

Pensamiento científico en la educación secundaria: acercamiento al estado de la cuestión

*Scientific Thinking in Secondary Education: An Approach to the State of
the Art*

 Diana Gissell Martínez-Suárez*



* Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. Correo electrónico:
diana.martinez23@uptc.edu.co

Fecha de recepción: 12 de enero de 2022

Fecha de aceptación: 24 de marzo de 2022

Cómo referenciar / How to cite

Martínez-Suárez, D. G. (2022). Pensamiento científico en la educación secundaria: acercamiento al estado de la cuestión. *Trilogía Ciencia Tecnología Sociedad*, v. 14, n. 27, e2150.
<https://doi.org/10.22430/21457778.2150>

Resumen: este artículo presenta el acercamiento al estado de la cuestión, el cual refiere la situación actual del conocimiento sobre el desarrollo del pensamiento científico en estudiantes de educación secundaria en el ámbito internacional. Con el objetivo de sistematizar las perspectivas investigativas en campos temáticos y enfoques conceptuales, se realizó una revisión analítica a través de mapeamiento informacional bibliográfico de artículos de investigación publicados entre 2011 y 2021 en las bases de datos de Redalyc, Scopus y Web of Science. Los resultados describen la relación entre tres enfoques conceptuales denominados: perspectiva política, perspectiva pedagógico-didáctica y perspectiva filosófica y once campos temáticos, que exponen el interés que existe en la educación secundaria de operativizar esta forma de pensamiento y fortalecer el desarrollo de habilidades, capacidades, actitudes y competencias a través de estrategias pedagógicas y didácticas articuladas a directrices políticas y curriculares, que permitan la aprehensión de los dominios generales y particulares de la ciencia, para aportar a la construcción de una cultura científica global. Se concluye que es necesario propender porque el desarrollo de este pensamiento resulte consecuente con las necesidades sociales, políticas y éticas de los estudiantes de secundaria, así como profundizar en su comprensión conceptual, dada su naturaleza histórica, compleja y multidisciplinar.

Palabras clave: cultura científica, educación secundaria, habilidades científicas, pensamiento científico, razonamiento científico.

Abstract: This article reviews the international state of the art of research on the development of scientific thinking in secondary school students. In order to systematize the research perspectives of scientific publications in this field into thematic areas and conceptual approaches, an analytical literature review was carried out by mapping the bibliographic information of research articles about this topic published between 2011 and 2021 and indexed in the Redalyc, Scopus, and Web of Science databases. The results describe the relationship between three conceptual approaches (i.e., political perspective, pedagogical-didactic perspective, and philosophical perspective) and eleven thematic areas. They also reveal the existing interest of secondary education in operationalizing scientific thinking and strengthening the development of skills, abilities, attitudes, and competences using pedagogical and didactic strategies articulated with political and curricular guidelines. This should enable students to apprehend general and particular domains of science and contribute to the construction of a global scientific culture. It is concluded that the development of high school students' scientific thinking should be consistent with their social, political, and ethical needs and deepen their conceptual understanding, due to its historical, complex, and multidisciplinary nature.

Keywords: Scientific culture, secondary education, scientific skills, scientific thinking, scientific reasoning.

INTRODUCCIÓN

En el siglo XXI se ha incrementado el interés por desarrollar el pensamiento científico de estudiantes de educación secundaria (Asmoro et al., 2021; Koerber et al., 2015). Educadores, pedagogos y líderes de la política educativa internacional coinciden en la necesidad de fortalecerlo a partir de una educación científica que parta de una concepción que supere el modelo de enseñanza tradicional, generalmente centrado en la repetición de contenidos disciplinares, para enfocarse en lograr la alfabetización científica de niños, niñas y jóvenes, particularmente en países en vías de desarrollo (Furman, 2020), que aporte a la construcción de una cultura científica (Arias Monge y Navarro Camacho, 2017).

En este sentido, se tienen, por un lado, las comprensiones de Arias Monge y Navarro Camacho (2017), que conciben que la educación científica puede darse en un sentido instrumental-funcional, el cual busca aportar al desarrollo de la economía en sociedades basadas en el conocimiento y orientadas al desarrollo sostenible. Por otro lado, se encuentran Vázquez-Alonso y Manassero-Mas (2018), que desarrollan el enfoque crítico-reflexivo al considerar que, más allá de la comprensión, es necesario desarrollar el pensar con la ciencia y sobre la ciencia, argumentando que no basta con lograr la comprensión de la ciencia como un producto, con la aprehensión de sus constructos e ideas centrales (leyes, teorías, simbología, etc.), sino que es necesario fortalecer el desarrollo de habilidades cognitivas que ayuden a pensar mejor, es decir, con un sentido crítico de la ciencia, en un proceso de transformación que pueda aportar al mejoramiento de la vida social y personal de cualquier individuo.

Al respecto de esta situación, circulan diferentes discursos y alternativas de enseñanza y aprendizaje de la ciencia, las cuales divergen en su comprensión conceptual y finalidad teleológica. En primer lugar, se encuentran aquellas centradas en el fortalecimiento de habilidades particulares como el control de variables y la argumentación. Estas se consideran relevantes dentro de los estándares de las ciencias en el campo internacional (Murphy et al., 2018) y han tenido un gran avance desde la psicología del desarrollo (Jewett y Kuhn, 2016; Kuhn, 2016). En segundo lugar, se tienen aquellas centradas en la enseñanza por indagación, que es uno de los enfoques más promovidos por la didáctica de la ciencia (Kuhn, 2016; Soysal, 2021). Vázquez-Alonso y Manassero-Mas (2018) se basan en las perspectivas de otros investigadores del campo e indican que metodologías como la investigación, los proyectos, la resolución de problemas, el aprendizaje mediado por tecnología, el aprendizaje interactivo, social y el aprendizaje cooperativo, les permiten a los estudiantes acercarse a la alfabetización científica, la cual representa el primer paso en el camino hacia el desarrollo de la capacidad de pensar.

Para Fourez (citado en Furman, 2020), la alfabetización científica se define como el «conjunto de conocimientos, saberes, capacidades y hábitos mentales asociados a la Ciencia que se consideran necesarios para la inserción en la sociedad contemporánea» (p. 6). Incluye la comprensión de ideas esenciales acerca del funcionamiento del mundo social y natural, el proceso de construcción del conocimiento, la apreciación de los valores culturales y el desarrollo del pensamiento científico. Sin embargo, Miller (citado en Díaz y

García, 2011), al referirse al término de la alfabetización científica, lo ubican en un escenario tal que parece limitarse a la capacidad de entender conceptos sobre ciencia y tecnología, de una forma meramente racional y libre de valores.

Por esta razón, autores como Gómez Ferri (2012), reconocen que la alfabetización científica debe ampliarse en su comprensión y entenderse en términos de cultura científica, la cual es definida por Arias Monge y Navarro Camacho (2017) como:

... el conjunto de percepciones, creencias, concepciones, significados y construcciones individuales y colectivas sobre la ciencia, así como el desarrollo de habilidades cognitivas y destrezas que permiten la aprehensión de procesos y técnicas para hacer ciencia. Dentro de esa concepción de ciencia se involucran aspectos ideológicos, políticos, sociales, metodológicos, lógicos, praxiológicos y teleológicos que hacen de la ciencia una construcción cultural, la cual parte de un pensamiento lógico, ha sido validada a través de un método, pero como creación humana está transversalizada por aspectos de índole ético, axiológico y estético de acuerdo con un contexto (pp. 9-10).

Para el caso colombiano, de acuerdo con la investigación de Torres Martínez y Guerrero Romero (2018), la categoría *pensamiento científico* hace parte de las regularidades discursivas del currículo de ciencias naturales de la educación básica secundaria. Esta categoría emerge como «Un ejemplo de aquellos procedimientos que tratan de colonizar, modificar e, incluso, homogenizar las formas de pensar del individuo» (p. 81), que se hace explícita desde los inicios del siglo XXI, cuando se manifiesta el interés por su desarrollo en el ámbito educativo. Desde ese momento, los cambios en los modelos pedagógicos orientados a la ciencia y la tecnología, priorizan el modelo pedagógico del constructivismo como fundamento para la enseñanza de las ciencias naturales en el país.

Es el Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN) a través de los estándares básicos de competencias y los lineamientos curriculares, el encargado de promover conocimientos y herramientas que desde las ciencias les permitan a los estudiantes, formarse como ciudadanos capaces de inquietarse por saber, observar y analizar lo que sucede a su alrededor, buscando soluciones a problemas específicos al utilizar el conocimiento científico de forma crítica y ética. Una situación que describe un gran reto para la escuela, por cuanto en la educación formal se intenta «transformar el acto educativo en un ambiente de auscultación y estudio de los sujetos» (p. 83), con procedimientos que están más encaminados a la instrumentación de la ciencia que al mejoramiento de la capacidad de pensar de los individuos, de su vida social y personal (Torres Martínez y Guerrero Romero, 2018).

Es habitual encontrar que en las instituciones educativas se privilegie la comprensión de los conceptos de la ciencia frente a su contextualización. Investigaciones como la propuesta por Torres et al. (2018), cuyas conclusiones pueden ser aplicables a las ciencias experimentales, muestran como desde las percepciones de estudiantes colombianos, en el contexto de la educación secundaria:

... predominan una instrucción tradicional, enmarcada en el uso y la enseñanza de elementos cuantitativos, donde está ausente o se utilizan muy poco las prácticas experimentales, la contextualización de los problemas o el uso de las TIC, aspectos que dificultan la comprensión de principios conceptuales o la necesidad de su enseñanza (p. 605).

Este hecho genera que los conceptos sean intrascendentes, el mejoramiento académico en este nivel se dirija por la preparación para pruebas estandarizadas donde la enseñanza instruccional en las áreas evaluadas se priorice y que no exista interés por permitir que el estudiante piense la función de la ciencia en la sociedad, sus relaciones con la tecnología o su responsabilidad con el ambiente. En las aulas se evidencia la gran disponibilidad de información, pero es reiterativa la falta de criterios de los estudiantes para analizarla, valorarla, cuestionarla o relacionarla, para tomar decisiones informadas o emitir juicios argumentados frente a sus fuentes (Torres Merchán, 2021).

Ante este contexto, este artículo hace parte de la primera fase de la investigación de la tesis doctoral en la que se explora cómo el pensamiento científico en la educación básica colombiana puede desarrollarse desde un enfoque crítico-reflexivo de la ciencia a través de su resignificación desde una perspectiva filosófica (Lampert, 2020). Busca establecer los enfoques conceptuales y campos temáticos que se han planteado frente al desarrollo de este pensamiento en estudiantes de básica secundaria, como aporte a la definición del estado de la cuestión, para lo cual se plantearon los siguientes interrogantes:

- ¿Qué perspectivas investigativas se pueden identificar en relación con el desarrollo del pensamiento científico en la educación básica secundaria?
- ¿Cuáles han sido los fines teleológicos para su desarrollo en la educación secundaria?

Este artículo se estructura en tres secciones: la primera, describe la caracterización general de la revisión; la segunda, los enfoques conceptuales descritos como perspectivas: pedagogía-didáctica, filosófica y política de educación científica y campos temáticos identificados para el desarrollo del pensamiento científico: la tercera, concluye con las tendencias de investigación identificadas, los retos y desafíos para su desarrollo internacionalmente y desde la política educativa colombiana.

METODOLOGÍA

En cuanto al proceso metodológico, y por la intencionalidad de esta investigación, se consideró el mapeamiento informacional bibliográfico (MIB) como una opción adecuada para orientar la delimitación del tema, la búsqueda y selección de fuentes bibliográficas, al igual que la organización de la información seleccionada (André, 2009). La matriz diseñada para el procesamiento de la información se complementó con aspectos sugeridos en el protocolo de Díaz et al. (2021) para el estudio conceptual del pensamiento científico. La Tabla 1 resume los aspectos considerados en la revisión:

Tabla 1. Aspectos de la matriz de análisis de la información bibliográfica

N°	Año	Referencia APA	Idioma	País	Palabras clave	Resumen	Campo temático	Enfoque conceptual	Metodología	Objetivo del estudio	Conceptualización del pensamiento científico	Teleología del concepto	Aportes a la investigación

Fuente: adaptado de Díaz et al. (2021) y Sanabria Rojas (2016).

Se realizó la búsqueda y selección de artículos en las bases de datos de Redalyc, Scopus y Web of Science, entre los años 2011 a 2021. Este límite temporal se estableció considerando la revisión de Klahr et al. (2011) sobre intervenciones educativas para promover el pensamiento científico en niños del nivel de preescolar a K-8 que correspondería a la educación secundaria. Esta se realizó para los Estados Unidos, y aunque describe la clasificación de diferentes tipos de investigación sobre la enseñanza de la ciencia, se hizo exclusivamente desde la perspectiva psicológica del desarrollo cognitivo y no incluyó estudios sobre contenidos de dominio específico de biología, física, química o ciencias de la tierra.

El mapeo de los artículos se direccionó bajo las palabras clave: *pensamiento científico*, *habilidades científicas*, *educación secundaria* y *razonamiento científico*, con sus respectivas variaciones y traducciones al inglés. Estas palabras debían estar incluidas en los campos de resumen, descriptor o título. Para complementar los aportes de la literatura para este estudio en Colombia, se implementó la búsqueda de referencias cruzadas a partir de los artículos que reportaron hallazgos en Colombia y el análisis de los planteamientos frente al desarrollo del pensamiento científico desde el plan decenal de educación 2016-2026 (MEN, 2017), suscrito como política educativa vigente.

Se establecieron cinco criterios de inclusión/exclusión para la revisión de los artículos científicos: 1) ubicación del artículo en revistas indexadas e índices comprensivos, 2) artículos en idioma español, y en portugués e inglés con la posibilidad de traducción al español, 3) preponderancia del tema, es decir, que el objetivo de los estudios se centrara en el desarrollo del pensamiento científico para el nivel educativo seleccionado, 4) accesibilidad, solo se consideraron artículos con código de acceso abierto, y 5) revisión de artículos de investigación, no se incluyeron ponencias, conferencias, capítulos de libro o libros. Finalmente, se excluyeron los artículos que no cumplieron los criterios de inclusión, cada artículo se revaluó, se leyó y se consolidó un *corpus* de 78 documentos para la consolidación del informe final.

DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

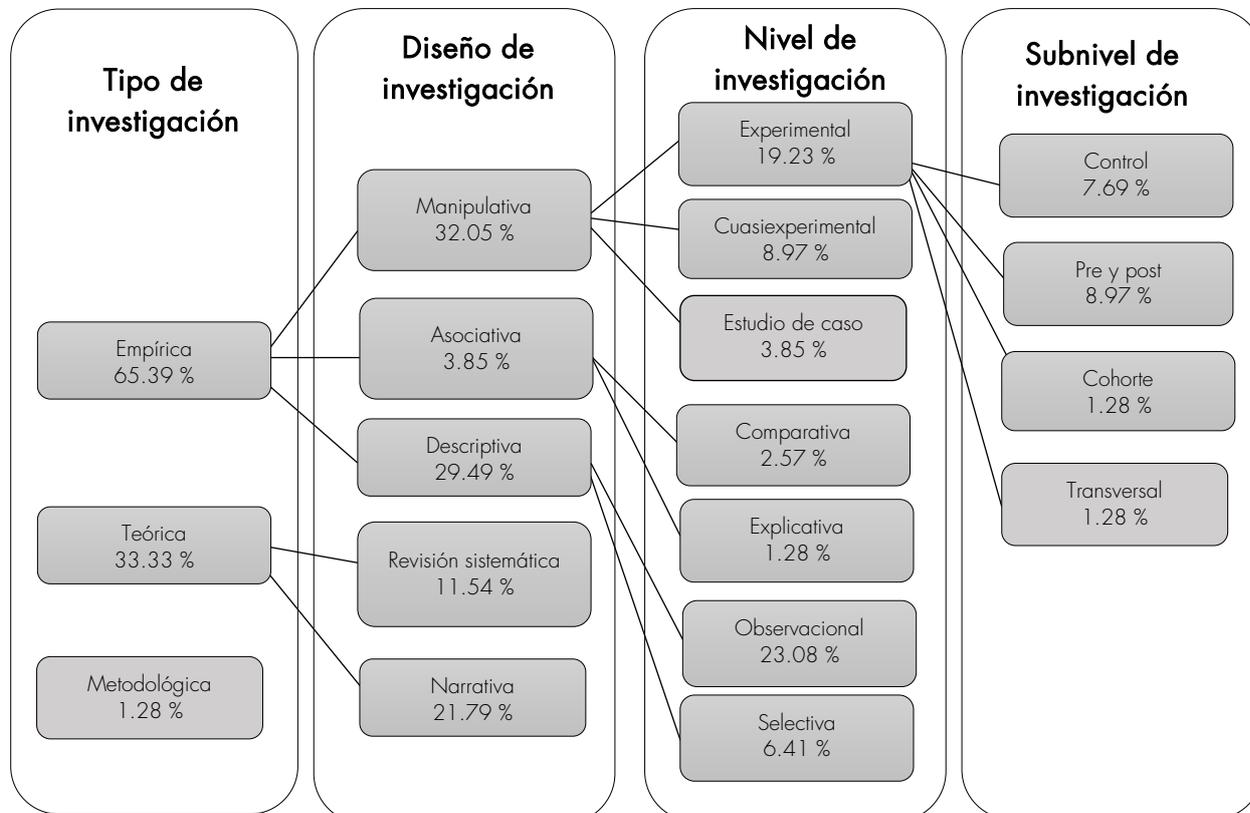
En este apartado se presenta el análisis de los resultados de la revisión planteada en la metodología; la caracterización general de estos incluye: idiomas de divulgación, países en los que se desarrollaron las investigaciones, clasificación de los estudios de acuerdo con su

ruta metodológica y descripción de los enfoques conceptuales y campos temáticos desde las perspectivas establecidas.

La sistematización de la información permitió establecer que, de los 78 artículos, el 82.1 % se publicaron en inglés, 14.1 % en español y 3.8 % en portugués. Se encontraron publicaciones en países de cuatro continentes. Para América, 24 artículos distribuidos en Chile, Costa Rica y México con un artículo, cuatro estudios en Colombia y Brasil y el mayor número se reportó en Estados Unidos, con trece artículos, siete de ellos sobre la enseñanza de las ciencias. En el caso de Asia, 20 artículos, con un artículo en Arabia Saudita, Filipinas, Malasia y Singapur, para China y Taiwán dos artículos y el mayor número de publicaciones lo reportó Indonesia con doce publicaciones, siete de ellas en el aprendizaje de las ciencias bajo diferentes estrategias. En Europa, 29 artículos con publicaciones provenientes de doce países, Croacia, Dinamarca, Grecia, Lituania, Noruega, Portugal y Suecia con un artículo cada uno; en Países bajos se reportaron dos artículos; en Alemania, Turquía y Reino Unido se obtuvieron cuatro artículos; el aporte de España fue el más numeroso para este continente, con ocho publicaciones sobre enseñanza de las ciencias en el ámbito de la educación científica. Finalmente hubo cinco artículos provenientes del continente austral.

Las investigaciones se clasificaron de acuerdo con lo propuesto en el protocolo de Díaz et al. (2021), mostrado en la Figura 1. Se profundiza en la descripción de aquellas rutas que se consideraron relevantes por presentar mayor porcentaje.

Figura 1. Rutas metodológicas establecidas en los estudios



Fuente: elaborada a partir de los datos de revisión.

Se encontró que los estudios empíricos, con diseños manipulativos, niveles de investigación experimental que incluyeron un grupo control, buscaron establecer las variaciones, beneficios y efectividad estadística de diferentes programas de educación científica o estrategias de aprendizaje sobre el desarrollo de las capacidades, actitudes o habilidades específicas de investigación de los estudiantes evaluados (Asmoro et al., 2021; Fitriani et al., 2020; Palacios-Bernuy et al., 2020). Por otro lado, en el estudio de Dündar-Coecke et al. (2020) se intentó explicar en qué momento del proceso educativo se logran las habilidades evaluadas, mientras en la investigación de Worley y Worley (2019) se evaluó si es posible el desarrollo de una dimensión crítica del pensamiento científico a partir de la instrucción en prácticas específicas. Estos estudios reportaron su aplicación a grupos experimentales de entre 46 a 220 estudiantes, que fueron evaluados en sesiones entre ocho y doce semanas como parte de su trabajo curricular en disciplinas como Física, Química y Biología.

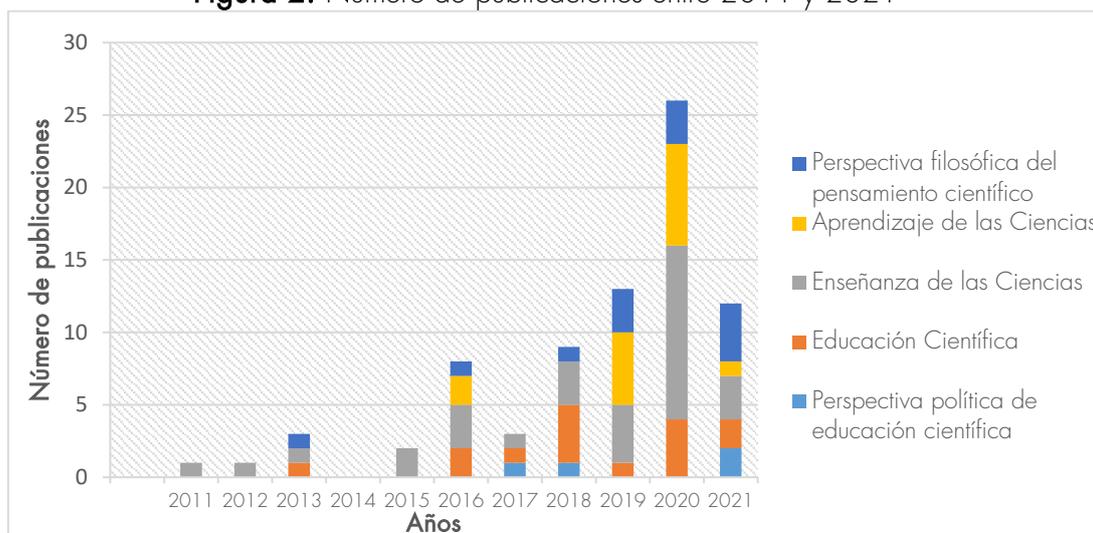
Los procesos metodológicos que incluyeron evaluaciones pre y postest, examinaron la efectividad de intervenciones con diferentes estrategias de aprendizaje para facilitar la adquisición de conocimientos y habilidades de razonamiento científico (van der Graaf et al., 2019; Iordanou et al., 2019), al igual que diferentes estrategias pedagógicas como la lectura, las preguntas, la experimentación y la discusión, todos comparados con métodos tradicionales de transmisión de contenido (Marušić y Sliško, 2012).

Los diseños descriptivos de tipo observacional permitieron la recopilación de datos empíricos a partir de investigación cualitativa, al describir las interacciones específicas de los participantes a partir de discursos, diálogos, representaciones mentales, discusiones, experiencias de vida, conversaciones y percepciones sobre aspectos relacionados con el conocimiento de la ciencia y su desarrollo en el ámbito escolar, que luego fueron analizadas por métodos de codificación.

Por último, las investigaciones teóricas incluyeron revisiones sobre la relación entre pensamiento científico y conceptos como: la naturaleza de la ciencia y las implicaciones en la educación científica (García-Carmona y Acevedo-Díaz, 2018; Gasparatou, 2017; Lampert, 2020; Taber, 2017), la competencia científica (Gardinier, 2021; Gómez y Suárez, 2020), la alfabetización científica (Costa et al., 2021), los estilos de razonamiento y pensamiento (Murphy et al., 2017; Osborne, 2013; Vitti Rodrigues y Emmeche, 2021), el fascismo y los movimientos autoritarios (Galamba y Matthews, 2021), las explicaciones científicas escolares y los soportes pedagógicos (Brigham et al., 2011; Cabello y Sommer Lohrmann, 2020), el método científico (Fernández Mateo, 2020), el control de variables (Kuhn, 2016), la argumentación en la enseñanza de las ciencias (Sengul, 2019), la educación científica y el pensamiento crítico (Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2018), la gamificación de la ciencia (Morris et al., 2013) y la curiosidad (Jirout, 2020; Lindholm, 2018). En el contexto nacional se destacan las revisiones sobre el currículo y enseñanza de las ciencias naturales en Colombia de Torres Martínez y Guerrero Romero (2018) y Alcocer Tocora y Hernández Hernández (2020), respectivamente.

El interés por mejorar la educación científica en relación con la enseñanza de las ciencias por parte de educadores e investigadores persiste a lo largo del periodo y nivel educativo evaluado, lo cual se observa en la Figura 2.

Figura 2. Número de publicaciones entre 2011 y 2021



Fuente: elaborada a partir de los datos de revisión.

Nota: la educación científica, y las propuestas de enseñanza y aprendizaje de las ciencias, conforman la perspectiva pedagógico-didáctica.

Se encontró que el mayor aporte en cuanto a número de publicaciones se da desde la perspectiva pedagógico-didáctica, en la que la enseñanza por indagación sigue siendo uno de los modelos más populares, hallazgo que concuerda con lo reportado por Klahr et al. (2011). Sin embargo, requiere de andamiajes como la instrucción guiada y se sabe poco sobre cómo se lleva a cabo en el campo discursivo por parte de los maestros en las aulas de clase (Asmoro et al., 2021; Fang, 2021; van der Graaf et al., 2019).

En la Tabla 2 se observa la relación de los once campos temáticos que comparten los tres enfoques conceptuales definidos con el nombre de perspectivas; cada una de ellas se describe a continuación:

Tabla 2. Relación de los campos temáticos que comparten los enfoques conceptuales del pensamiento científico

Campos temáticos	Perspectivas				
	Política	Pedagógico-didáctica		Filosófica	
		Enseñanza de las ciencias	Aprendizaje de las ciencias		Educación científica
Pensamiento científico	x	x	x	x	x
Competencias científicas	x	x	x	x	x
Conocimiento científico	x	x			x
Modos discursivos	x	x	x	x	x
Habilidades científicas	x	x	x	x	x
Prácticas científicas	x	x		x	x
Estilos de pensamiento con los que se relaciona	x	x	x	x	x

Alfabetización científica	x	x	x	x	x
Aprendizaje	x	x	x	x	x
Actitudes científicas		x	x		x
Diálogo		x	x		x

Fuente: elaborada a partir de los datos de la revisión.

Perspectiva política de la educación científica

En esta perspectiva, el pensamiento científico es abordado como una dimensión de la competencia científica, que junto a los demás campos temáticos se describen en la Tabla 3. Esta dimensión se desarrolla dentro del currículo escolar, con el fin de formar estudiantes competentes en el ámbito global en el siglo XXI (Koerber y Osterhaus, 2021). Desde la mirada internacional, esta consideración se anuda con la agenda global para la educación 2030, que considera a la educación como uno de los motores más potentes para garantizar el desarrollo sostenible y lograr una educación inclusiva y de alta calidad para todos (Organización de las Naciones Unidas, s.f.). Una necesidad prevalente en los países con sociedades en desarrollo que aspiran a acercar a sus ciudadanos a la ciencia y la tecnología (Palacios-Bernuy et al., 2020).

Tabla 3. Descripción de los campos temáticos desde la perspectiva política del pensamiento científico

Campos temáticos	Descripción
Pensamiento científico	Una dimensión de la competencia científica.
Competencias científicas	Concepto difundido por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) y respaldado por la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO).
Conocimiento científico	Dimensión de la competencia que se evalúa en pruebas estandarizadas.
Modos discursivos	Esta perspectiva adopta un discurso de idealización de la ciencia (cientificismo) direccionado al trabajo en el aula.
Habilidades científicas	Se incorporan en el currículo escolar a través de los estándares de competencias y que hacen a un estudiante competente en el ámbito global, su descripción como competencias es descrita por Suciati et al. (2018).
Prácticas científicas	Preparan a los futuros ciudadanos para la producción e innovación.
Estilos de pensamiento con los que se relaciona	Se relaciona con el pensamiento crítico que se considera una competencia necesaria para el siglo XXI.
Alfabetización científica	Proceso de formación de ciudadanos en el conocimiento de los dominios de la ciencia, como estrategia para su participación social.
Aprendizaje	Se puede evaluar a través de pruebas estandarizadas como PISA. investigaciones nacionales retoman los resultados para proponer reformas educativas (Gómez y Suárez, 2020).

Fuente: elaborada a partir de los datos de la revisión.

Lograr lo anterior requiere que los individuos se transformen en «agentes de cambio. Necesitan conocimientos, habilidades, valores y actitudes que los empoderen para contribuir con el desarrollo sostenible» (UNESCO, 2017, p. 7), en el marco de la cuarta revolución industrial (Rumahlatu et al., 2020). En esta lógica conceptual, la OCDE, junto con redes de expertos en políticas educativas, han creado y difundido un imaginario social particular de un aprendiz globalmente competente (Gardinier, 2021). Este planteamiento ahonda en la comprensión de que la ciencia es una faceta esencial de la cultura y los avances científicos más recientes deben estar al alcance de todos (Guasch et al., 2020). Particularmente en un modelo que actualmente se centra en la educación STEM y STEAM.

En relación al desarrollo del pensamiento científico, los intereses nacionales, los cambios económicos, sociales, políticos y ambientales del mundo, los conceptos y los significados proferidos por parte de los organismos internacionales mencionados, son considerados por Colombia para proponer políticas educativas que, en el marco de la sociedad del conocimiento, aporten a la formación de una cultura científica, en un imaginario donde el ciudadano sea capaz de conectar sus experiencias educativas locales a la comprensión de los problemas globales para tomar decisiones acertadas.

En este sentido, desde el planteamiento del plan decenal de educación 2016-2026 (MEN, 2017) se propone desarrollar la dimensión científica del pensamiento de los ciudadanos a través de acciones que permitan la construcción de conocimiento, habilidades y actitudes científicas. Tales acciones son descritas en los estándares básicos de competencias (MEN, 2006). Sin embargo, la implementación de estos estándares representa una serie de retos estructurales, funcionales e institucionales para el país, en cuanto plantea la necesidad de ampliar la comprensión de este pensamiento, más allá de una alfabetización científica, es decir, conocimientos de dominios generales o particulares de la ciencia, pues la enseñanza de las ciencias muchas veces se promueve desde la tecnociencia sin tener en las aulas las condiciones para su desarrollo y ajena a las necesidades que viven los estudiantes.

Como lo reportan Gómez y Suárez (2020), las condiciones no son igualitarias para todos. Al analizar el desempeño de estudiantes colombianos en la prueba PISA del año 2015, las habilidades científicas pueden verse influenciadas por factores como la situación socioeconómica del estudiante y de la escuela, el grado escolar que cursa, su género, al igual que la frecuencia de la enseñanza basada en la indagación-investigación que reciba, de acuerdo con el tipo de escuela a la que asista. Esta situación muestra la necesidad de seguir abordando desde la investigación estos aspectos relevantes para el mejoramiento de la educación científica en el país.

Perspectiva pedagógico-didáctica del pensamiento científico

En cuanto a la perspectiva pedagógico-didáctica, esta reúne el mayor número de los estudios analizados en el escenario de la educación científica (Ec) desde la enseñanza de las ciencias (En) y su aprendizaje (A). Los campos temáticos, desde esta perspectiva, se describen en la Tabla 4.

Tabla 4. Descripción de los campos temáticos desde la perspectiva pedagógico-didáctica del pensamiento científico

Campos temáticos	Descripción
Pensamiento científico	Forma de pensamiento que se aborda desde múltiples enfoques formativos, de enseñanza y aprendizaje. Requiere de soportes pedagógicos para su desarrollo. Su campo de investigación sigue en aumento.
Competencias científicas	Ec Son Conceptos planteados en los estándares y lineamientos curriculares. Se requiere investigación sobre cómo desarrollarlos desde la complejidad del aula.
	En Competencias como la argumentación, el uso de analogías y el control de variables han tenido especial atención desde la enseñanza de las ciencias.
	A La resolución de problemas es una competencia que se resalta desde diferentes estrategias de aprendizaje.
Conocimiento científico	Ec Constituye parte del objetivo formativo de la educación científica.
	En La intención desde los diferentes modelos es facilitar su comprensión.
	A Dominio de la ciencia que se espera que cada individuo adquiera.
Modos discursivos	Ec Discursos de maestros en las tareas basadas en la indagación favorecen una mayor alfabetización científica.
	En Desde la enseñanza favorecen el desarrollo del pensamiento crítico y científico considerados de orden superior. Se considera necesario investigar cómo se desarrollan dentro de las aulas.
Habilidades científicas	Ec Fomenta el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior en ciencia.
	En Se desarrollan mejor bajo modelos de enseñanza basados en la indagación. Algunas son de razonamiento procesual y otras de dominio conceptual. Se propone realizar investigación en modelos de enseñanza para el desarrollo de habilidades particulares.
	A La estrategia de aprendizaje, con enfoque científico mejora las habilidades de pensamiento científico, las habilidades metacognitivas y de indagación. Se formula la necesidad de mayor investigación.
Prácticas científicas	Ec Fomenta las habilidades de la práctica científica. Pero ¿se puede planificar la enseñanza de la ciencia en sintonía con la práctica científica real? Este es un planteamiento que sugiere indagación.
	En Busca incorporar nuevas herramientas a las prácticas, por ejemplo, nanotecnología
	A La exposición a prácticas científicas reales favorece el aprendizaje de la ciencia.
Estilos de pensamiento con los que se relaciona	Ec Con el pensamiento crítico como un componente clave en el objetivo de preparar a los estudiantes para pensar y ser ciudadanos en un mundo cada vez más afectado por la ciencia y la tecnología (CyT).
	En Con las habilidades de pensamiento creativo y crítico, las cuales se deben fortalecer a través de la enseñanza en este momento histórico.
	A Con el pensamiento crítico, el cual se favorece con el aprendizaje de las ciencias.
Alfabetización científica	Ec Es un producto de la educación científica. Uno de los núcleos de desarrollo investigativo es el estudio de la naturaleza de ciencia (NOS).

	En	El desarrollo de las destrezas en los procesos y conocimientos de la ciencia son parte de la alfabetización. Se sugieren estudios en Iberoamérica.
	A	Se encontró relación entre alfabetización científica y el aprendizaje a través de la argumentación científica sobre cuestiones sociocientíficas.
Aprendizaje	En	Se requieren mayores investigaciones que establezcan los efectos de diferentes modelos de enseñanza sobre el aprendizaje de la ciencia por parte de los estudiantes, particularmente en Colombia.
	A	El aprendizaje basado en la argumentación es muy difundido para resolver problemas. Se encuentran vacíos al establecer cómo se da este proceso con el desarrollo de trabajos en pequeños grupos.
Actitudes científicas	En	Se encontró un gran interés en investigaciones que mejoren aspectos sobre la enseñanza y las actitudes como el cuestionamiento y la curiosidad en estudiantes de educación secundaria.
	A	Se favorecen en algunas formas metodológicas de aprendizaje que involucre el diálogo.
Diálogo	En	El diálogo efectivo en el aula depende de una enseñanza que involucre con éxito a los estudiantes en el pensamiento crítico y el aprendizaje profundo, lo que requiere que muchos maestros piensen y trabajen de manera diferente en la educación científica.
	A	Faltan estudios que se centren en diferentes modos de discusión y diálogo para averiguar si algunas estrategias son más efectivas cuando se dan conversaciones de estudiantes en grupos pequeños, sobre cuestiones socio científicas con el fin de desarrollar una comprensión de los aspectos clave de lo que interrumpe o revitaliza la conversación.

Fuente: elaborada a partir de los datos de la revisión.

El desarrollo del pensamiento científico desde esta perspectiva busca fortalecer la alfabetización científica de los estudiantes de secundaria desde diferentes enfoques de formación (Costa et al., 2021). Esto se corroboró en investigaciones de diferentes países alrededor del mundo, en las que se buscó probar, mejorar, intervenir y comparar diferentes métodos de enseñanza (ABI, ABP, modelo instructivo 5E, basado en preguntas y la instrucción directa), variaciones del método de enseñanza por indagación como el modelo VerE (Nowak et al., 2013), estrategias de aprendizaje como aquel basado en problemas y sus modificaciones (Fitriani et al., 2020; Wilder, 2015) para fortalecer el desarrollo de actitudes científicas como la curiosidad o la creatividad (Jirout, 2020), las competencias científicas en sus múltiples dimensiones (Franco-Mariscal, 2015) y las habilidades consideradas relevantes en la práctica de la ciencia en el aula (Fang, 2021; Gillies y Rafter, 2020; Rind y Ning, 2020; Zhou et al., 2021). Al describir las características de las intervenciones educativas, se comparten las observaciones hechas por Gasparatou (2017), quien indica que propuestas como la educación científica basada en investigación, la enseñanza a través de la argumentación e incluir la filosofía como elemento importante en el cultivo del hábito de pensar, al igual que la incorporación de las ciencias sociales en la rama de la educación científica que sugieren Jewett y Kuhn (2016), son apuestas que fomentan el desarrollo del pensamiento científico en la escuela, pues desafían implícitamente el cientificismo presente en muchas aulas actualmente.

Aquellas investigaciones que se orientaron al conocimiento de dominios particulares de la ciencia, como parte esencial de la alfabetización científica en un mundo cada vez más complejo (Ortega-Quevedo y Gil Puente, 2020; Swanson y Collins, 2019; Vieira y Tenreiro-Vieira, 2016) con intervenciones en el aula, como parte del plan de estudios y en actividades extracurriculares, con participantes con y sin dificultades de aprendizaje (Brigham et al., 2011), lo realizaron en dominios asociados a las ciencias naturales (Gillies, 2020), como física, biología, química y ecología (Nowak et al., 2013; Putranta y Supahar, 2019; Ristanto et al., 2020). Algunas de estas intervenciones incluyeron mediación tecnológica como: visualización en 3D y realidad aumentada (Astuti et al., 2020; León Díaz et al., 2018), uso de laboratorios móviles (Erol et al., 2016), uso de videojuegos (Morris et al., 2013) y la dinámica de la investigación escolar que contribuye al desarrollo de competencias científicas (van der Graaf et al., 2019; Palacios-Bernuy et al., 2020; Yang et al., 2016).

Se encontraron intervenciones en las que se indagó por habilidades específicas, la más frecuente fue la argumentación (Cabello y Sommer Lohrmann, 2020; Cortés-Muñoz et al., 2020; Iordanou et al., 2019; Sengul, 2019). En estas intervenciones se entiende el concepto de habilidad como aquello que es capaz de realizar un individuo, que puede ser medido o comprendido en un momento dado (Suciati et al., 2018). Es importante resaltar que se encontró un estudio en el cual, la argumentación fue la habilidad con menor desarrollo al implementar procesos de aprendizaje mediados por plataformas educativas como Edmodo (Wahyuni et al., 2019). Frente a este hallazgo, Mejía Jiménez (2020) considera que «las habilidades son construidas social y culturalmente por las condiciones de desarrollo que favorece el entorno» (p. 132), por lo que es posible pensar que las plataformas educativas reducen la interacción social que se requiere para desarrollar esta habilidad.

Es necesario mencionar que aunque no es posible afirmar con un alto grado de confianza que los métodos de enseñanza y estrategias de aprendizaje produzcan resultados que puedan ser extrapolados a otro tipo de población de educación secundaria con características diferentes a las reportadas en las investigaciones, ya que las condiciones contextuales e individuales de los sujetos participantes impiden la generalización de estos hallazgos a una población más amplia, es posible realizar las adaptaciones que se consideren necesarias para fortalecer los procesos formativos.

Perspectiva filosófica del pensamiento científico

Bajo esta perspectiva de análisis, se encontraron intervenciones que plantean cómo desde los aportes de la filosofía de la ciencia (Taber, 2017) se pueden mejorar tanto la práctica científica, la política científica, como la educación científica (Plaisance et al., 2021), con enfoques que integren las dimensiones ontológica, epistemológica y lógica del pensamiento (Goh, 2016), que permitan plantear modelos de razonamiento que integren perspectivas filosóficas contemporáneas (Osborne, 2013). Además, se resalta el importante aporte de la educación filosófica a la educación científica, ante la posibilidad de traspasar los límites disciplinarios de la educación secundaria, como ya lo hace la interdisciplinariedad en la investigación ante la creciente asociación entre la filosofía y la ciencia (Lampert, 2020). La descripción de los campos temáticos desde esta perspectiva se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Descripción de los campos temáticos desde la perspectiva filosófica del pensamiento científico

Campos temáticos	Descripción
Pensamiento científico	Se caracteriza por las dimensiones epistemológicas y ontológicas del conocimiento. En el plano educativo se busca que este incorpore herramientas de la filosofía para fortalecer su desarrollo.
Competencias científicas	Son cuestionadas en esta perspectiva, pues se sugiere ir más allá de la alfabetización científica y desarrollar el pensamiento de los sujetos.
Conocimiento científico	La filosofía de la ciencia sugiere que es de naturaleza teórica, conjetural y provisional y advierte de los riesgos de comprometerse fuertemente con cualquier conceptualización particular como un relato final de alguna característica de la naturaleza.
Modos discursivos	Se identifican vacíos para que el pensamiento científico se plantee desde experiencias en una relación dialógica al interior de comunidades de investigación.
Habilidades científicas	Estas habilidades se fortalecen desde destrezas filosóficas básicas. Esto implica la posibilidad de traspasar los límites disciplinarios. Un vacío identificado es la investigación sobre programas como filosofía para/con niños en relación con el desarrollo del pensamiento científico crítico en la educación básica secundaria.
Prácticas científicas	Se mejoran desde el análisis filosófico, el cual propone una perspectiva de contrapeso que respeta y se suma a lo que ofrece el pragmatismo. Resalta que las prácticas se pueden asumir desde la mirada ontológica, en una dimensión pragmática y fenomenológica que extrae nuestras experiencias inmediatas del mundo. Además, sostiene que este último es accesible en las aulas de ciencias al abordar los objetos y las prácticas como obras de arte.
Estilos de pensamiento con los que se relaciona	Comparte habilidades con el pensamiento crítico.
Alfabetización científica	No promueve la alfabetización científica que no considere el desarrollo del pensamiento crítico y se aparta de la visión de la tecnociencia para promover una mirada reflexiva que aporte a la transformación humana y la comprensión de su ser, estar y sentir en el mundo.
Aprendizaje	Busca la comprensión profunda de los contextos del aula, las condiciones, discursos, herramientas y prácticas que promueven experiencias de pensamiento positivas de aprendizaje en los adolescentes, desde la implementación de didácticas de programas como filosofía para niños (P4C).
Actitudes científicas	Para esta perspectiva las actitudes como hacer preguntas, compartir ideas, escuchar atentamente, pensar profundamente y hacer conexiones son las manifestaciones de un salón de clases atractivo, permiten que los estudiantes trasciendan su aprendizaje y vivan experiencias enriquecedoras al compartir en espacios como la comunidad de investigación.
Diálogo	Niñas y niños desarrollan y experimentan numerosas habilidades de pensamiento en el curso de un diálogo filosófico, que ha sido el medio didáctico para la práctica de la filosofía con ellos desde su nacimiento. Una de estas habilidades juega un papel primordial para hacer posible el diálogo verdadero, ya que se basa en la reunión de las mentes: una mente abierta (Hawken, 2019, p. 2).

Fuente: elaborada a partir de los datos de la revisión.

Los resultados en este enfoque describen una relación de formación complementaria entre las habilidades de pensamiento científico y las habilidades de pensamiento crítico (Canuto, 2018; Sumarni y Kadarwati, 2020; Vázquez-Alonso y Manassero-Mas, 2018). Estas habilidades, catalogadas por algunos investigadores como de alto nivel, resultan indispensables para que los individuos solucionen diferentes problemas que encuentran en la actualidad (Yılmaz-Özcan y Tabak, 2019). En esta perspectiva, estas formas de pensamiento se consideran más allá del discurso de las competencias.

En este sentido, Paristiowati et al. (2019) considera que las habilidades de pensamiento crítico pueden tener un efecto positivo sobre la capacidad científica de los estudiantes. Estas se relacionan con procesos mentales bien organizados, que juegan un papel importante en la toma de decisiones para resolver problemas, analizar e interpretar los datos que se generan a partir de preguntas dentro de un proceso de investigación. Para Canuto (2018), estas habilidades pueden afectarse por la disposición de los estudiantes al momento de ejercitarlas y por el nivel de desarrollo que posean.

Dada la relevancia del pensamiento científico y pensamiento crítico para algunas intervenciones educativas, se estableció que la diferencia entre ellos radica en el objetivo que persigue cada uno. Para Albertos Gómez y De la Herrán Gascón (2018), la ciencia busca generar conocimiento científico. Mientras que para Vieira y Tenreiro-Vieira (2016), el pensamiento crítico busca evaluar afirmaciones o situaciones que permiten la comprensión de las problemáticas socio científicas. En este sentido, se encontraron intervenciones educativas que implementaron la investigación filosófica, como la alternativa para convertir las aulas en comunidades de investigación, desarrollando habilidades específicas de pensamiento crítico, esenciales para el proceso de indagación (Fernández Mateo, 2020; Worley y Worley, 2019).

Frente a las estrategias de implementación, se encontraron programas específicos de intervención, que buscan migrar de la enseñanza tradicional a la enseñanza reflexiva, para lograr la comprensión más profunda de los contextos del aula, las condiciones, discursos, herramientas y prácticas que promueven experiencias positivas de aprendizaje en los adolescentes y que den cuenta de su compromiso académico (Leng, 2020). Este es el caso de las intervenciones educativas basadas en el programa de Filosofía para niños que considera los planteamientos de Lipman (2016):

Cuando la educación era considerada como transmisión de información sobre el mundo, la forma en que se enseñaba no parecía tener mucha importancia. Pero cuando el proceso cognitivo empezó a ser considerado un objetivo de la interrelación educativa, las antiguas prioridades fueron quedando obsoletas y hubo que reemplazarlas por otras totalmente nuevas (p. 11).

Estudios desarrollados con esta metodología, muestran que habilidades como formular y probar hipótesis o la búsqueda de problemas, mejoran con la participación en la indagación dialógica (Canuto, 2018), así como las habilidades de razonamiento e indagación se favorecen en el diálogo filosófico (Hawken, 2019). Sin embargo, se deben tener en cuenta la disposición mental de los participantes, pues la actitud cerrada y un código sociolingüístico

limitado, dificultan la fructificación de las discusiones, ante lo cual se requiere que el maestro incite a los estudiantes a utilizar un lenguaje más elaborado, que permita fortalecer la habilidad de argumentación (Lindahl y Folkesson, 2016). También se hace necesario la aplicación experiencial en los participantes, como parte esencial en la construcción de su identidad (Barrientos-Rastrojo, 2019; Toscano y Quay, 2021).

CONCLUSIONES

En el proceso de esta revisión se pudo evidenciar que el pensamiento científico es un concepto complejo, multidisciplinar, cambiante, producto del raciocinio humano que, como forma particular de pensamiento, es construido históricamente de forma individual y colectiva. Este permite la generación, verificación y la propagación del conocimiento que busca explicar y comprender hechos del mundo natural o social a través de principios, leyes y teorías.

En el ámbito educativo, con la intención de operativizar su desarrollo, este se ha caracterizado desde diferentes perspectivas. En el caso de la psicología del desarrollo, este pensamiento ha sido concebido como un proceso de razonamiento que integra habilidades cognitivas, donde el interés se ha centrado en responder ¿cómo se desarrolla el proceso de razonamiento? Para la perspectiva pedagógico-didáctica, que retoma aportes de la psicología, este se considera un proceso en el que se generan productos (conocimientos), por lo que su intención se centra en reconocer ¿cómo se puede mejorar la aprehensión del proceso y sus productos?, mientras que, desde una perspectiva filosófica, la atención se fija en determinar los principios y valores epistémicos que subyacen al mismo.

Se establecieron tres enfoques conceptuales y once campos temáticos que muestran la comprensión teleológica de este pensamiento. Desde la perspectiva política y pedagógico-didáctica, una de las finalidades que más se resalta en las investigaciones se alinea con el sentido y significado establecidos por organismos como la OCDE, donde se considera un resultado importante de la educación científica y elemento clave de las competencias que se buscan con la alfabetización científica, pues se forma al estudiante para que aprenda a pensar como científico y sea globalmente competente. Otra finalidad que se encontró interesante es que permite poner a prueba las creencias existentes y generar nuevos conocimientos que, sin duda, juegan un papel importante en las escuelas. La finalidad que se identifica desde la perspectiva filosófica se focaliza en la indagación epistemológica y ontológica de este tipo de pensamiento, en su intención de entender, descubrir y cambiar la forma en la que sentimos, interactuamos y existimos en el mundo.

En cuanto a las tendencias de investigación, en la perspectiva pedagógico-didáctica, el interés se centra en indagar sobre la efectividad de diferentes modelos de enseñanza y de aprendizaje de las ciencias, no solo desde métodos auto-informados, sino en el aspecto discursivo en las aulas. En ella, el papel del maestro y sus modos discursivos resultan preponderantes en la implementación de cualquier iniciativa que involucre el desarrollo

integral del estudiante, pues los resultados que se obtengan dependen de la comprensión conceptual, de los procesos de planeación y de su formación docente.

En cuanto a la perspectiva filosófica, en el marco de la educación científica, se pudo establecer que una tendencia de investigación centra su objetivo en el desarrollo del pensamiento, más allá de la comprensión conceptual propia de la alfabetización científica, teniendo como fundamento las habilidades de pensamiento crítico. Otro escenario de indagación en esta perspectiva resalta la necesidad de evaluar epistemológica y ontológicamente la definición del pensamiento científico, sus características y sus límites frente a conceptos como el razonamiento y el método científico.

Por último, en relación con la perspectiva política de la educación científica, los retos identificados en el ámbito internacional y nacional giran en torno a la reflexión que pueda hacerse sobre la comprensión de la noción de este tipo de pensamiento y cómo su desarrollo resulta consecuente con las necesidades sociales, políticas y éticas de los estudiantes que cursan la educación secundaria. En este sentido, el carácter metódico de la formación no excluye el enfoque que los maestros definen desde su práctica pedagógica a la hora de intervenir, con el propósito de formar más allá de lo propuesto desde la alfabetización científica para permitirle al estudiante vivir en el mundo y no solo prepararse para la vinculación académica o laboral, en el sentido descrito por el discurso de las competencias.

AGRADECIMIENTOS

Mi más sincero agradecimiento por los comentarios y orientaciones de las investigadoras Damaris Paola Rozo y Carolina María González en el marco del proyecto «La investigación en la escuela y el maestro investigador en Colombia».

CONFLICTOS DE INTERÉS

La autora declara que no presenta conflictos de interés financiero, profesional o personal que pueda influir de forma inapropiada en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

REFERENCIAS

- Albertos Gómez, D., De la Herrán Gascón, A. (2018). Desarrollo del pensamiento crítico en estudiantes de educación secundaria: diseño, aplicación y evaluación de un programa educativo. *Profesorado. Revista de Currículum y Formación de Profesorado*, v. 22, n. 4, 269-285. <https://doi.org/10.30827/profesorado.v22i4.8416>
- Alcoer Tocora, M., Hernández Hernández, C. (2020). Investigación en enseñanza de las ciencias en Colombia: estudio desde sus cosificaciones. *Educación y Educadores*, v. 23, n. 1, 47-68. <https://doi.org/10.5294/edu.2020.23.1.3>
- André, C. F. (2009). *A prática da pesquisa e mapeamento informacional bibliográfico apoiados por recursos tecnológicos: impactos na formação de professores* [Tesis doctoral, Universidade de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.48.2009.tde-15122009-095048>
- Arias Monge, M., Navarro Camacho, M. (2017). Epistemología, Ciencia y Educación Científica: premisas, cuestionamientos y reflexiones para pensar la cultura científica. *Revista Electrónica "Actualidades Investigativas en Educación"*, v. 17, n. 3, 1-20. <https://doi.org/10.15517/aie.v17i3.29878>
- Asmoro, S. P., Suciati, Prayitno, B. A. (2021). Empowering Scientific Thinking Skills of Students with Different Scientific Activity Types through Guided Inquiry. *International Journal of Instruction*, v. 14, n. 1, 947-962. <https://doi.org/10.29333/iji.2021.14156a>
- Astuti, T. N., Sugiyarto, K. H., Ikhsan, J. (2020). Effect of 3D Visualization on Students' Critical Thinking Skills and Scientific Attitude in Chemistry. *International Journal of Instruction*, v. 13, n. 1, 151-164. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13110a>
- Barrientos-Rastrojo, J. (2019). La filosofía con niños como experiencia transformadora. una propuesta en organizaciones sin ánimo de lucro. *Childhood & Philosophy*, v. 15, 1-28. <https://doi.org/10.12957/childphilo.2019.42276>
- Brigham, F. J., Scruggs, T. E., Mastropieri, M. A. (2011). Science Education and Students with Learning Disabilities. *Learning Disabilities Research & Practice*, v. 26, n. 4, 223-232. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5826.2011.00343.x>
- Cabello, V. M., Sommer Lohrmann, M. (2020). Andamios de retiro gradual. Parte 1: Visibilización del pensamiento en la construcción de explicaciones científicas escolares. *Estudios pedagógicos*, v. 46, n. 1, 257-267. <https://doi.org/10.4067/S0718-07052020000100257>

- Canuto, A. T. (2018). Developing children's reasoning and inquiry, concept analysis, and meaningmaking skills through the community of inquiry. *Childhood & Philosophy*, v. 14, n. 30, 427-452. <https://doi.org/10.12957/childphilo.2018.28144>
- Cortés-Muñoz, I., Porras-Araya, M. S., Pereira-Chaves, J., Jiménez-Sánchez, S. (2020). Uso de argumentación y analogías en los procesos de preparación para las Olimpiadas Internacionales de Biología y sus aportes a la promoción de competencias de pensamiento científico en estudiantes costarricenses. *Uniciencia*, v. 34, n. 1, 204-218. <https://doi.org/10.15359/ru.34-1.12>
- Costa, A. M., Ferreira, M. E., da Silva Loureiro, M. J. (2021). Scientific Literacy: The Conceptual Framework Prevailing over the First Decade of the Twenty-First Century. *Revista Colombiana de Educación*, v. 1, n. 81, 195-228. <https://doi.org/10.17227/rce.num81-10293>
- Díaz, C., Dorner, B., Hussmann, H., Strijbos, J.-W. (2021). Conceptual review on scientific reasoning and scientific thinking. *Current Psychology*, 1-13. <https://doi.org/10.1007/s12144-021-01786-5>
- Díaz, I., García, M. (2011). Más Allá del Paradigma de la Alfabetización. La Adquisición de Cultura Científica como Reto Educativo. *Formación Universitaria*, v. 4, n. 2, 3-14. <https://doi.org/10.4067/S0718-50062011000200002>
- Dündar-Coecke, S., Tolmie, A., Schlotmann, A. (2020). Children's reasoning about continuous causal processes: The role of verbal and non-verbal ability. *British Journal of Educational Psychology*, v. 90, n. 2, 364-381. <https://doi.org/10.1111/bjep.12287>
- Erol, M., Buyuk, U., Tanik Onal, N. (2016). Rural Turkish Students' Reactions to Learning Science in a Mobile Laboratory. *Educational Sciences: Theory & Practice*, v. 16, n. 1, 261-277. <https://doi.org/10.12738/estp.2016.1.0171>
- Fang, S.-C. (2021). Towards Scientific Inquiry in Secondary Earth Science Classrooms: Opportunities and Realities. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 19, n. 4, 771-792. <https://doi.org/10.1007/s10763-020-10086-6>
- Fernández Mateo, J. (2020). John Dewey's Theory of Inquiry. Quantum Physics, Ecology and the Myth of the Scientific Method. *Ágora. Papeles de Filosofía*, v. 40, n. 1, 133-154. <https://doi.org/10.15304/ag.40.1.6659>
- Fitriani, A., Zubaidah, S., Susilo, H., Al Muhdhar, M. H. I. (2020). PBLPOE: A Learning Model to Enhance Students' Critical Thinking Skills and Scientific Attitudes. *International Journal of Instruction*, v. 13, n. 2, 89-106. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.1327a>

- Franco-Mariscal, A. J. (2015). Competencias científicas en la enseñanza y el aprendizaje por investigación. Un estudio de caso sobre corrosión de metales en secundaria. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 33, n. 2, 231-252.
<https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.1645>
- Furman, M. (2020). *Aprender ciencias en las escuelas primarias de América Latina*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375199>
- Galamba, A., Matthews, B. (2021). Science education against the rise of fascist and authoritarian movements: towards the development of a *pedagogy for democracy*. *Cultural Studies of Science Education*, v. 16, n. 2, 581-607.
<https://doi.org/10.1007/s11422-020-10002-y>
- García-Carmona, A., Acevedo-Díaz, J. A. (2018). The Nature of Scientific Practice and Science Education: Rationale of a Set of Essential Pedagogical Principles. *Science & Education*, v. 27, n. 5-6, 435-455.
<https://doi.org/10.1007/s11191-018-9984-9>
- Gardinier, M. P. (2021). Imagining globally competent learners: experts and education policy-making beyond the nation-state. *Comparative Education*, v. 57, n. 1, 130-146.
<https://doi.org/10.1080/03050068.2020.1845064>
- Gasparatou, R. (2017). Scientism and Scientific Thinking: A Note on Science Education. *Science & Education*, v. 26, n. 7-9, 799-812.
<https://doi.org/10.1007/s11191-017-9931-1>
- Gillies, R. M. (2020). Dialogic Teaching during Cooperative Inquiry-Based Science: A Case Study of a Year 6 Classroom. *Education Sciences*, v. 10, n. 11, 328.
<https://doi.org/10.3390/educsci10110328>
- Gillies, R. M., Rafter, M. (2020). Using visual, embodied, and language representations to teach the 5E instructional model of inquiry science. *Teaching and Teacher Education*, v. 87, 102951. <https://doi.org/10.1016/j.tate.2019.102951>
- Goh, D. (2016). Expanded Understandings of the Connective Approach in Helping Students Construct Scientific Explanations. *SAGE Open*, 1-12.
<https://doi.org/10.1177/2158244016663608>
- Gómez Ferri, J. (2012). Cultura: sus significados y diferentes modelos de cultura científica y técnica. *Revista Iberoamericana de Educación*, v. 58, 15-33.
<https://doi.org/10.35362/rie580471>
- Gómez, R. L., Suárez, A. M. (2020). Do inquiry-based teaching and school climate influence science achievement and critical thinking? Evidence from PISA 2015. *International Journal of STEM Education*, v. 7, 43.
<https://doi.org/10.1186/s40594-020-00240-5>

- Guasch, B., González, M., Cortiñas, S. (2020). Educational Toolkit Based on Design Methodologies to Promote Scientific Knowledge Transfer in Secondary Schools: A Graphene-Centered Case Study. *Journal of Technology and Science Education*, v. 10, n. 1, 17-31. <https://doi.org/10.3926/jotse.787>
- Hawken, J. (2019). Philosophical discussions with children: an opportunity for experiencing open-mindedness. *childhood & philosophy*, v. 15, 01-20. <https://doi.org/10.12957/childphilo.2019.42982>
- Iordanou, K., Kuhn, D., Matos, F., Shi, Y., Hemberger, L. (2019). Learning by arguing. *Learning and Instruction*, v. 63, 101207. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2019.05.004>
- Jewett, E., Kuhn, D. (2016). Social science as a tool in developing scientific thinking skills in underserved, low-achieving urban students. *Journal of Experimental Child Psychology*, v. 143, 154-161. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2015.10.019>
- Jirout, J.J. (2020). Supporting Early Scientific Thinking Through Curiosity. *Frontiers in Psychology*, v. 11, 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01717>
- Klahr, D., Zimmerman, C., Jirout, J. (2011). Educational Interventions to Advance Children's Scientific Thinking. *Science*, v. 333, n. 6045, 971-975. https://www.researchgate.net/publication/51581609_Educational_Interventions_to_Advance_Children's_Scientific_Thinking
- Koerber, S., Mayer, D., Osterhaus, C., Schwippert, K., Sodian, B. (2015). The Development of Scientific Thinking in Elementary School: A Comprehensive Inventory. *Child Development*, v. 86, n. 1, 327-336. <https://doi.org/10.1111/cdev.12298>
- Koerber, S., Osterhaus, C. (2021). Science competencies in kindergarten: a prospective study in the last year of kindergarten. *Unterrichtswiss*, v. 49, 117-136. <https://doi.org/10.1007/s42010-020-00093-5>
- Kuhn, D. (2016). What Do Young Science Students Need to Learn About Variables? *Science Education*, v. 100, n. 2, 392-403. <https://doi.org/10.1002/sce.21207>
- Lampert, Y. (2020). Teaching the Nature of Science from a Philosophical Perspective. *Science & Education*, v. 29, n. 5, 1417-1439. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00149-z>
- Leng, L. (2020). The Role of Philosophical Inquiry in Helping Students Engage in Learning. *Frontiers in Psychology*, v. 11, n. 449, 1-12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.00449>
- León Díaz, F., Duque Bedoya, E., Escobar Ibarra, P. (2018). Estrategias de formulación de preguntas de calidad mediadas por realidad aumentada para el fortalecimiento del

pensamiento científico. *Revista Mexicana de Investigación Educativa*, v. 23, n. 78, 791-815. <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmie/v23n78/1405-6666-rmie-23-78-791.pdf>

Lindahl, M. G., Folkesson, A.-M. (2016). Attitudes and Language Use in Group Discussions on Socio-Scientific Issues. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, v. 12, n. 2, 283-301. <https://doi.org/10.12973/eurasia.2016.1214a>

Lindholm, M. (2018). Promoting Curiosity? Possibilities and Pitfalls in Science Education. *Science & Education*, v. 27, n. 9-10, 987-1002. <https://doi.org/10.1007/s11191-018-0015-7>

Lipman, M. (2016). *El lugar del pensamiento en la educación*. Octaedro. https://www.academia.edu/37990508/El_lugar_del_pensamiento_en_la_educaci%C3%B3n

Marušić, M., Sliško, J. (2012). Influence of Three Different Methods of Teaching Physics on the Gain in Students' Development of Reasoning. *International Journal of Science Education*, v. 34, n. 2, 301-326. <https://doi.org/10.1080/09500693.2011.582522>

Mejía Jiménez, M. R. (2020). *Educación(es), escuela(s) y pedagogía(s) en la cuarta revolución industrial desde nuestra América*. Ediciones desde abajo.

Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2006). *Estándares Básicos de Competencias en Lenguaje, Matemáticas, Ciencias y Ciudadanas. Guía sobre lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden*. https://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-340021_recurso_1.pdf

Ministerio de Educación Nacional de Colombia. (2017). *Plan Nacional Decenal de Educación 2016-2026. El camino hacia la calidad y la equidad*. https://siteal.iiep.unesco.org/sites/default/files/sit_accion_files/siteal_colombia_0404.pdf

Morris, B. J., Croker, S., Zimmerman, C., Gill, D., Romig, C. (2013). Gaming science: the "Gamification" of scientific thinking. *Frontiers in Psychology*, v. 4, 607. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00607>

Murphy, P. K., Firetto, C. M., Greene, J. A. (2017). Enriching Students' Scientific Thinking Through Relational Reasoning: Seeking Evidence in Texts, Tasks, and Talk. *Educational Psychology Review*, v. 29, n. 1, 105-117. <https://doi.org/10.1007/s10648-016-9387-x>

Murphy, P. K., Greene, J. A., Allen, E., Baszczewski, S., Swearingen, A., Wei, L., Butler, A. M. (2018). Fostering High School Students' Conceptual Understanding and

- Argumentation Performance in Science Through *Quality Talk* Discussions. *Science Education*, v. 102, n. 6, 1239-1264.
<https://doi.org/10.1002/sce.21471>
- Nowak, K. H., Nehring, A., Tiemann, R., Upmeyer zu Belzen, A. (2013). Assessing students' abilities in processes of scientific inquiry in biology using a paper-and-pencil test. *Journal of Biological Education*, v. 47, n. 3, 182-188.
<https://doi.org/10.1080/00219266.2013.822747>
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación la Ciencia y la Cultura. (2017). *Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Objetivos de aprendizaje*.
<https://www.researchgate.net/publication/325570670> Educación para los Objetivos de Desarrollo Sostenible Objetivos de aprendizaje
- Organización de las Naciones Unidas. (s.f.). *Objetivo 4: Garantizar una educación inclusiva, equitativa y de calidad y promover oportunidades de aprendizaje durante toda la vida para todos*.
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/education/>
- Ortega-Quevedo, V., Gil Puente, C. (2020). La evaluación formativa como elemento para visibilizar el desarrollo de competencias en ciencia y tecnología y pensamiento crítico. *Publicaciones*, v. 50, n. 1, 275-291.
<https://doi.org/10.30827/publicaciones.v50i1.15977>
- Osborne, J. (2013). The 21st century challenge for science education: Assessing scientific reasoning. *Thinking Skills and Creativity*, v. 10, 265-279.
<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.07.006>
- Palacios-Bernuy, E., Ocaña-Fernández, Y., Valenzuela-Fernández, L. A. (2020). Effect of the API Program on the Scientific Inquiry of students in regular basic education in Lima. *International Journal of Early Childhood Special Education*, v. 12, n. 1, 398-405.
<https://doi.org/10.9756/INT-JECSE/V12I1.201019>
- Paristiowati, M., Cahyana, U., Irsa Setara Bulan, B. (2019). Implementation of Problem-based Learning – Flipped Classroom Model in Chemistry and Its Effect on Scientific Literacy. *Universal Journal of Educational Research*, v. 7, n. 9A, 56-60.
<https://doi.org/10.13189/ujer.2019.071607>
- Plaisance, K. S., Michaud, J., McLevey, J. (2021). Pathways of influence: understanding the impact of philosophy of science in scientific domains. *Synthese*, v. 199, 1-32.
<https://doi.org/10.1007/s11229-020-03007-1>
- Putranta, H., Supahar, S. (2019). Development of Physics-Tier Tests (PysTT) to Measure Students' Conceptual Understanding and Creative Thinking Skills: A Qualitative Synthesis. *Journal for the Education of Gifted Young Scientists*, v. 7, n. 3, 747-775.
<https://doi.org/10.17478/jegys.587203>

- Rind, I. A., Ning, B. (2020). Evaluating scientific thinking among Shanghai's students of high and low performing schools. *The Journal of Educational Research*, v. 113, n. 5, 364-373. <https://doi.org/10.1080/00220671.2020.1832430>
- Ristanto, R. H., Djamahar, R., Heryanti, E., Ichsan, I. Z. (2020). Enhancing Students' Biology-Critical Thinking Skill through CIRC-Based Scientific Approach (Cirsa). *Universal Journal of Educational Research*, v. 8, n. 4A, 1-8. <https://doi.org/10.13189/ujer.2020.081801>
- Rumahlatu, D., Sangur, K., Liline, S. (2020). The Effect of Complex Instruction Team Product (CITP) Learning Model on Increase Student's Skills. *International Journal of Instruction*, v. 13, n. 1, 587-606. <https://doi.org/10.29333/iji.2020.13138a>
- Sanabria Rojas, Q. A. (2016). Diversidad cultural en la enseñanza de las ciencias y perspectiva de género: Mapeamiento informacional bibliográfico (MIB). *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, n. Extraordinario. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/4792>
- Sengul, O. (2019). Linking Scientific Literacy, Scientific Argumentation, and Democratic Citizenship. *Universal Journal of Educational Research*, v. 7, n. 4, 1090-1098. <https://doi.org/10.13189/ujer.2019.070421>
- Soysal, Y. (2021). Talking Science: Argument-Based Inquiry, Teachers' Talk Moves, and Students' Critical Thinking in the Classroom. *Science & Education*, v. 30, 33-65. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00163-1>
- Suciati, Ali, M. N., Imaningtyas, C. D., Anggraini, A. F., Dermawan, Z. (2018). The Profile of XI Grade Students' Scientificthinking Abilities on Scientific Approach Implementation. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, v. 7, n. 3, 341-346. <https://doi.org/10.15294/jpii.v7i3.15382>
- Sumarni, W., Kadarwati, S. (2020). Ethno-Stem Project-Based Learning: its Impact to Critical and Creative Thinking Skills. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, v. 9, n. 1, 11-21. <https://doi.org/10.15294/jpii.v9i1.21754>
- Swanson, H., Collins, A. (2019). Learning to Theorize in a Complex and Changing World. *Foresight and STI Governance*, v. 13, n. 2, 98-106. <https://doi.org/10.17323/2500-2597.2019.2.98.106>
- Taber, K. S. (2017). Knowledge, beliefs and pedagogy: how the nature of science should inform the aims of science education (and not just when teaching evolution). *Cultural Studies of Science Education*, v. 12, 81-91. <https://doi.org/10.1007/s11422-016-9750-8>

- Torres, N., Bolívar, A., Solbes, J., Parada, M. (2018). Percepciones de estudiantes universitarios sobre su formación en física en educación secundaria. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, v. 21, n. 2, 599-606. <https://doi.org/10.31910/rudca.v21.n2.2018.975>
- Torres Martínez, G. I., Guerrero Romero, J. E. (2018). El currículo de ciencias naturales en Colombia durante la segunda mitad del siglo XX: permanencias, transformaciones y rupturas. *Actualidades Pedagógicas*, n. 71, 63-87. <https://doi.org/10.19052/ap.3885>
- Torres Merchán, N. Y. (2021). Promover procesos de pensamiento científico desde el uso de cuestiones socio-científicas. En E. F. Amórtegui Cedeño, J. A. Mosquera (comps.), *Didáctica de las Ciencias Naturales: perspectivas latinoamericanas. Aportes a la formación del profesorado y la Educación científica* (pp. 89-102). Universidad Surcolombiana. https://www.researchgate.net/publication/356439164_Didactica_de_las_Ciencias_Naturales_perspectivas_latinoamericanas_Aportes_a_la_formacion_del_profesorado_y_la_Educacion_cientifica
- Toscano, M., Quay, J. (2021). Beyond a Pragmatic Account of the Aesthetic in Science Education. *Science & Education*, v. 30, 147-163. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00162-2>
- van der Graaf, J., van de Sande, E., Gijssel, M., Segers, E. (2019). A combined approach to strengthen children's scientific thinking: direct instruction on scientific reasoning and training of teacher's verbal support. *International Journal of Science Education*, v. 41, n. 9, 1119-1138. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1594442>
- Vázquez-Alonso, Á., Manassero-Mas, M. A. (2018). Más allá de la comprensión científica: educación científica para desarrollar el pensamiento. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, v. 17, n. 2, 309-336. http://reec.uvigo.es/volumenes/volumen17/REEC_17_2_02_ex1065.pdf
- Vieira, R. M., Tenreiro-Vieira, C. (2016). Fostering Scientific Literacy and Critical Thinking in Elementary Science Education. *International Journal of Science and Mathematics Education*, v. 14, n. 4, 659-680. <https://doi.org/10.1007/s10763-014-9605-2>
- Vitti Rodrigues, M., Emmeche, C. (2021). Abduction and styles of scientific thinking. *Synthese*, v. 198, n. 2, 1397-1425. <https://doi.org/10.1007/s11229-019-02127-7>
- Wahyuni, S., Sanjaya, I. G. M., Erman, E., Jatmiko, B. (2019). Edmodo-Based Blended Learning Model as an Alternative of Science Learning to Motivate and Improve Junior High School Students' Scientific Critical Thinking Skills. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, v. 14, n. 7, 98-110. <https://doi.org/10.3991/ijet.v14i07.9980>

- Wilder, S. (2015). Impact of problem-based learning on academic achievement in high school: a systematic review. *Educational Review*, v. 67, n. 4, 414-435. <https://doi.org/10.1080/00131911.2014.974511>
- Worley, E., Worley, P. (2019). Teaching critical thinking and metacognitive skills through philosophical enquiry. A practitioner's report on experiments in the classroom. *childhood & philosophy*, v. 15, 1-34. <https://doi.org/10.12957/childphilo.2019.46229>
- Yang, K.-K., Lee, L., Hong, Z.-R., Lin, H.-s. (2016). Investigation of effective strategies for developing creative science thinking. *International Journal of Science Education*, v. 38, n. 13, 2133-2151. <https://doi.org/10.1080/09500693.2016.1230685>
- Yılmaz-Özcan, N., Tabak, S. (2019). The Effect of Argumentation-Based Social Studies Teaching on Academic Achievement, Attitude and Critical Thinking Tendencies of Students. *International Electronic Journal of Elementary Education*, v. 12, n. 2, 213-222. <https://doi.org/10.26822/iejee.2019257669>
- Zhou, S.-N., Liu, Q.-Y., Koenig, K., Li, Q.-Y., Xiao, Y., Bao, L. (2021). Analysis of Two-Tier Question Scoring Methods: A Case Study on the Lawson's Classroom Test of Scientific Reasoning. *Journal of Baltic Science Education*, v. 20, n. 1, 146-159. <https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.146>