Baskerville, D., Anderson, D., y Duggan, A. (2019). Examining the use of drama to develop epistemological un-

- derstanding about the nature of science: a collective case from experience in New Zealand and England. *International Journal of Science Education, Part B*, 9(2), 171-194. <https://doi.org/10.1080/21548455.2019.1585994>
- Moreno, L., Zúñiga, K., Cofré, H., y Merino, C. (2018). Efecto (¿o no?) de la inclusión de naturaleza de la ciencia en una secuencia para el aprendizaje y la aceptación de la teoría de la evolución. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 15(3), 3105. https://doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2018.v15.i3.3105
- Murphy, C., Smith, G., y Broderick, N. A. (2021). Starting Point: Provide Children Opportunities to Engage with Scientific Inquiry and Nature of Science. *Research in Science Education*, 51, 1759-1793. <https://doi.org/10.1007/s11165-019-9825-0>
- Ortega, D., y Moura, B. A. (2020). A historical approach to reflection and refraction of light. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 42, e20190114. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2019-0114>
- Ortega, V., y Gil, C. (2019). La naturaleza de la ciencia y la tecnología. Una experiencia para desarrollar el pensamiento crítico. *Revista Científica*, 35(2), 167-182. <https://doi.org/10.14483/23448350.14095>
- Page, M.J., McKenzie, J., Bossuyt, P., Boutron, I., Hoffmann, T., Mulrow, C.D., Shamseer, L., Tetzlaff, J., Akl, E., Brennan, S.E., Chou, R., Glanville, J., Grimshaw, J., Hróbjartsson, A., Lalu, M.M., Li, T., Loder, E., Mayo-Wilson, E., McDonald, S., y Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372(71). <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
- Park, W., Yang, S., y Song, J. (2019). When Modern Physics Meets Nature of Science. *Science & Education*, 28(9), 1055-1083. <https://doi.org/10.1007/s11191-019-00075-9>
- Prima, E.C., Utari, S., Chandra, D.T., Hasanah, L., y Rusdiana, D. (2018). Heat and temperature experiment designs to support students' conception on nature of science. *Journal of Technology and Science Education*, 8(4), 453-472. <https://doi.org/10.3926/jotse.419>
- Rivera, S., y Oliveira, A. (2021). Why would Benjamin Franklin want to know if lightning was electricity? elementary teachers and students making sense of the nature of science during interactive read-alouds. *Cultural Studies of Science Education*, 16, 47-69. <https://doi.org/10.1007/s11422-020-09988-2>
- Safkolam, R., Khumwong, P., Pruekpramool, C., y Hajisamoh, A. (2021). Effects of Islamic Scientist History on Seventh Graders' Understandings of Nature of Science in a Thai Islamic Private School. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(2), 282-291. <https://doi.org/10.15294/jpii.v10i2.26668>
- Schellinger, J., Mendenhall, A., y Alemanne, N. (2019). Using Technology-Enhanced Inquiry-Based Instruction to Foster the Development of Elementary Students' Views on the Nature of Science. *Journal of Science Education and Technology*, 28, 341-352. <https://doi.org/10.1007/s10956-019-09771-1>
- Shi, X. (2021). Using Explicit Teaching of Philosophy to Promote Understanding of the Nature of Science. *Science & Education*, 30, 409-440. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00173-z>
- Stadermann, H., y Goedhart, M. (2020). Secondary school students' views of nature of science in quantum physics. *International Journal of Science Education*, 42(6), 997-1016. <https://doi.org/10.1080/09500693.2020.1745926>
- Tirre, F., Kampschulte, L., Thoma, G., Höffler, T., y Parchmann, I. (2019). Design of a student lab program for nanoscience and technology - an intervention study on students' perceptions of the Nature of Science, the Nature of Scientists and the Nature of Scientific Inquiry. *Research in Science & Technological Education*, 37(4), 393-418. <https://doi.org/10.1080/02635143.2018.1551201>
- Tsybulsky, D., Dodick, J., y Camhi, J. (2018a). The Effect of Field Trips to University Research Labs on Israeli High School Students' NOS Understanding. *Research in Science Education*, 48, 1247-1272. <https://doi.org/10.1007/s11165-016-9601-3>
- Tsybulsky, D., Dodick, J., y Camhi, J. (2018b). High-school students in university research labs? Implementing an outreach model based on the 'science as inquiry' approach. *Journal of Biological Education*, 52(4), 415-428. <https://doi.org/10.1080/00219266.2017.1403360>
- Welsh, C., Hedenstrom, M., y Hollingsworth, M. (2020). Science Fair Was One of the Highlights of My Middle School Life: Using Science Fair to Develop NGSS Practices. *The American Biology Teacher* 82(1), 43-48. <https://doi.org/10.1525/abt.2020.82.1.43>
- Yacoubian, H.A. (2021). Students' Views of Nature of Science. *Science & Education*, 30, 381-408. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00179-7>