

# Habilidades de Pensamiento de Orden Superior en La Enseñanza de las Ciencias Naturales: Una propuesta a partir de un análisis Bibliométrico

Higher-order thinking skills in science education: A Proposal Based on a Bibliometric Analysis

Diana Marcela Sánchez Galvis <sup>a</sup>, Álvaro García Martínez <sup>a</sup>

<sup>a</sup> Doctorado Interinstitucional en Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldes, Bogotá, Colombia

**Resumen.** La inclusión de la enseñanza de las habilidades de pensamiento de orden superior (HOTS) en la educación en ciencias busca enseñar a los estudiantes para formar ciudadanos que tomen decisiones argumentadas sobre las causas, efectos y consecuencias de los avances científicos y tecnológicos, a los cuales se enfrentarán en la vida. De acuerdo con lo anterior, se presenta el diagnóstico y estado actual de la inclusión de las HOTS en la enseñanza de las ciencias durante el periodo comprendido entre el 2000 y 2022. Para ello se realizó un análisis bibliométrico, donde se construyeron y analizaron indicadores de cantidad y calidad, así como, un análisis de tendencias de las investigaciones publicadas. Se identificaron 23 revistas y se reconocieron dos grupos de investigación en Israel, que centran sus investigaciones en el desarrollo de HOTS en los estudiantes de ciencias. Por otra parte, se resalta que las investigaciones giran en torno a dos ejes: i) modelos didácticos para la implementación de HOTS y ii) desarrollo profesional docente. Finalmente, se plantea una propuesta desde una perspectiva constructivista, sobre cuáles son las habilidades de pensamiento de orden superior que se deben promover en la enseñanza de las ciencias.

## Palabras-chave:

Pensamiento científico; Habilidades de pensamiento de orden superior; enseñanza de las ciencias.

## Submetido em

06/11/2024

## Aceito em

04/05/2025

## Publicado em

04/07/2025

**Abstract.** The inclusion of higher-order thinking skills (HOTS) teaching in science education seeks to teach students how to think in order to develop citizens who make reasoned decisions about the causes, effects, and consequences of the scientific and technological advances they will face in life. Based on the above, the diagnosis and current status of the inclusion of HOTS in science education for the period between 2000 and 2022 are presented. A bibliometric analysis was conducted, where quantity and quality indicators were constructed and analyzed, as well as an analysis of trends in published research. Twenty-three journals were identified, and two research groups in Israel were recognized, which focus their research on the development of HOTS in science students. Furthermore, it is highlighted that the research revolves around two axes: i) didactic models for the implementation of HOTS and ii) teacher professional development. Finally, a proposal is made from a constructivist perspective regarding the higher-order thinking skills that should be promoted in science teaching.

**Keywords:** Scientific thinking, Higher order thinking skill, Science education.

## Introducción

Enseñar a pensar a los estudiantes es uno de los objetivos fundamentales de la educación científica (Resnick, 1987). Aunque este objetivo es uno de los más antiguos, aún sigue vigente, por lo tanto el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior (HOTS por sus siglas en inglés Higher Order Thinking Skills) en los estudiantes, sigue siendo una de las metas de la escolarización del siglo XXI (Zohar, 2007). Internacionalmente se mantiene la preocupación que las prácticas de evaluación en ciencias se centren en habilidades de

pensamiento de orden inferior, lo cual hace que los docentes mantengan sus prácticas pedagógicas centradas en el aprendizaje de memoria (Osborne & Dillon, 2008).

Teniendo en cuenta la importancia de desarrollar HOTS en la enseñanza de las ciencias, es necesario reconocer las principales definiciones que han surgido sobre el pensamiento de orden superior. Desde la filosofía, Maier (1933, 1937) propuso una formulación temprana que distinguía entre niveles de razonamiento en función de si la tarea involucraba pensamiento productivo o razonamiento, versus pensamiento aprendido o reproductivo. De esta distinción, se puede establecer que el pensamiento productivo o razonamiento, es un pensamiento de orden superior si parte de las ideas previas para hacer inferencias y resolver problemas (Richland & Simms, 2015). Por otra parte, en 1958, Bartlett describió alternativamente el pensamiento de orden superior como el uso de procesos de interpolación, extrapolación y reinterpretación para llenar los vacíos en el conocimiento previo del individuo. De esta manera, se evidencia la importancia de las ideas previas de los estudiantes para el desarrollo del pensamiento de orden superior, ya que tales concepciones son totalmente influenciadas por el contexto social y cultural de cada persona. Es de reconocer que, las diferentes formas de percibir el pensamiento de orden superior y sus habilidades difieren entre los autores. Así, Resnick (1987) atribuyó algunas características al pensamiento de orden superior sugiriendo que no es algorítmico, tiende a ser complejo, a menudo produce soluciones múltiples e involucra la aplicación de diferentes criterios tales como incerteza y autorregulación (Zohar, 2007).

Con base en lo anterior, después de identificar la postura desde la filosofía sobre el pensamiento de orden superior, Lewis & Smith (1993) sugieren que: "El pensamiento de orden superior ocurre cuando una persona toma información nueva e información almacenada en la memoria y la interrelaciona y/o reorganiza, ampliando esta información para lograr un propósito o encontrar posibles respuestas en situaciones desconcertantes" (p. 136). Sin embargo, la atención más fuerte sobre el pensamiento de orden superior se ha derivado de la taxonomía de Bloom, (1956) de los objetivos educativos. Desde esta visión se sugiere la jerarquización de las habilidades intelectuales a través de seis verbos, en el siguiente orden: recordar, comprender, aplicar, analizar, sintetizar y evaluar. Los niveles que requieren un mayor compromiso con el contenido y se consideran un pensamiento de orden progresivamente, están por encima de la comprensión. Aquí es importante destacar que, la apreciación de Lewis y Smith, concuerda con la visión filosófica de Maier, toda vez que reconoce lo importante de la información almacenada por el individuo y cómo aplicarla a situaciones nuevas o desconcertantes.

Continuando con la taxonomía de Bloom, (1956) esta ha sido la base para el desarrollo de nuevas jerarquías para indicar los niveles de razonamiento o comprensión de los estudiantes. La taxonomía de estructura de resultados de aprendizajes observados (SOLO por sus siglas en inglés The Structure of Observed Learning Outcomes) Biggs & Collins (1982), presenta 5 niveles de complejidad, que van desde los concretos y cuantitativos: i) preestructural, ii) uniestructural y iii) multiestructural, hasta los abstractos y cualitativos: iv) relacional y v) abstracto ampliado. Desde esta taxonomía, se considera que los niveles abstracto y cualitativo hacen referencia al pensamiento de orden superior. Así, en el nivel relacional se utilizan las

habilidades de aplicar, analizar, relacionar, explicar y comparar o contrastar. Finalmente, en el nivel abstracto ampliado, se utilizan habilidades como teorizar, reflexionar, generalizar y formular hipótesis.

En 2001, surge la taxonomía de Anderson, conformada por seis niveles. Los cuatro primeros se correlacionan directamente con la taxonomía de Bloom: recordar, comprender, aplicar y analizar, pero omite el nivel sintetizar. Mantiene el nivel evaluar e incluye un nivel superior al que denomina crear. Este nivel se centra en establecer un todo coherente o funcional a partir de unir diferentes elementos, para reorganizarlos en un nuevo patrón o estructura (Anderson et al., 2001). Lo realmente relevante en la propuesta de Anderson, está en tomar la información conocida (elementos) y organizarla de tal manera que logre dar respuesta a la situación problema creando soluciones alternativas o novedosas.

Otras taxonomías han surgido basadas en niveles cognitivos como herramientas para ayudar a la alineación de los objetivos curriculares con las prácticas de la evaluación y la enseñanza (Webb, 1997, 2007). Webb (2007), plantea 4 niveles de procesamiento mental: nivel 1, recuerdo; nivel 2, habilidad/concepto; nivel 3, pensamiento estratégico, y nivel 4, pensamiento profundo. En esta taxonomía, los niveles que incluyen HOTS son el nivel 3 y el nivel 4. En el nivel 3, se requiere razonamiento, planificación y uso de evidencias, para lo cual las actividades propuestas a los estudiantes deben incluir: i) generar conclusiones de las observaciones, ii) citar evidencia y desarrollar argumentos lógicos para los conceptos, y iii) usar conceptos para resolver problemas. Por otra parte, en el nivel 4, es indispensable el razonamiento, planificación y desarrollo de pensamiento complejo, probablemente durante un período de tiempo prolongado. Las actividades que los estudiantes deben realizar incluyen: i) desarrollar y probar conjeturas, ii) diseñar y realizar experimentos, iii) establecer conexiones entre un hallazgo y conceptos o fenómenos relacionados, iv) combinar y sintetizar ideas en nuevos conceptos, y v) criticar diseños experimentales. (Webb, 2007). Cabe mencionar que las taxonomías de Bloom, SOLO y Webbs, se reflejan en las medidas de evaluación de alfabetización científica que utiliza las pruebas PISA (Fensham & Bellocchi, 2013).

En el mismo año, se plantea la taxonomía de Marzano & Kendall (2007) que involucra 6 niveles, organizados en tres sistemas jerárquicos en términos de flujo de procesamiento, denominados: sistema del yo, metacognitivo y cognitivo. El primero de ellos, el sistema del yo (Self-system), se encuentra en la parte superior de la jerarquía porque busca evidenciar si el alumno se involucra o no en una nueva tarea. De la misma manera, si el alumno decide participar se busca identificar el nivel de energía o motivación dedicado a la actividad. El segundo sistema, metacognitivo (Metacognitive System), se encuentra por encima de los procesos cognitivos, por lo cual representa un tipo de control de los procesos de pensamiento que se aplica al contenido de la materia. Lo anterior se logra a través de la especificación de metas, monitoreo de procesos, claridad y precisión de los contenidos de un área específica. Finalmente, está el sistema cognitivo (Cognitive System), el cual presenta 4 niveles: i) recuperación, ii) comprensión, iii) análisis y iv) utilización del conocimiento. Es importante destacar que los tres sistemas presentados, interactúan con tres dominios: conocimiento, información, procedimientos mentales y procedimientos psicomotores. En cuanto al

pensamiento de orden superior, la taxonomía de Marzanos y Kendall aporta desde el sistema cognitivo con los niveles de análisis y utilización de conocimiento.

Por otra parte, continuando con los enfoques asociados al pensamiento de orden superior, Richland & Simms (2015), consideran que un individuo con un pensamiento de orden superior puede realizar un mapeo de estructuras. Así, tal pensamiento permite representar la información disciplinaria como sistemas de relaciones. Igualmente, permite alinear, comparar o contrastar los sistemas para generar relaciones (como iguales, diferentes o causales) y luego hacer inferencias, resolver problemas y razonar sobre la base de esas relaciones (Richland & Simms, 2015).

Teniendo en cuenta lo anterior, la enseñanza de pensamiento de orden superior se aplica a todos los aprendizajes y a todos los estudiantes (Bransford et al., 2000; Bruer, 1993; Levine, 1993; Newmann, 1990; Perkins, 1992; Perkins & Unger, 1999; Peterson, 1988; Pogrow, 1996, 1988; Resnick, 1987; Resnick & Klopfer, 1989; Vázquez & Manassero, 2005; White & Frederiksen, 1998). Es decir, no discrimina a los estudiantes por su nivel académico, lo cual hace pertinente su inclusión en el currículo, en las clases de ciencias y en el desarrollo profesional docente.

Así como existen diferentes definiciones sobre pensamiento de orden superior, sucede lo mismo con las habilidades de pensamiento de orden superior que se deben desarrollar en la enseñanza de las ciencias. De esta manera, en la tabla 1 se presentan en orden cronológico las perspectivas planteadas por algunos autores.

**Tabla 1.** Perspectivas sobre habilidades de pensamiento de orden superior.

Perspectiva sobre habilidades de pensamiento de orden superior	Autores
Proceso de pensamiento complejo para desglosar el material, sacar conclusiones, construir representaciones, realizar análisis y construir una relación.	(L. Resnick, 1987)
Son las actividades cognitivas que están más allá del nivel de comprensión según la taxonomía tradicional de Bloom.	(Dori et al., 2003)
Paraguas que abarca varias formas de pensamiento como pensamiento crítico, sistémico y creativo.	(Miri et al., 2007)
Competencias altamente valoradas será la capacidad de aprovechar una variedad de conocimientos disciplinarios y, en particular, pensar creativamente, evaluar nuevas ideas de manera crítica, reflexiva y racional.	(Hill, 2007)
Habilidades que mejoran la construcción de una comprensión más profunda impulsada conceptualmente.	(Schraw & Robinson, 2011)
Son la capacidad de combinar actitudes, conocimientos y todas las habilidades que permiten a una persona poder moldear su entorno para que sea más eficaz.	(Anjarsari, 2014)
Son habilidades de pensamiento que hacen que los estudiantes sean capaces de pensar de forma crítica, analítica y creativa sobre un problema, situación o información en particular para encontrar una solución.	(Barratt, 2014 como se cita en: Nurmala & Mucti, 2019)
Consisten en 2 habilidades: habilidades de pensamiento analítico y habilidades de pensamiento creativo. Las habilidades de pensamiento analítico incluyen ordenar, comparar, evaluar y elegir. Las habilidades de pensamiento creativo implican encontrar problemas (identificar problemas), eficiencia (generar muchas ideas), flexibilidad (generar varias ideas), originalidad (generar ideas que no son comunes) y elaboración	(Raiyn & Tilchin, 2016)
Habilidades de los estudiantes para evaluar ideas y opciones para la toma de decisiones.	(Apino & Retnawati, 2017)

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 1, varios autores han planteado diferentes definiciones o perspectivas frente a las habilidades de pensamiento de orden superior. Se destaca que

algunos autores indican que las habilidades de pensamiento de orden superior involucran varias formas de pensamiento cómo crítico, sistémico y creativo (Barratt, 2014; Miri et al., 2007; Raiyn & Tilchin, 2016). Igualmente, se resalta la necesidad de desarrollar competencias que permitan sacar provecho tanto de los conocimientos disciplinares, como de las actitudes del individuo, para aplicarlas en su entorno y así tomar decisiones para la solución de situaciones problema (Apino & Retnawati, 2017; Barratt, 2014; Hill, 2007; Schraw & Robinson, 2011).

Por otra parte, en la tabla 2, se resaltan las habilidades de orden superior en las que se ha hecho mayor hincapié en la investigación en enseñanza de las ciencias en las últimas décadas.

**Tabla 2.** Principales habilidades de orden superior incluidas en la enseñanza de las ciencias.

Principales HOTS en ciencias Habilidad	Autores
Plantear preguntas	(Cuccio-Schirripa & Steiner, 2000; Dillon & Scott, 2002; Dori & Herscovitz, 1999; Scardamalia & Bereiter, 1992; Shepardson & Pizzini, 1991; Zohar & Dori, 2003; Zoller et al., 2002)
Razonamiento	(Carlsen, 1993; Driver et al., 2000; Hogan et al., 2000; Russell, 1983)
Resolución de problemas	(Pizzini et al., 1989; Wilks, 1995)
Diseño de experimentos	(Dori et al., 2003)
Justificación que permitan probar la validez y confiabilidad de afirmaciones y evidencias científicas	(Duschl, 1990)
Pensamiento Creativo	(Raiyn & Tilchin, 2016; Wilks, 1995)
Pensamiento sistémico y crítico	(Chen & Stroup, 1993; Dillon & Scott, 2002; Miri et al., 2007; Zeidler et al., 1992; Zohar & Dori, 2003; Zoller et al., 2002)

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de las habilidades presentadas en la tabla 2, el diseño de experimentos juega un rol muy importante en la enseñanza de las ciencias ya que permite al individuo relacionar conceptos científicos con la práctica, lo cual de seguro conlleva a un aprendizaje significativo que posteriormente podrá aplicar en su quehacer cómo persona activa de la sociedad. Igualmente, y en concordancia con el desarrollo de experimentos, otra habilidad muy importante es justificar los hallazgos a la luz de las evidencias científicas. Lo anterior debido a que en el ejercicio de analizar y justificar los resultados experimentales generará una introspección de los conceptos y verá de manera tangible su aplicación. Finalmente, a pesar de que no está incluida en la tabla 2, una habilidad de pensamiento de orden superior muy relevante es la comunicación argumentada. En ciencias, y en general en la vida, la comunicación argumentada es una habilidad que permite socializar los conocimientos de la disciplina en particular y los hallazgos o hipótesis en general.

Con base en lo anterior, se evidencia que aún no existe un consenso entre los investigadores sobre cuáles son las habilidades de pensamiento de orden superior que se deben incluir en la enseñanza de las ciencias, quedando un espacio vacío en el marco teórico de este campo de investigación. Sin embargo, a pesar de la falta de consenso, la importancia que ha tomado en las últimas décadas el desarrollo de las habilidades de pensamiento de orden superior en la enseñanza de las ciencias se debe a su inclusión en los estándares de ciencias para la nueva generación de EE.UU. (National Research Council, 2012).

Así, dichos estándares son un intento de orientar los planes de estudio de ciencias para centrar su énfasis en las habilidades cognitivas de orden superior, a través de actividades que involucren a los estudiantes en la argumentación de la evidencia y la interpretación de datos. Igualmente, en el diseño de investigaciones científicas, la construcción de explicaciones y el desarrollo y uso de modelos explicativos (Osborne, 2013).

Igualmente es importante resaltar que el nuevo marco de evaluación PISA 2015, evaluó la capacidad de los estudiantes para explicar fenómenos científicamente, evaluar y diseñar investigaciones científicas, e interpretar datos y evidencia científica (OCDE, 2022). De esta manera, se evidencia una correspondencia entre el enfoque teórico de los estándares de EE. UU. y el enfoque político que se centra en las competencias de las pruebas PISA.

Teniendo en cuenta lo anterior, el enfoque de competencias se basa en el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior, que según Zohar (2006) implica, aplicar, analizar, evaluar, crear, construir argumentos, hacer preguntas de investigación, identificar suposiciones ocultas o establecer relaciones causales. Por otra parte, para Schraw & Robinson (2011), estas habilidades mejoran la construcción de una comprensión más profunda que es impulsada conceptualmente (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2013).

Con base en lo expuesto anteriormente, se evidencia que el origen genealógico de las HOTS se ubica desde una postura conductista en la década de los 50, que se centra en la taxonomía de Bloom (Anderson et al., 2001; Bloom, 1956). Sin embargo, el presente artículo toma distancia de esta postura y retoma las HOTS desde una visión constructivista, donde la enseñanza y aprendizaje se considera un proceso de construcción de conocimientos y de habilidades de pensamiento de los estudiantes, que está ligada con los procesos de interacción entre los diferentes actores educativos en el aula.

De igual manera, se evidencia la importancia de la inclusión de las habilidades de pensamiento de orden superior como un objetivo en los currículos de ciencias en el contexto, tanto del contenido específico de la ciencia, como de las disciplinas relacionadas (Miri et al., 2007). Por lo tanto, cobra relevancia la elaboración de propuestas de innovación que fortalezcan el pensamiento científico y la formación de ciudadanos, para una vida activa y responsable dentro de la sociedad (Zoller, 1999).

Por otra parte, se resalta el potencial didáctico, entendiendo este como la diversidad de estrategias y actividades de aprendizaje y evaluación, necesarias para la inclusión de las HOTS en la enseñanza de las ciencias (Báez A & Onrubia G, 2016; Baharin et al., 2018; Dori et al., 2003; Herscovitz et al., 2012; Osborne, 2013; Pellegrino & Hilton, 2013; Zohar, 2004; Zohar & Dori, 2003).

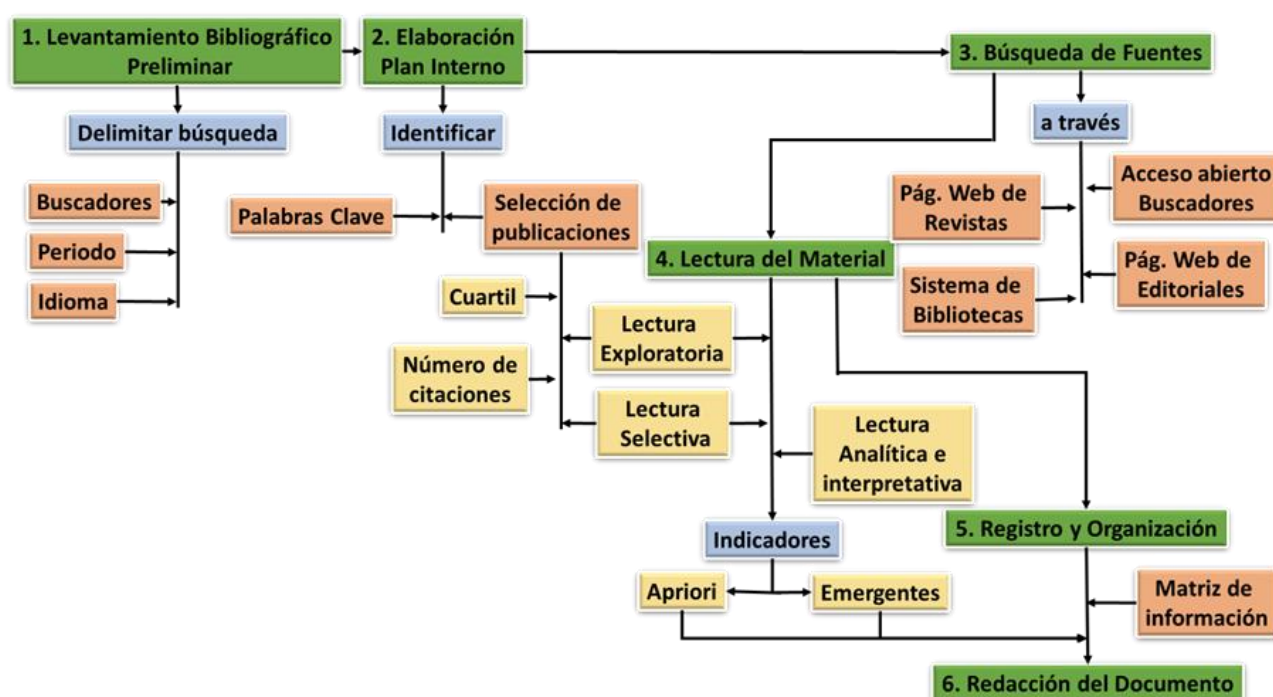
Finalmente, teniendo en cuenta la relevancia e importancia de la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias, este documento presenta un análisis bibliométrico que busca responder la siguiente pregunta, ¿Cuáles son las principales tendencias en la inclusión de habilidades de pensamiento de orden superior en la enseñanza de las ciencias en investigaciones reportadas en el periodo indicado? Para resolver este problema, inicialmente se realizó la búsqueda de documentos de investigación publicados en diferentes bases de datos, en el marco de la enseñanza HOTS, en el área de ciencias naturales. Posteriormente,

se identificó y seleccionó el material bibliográfico para identificar las tendencias que emergen en este campo de investigación. Con base en los hallazgos del análisis bibliométrico, se elabora una propuesta que busca dar una posible respuesta a la pregunta, ¿Cuáles son las habilidades de pensamiento de orden superior que se deben incluir en las clases de ciencias?

## Metodología

La metodología utilizada se basa en el análisis bibliométrico fundamentado en el marco teórico de Gil (2002), quien indica que los análisis bibliométricos se deben desarrollar con base en el material existente, principalmente de artículos y libros de carácter científico. De igual manera, establece que la principal ventaja de estos estudios es abarcar una gama más amplia de fenómenos de la que se puede investigar directamente. La metodología que se utilizó como fundamento es un proceso que se desarrolla en 9 pasos propuestos por Gil (2002). Inicia por la elección del tema, seguido del levantamiento bibliográfico preliminar, formulación del problema, elaboración del plan provisional de materias, búsqueda de fuentes, lectura del material, registro, organización lógica del tema y finaliza con la redacción del documento.

Con base en la propuesta de Gil (2002) y con el fin de identificar ¿Cuáles son las principales tendencias en la inclusión de habilidades de pensamiento de orden superior en la enseñanza de las ciencias en investigaciones reportadas en el periodo indicado? En la figura 1, se presentan las etapas que fueron utilizadas en esta investigación y que posteriormente se explicaran en detalle.



**Figura 1.** Etapas del análisis bibliométrico.  
Elaboración propia basada en (Durand & García, 2020; Gil, 2002)

### Etapa 1: Levantamiento Bibliográfico preliminar.

El objetivo de esta etapa es delimitar la búsqueda de trabajos publicados en revistas y libros durante el periodo comprendido entre enero de 2000 y febrero 2022, que se encuentren en las bases de datos Scopus, Web of Science, Scielo y Google Scholar.

### Etapa 2: Elaboración del plan interno.

En esta etapa se establecieron dos criterios: i) palabras clave y ii) Selección de publicaciones periódicas.

#### *Palabras clave*

Para poder seleccionar las revistas y/o libros se tuvieron en cuenta 2 palabras clave en inglés “Scientific thinking” y “Higher order thinking” que estuvieran presentes en el título, resúmenes y/o palabras claves.

#### *Selección de publicaciones periódicas*

Se realizó la búsqueda de trabajos publicados en las bases de datos mencionadas en la etapa 1 combinando las 2 palabras clave en inglés, encontrando 35 artículos, 2 libros y 5 capítulos de libros que se encontraban en 2 idiomas inglés y español.

La tabla 3 muestra el número de artículos seleccionados por revistas y su codificación según el índice de impacto. Se pudo identificar 23 revistas de las cuales 9 se encontraban en el cuartil 1 (RQ1); 3 en el cuartil 2 (RQ2); 3 en el cuartil 3 (RQ3); 6 en el cuartil 4 (RQ4) y 2 revistas sin clasificación (R-SC).

**Tabla 3.** Identificación de revistas según cuartil y número de publicaciones utilizadas para la presente investigación.

Revista	Base de datos	Código	Número Publicaciones
Thinking Skills and Creativity	Web of Science Scopus	RQ1-1	5
Research in Science Education	Web of Science Scopus	RQ1-2	2
Journal of the Learning Sciences	Google Scholar	RQ1-3	1
Journal of Educational Research	Web of Science Scopus	RQ1-4	1
Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science	Google Scholar	RQ1-5	1
Science Education	Web of Science	RQ1-6	1
Heliyon	Google Scholar	RQ1-7	1
European Journal for Philosophy of Science	Web of Science Scopus	RQ1-8	1
Enseñanza de las Ciencias	Google Scholar	RQ1-9	1
<b>Total Publicaciones Q1</b>			<b>14</b>
Journal of Science Teacher Education	Scopus	RQ2-1	1
Journal of Science Education and Technology	Google Scholar	RQ2-2	1
Curriculum Journal	Google Scholar	RQ2-3	1

Revista	Base de datos	Código	Número Publicaciones
<b>Total Publicaciones Q2</b>			<b>3</b>
International Journal of Science Education	Web of Science	RQ3-1	3
Pertanika Journal of Social Science and Humanities	Web of Science	RQ3-2	1
International Journal of Advanced Computer Science and Applications	Web of Science	RQ3-3	1
<b>Total Publicaciones Q3</b>			<b>5</b>
Journal of Baltic Science Education	Web of Science	RQ4-1	5
Journal Penelitian Dan Pembelajaran IPA	Web of Science	RQ4-2	2
AIP Conference Proceedings	Scopus	RQ4-3	1
Journal of the Serbian Chemical Society	Web of Science Scopus	RQ4-4	1
International Journal for Lesson and Learning Studies	Web of Science	RQ4-5	1
Revista Lasallista de Educación	Scielo	RQ4-6	1
<b>Total Publicaciones Q4</b>			<b>11</b>
Indonesian Journal of Social Research	--	R-SC-1	1
Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science	--	R-SC-2	1
<b>Total Publicaciones R-SC</b>			<b>2</b>
<b>Total Publicaciones</b>			<b>35</b>

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4. Se presentan los libros identificados y seleccionados en el análisis bibliométrico, ya que incluyen las dos palabras claves en su título, introducción o dentro del texto, y presentan algún aporte a la investigación en relación con la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias.

**Tabla 4.** Identificación de libros.

Código Libro	Libro	Año	Autor
L001	Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century	2013	Pellegrino, J.W. & Hilton, M.L.
L002	Higher Order Thinking in Science Classrooms: Students' Learning and Teachers' Professional Development	2004	Zohar, A.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 5. Se presentan los capítulos de libros, seleccionados que incluyen las dos palabras claves en su título, introducción o dentro del texto y presentan algún aporte a la investigación con relación a la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias.

Teniendo en cuenta que solamente se encontraron 35 artículos, se procedió a realizar la lectura de los resúmenes de cada uno de ellos iniciando con los que se encuentran en revistas cuartil 1 y cuartil 2 (Q1 y Q2), con el fin de establecer las tendencias que se vienen desarrollando a nivel internacional sobre la inclusión de las HOTS en la enseñanza de las ciencias. De igual manera, se tuvo en cuenta el índice de citación y autores para su inclusión o no en el análisis.

**Tabla 5.** Identificación de capítulos de libros.

Código Libro	Libro	Código del capítulo	Nombre del capítulo	Año	Autor
L003	Contemporary Trends and Issues in Science Education	CL001	The Relationship Between Metacognition and the Ability to Pose Questions in Chemical Education	2012	Herscovitz, O., Kaberman, Z., Saar, L., Dori, Y.J.
L004	The Routledge International Handbook of Research on Teaching Thinking	CL002	Metacognition and Teaching Higher-Order Thinking (HOT) in Science Education: Students' Learning, Teachers' Knowledge, and Instructional Practices	2015	Zohar, A., & Barzilai, S.
L005	Redefining Scientific Thinking for Higher Education: Higher-Order Thinking, Evidence-Based Reasoning and Research Skills	CL003	Broadening the theory of scientific thinking for higher education	2019	Murtonen, M. & Salmento, H.
L006	Perspectives on Scientific Argumentation: Theory, Practice and Research	CL004	Introduction	2012	Osborne, J., MacPherson, A., Patterson, A., Szu, E.
L007	Chemistry Education: Best Practices, Opportunities and Trends	CL005	The Development of High-Order Learning Skills in High School Chemistry Laboratory: "Skills for Life"	2015	Hofstein, A.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 6, se presentan los artículos seleccionados porque incluyen las dos palabras clave en el título, resumen, o dentro del texto, y que presentan algún aporte a esta investigación en relación con la inclusión de las HOTS en la enseñanza de las ciencias. Donde el 40 % de los artículos se encuentran en revistas Q1, el 8,57 % en revistas Q2, el 14,29 % en revistas Q3, el 31,43 % en revistas Q4 y el 5,71 % en revistas sin clasificación.

**Tabla 6.** Artículos seleccionados para el análisis bibliométrico.

Código Revista	Revista	Código Artículo	Año	País	Autor (es)
RQ1-1	<b>Thinking Skills and Creativity</b>	A001	2013	EE. UU.	Osborne, J.
		A002	2013	Israel	Zohar, A.
		A003	2013	Australia	Fensham, P. J. & Bellocchi, A.
		A004	2013	Israel	Avargil, S.; Herscovitz, O. & Dori, Y.J.
		A005	2013	España	Crujeiras, B. & Jimenez-Aleixandre, M.P.
RQ1-2	<b>Research in Science Education</b>	A006	2007	Israel	Miri, B.; David, B.C. & Uri, Z.
		A007	2008	EE. UU.	Endler, L.C. & Bond, T.G.
RQ1-3	<b>Journal of the Learning Sciences</b>	A008	2003	Israel	Zohar, A. & Dori, Y. J.
RQ1-4	<b>Journal of Educational Research</b>	A009	2020	Shangai	Rind, I.A. & Ning, B.
RQ1-5	<b>Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science</b>	A010	2015	EE. UU.	Richland, L. E., & Simms, N.
RQ1-6	<b>Science Education</b>	A011	2003	Israel	Dori, Y.J.; Tal, R.T. & Tsaushu, M
RQ1-7	<b>Heliyon</b>	A012	2021	Tailandia	Kwangmuang, P.; Jarutkamolpong, S., Sangboonraung, W. & Daungtod, S.
RQ1-8	<b>European Journal for Philosophy of Science</b>	A013	2022	Holanda	Boon, M.; Orozco, M. & Sivakumar, K.

<b>Código Revista</b>	<b>Revista</b>	<b>Código Artículo</b>	<b>Año</b>	<b>País</b>	<b>Autor (es)</b>
RQ1-9	Enseñanza de las Ciencias	A014	2006	Israel	Zohar, A
RQ2-1	Journal of Science Teacher Education	A015	2009	Israel	Miri, B. & Dori, Y. J.
RQ2-2	Journal of Science Education and Technology	A016	2012	Israel	Avargil, S.; Herscovitz, O. & Dori, Y.J.
RQ2-3	Curriculum Journal	A017	2017	Israel	Vidergor, H.E.
		A018	2005	Israel	Zohar, A. & Schwartzner, N.
RQ3-1	International Journal of Science Education	A019	2018	Malasia	Saido, G.A.M.; Siraj, S.; DeWitt, D. & Al-Amedy O.S.
		A020	2020	Inglaterra	Hanley, P.; Wilson, H.; Holligan B. & Elliott, L.
RQ3-2	Pertanika Journal of Social Science and Humanities	A021	2020	Malasia	Foo, S.C. & Foo, K.K.
RQ3-3	International Journal of Advanced Computer Science and Applications	A022	2020	Malasia	Noh, S.N.A.; Zin, N.A.M. & Mohamed, H.
		A023	2018	Indonesia	Prayitno, B.A.; Suciati & Titikusumawati, E.
		A024	2020	Grecia	Tsaparlis, G.
RQ4-1	Journal of Baltic Science Education	A025	2018	Indonesia	Utomo, A.P.; Narulita, E. & Schimizu, K.
		A026	2020	Arabia Saudita	Alrawili, K.S.; Osman, K. & Almontasher, S.
		A027	2021	Taiwan	Su, K.D.
		A028	2017	Indonesia	Fitri, S.G.S.; Hendriyani, M.E. & Sari, I.J.
RQ4-2	Journal Penelitian Dan Pembelajaran IPA	A029	2020	Indonesia	Ichsan, I.Z.; Hasanah, R.; Ristanto, R.H.; Rusdi, R.; Cahapay, M.B.; Widiyawati, Y. & Rahman Md.M.
RQ4-3	AIP Conference Proceedings	A030	2019	Malasia	Suwono, H. & Dewi, E.K.
RQ4-4	Journal of the Serbian Chemical Society	A031	2016	Serbia	Hrin, T.N.; Milenković, D.D.; Segedinac, M.D. & Horvat, S.
RQ4-5	International Journal for Lesson and Learning Studie	A032	2021	Holanda	Jansen, S.; Knippels, M.C.P.J. & van Joolingen, W.R.
RQ4-6	Revista Lasallista de Educación	A033	2014	Colombia	García, D.C.E
R-SC-1	Indonesian Journal of Social Research	A034	2020	Indonesia	Adri, H.T.; Yudianto, S.A.; Mawardini, A. & Sesrita, A.
R-SC-2	International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences	A035	2018	Malasia	Baharin, N., Kamarudin, N., & Manaf, U. K. A.

Fuente: Elaboración propia.

### Etapa 3: Búsqueda de fuentes.

Se pudo acceder a los artículos y libros seleccionados, primero, a través de los buscadores utilizados identificando si el artículo tenía publicación abierta; segundo, directamente en la web de cada revista, y los libros a través de las páginas de los editores a través del sistema de bibliotecas de la Universidad Distrital.

#### **Etapa 4: Lectura del material.**

Según Gil (2002), la lectura de los textos presenta varias etapas a saber: exploratoria, selectiva, analítica e interpretativa. En la etapa 2 se realizó la lectura exploratoria de los artículos para identificar las tendencias sobre la inclusión de las HOTS en la enseñanza de las ciencias, y luego selectiva para poder decidir sobre la inclusión o no de los artículos que se encontraban en el cuartil 3 y 4. Luego de este proceso, se procede a la lectura total de cada uno de los textos y a medida que se avanza en ella se va ordenando y señalando la información relevante que permita la creación de categorías de análisis con el fin de establecer significados entre los textos encontrados.

#### **Etapa 5: Registro y organización.**

El registro y la organización de cada uno de los textos que se encuentran se relacionan de tal manera que permitan extraer información antes de la lectura y después de la misma. Por este motivo inicialmente se plantea una matriz en una hoja de Excel que contiene los siguientes criterios a priori de cantidad y calidad:

##### *Código*

El código permite organizar los trabajos que se encuentran, para el caso concreto se asignó el código A001 hasta el A035 para los artículos, donde A indica la fuente y el número consecutivo en que se van encontrando; para el caso de los libros la codificación inicia en L001 y finaliza en L007.

##### *Buscador*

Para el caso particular son 4 buscadores, Scopus, Web of Science, Scielo y Google Scholar, los cuales se incluyen en la organización teniendo en cuenta que existen artículos que pueden encontrarse en más de un buscador.

##### *Número de citas*

Es un indicador de la calidad del artículo o libro, ya que mide el impacto de la publicación.

##### *Nombre de la fuente*

Para el caso de los artículos es el nombre de la revista, y para los libros o capítulos el nombre completo de los libros; cuartil, exclusivo para las revistas seleccionadas.

##### *Año de publicación*

Permite establecer que la publicación se encuentra en el periodo de la investigación, para este caso en particular, enero 2000 – febrero 2022. De igual manera, permite establecer la actualidad de la investigación y la cantidad de publicaciones por año durante el periodo seleccionado.

### *Autor (es)*

Identifica el autor o autores de la investigación y permite establecer la relación de la cantidad de publicaciones de un autor con respecto al tema que se está investigando.

### *Título*

Es el primer acercamiento con la publicación y el primer filtro para la selección de los trabajos.

### *Resumen*

Es la síntesis del trabajo y sirve como el segundo filtro para la selección de trabajos, ya que en ella se indica el objetivo, metodología y los resultados más importantes, dando un panorama general del trabajo.

### *Palabras clave*

Permiten identificar el foco de la investigación y junto al resumen complementa el segundo filtro de selección de trabajos.

### *Referencia*

Permite identificar cada uno de los trabajos encontrados para poder realizar su referencia en el momento de redactar el documento final.

Luego de la lectura exploratoria, selectiva y analítica de los textos seleccionados se plantearon criterios de análisis que se centraron en establecer las tendencias que se vienen desarrollando frente a la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias. Estas tendencias se identificaron a través de categorías que emergieron en el proceso de lectura (análisis de contenido) y señalamiento de la información, las cuales se fueron organizando en celdas consecutivas en la matriz de Excel inicial.

En la tabla 7, se presentan los criterios que se utilizaron en el análisis de los trabajos, los cuales se encuentran estructurados en cantidad, calidad y tendencias.

**Tabla 7.** Criterios de Análisis bibliométrico.

Criterios de Análisis		
Cantidad y Calidad	Tendencias	
	Ejes	Sub líneas
Cuartil		Enfoques (enseñanza y aprendizaje HOTS)
Año de publicación	Modelos Didácticos	
Idioma		Aprendizaje HOTS y desarrollo Cognitivo
Autor		
País	Currículo y reformas educativas - HOTS	
Nivel educativo	Desarrollo Profesional Docente - HOTS	
Número de citas	Evaluación - HOTS	

Fuente: Elaboración propia.

Los criterios de cantidad tienen como objetivo medir la productividad de un investigador o un grupo a partir del número de publicaciones. Los criterios de calidad buscan establecer el impacto de una publicación con el número de citas y las tendencias, buscan encontrar objetivos afines entre las investigaciones para lo cual se han generado categorías emergentes que se denominan ejes y sublíneas de investigación, dentro de la inclusión HOTS en la educación en ciencias.

### **Etapas 6: Redacción del documento.**

Finalmente se redacta este artículo con base en los datos obtenidos y los criterios de análisis plantados antes y después de la lectura del material bibliográfico seleccionado. Para la elaboración del documento se tuvieron en cuenta los criterios a priori de calidad y cantidad, que corresponden a las categorías generales de los artículos, y se pueden reconocer antes de la lectura del material seleccionado. También se tienen en cuenta los criterios emergentes que se identifican a partir de la lectura y permiten establecer las tendencias en la inclusión de las habilidades de pensamiento de orden superior en la enseñanza de las ciencias. De igual manera, la presentación de los resultados está acompañada de gráficos que permiten visualizar de forma más clara los datos obtenidos.

Con base en lo anterior, los datos cuantitativos se analizarán de acuerdo con el número de publicaciones. Las publicaciones se clasificarán con base en el año de publicación, idioma, cuartil de clasificación, país y nivel educativo en el que se implementa la investigación. En cuanto a los autores, se resaltarán dos aspectos, i) cantidad de artículos publicados entre el 2000 y 2022 y ii) cantidad de citaciones de los documentos publicados.

Por otra parte, se realizará un análisis descriptivo de los artículos tomando como base para el análisis los ejes y sublíneas presentados en la tabla 7. Para esto, se organizarán matrices que permitan identificar los artículos que abordan cada uno de los ejes y sub líneas, para posteriormente realizar el análisis de los hallazgos encontrados.

## **Resultados y Análisis**

La relevancia y la importancia del objetivo de aprendizaje sobre la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias, evidencia un creciente interés en este campo de investigación, lo cual está respaldado por el número de publicaciones, los grupos de investigación y los diferentes países que están iniciando investigaciones en este campo de la educación en ciencias en las últimas dos décadas. Por lo anterior, este análisis cobra relevancia para identificar las principales tendencias en la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias.

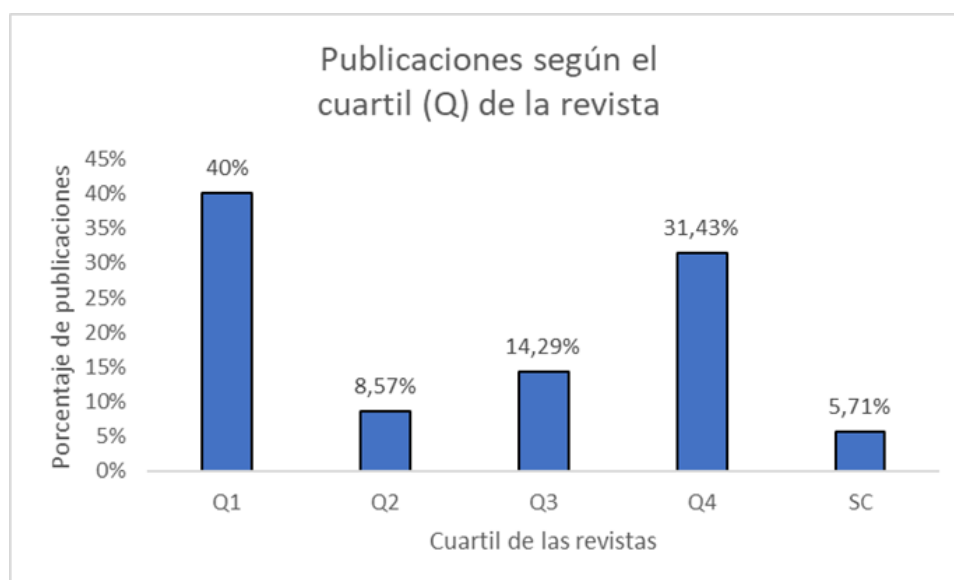
Inicialmente, se presentan los resultados del análisis del material bibliográfico seleccionado a partir de los criterios de análisis de cantidad y calidad. Posteriormente se presentan las tendencias elucidadas en los documentos, las cuales se organizaron en cuatro ejes: i) modelos didácticos para la implementación HOTS, ii) currículo y reformas educativas - HOTS, iii) desarrollo profesional docente - HOTS y iv) evaluación - HOTS.

## Análisis de criterios de cantidad y calidad

A continuación, se presenta uno a uno los resultados encontrados en cada uno de los criterios de cantidad y calidad planteados en la tabla 7.

### *Cuartil (Q)*

Es un indicador de calidad que permite identificar la importancia de las revistas con respecto a todas las revistas de su área específica, donde la revista con mayor impacto se clasifica en el primer cuartil (Q1) y la de menor impacto en el cuarto cuartil (Q4). Para la categorización de las revistas se tuvo en cuenta la clasificación generada en la base de datos en la cual fue encontrado el artículo seleccionado y que se reporta en la tabla 3. De los 35 artículos, el 40% se encuentran en revistas Q1, el 8,57% en revistas Q2, el 14,49% en revistas Q3, el 31,43% en revistas Q4, y el 5,71% en revistas sin clasificación, como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Publicaciones en revistas según el cuartil. Elaboración propia.

Con base en la figura 2, se observa que la mayor cantidad de artículos que soportan este documento están categorizados como Q1. Al respecto, estos documentos deben ser los más consultados y orientan a los investigadores frente a los lineamientos a seguir, en su defecto a discutir, para proponer nuevas ideas.

### *Año de publicación*

Este criterio permite establecer la frecuencia de publicación de investigaciones que incluyen HOTS en la enseñanza de las ciencias. En la figura 3, se muestra el número de publicaciones por año en un periodo comprendido entre enero de 2000 hasta febrero de 2022, y se puede identificar que en el año 2020 se presentó el mayor número de publicaciones con 8 artículos distribuidos por cuartil: 1 en revista Q1, 3 en revistas Q3, 3 en revistas Q4 y 1 en revista sin clasificación.

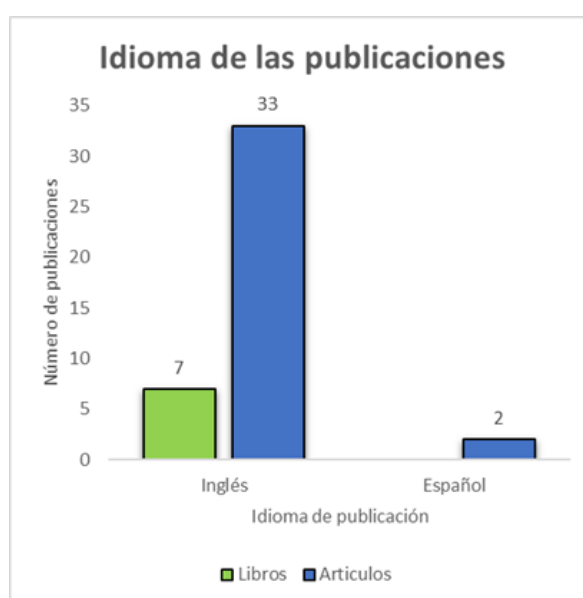


**Figura 3.** Cantidad de publicaciones por año entre 2000 y febrero 2022. Elaboración propia.

De la misma manera, en la figura 3 se observa que, en 2013, se encontraron 7 publicaciones, correspondientes a 1 libro que tiene 398 citaciones y 6 artículos todos en revistas Q1. En 2018 hubo 5 publicaciones; 2012, 2015 y 2021 3 publicaciones; 2019, 2 publicaciones, y en 2003 y 2009, 2014, 2016, 2017 y 2022 se ha realizado una sola publicación por año. Lo anterior, indica que el tema de investigación ha estado y continúa vigente. De la misma manera, se destaca en los últimos 20 años hubo dos años donde el interés fue muy superior a los demás.

### Idioma

Hace referencia al idioma de la publicación. En la figura 4 se presenta la relación del idioma de publicación, al respecto, el 95,2% de los documentos son en inglés, correspondientes a 40 publicaciones, y solamente el 4,8% son en español y corresponden a 2 publicaciones. Igualmente, se destaca que los 2 libros y los 5 capítulos de libros seleccionados todos se encuentran en inglés. En cuanto a los artículos, solamente 2 están en español, y uno de ellos hace parte de una revista de Q1.



**Figura 4.** Idioma de publicación. Elaboración propia.

Con base en la figura 4, se observa que 40 de los 42 documentos consultados están escritos en inglés. Al respecto, este es un indicador muy importante toda vez que, el mayor porcentaje de publicaciones científicas se realizan en inglés.

### *Autor*

Identifica el autor(a) o autores(as) de la investigación y permite establecer la relación de la cantidad de publicaciones de un autor con respecto al tema que se está investigando. Así, se identificó la participación de 80 autores en los 35 artículos, 3 autores de libros y 9 autores en los capítulos de libros seleccionados, para el periodo comprendido entre enero 2000 y febrero 2022. En la figura 5 se relacionan los autores más relevantes y el número de publicaciones en los últimos 22 años.

Es un indicador de calidad que permite identificar la importancia de las revistas con respecto a todas las revistas de



**Figura 5.** Principales autores. Elaboración propia.

En la figura 5, se visualiza los autores(as) que mayor número de publicaciones presentan, en el periodo comprendido entre enero de 2000 y febrero de 2022. Dentro del análisis se encontró que las principales autoras son las profesoras Yehudit Judy Dori, decana de la Faculty of Education in Science and Technology at the Technion – Israel Institute of Technology, Haifa, Israel y Anat Zohar, profesora en School of Education of the Hebrew University of Jerusalem. De igual manera, se identificó que en el Department of Education in Technology and Science, Technion, Israel Institute of Technology, realizan trabajos de investigación sobre la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias a cargo de los siguientes autores(as): Avargil, S.; Herscovitz, O.; Miri B.

Por otra parte, en el departamento Graduate School of Education, Stanford University, Stanford, United States, el profesor emérito Osborne, J. ha centrado su trabajo en pedagogía en defender el papel de la argumentación en la enseñanza de las ciencias, como un medio para mejorar el uso de un enfoque más dialógico para enseñar ciencias y mejorar la comprensión de los estudiantes sobre la naturaleza de la investigación científica.

Finalmente, se destaca a Pellegrino, J.W. & Hilton, M.L. quienes en 2013 editaron el libro *Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century*, el cual presenta el segundo índice de citación más alto (398) de las publicaciones seleccionadas.

Con base en lo anterior, se evidencia que existen grupos de investigación y se están formando redes de investigadores que trabajan sobre la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias, lo cual permite establecer, como se ha mencionado, que es un campo de investigación emergente y que se encuentra en crecimiento.

### *País*

Es un indicador de cantidad que permite reconocer los países que participan en la generación de conocimiento sobre el tema de investigación. Al respecto, en la figura 6 se relacionan la cantidad de publicaciones y los países en los cuales se encuentran registrados los grupos de investigación.



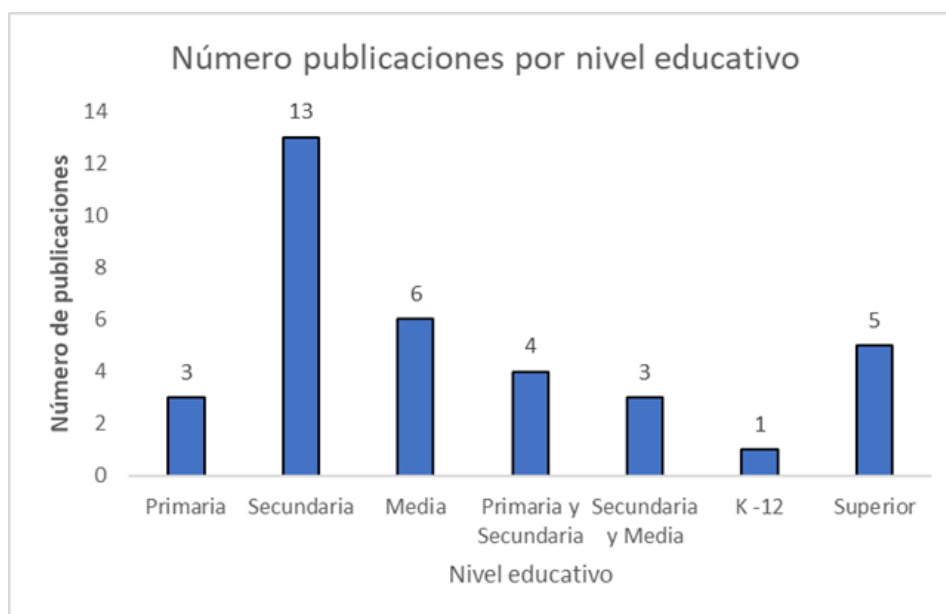
**Figura 6.** Publicaciones por país. Elaboración propia.

En la figura 6 se resaltan los cinco países que mayor número de publicaciones tienen en estudios relacionados con la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias. Para este estudio, se destaca que, Israel tiene 10 artículos publicados, 6 de ellos en revistas Q1, 3 en revistas Q2 y 1 en revista Q3. Igualmente, cuenta con la publicación de 1 libro y 2 capítulos de libro, lo cual corresponde al 31% de documentos consultados. En segundo, lugar se encuentra Indonesia con el 14% de la producción, con 6 artículos en revistas Q4. Posteriormente, se encuentra EE. UU. y Malasia con 5 publicaciones que corresponde al 12% de la producción en investigación con respecto a la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias. Con 2 publicaciones se encuentra Holanda, 4,7% de las publicaciones. Finalmente, el 26,3% que resta de las publicaciones corresponde a una investigación por país, 12 en total, de los cuales 6 son europeos, 4 asiáticos, 1 oceánico y 1 latinoamericano.

Lo anterior, permite evidenciar que la investigación con respecto a la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias viene tomando relevancia en diferentes países a nivel mundial, dadas sus implicaciones para la alfabetización científica de los estudiantes y los retos de escolarización del siglo XXI.

### *Nivel educativo*

Es un indicador de cantidad que hace referencia a la relevancia del tema de investigación de acuerdo con el nivel educativo en el cual se centra el estudio. En la figura 7 se presenta la distribución de los niveles educativos en los artículos seleccionados.



**Figura 7.** Publicaciones por nivel educativo. Elaboración propia.

La figura 7, muestra que los artículos seleccionados, centran su estudio principalmente en la educación secundaria, donde se encuentran 13 publicaciones, seguida de la educación media con 6 publicaciones y la educación superior con 5 publicaciones. De igual manera, se presentan 8 publicaciones que se enfocan en dos o más niveles educativos y 3 publicaciones centradas en la educación primaria. De esta manera, se evidencia que la inclusión HOTS en la enseñanza de la ciencia es importante en todos los niveles educativos ya que i) motiva a los estudiantes frente al aprendizaje de las ciencias, ii) contribuye con el mejoramiento del desempeño académico de los estudiantes, iii) disminuye las brechas entre los estudiantes de bajo y alto desempeño académico y iv) fortalece las HOTS para la formación del estudiante como ciudadano.

### *Número de citaciones*

Es un indicador de la calidad del artículo o libro, ya que mide el impacto de la publicación. El índice de citación de los documentos se presenta teniendo en cuenta lo reportado en la base de datos en la cual fue encontrado y que se reporta en la tabla 3. Cuando el documento aparece en dos o más bases de datos se tomó la referencia del número de citas más alto. En la figura 9 se relacionan los documentos, autores y año de publicación, con más de 20 citaciones en los últimos 22 años.



**Figura 8.** Publicaciones con mayor índice de citaciones. Elaboración propia.

La figura 8, presenta las 18 publicaciones con mayor índice de citación. Se destacan autoras como Zohar y Dori, quienes tiene el índice de citación más alto (815) y son las autoras con el mayor número de publicaciones sobre el tema de investigación, inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias. De igual manera, Pellegrino y Hilton sobresalen con el segundo índice de citación más alto (398). Al respecto, Zohar y Dori, destacan que la inclusión de HOTS mejora la alfabetización científica y tecnológica de los estudiantes, mientras que Pelegrino y Hilton, destacan estas habilidades ayudan en la preparación de los estudiantes para los diferentes roles que desempeñaran como ciudadanos cuando sean adultos.

### Análisis de tendencias

A continuación, se presentan las principales tendencias que se encuentran en las diferentes publicaciones referente a la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias las cuales se han organizado en cuatro grandes ejes: modelos didácticos para la implementación HOTS, currículo y reformas educativas – HOTS, desarrollo profesional docente – HOTS y evaluación- HOTS.

#### *Modelos didácticos para la implementación HOTS*

Dentro de las investigaciones enmarcadas en este eje se puede identificar los modelos didácticos utilizados para la implementación HOTS en la enseñanza de las ciencias, los cuales se pueden categorizar en enfoques de enseñanza aprendizaje y/o aprendizaje y desarrollo cognitivo. En total se encontraron 20 artículos, 2 libros y 5 capítulos que se relacionan con

los modelos didácticos para la implementación HOTS en las aulas de ciencias naturales, tal como se presenta en la Tabla 8.

Los trabajos agrupados en el eje modelos didácticos se organizaron en dos sublíneas. La primera, ubicada en la segunda columna de la tabla 8, que corresponde a las investigaciones que abordan enfoques de enseñanza para el aprendizaje HOTS, en ciencias naturales. Al respecto se destaca la enseñanza por indagación, analogías, controversias científicas, aprendizaje por proyectos, aprendizaje basado en problemas, ciencia, tecnología y sociedad (CTS), ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas por sus siglas en inglés (STEM).

La segunda sublínea, columna tres de la tabla 8, corresponde a investigaciones relacionadas con el aprendizaje HOTS y desarrollo cognitivo de las ciencias naturales. En esta sublínea se analiza la posibilidad de desarrollar HOTS en estudiantes de diferentes niveles educativos y con diferentes niveles académicos.

**Tabla 8.** Documentos asociados al eje Modelos Didácticos para la implementación HOTS.

Eje	Modelos Didácticos para la implementación HOTS		Total Artículos / Libros / Capítulos de libros
Sublínea	Enfoques aprendizaje HOTS)	(Enseñanza Aprendizaje HOTS y desarrollo cognitivo	
Artículos	A001 – A010 – A027	A008	4
	A007 – A009 – A011 – A012 – A014 – A021 – A023 – A026 – A030 – A031		10
		A017 – A032	2
	A018 - A034		2
	A028 – A035		2
<b>Total Artículos</b>			<b>20</b>
Libros	L001		1
		L002	1
<b>Total Libros</b>			<b>2</b>
Capítulos de libros	CL003	CL001	2
		CL002	1
	CL004		1
	CL005	CL005	1
<b>Total Capítulos de Libros</b>			<b>5</b>
<b>Total Artículos, Libros y Capítulos de Libros</b>			<b>27</b>

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 8 se destaca la asignación de colores a las diferentes celdas de acuerdo con el alcance de cada documento. Así, el fondo blanco hace referencia a los documentos que solamente se relacionan a una de las sublíneas propuestas. El color gris, indica que los artículos se relacionan con las dos sublíneas establecidas. El color lila, presenta artículos relacionados con la sublínea aprendizaje HOTS y desarrollo cognitivo, así como currículo y reformas educativas HOTS. El color naranja, involucra las sublíneas, enfoques de enseñanza aprendizaje HOTS y desarrollo profesional docente. Por otro lado, el color amarillo relaciona las dos sublíneas descritas y el desarrollo profesional docente. Finalmente, el color verde asocia la sublínea aprendizaje HOTS y desarrollo cognitivo, junto con el desarrollo profesional docente.

A continuación, se destacan los trabajos con mayor número de citaciones en orden cronológico y con mayor impacto en este eje.

Inicialmente, Zohar & Dori (2003) realizaron un estudio para evidenciar de manera empírica si los procesos de enseñanza aprendizaje diseñados para fomentar las habilidades de orden superior en las clases de ciencias beneficiaban a los estudiantes que presentaban bajos desempeños. Durante la investigación analizaron 4 estudios donde se implementaron estrategias de aprendizaje diferentes, fundamentadas en el enfoque CTS, pero que tenían como objetivo el desarrollo de habilidades de orden superior en las aulas de ciencias de Israel. Dentro de los hallazgos pudieron evidenciar que, en los cuatro estudios, tanto los estudiantes de alto y bajo desempeño se beneficiaron significativamente de las intervenciones educativas, por lo tanto, la evidencia empírica indica que la instrucción HOTS es apropiada tanto para estudiantes de alto y bajo desempeño académico. Por lo anterior, las autoras indican que, al enfatizar en el desarrollo de habilidades de pensamiento de todos los estudiantes, en todos los niveles académicos mejorará significativamente la alfabetización científica y tecnológica con respecto al punto de partida de cada estudiante.

Dori et al. (2003) investigaron la capacidad de los estudiantes de secundaria, grado 10 y 11 de Israel que no optaron por cursos de ciencias, para usar habilidades de orden superior en un módulo de biotecnología donde las actividades están fundamentadas en la estrategia de controversias científicas a través de estudios de caso con implicaciones ambientales y morales. Dentro de los resultados más relevantes de la investigación, los autores pudieron establecer una mejora significativa en el conocimiento, comprensión y las habilidades de orden superior en todos los estudiantes de todos los niveles académicos. Sin embargo, pudieron concluir que los estudiantes de bajo nivel académico obtuvieron mejores resultados que los de alto rendimiento en cuanto a conocimiento y comprensión. Pero, por otro lado, los estudiantes de alto rendimiento obtuvieron mejores resultados en cuanto al desarrollo HOTS – Planteamiento de preguntas, argumentación y pensamiento sistémico-.

Con base en los resultados anteriores, los autores(as) pudieron establecer que se disminuyó la brecha entre los estudiantes de bajo y alto nivel académico. Por lo anterior, los autores(as) indican que el uso de controversias científicas como estrategia de enseñanza de las ciencias puede contribuir al desarrollo de la alfabetización científica y tecnológica, como al desarrollo HOTS en estudiantes de secundaria que no eligen las ciencias como profundización.

Zohar (2004), presenta el resultado de la investigación realizada durante varios años en el contexto del proyecto Thinking in Science Classrooms (TSC) en Israel, del cual también hacia parte los investigadores Yehudit Weinberger, Noa Shwartzter, Yael Margalit y Flora Nemet, conformando un grupo de investigación que trabaja en dos temas principales: i) desarrollar actividades de aprendizaje que combinara la instrucción de patrones de pensamiento específicos con conceptos científicos, y ii) desarrollar y administrar talleres para los docentes. El libro se divide en dos partes, la primera, describe la investigación realizada en las aulas de ciencias, analizando el aprendizaje de los estudiantes en el contexto TSC. La segunda parte describe la investigación realizada en los cursos de desarrollo profesional docente, analizando los procesos de pensamiento y aprendizaje de los maestros mientras adoptaban las ideas de enseñar habilidades de pensamiento de orden superior a los estudiantes de ciencias.

Los hallazgos de la investigación se dividen en dos grupos: el aprendizaje de los estudiantes y el desarrollo profesional docente. En el primer grupo se encuentran dos hallazgos que la

autora considera primordiales, identifican las ganancias en el aprendizaje de los conceptos científicos y que los estudiantes de todos los niveles educativos se beneficiaron del proyecto TSC. De igual manera, la autora enfatiza que la adquisición estable de nuevas estrategias de pensamiento requiere una instrucción sistemática, repetida y bien diseñadas.

De la misma manera, se indica que el diseño de materiales didácticos es una condición necesaria pero no suficiente para lograr el objetivo de fomentar el pensamiento de los estudiantes y resalta la importancia de las concepciones y creencias de los docentes para el éxito o no del proyecto. Lo anterior, teniendo en cuenta que el conocimiento pedagógico general de los docentes, su modelo de enseñanza y aprendizaje puede generar obstáculos o efectos positivos sobre la enseñanza de las ciencias. Por lo tanto, los cursos de desarrollo profesional docente deben partir de estas creencias, para abordar el conocimiento del contenido, el conocimiento pedagógico del contenido, el conocimiento sobre la evaluación y el conocimiento declarativo metacognitivo en el contexto de las habilidades de pensamiento, con el fin de ampliar la variabilidad de estrategias didácticas que los profesores tienen a su disposición y poder elegir diferentes estrategias en el aula.

Zohar (2006), explica los fundamentos del proyecto Thinking in Science Classrooms (TSC) y presenta los resultados de investigaciones que muestran que el proyecto genera mejora en las habilidades de razonamiento de los estudiantes y en sus conocimientos científicos. El proyecto TSC tiene como objetivo integrar las habilidades de pensamiento de orden superior con el currículo escolar, para lo cual se basa en cuatro características fundamentales: i) hacer del pensamiento un componente central en la rutina diaria de las clases, ii) ve la enseñanza de patrones de pensamiento como un objetivo educativo explícito, iii) abordar el pensamiento como un objetivo explícito y sistemático en la enseñanza de las ciencias naturales y iv) enseñar de forma explícita el conocimiento meta estratégico.

Miri et al. (2007) realizaron un estudio de caso longitudinal que tenía como objetivo examinar si la enseñanza HOTS en las clases de ciencias mejora el pensamiento crítico de los estudiantes. Dentro de los hallazgos realizados, cabe resaltar que: i) enseñar ciencias para la promoción HOTS contribuye al desarrollo de habilidades de pensamiento crítico y la disposición hacia este tipo de pensamiento; ii) identificaron tres estrategias de enseñanza que promueven HOTS en las clases de ciencias: tratar con casos del mundo real, fomentar debates abiertos y experimentos orientados a la indagación. Este estudio también reconoce la participación de los docentes en la aplicación de estrategias de HOTS en las clases de ciencias, por lo cual sugiere incluir este tema en los programas de desarrollo profesional docente, que permita conceptualizar HOTS y el pensamiento crítico de forma más coherente.

Herscovitz et al., (2012), describen dos estudios que tienen como objetivo investigar el efecto de exponer a los estudiantes de química de secundaria a una herramienta metacognitiva mientras leen estudios de caso (estudio I) y artículos químicos adaptados (estudio II) sobre su capacidad para plantear preguntas complejas. Los resultados del estudio se dividen en teóricos y prácticos. El primero es el diseño de la herramienta metacognitiva para plantear preguntas complejas y desarrollar estrategias de lectura de artículos científicos adaptados, en varios niveles de pensamiento y niveles de comprensión de la química. Lo anterior es una contribución importante para mejorar el proceso de aprendizaje de los estudiantes sobre los

fenómenos químicos y la investigación científica. La segunda, indica que la herramienta metacognitiva fue efectiva para fomentar tanto la metacognición de los estudiantes como sus habilidades de pensamiento de orden superior en la formulación de preguntas y reflexión, mejorando su proceso de aprendizaje y comprensión de las ciencias.

Pellegrino & Hilton (2013) en su libro *Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21<sup>st</sup> century*, argumentan la necesidad de desarrollar una variedad de habilidades y conocimientos en los jóvenes para prepararlos en los diferentes roles que desempeñaran como ciudadanos cuando sean adultos. De igual manera, plantean que estas habilidades y conocimientos deben desarrollarse en asignaturas como matemáticas, ciencias y lenguaje. Para lo anterior, proponen que las investigaciones deben girar en torno a la pregunta ¿cómo se puede aprender, enseñar y evaluar las habilidades de pensamiento de orden superior?

De la misma manera, los autores sugieren que se debe identificar las características relacionadas con el aprendizaje HOTS en entornos escolares formales, planes de estudios y evaluación, así como, en el desarrollo profesional docente. Igualmente, se debe tener en cuenta que, en los ambientes informales, asociados a museos, exhibiciones, centros de aprendizaje, entre otros, también se promueve el aprendizaje HOTS. Finalmente, se deben contemplar las intervenciones educativas a través de medios digitales, tanto para ambientes formales e informales en la enseñanza HOTS en las ciencias.

Osborne (2013), indica que un mayor énfasis en el pensamiento crítico y analítico también mejoraría la comprensión conceptual de los estudiantes. Así, plantea un modelo de evaluación de las habilidades de orden superior a través del modelo de razonamiento científico, el cual se basa en tres prácticas fundamentales: i) hipótesis, ii) experimentación y iii) evaluación de la evidencia, y en tres tipos de conocimiento: i) de contenido, ii) procedimental y iii) epistémico.

Baharin et al. (2018), analizan la importancia del enfoque Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) en el proceso de enseñanza aprendizaje que pueda mejorar las habilidades de pensamiento de orden superior en los estudiantes. El enfoque de enseñanza y aprendizaje STEM es una de las claves para un aprendizaje efectivo, una comprensión significativa y profunda que pueda integrar la ciencia, la tecnología, la ingeniería y las matemáticas entre los estudiantes. De igual manera, indican que la implementación del enfoque STEM en las clases de ciencias mejora las habilidades de pensamiento de orden superior en los estudiantes, al incluir la resolución de problemas, pensamiento crítico, pensamiento creativo y pensamiento científico. Los autores, plantean que el aprendizaje basado en la resolución de problemas, basado en proyectos y en la investigación científica, son un enfoque eficaz de enseñanza aprendizaje para la educación STEM.

De igual manera establecen los desafíos de los docentes para la implementación del enfoque STEM, sobre lo cual indican que es necesario tener en cuenta el desarrollo profesional para los docentes en formación desde los programas académicos y para los docentes en ejercicio a través de talleres o de programas de comunidades de aprendizaje al interior de las escuelas. Los docentes necesitan capacitación continua que permita ampliar sus habilidades y conocimientos sobre las disciplinas que componen STEM, conocimiento pedagógico y

metodologías de enseñanza y aprendizaje, para que diseñen, implementen y evalúen el proceso de enseñanza STEM.

Richland & Simms (2015), proponen que el razonamiento relacional puede considerarse como la base cognitiva del pensamiento de orden superior y como meta educativa. Lo anterior, implica que la enseñanza debería llevar a los estudiantes a ver el conocimiento como algo que se puede manipular, refinar y conectar con otra información.

De esta manera, los enfoques de enseñanza HOTS de mayor recurrencia entre los autores son las controversias científicas (Dori et al., 2003); ciencia, tecnología y sociedad (Zohar & Dori, 2003); aprendizaje basado en proyectos (Fitri et al., 2017; Kwangmuang et al., 2021; Suwono & Dewi, 2019); aprendizaje por indagación (Zohar & Schwartz, 2005); STEM (Baharin et al., 2018; Su, 2021) y modelado conceptual (Boon et al., 2022). Así, la inclusión de estos enfoques en la enseñanza de las ciencias en los diferentes niveles de educación permite: i) mejorar el desempeño académico de los estudiantes con bajo y alto desempeño, ii) aumentar la motivación de los estudiantes por el aprendizaje de las ciencias, iii) incrementar el aprendizaje de conceptos científicos, iv) potenciar el pensamiento crítico, creativo y analítico, v) mejorar la metacognición de los estudiantes y vi) promover la alfabetización científica y tecnológica.

Con base en lo anterior, es importante resaltar que este tipo de investigaciones están fuertemente relacionadas con el desarrollo profesional docente. Por lo tanto, la actualización, formación y trabajo con los docentes frente a los conocimientos sobre HOTS y la experiencia propia del docente, son relevantes para obtener resultados exitosos, dada la influencia del trabajo de los docentes con los estudiantes dentro del aula de clases.

En conclusión, se puede indicar que este eje tiene el mayor número de trabajos asociados en el presente análisis bibliométrico. La tendencia de las investigaciones es desarrollar estrategias de aprendizaje y desarrollo cognitivo en los estudiantes para el aprendizaje HOTS como meta de escolarización para el siglo XXI.

### *Currículo y reformas educativas - HOTS*

En este eje se presentan los trabajos que tienen como finalidad identificar los desafíos que se presentan en la implementación del currículo o en reformas educativas a nivel regional o nacional y que incorporan HOTS en la enseñanza de las ciencias. En total se encontraron 4 artículos que se relacionan en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Artículos asociados al eje Currículo y Reformas Educativas - HOTS.

Eje	Currículo y Reformas Educativas	Total Artículos
Artículos	A002 – A003 – A004 – A005	4
<b>Total Artículos</b>		<b>4</b>

Fuente: Elaboración propia.

Dentro de este eje cabe resaltar que dos de los cuatro artículos son desarrollados en Israel, donde se realizó una reforma educativa a nivel nacional que incluye la enseñanza HOTS en los documentos curriculares de ciencias (ciencias y tecnología, química, física y biología). Así,

Zohar (2013), plantea los desafíos involucrados en la ampliación e implementación de proyectos que respondan a las políticas educativas planteadas desde el Ministerio de Educación. De esta manera, el primer desafío es la enseñanza HOTS desde el enfoque de infusión, es decir, relacionar HOTS con contenidos científicos múltiples, variados y específicos. El segundo desafío es la planificación de una secuencia de desarrollo razonable y coherente entre los objetivos de pensamiento y contenido. Finalmente, el tercer desafío se relaciona con el aspecto pedagógico y organizativo, que implica el desarrollo profesional docente sólido y profundo frente a HOTS y metacognición.

Por otro lado, Avargil et al., (2013), investigaron la reforma del plan de estudios de química y su efecto en la implementación a nivel nacional en Israel. El estudio se realiza para identificar los retos que presentan los maestros debido a la transición a un nuevo currículo de ciencias, que se enfatiza en HOTS, el conocimiento y la comprensión de la química, así como, en las habilidades de pensamiento requeridas por los estudiantes, para resolver preguntas específicas en el examen nacional de matriculación.

Los autores establecieron dos tipos de retos a los cuales se enfrentaba dicha reforma nacional. Primero, los problemas con el conocimiento pedagógico del contenido y el conocimiento sobre evaluación de los docentes, y segundo, los problemas de política relacionados con el sistema. Dentro de los hallazgos se evidencia que la reforma fue exitosa, ya que existió una estrecha colaboración entre las tres partes interesadas, es decir, Ministerio de Educación, instituciones académicas y docentes. De la misma manera, la existencia de una política clara y consistente, con apoyo longitudinal y un proceso claro de implementación, permitieron la apropiación de los docentes para una implementación exitosa de la reforma propuesta.

Las otras dos investigaciones se realizaron en Australia y España. En Australia, Fensham & Bellocchi (2013), exploraron hasta qué punto los documentos curriculares, los procedimientos de evaluación y los instrumentos de evaluación de la química, apoyan o dificultan el desarrollo HOTS en los estudiantes. Dentro de los hallazgos más importantes se resalta que los exámenes que utilizaban un sistema basado en calificaciones tendían a enfatizar el pensamiento de orden inferior. De manera contraria, las pruebas que usaban el sistema basado en criterios tendían a otorgar mayor ponderación al pensamiento de orden superior.

De otro lado, Crujeiras & Jiménez-Aleixandre (2013), plantean los retos de la implementación de una reforma educativa en España que se centra en el desarrollo de competencias científicas y el desarrollo HOTS como metas de la educación científica. Así, se compara los objetivos HOTS y competencias científicas, con los criterios de evaluación de los documentos rectores del currículo de ciencias actual (2007) y el anterior (2003). Los autores destacan que las implicaciones para la política educativa en España necesitan cambios en la práctica del aula y que es necesario el apoyo a los docentes para que se produzcan dichos cambios. Así mismo, manifiestan que los currículos reformados abren nuevas oportunidades tanto para aprender ciencias como para aprender a pensar.

Lo anterior, permite identificar que en diferentes países se está iniciando la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias como políticas nacionales. Por otro lado, es necesario resaltar la importancia de la colaboración constante entre las partes interesadas con el fin de

establecer sinergias y apoyos en pro de la consecución del éxito. De igual manera, es indispensable iniciar con pruebas piloto que permitan identificar de forma empírica los desafíos y necesidades propias de cada contexto en el cual se realiza la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias.

### *Desarrollo profesional docente - HOTS*

En este eje se presentan los trabajos que tienen como finalidad analizar la importancia del desarrollo profesional docente en lo concerniente a la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias. En este sentido, se identificaron las creencias, conocimiento y experiencia frente a HOTS y sobre metacognición. De la misma manera, se identificaron los enfoques de enseñanza aprendizaje HOTS, su implementación y evaluación. Así mismo, los desafíos y dificultades que puedan presentar los docentes en la transición hacia nuevas estrategias de enseñanza HOTS. Estos trabajos se centran en destacar la actividad docente en la consecución o no del éxito de las reformas educativas que se centran en la implementación HOTS en la enseñanza de las ciencias. En total se encontraron 4 artículos, 1 libro y 2 capítulos de libros que se relacionan con este eje y se presentan en la tabla 10.

**Tabla 10.** Documentos asociados al eje Desarrollo Profesional Docente - HOTS.

Eje	Desarrollo Profesional Docente - HOTS	Total Artículos
Artículos	A015 – A016 – A020 – A022	4
<b>Total Artículos</b>		<b>4</b>
Libros	L002	1
<b>Total Libros</b>		<b>1</b>
Capítulos de libros	CL004 – CL005	2
<b>Total Capítulos de libro</b>		<b>2</b>
<b>Total Artículos, Libros y Capítulos de Libros</b>		<b>7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Las diferentes investigaciones en cuanto a la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias, resaltan la importancia de incluir a los docentes en cualquier tipo de reforma educativa. Es importante resaltar que las creencias, conocimiento y experiencia de los docentes afectan positiva o negativamente los resultados del aprendizaje de los estudiantes. Al respecto, a continuación, se presentan los resultados de investigaciones que tienen mayor relevancia por la cantidad de citas que presentan sus publicaciones.

Zohar & Schwartz (2005), indican que el conocimiento pedagógico en el contexto de la enseñanza del pensamiento de orden superior es diferente al conocimiento pedagógico o al conocimiento pedagógico del contenido. Así, la enseñanza del pensamiento no se centra en una materia en particular, sino en el conocimiento de los procesos de pensamiento y en las pedagogías que se relacionan con su enseñanza. Dentro de los estudios realizados por las autoras, encontraron tres hallazgos importantes que demuestran que la mayoría de los docentes: i) adoptan un enfoque de transmisión de conocimientos para la enseñanza de pensamiento de orden superior, ii) creen que la instrucción del pensamiento de orden superior es una meta educativa importante en la enseñanza de las ciencias, pero no conciben

que sea apropiado para todos los estudiantes, y iii) los docentes no tienen el conocimiento metacognitivo necesario para la enseñanza del pensamiento de orden superior.

Por otro lado, y teniendo en cuenta que la reforma de la educación científica en Israel propone que los docentes apliquen el aprendizaje constructivista y desarrollen habilidades de pensamiento de orden superior en los estudiantes. Para su éxito se requiere que los docentes en ejercicio comprendan, practiquen y apliquen las habilidades de pensamiento de orden superior, como el pensamiento crítico y las habilidades argumentativas.

En este sentido, Miri & Dori (2009), desarrollaron un curso de posgrado para profesores de ciencias en ejercicio en el formato de “Journal Club” un curso híbrido que combina debates presenciales en el aula con actividades en línea. El curso interrelaciona la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación, con el fin de mejorar las habilidades de pensamiento de orden superior de los docentes en ejercicio, involucrándolos en una evaluación crítica de artículos de educación científica. El estudio evidenció que las habilidades de pensamiento de orden superior de los docentes en ejercicio mejoraron en términos de capacidad para plantear preguntas complejas, presentar opiniones sólidas, presentar argumentos consistentes y demostrar pensamiento crítico.

Avargil et al. (2012), plantean qué para el éxito de las reformas educativas, se debe acompañar el trabajo de los docentes quienes deben ajustar sus percepciones a nuevas estrategias que permitan hacer frente a los nuevos retos, nuevas estrategias de enseñanza y evaluación. De esta manera, la investigación buscaba identificar los desafíos y dificultades a los que se enfrentan los docentes y las ventajas que encontraron al aplicar el módulo Taste of chemistry, planteado en la reforma llevada a cabo en Israel. De igual manera, busca dilucidar cuáles fueron las estrategias utilizadas por los docentes para la enseñanza y evaluación de las habilidades de pensamiento de orden superior. En este sentido, la reforma estableció un nuevo plan de estudios para la enseñanza de la química en secundaria, la cual se fundamenta en el desarrollo de la alfabetización científica de los estudiantes a través de la química basada en el contexto y el desarrollo de habilidades de orden superior.

Con base en los documentos se resalta que, el acompañamiento y apoyo para el desarrollo profesional docente debe ser continuo, para que las reformas educativas tengan éxito. De la misma manera, es necesario establecer comunidades de aprendizaje activa de los docentes y sus contrapartes académicas. El crecimiento profesional del docente involucra tres etapas, i) conocimiento del contenido, denominado conocimiento básico que debe poseer el docente para enseñar química en contexto, ii) conocimiento pedagógico del contenido, implica el conocimiento de cómo combinar el contenido con la pedagogía, para fomentar habilidades de pensamiento de orden superior en sus estudiantes con énfasis en los niveles de comprensión de la química y iii) evaluación del contenido, hace referencia a la evaluación de las habilidades de pensamiento de orden superior de los estudiantes en un entorno basado en el contexto.

Presentado lo anterior, se puede establecer que la participación de los docentes, sus creencias, conocimientos y experiencia son fundamentales en cualquier tipo de reforma que incluya HOTS en la enseñanza de las ciencias. Igualmente, el éxito de las reformas educativas está relacionada con el acompañamiento, apoyo y programas de desarrollo profesional docente

que se oferte desde el Ministerio de Educación a los docentes en ejercicio. Así, es fundamental seguir investigando sobre las creencias de los docentes y también sobre el diseño y evaluación de programas de desarrollo profesional docente sobre HOTS y metacognición en la enseñanza de las ciencias.

Finalmente, se puede establecer que el desarrollo profesional de los docentes se debe tener en cuenta en la implementación de las reformas educativas que incluyan HOTS. De la misma manera, el desarrollo de habilidades de orden superior por parte de los estudiantes no es posible si no se mejoran estas habilidades en los docentes. En consecuencia, mejorar las capacidades de los docentes mejoran sus capacidades de enseñanza, lo cual se puede lograr a través del intercambio de experiencias, argumentos y reflexiones entre los docentes, es decir a través de comunidades de desarrollo profesional (García-Martínez, 2021).

### *Evaluación - HOTS*

Dentro de este eje se presentan las investigaciones que se centran en la evaluación HOTS en los estudiantes, a partir del análisis de los resultados de las pruebas nacionales, internacionales o del diseño de una evaluación HOTS para el aprendizaje de las ciencias. De esta manera, para este eje se encontraron 6 artículos y 1 libro, como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11.** Artículos asociados al eje Evaluación - HOTS.

Eje	Evaluación - HOTS	Total Artículos
Artículos	A024 – A025 – A027 - A029 – A031 – A033	6
<b>Total Artículos</b>		<b>6</b>
Libros	L002	1
<b>Total Libros</b>		<b>1</b>
<b>Total Artículos, Libros</b>		<b>7</b>

Fuente: Elaboración propia.

Las investigaciones relacionadas en la tabla 11 destacan la importancia de la evaluación HOTS en el proceso de enseñanza a aprendizaje de las ciencias. Así, es necesario alinear las prácticas en el aula, el desarrollo profesional docente y la evaluación hacia un mismo objetivo. Dos trabajos se centran en las pruebas a nivel nacional (Tsaparlis, 2020) e internacional (Utomo et al., 2018), donde analizan los desempeños HOTS de los estudiantes y los ítems de las pruebas que evalúan HOTS, con el fin de establecer la posibilidad o no de utilizarlas dentro de las clases de ciencias. Por otra parte, cuatro artículos se centran en el diseño de evaluaciones para la evaluación HOTS en ciencias naturales, dentro de los que cabe destacar el trabajo de Su (2021), quien plantea un diseño para la evaluación HOTS de estudiantes de química en los niveles macro, micro y simbólico, adaptado a la teoría de Marzanos.

De esta manera, Su (2021) evaluó de forma detallada un instrumento de evaluación diagnóstico centrado en HOTS para evaluar la comprensión integral de los estudiantes que incluye los cuatro niveles cognitivos jerárquicos de la teoría de Marzanos (recuperación, comprensión, análisis y utilización del conocimiento). Dentro de los hallazgos de la investigación es importante resaltar que el desarrollo de HOTS promueve la comprensión profunda del conocimiento y la transferencia de este conocimiento en diferentes contextos.

Por otra parte, se destaca el trabajo de Ichsan et al. (2020), quienes crearon una herramienta de evaluación basada en HOTS en el aprendizaje de las ciencias en estudiantes de secundaria, específicamente en biología, en el tema de genética. Este estudio siguió el método de desarrollo de pruebas que consta de 4 pasos: i) análisis de las necesidades, ii) diseño de evaluación, iii) desarrollo de la evaluación y iv) validación del instrumento. Los hallazgos demostraron que el instrumento de evaluación tenía una alta validez del contenido un buen índice de confiabilidad y una validez de construcción aceptable. De esta manera, la evaluación basada en HOTS es una herramienta que permite valorar el resultado del aprendizaje de las ciencias de los estudiantes en todos los niveles educativos. Así mismo, la evaluación basada en HOTS potencia el pensamiento crítico y pensamiento analítico de los estudiantes, ya que permite reconocer la capacidad de pensar, las formas para resolver problemas y analizar datos por parte de los estudiantes.

Al igual que los otros ejes, las investigaciones sobre evaluación HOTS son parte de un proceso de investigación e innovación que es necesario seguir desarrollando a la luz de los fundamentos de la didáctica de las ciencias. Lo anterior, teniendo en cuenta que la evaluación permite identificar los aprendizajes de los estudiantes y retroalimentar las actividades propuestas en el aula, siendo un punto de partida que se debe tener en cuenta para la actividad docente que incluya HOTS en la enseñanza de las ciencias.

Teniendo en cuenta los diferentes ejes de investigación HOTS en la enseñanza de las ciencias y evidenciando la falta de consenso de los investigadores sobre ¿Cuáles son los HOTS que se deben incluir en la enseñanza de las ciencias? queda en evidencia la importancia de enseñar a pensar a los estudiantes para ser ciudadanos críticos en una sociedad democrática, que responda a las necesidades de la educación en ciencias para el siglo XXI (Zohar, 2007).

De la misma manera, la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias busca formar ciudadanos informados que puedan tomar posturas críticas ante diferentes situaciones de la sociedad actual y frente a la avalancha de información que llega a través de internet por medio de las redes sociales (Osborne & Allchin, 2024). Con base en lo anterior, en el siguiente apartado se plantea una propuesta centrada en la didáctica de las ciencias que responde a la pregunta ¿Cuáles son los HOTS que se deben incluir en la enseñanza de las ciencias?

## **HOTS en la Actividad Científica Escolar**

Desde el marco de la didáctica de la ciencia y la ciencia cognitiva, se plantea que la enseñanza de las ciencias se enmarca en tres dimensiones: pensamiento (construcción de ideas que son representaciones del mundo), acción (adquirir experiencias significativas, personales sobre el mundo) y lenguaje (comunicar: leer, escribir y hablar en ciencia) (M. Izquierdo, 2007). La conexión y coordinación entre estas dimensiones conforma la estructura de la actividad científica escolar, que permite a los estudiantes valorar los resultados de las ciencias como una actividad humana que se lleva a cabo en comunidad (Guidoni, 1985; M. Izquierdo, 2007; Paz et al., 2008). Es decir, enseñar a los estudiantes a pensar el mundo con teorías.

Teniendo en cuenta que una de las dimensiones de la actividad científica escolar (ACE) es el pensamiento, la propuesta para dar respuesta al interrogante descrito previamente, plantea

que la ACE debe centrarse en el desarrollo de habilidades de pensamiento de orden superior de los estudiantes al tiempo que aprenden nuevas habilidades de pensamiento científico.

Por lo anterior, se parte de la premisa que el pensamiento de orden superior se caracteriza por ser complejo y no ser algorítmico, se genera cuando se relaciona y reorganiza la información nueva con la almacenada para plantear posibles respuestas a diferentes situaciones a partir de múltiples criterios. De esta manera, el pensamiento de orden superior requiere la autorregulación y permite la incertidumbre (Lewis & Smith, 1993; L. Resnick, 1987).

En este sentido, el pensamiento de orden superior se compone principalmente de dos habilidades: pensamiento creativo y pensamiento crítico (Heffington, 2019; Koch, 2017; Partnership for 21st Century Learning, 2019; Saifer, 2018). Sin embargo, por la naturaleza misma de las ciencias y el pensamiento científico, se incluye el pensamiento analítico (Amer, 2005; Mitarlis et al., 2020) y el pensamiento metacognitivo/autorregulador (Espinoza, 2021; Soto et al., 2019; Zohar & Ben-Ari, 2022), como HOTS a incluir en la actividad científica escolar.

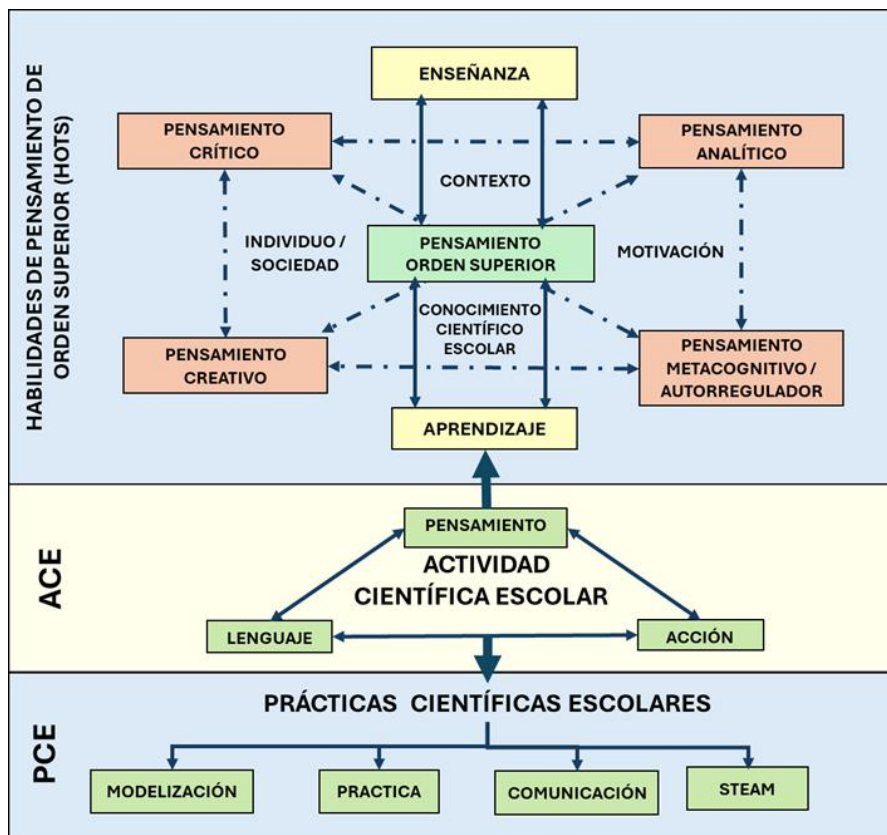
De esta manera, para la construcción de la propuesta, inicialmente y con base en el análisis bibliométrico se identificó la importancia de la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias. Posteriormente, se reconoció que las HOTS más recurrentes para la enseñanza de las ciencias son: i) el pensamiento crítico, ii) pensamiento creativo y iii) el pensamiento metacognitivo/autorregulador. Al respecto, se destaca que las investigaciones reportadas en el análisis bibliométrico incluyen estas HOTS de manera aislada o en duplas, nunca la inclusión de las tres, en una misma investigación.

Con lo anteriormente expuesto, se concibe la propuesta bajo la combinación de múltiples habilidades de pensamiento de orden superior a promover en la enseñanza de las ciencias (Mitarlis et al., 2020). Así, se incluye el pensamiento creativo, pensamiento crítico, pensamiento analítico y pensamiento metacognitivo/autorregulador. Igualmente, la propuesta resalta la importancia de incluir los siguientes aspectos que influyen en el proceso de enseñanza y aprendizaje de las ciencias: i) individuo/sociedad, ii) motivación, iii) contexto y iv) conocimiento científico escolar. En la figura 9 se presenta el esquema de la propuesta de inclusión de HOTS en la actividad científica escolar.

Con base en la figura 9, recuadro superior, la inclusión de las HOTS en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias se centra en el desarrollo del pensamiento de orden superior. Para lograr este pensamiento, es necesario potenciar el pensamiento crítico, pensamiento analítico, pensamiento metacognitivo/autorregulador y pensamiento creativo de forma sinérgica.

Así, el pensamiento crítico, es un proceso que conlleva el uso de conocimientos (conceptuales, contextuales y metodológicos), igualmente incluye habilidades complejas (evaluación, análisis) y actitudes reflexivas (inquisitiva flexible y de mente abierta) (Heffington, 2019). En este sentido, en el pensamiento crítico, la información no se toma al pie de la letra, sino que se utiliza, manipula, transforma, examina, evalúa, analiza y critica. Igualmente, el pensamiento crítico tiene 4 propósitos principales: i) pensar con claridad y precisión; ii)

aprender a comprender; iii) ver más allá de lo superficial y iv) determinar la veracidad de la información (Saifer, 2018).



**Figura 9.** Publicaciones con mayor índice de citaciones. Elaboración propia.

El siguiente de los pensamientos relacionados para alcanzar HOTS es el pensamiento analítico. Este se define como el desarrollo de la capacidad de pensar sabiamente, diferenciar formas de resolver problemas, analizar datos, recordar y utilizar información (Amer, 2005). Los componentes del pensamiento analítico incluyen la capacidad de comparar o analizar elementos, organizar y relacionar (Anderson et al., 2001; Chonkaew & Faikhamta, 2016; Mitarlis et al., 2020). El pensamiento analítico permite a los estudiantes pensar de manera lógica, sobre la relación entre los conceptos y las situaciones que enfrentan. De esta manera, el pensamiento analítico implica la capacidad de: i) categorizar el problema en sus partes, ii) explicar la función de un sistema, la razón por la que algo sucede, o cómo resolver un problema, iii) comparar y diferenciar dos o más fenómenos, y iv) evaluar y examinar las características de estos (Kao, 2014; Yulina et al., 2018). Al respecto, se destaca que la inclusión del pensamiento analítico en la propuesta se basa en el rol protagónico que tiene en el desarrollo del pensamiento científico escolar, toda vez que, todos sus componentes se requieren para la comprensión de las ciencias.

Continuando con la descripción de los tipos de pensamiento requeridos para potenciar HOTS, a continuación, se presenta el pensamiento metacognitivo/autorregulador. Espinoza (2021), describe el pensamiento metacognitivo/autorregulador como aquella capacidad de inspeccionar nuestras propias actividades mentales, reconociendo en ellas las acciones secuenciadas que se realizan. Es tener conciencia sobre nuestro procesamiento mental

teniendo control sobre éste (Lacon & Ortega, 2008). Por tanto, la metacognición ayuda a hacer una autosupervisión de la actividad mental, tomando decisiones al respecto para mejorarla y controlar elementos que pueden favorecerla o entorpecerla (Sinatra & Taasobshirazi, 2017). La inclusión de este tipo de pensamiento obedece a los procesos propios de reflexión que se adelantan en el proceso de aprendizaje de las ciencias. Así, es común durante el proceso de aprendizaje que los estudiantes se autorregulen y adelanten procesos de metacognición, que les permita reconocer las HOTS y los conocimientos que van alcanzando con el desarrollo de las actividades científicas escolares.

Finalmente, el cuarto pensamiento requerido para desarrollar HOTS es el pensamiento creativo. Este pensamiento se define como la capacidad investigativa original, que aporta lo novedoso, lo práctico y lo útil, a través de habilidades mentales que implican fluidez, flexibilidad, originalidad y sensibilidad ante los problemas. Igualmente, requiere de la visión global sobre la relación con otras cosas o ideas (Belmonte, 2013; Mitarlis et al., 2020). En este sentido, el pensamiento creativo también se considera una justificación de la creatividad (Alfuqaha & Tobasi, 2015). Con base en lo anterior, el pensamiento creativo aporta de manera directa a los otros tres tipos de pensamiento, en la medida que permite aplicar habilidades mentales que implican la flexibilidad y originalidad para resolver problemas y explicar fenómenos de las ciencias en diferentes contextos.

La inclusión y promoción de los diferentes tipos de pensamiento para el desarrollo de las HOTS en la enseñanza de las ciencias no es suficiente, es necesario involucrar los aspectos propios del individuo. Así, la motivación juega un papel clave para lograr el conocimiento científico escolar. Igualmente, el contexto del individuo es muy importante para garantizar que se alcance el pensamiento de orden superior y el proceso de enseñanza y aprendizaje se lleve de manera efectiva, como se presenta en la figura 9.

Continuando con la descripción de la propuesta de inclusión HOTS en la actividad científica escolar, se destaca que las dimensiones, pensamiento, lenguaje y acción, están estrechamente relacionadas y propician el aprendizaje de las ciencias. De esta manera, aplicar las tres dimensiones permitirá a los estudiantes la apropiación de los cuatro tipos de pensamiento, que conllevan al pensamiento de orden superior. Ahora bien, para consolidar las dimensiones previamente establecidas y las HOTS, es necesario llevar a cabo prácticas científicas escolares. Se resaltan cuatro prácticas que se deben llevar a cabo para el aprendizaje de las ciencias. La primera es la modelización, la cual busca que los estudiantes piensen a través de teorías (Adúriz & Izquierdo, 2009; Oliva, 2019). Posteriormente está la práctica (Barberá & Valdés, 1986; Caamaño, 2003; Castillo, 2021), como su nombre lo indica, es hacer aplicando los conocimientos y teorías de las ciencias. La siguiente práctica científica escolar, es quizá la más relevante, la comunicación (De Longhi et al., 2012; A. M. Izquierdo & Sanmartí, 2000; Sanmartí et al., 2001). Al respecto, todo proceso de aprendizaje se basa en tres aspectos: i) leer, ii) escribir y iii) hablar, para el caso de las ciencias a través del lenguaje específico y universal que las caracteriza. Finalmente, la relación entre la ciencia, tecnología, ingeniería, artes y matemáticas (STEAM), es una práctica científica escolar que permite interrelacionar las disciplinas y dimensiones de las ciencias, así como, las HOTS en el aprendizaje aplicado de las ciencias.

Con base en lo anterior y desde un punto de vista de la didáctica de las ciencias se considera que las prácticas científicas escolares descritas previamente, se complementan y sirven como soporte para promover múltiples HOTS en el aprendizaje de las ciencias. Así, aplicar estas prácticas científicas escolares, permiten desarrollar en los estudiantes procesos de pensamiento de orden superior como toma de decisiones, resolución de problemas, planificar, elaborar estrategias y analizar; procesos que están inmersos en las HOTS propuestos en este documento para su inclusión en la enseñanza de las ciencias.

## Consideraciones Finales

Partiendo de la premisa que enseñar a pensar es uno de los objetivos fundamentales de la educación en ciencias (L. Resnick, 1987) y que aún sigue vigente, se destaca que las investigaciones sobre la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias han cobrado relevancia en las últimas dos décadas, en vista que son consideradas una meta de escolarización para el siglo XXI (Crujeiras & Jiménez-Aleixandre, 2013; Zohar, 2007).

De igual manera, la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias es fundamental, debido a la necesidad de generar la alfabetización científica de los estudiantes, con el fin de tomar decisiones sobre asuntos de la ciencia y la tecnología en su vida diaria (Pellegrino & Hilton, 2013; Zohar & Dori, 2003). Así mismo, las pruebas internacionales por competencias incluyen la valoración de los desempeños HOTS en el área de ciencias, por lo cual es un reto mayor su inclusión en currículos (Miri et al., 2007; OCDE, 2022).

Con base en lo expuesto en el documento, existen diferentes formas para definir pensamiento de orden superior y habilidades de pensamiento de orden superior. Dichas definiciones varían de un autor a otro, dependiendo del año y el tipo de investigación realizada. Sin embargo, todas estas definiciones responden a las características atribuidas por Resnick (1987), donde sugiere que el pensamiento de orden superior no es algorítmico, tiende a ser complejo, a menudo produce soluciones múltiples e involucra la aplicación de diferentes criterios tales como incerteza y autorregulación.

Así como existen diferentes ideas para definir pensamiento de orden superior, hay una alta variedad de definiciones para habilidades de pensamiento de orden superior. Más aún, hay diversas propuestas frente a cuáles son las HOTS que se deben desarrollar en la enseñanza de las ciencias. Es importante destacar que todas concuerdan con la definición de Barratt (2014), quién indica que son habilidades de pensamiento que permiten que los estudiantes sean capaces de pensar de forma crítica, analítica y creativa sobre un problema, situación o información en particular para encontrar una solución.

A través del análisis bibliométrico se puede establecer que la investigación sobre la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias es una línea emergente dentro del marco de la didáctica de las ciencias. Esto, debido al crecimiento de las investigaciones realizadas en este campo en las dos últimas décadas, la existencia de comunidad académica, donde se resaltan dos grupos de investigación en Israel y la alta cantidad de publicaciones realizadas en revistas científicas clasificadas en los mejores cuartiles. De igual manera, se identificaron cuatro ejes de

investigación en la inclusión HOTS en la enseñanza de las ciencias: i) modelos didácticos, ii) currículo y reformas educativas, iii) desarrollo profesional docente y iv) evaluación.

De esta manera, la mayoría de los artículos seleccionados en el análisis bibliométrico se encuentran en el eje de modelos didácticos. Así, las investigaciones presentan enfoques de enseñanza para el aprendizaje HOTS, por ejemplo, indagación (Zohar & Schwartz, 2005), analogías, controversias científicas (Dori et al., 2003), aprendizaje por proyectos (Fitri et al., 2017; Kwangmuang et al., 2021; Suwono & Dewi, 2019), aprendizaje basado en problemas, CTS (Zohar & Dori, 2003) y STEM (Baharin et al., 2018; Su, 2021). En este sentido, se evidencia que la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias se puede realizar a través del enfoque de infusión (Zohar, 2013). Es decir, las HOTS deben estar vinculadas a los contenidos de la asignatura y no pueden ser actividades aisladas. Dicho esto, la inclusión de HOTS en la enseñanza de las ciencias se puede adaptar a cualquier enfoque de enseñanza y aprendizaje que este fundamentado desde la didáctica de las ciencias y alejado del enfoque tradicional.

Por otra parte, tener como objetivo de la enseñanza de las ciencias la inclusión HOTS, implica una reflexión desde los Ministerios de Educación, secretarías de Educación, Instituciones Educativas y maestros sobre ¿Cuál es la relevancia y la importancia de enseñar a pensar a los estudiantes de ciencias naturales? Esta pregunta se puede trasladar a cada una de las áreas del conocimiento que se desarrollan en las instituciones educativas (Avargil et al., 2012; Miri & Dori, 2009; Zohar & Schwartz, 2005). Sin embargo, para el caso particular de las ciencias naturales, las investigaciones seleccionadas para el análisis bibliométrico coinciden en que la inclusión HOTS en el aprendizaje de las ciencias, mejora significativamente los niveles de conocimiento y comprensión de las ciencias.

Igualmente, la inclusión HOTS en los procesos de enseñanza es apropiada para estudiantes con alto y bajo rendimiento académico, disminuyendo las brechas entre estos estudiantes. Sin embargo, no implica que se deban enseñar con los mismos métodos; es adecuado para los estudiantes de todos los niveles educativos y se puede lograr una mejora en la alfabetización científica y tecnológica (Dori et al., 2003; Zohar, 2004; Zohar & Dori, 2003). De igual manera, los trabajos seleccionados resaltan la importancia de la participación de los docentes en el desarrollo del currículo y de las herramientas de evaluación HOTS. Así, los docentes tienen un papel importante en el éxito de la implementación y evaluación de estrategias de enseñanza y evaluación, ya que son fundamentales para intercambiar roles entre ellos y para crear comunidades de aprendizaje.

Finalmente, la propuesta se enmarca en la combinación de múltiples habilidades de pensamiento de orden superior a promover en la enseñanza de las ciencias, a saber, pensamiento crítico, pensamiento analítico, pensamiento metacognitivo/autorregulador y pensamiento creativo (Mitarlis et al., 2020). Igualmente, la inclusión de las HOTS en la actividad científica escolar debe tener en cuenta al individuo/sociedad, motivación, contexto y conocimiento científico. Estos cuatro aspectos estarán mediados por la enseñanza y aprendizaje. Con base en la propuesta, y desde un punto de vista de la didáctica de las ciencias, se considera que las prácticas científicas escolares más relevantes y que se complementan para la promoción de múltiples habilidades de pensamiento de orden

superior son, la modelización (Adúriz & Izquierdo, 2009; Oliva, 2019), práctica (Barberá & Valdés, 1986; Caamaño, 2003; Castillo, 2021), comunicación (De Longhi et al., 2012; A. M. Izquierdo & Sanmartí, 2000; Márquez & Prat, 2005; Sanmartí et al., 2001) y STEAM, las cuales, sirven como soporte para promover las HOTS en el diseño de actividades científicas de aula.

## Referencias

- Adúriz, A., & Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación En Educación En Ciencias*, 4, 40–49.  
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=273320452005>
- Alfuqaha, I., & Tobasi, A. (2015). Creative Thinking of University Teachers in the Age of Intellectual Capital: Is It Affected By Personality Types and Traits? *I-Manager's Journal on Educational Psychology*, 9(2), 8. <https://doi.org/10.26634/jpsy.9.2.3650>
- Amer, A. (2005). *Analytical Thinking*. Center of advanced study and research in engineering sciences, Faculty of Engineering- Cairo University (CAPSCU).  
<http://www.pathways.cu.edu.eg/subpages/analytical-engine.htm>
- Anderson, L. W., Krathwohl Peter W Airasian, D. R., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J., & Wittrock, M. C. (2001). *A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing. A Revision of Blooms' Taxonomy of Educational Objectives*. Longman.
- Apino, E., & Retnawati, H. (2017). Developing Instructional Design to Improve Mathematical Higher Order Thinking Skills of Students. *Journal of Physics: Conference Series*, 812(1), 1–8.  
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/755/1/011001>
- Avargil, S., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2012). Teaching Thinking Skills in Context-Based Learning: Teachers' Challenges and Assessment Knowledge. *Journal of Science Education and Technology*, 21(2), 207–225. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9302-7>
- Avargil, S., Herscovitz, O., & Dori, Y. J. (2013). Challenges in the transition to large-scale reform in chemical education. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 189–207.  
<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.07.008>
- Báez A, J., & Onrubia G, J. (2016). Una revisión de tres modelos para enseñar las habilidades de pensamiento en el marco escolar. *Perspectiva Educacional*, 55(1), 94–113.  
<https://doi.org/10.4151/07189729-vol.55-iss.1-art.347>
- Baharin, N., Kamarudin, N., & Manaf, U. K. A. (2018). Integrating STEM Education Approach in Enhancing Higher Order Thinking Skills. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 8(7), 810–821. <https://doi.org/10.6007/ijarbss/v8-i7/4421>
- Barberá, O., & Valdés, P. (1986). El trabajo práctico en la enseñanza de las ciencias: Una revisión. *Enseñanza de Las Ciencias*, 14(3), 365–379.  
<https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21466/93439>
- Barratt, C. (2014). Higher Order Thinking And Assessment. *International Seminar on Current Issues in Primary Education: Prodi PGSD Universitas Muhammadiyah Makasar* Citado en R, N., & Mucti, A. (2019). *EFEKTIVITAS PENGGUNAAN LKM BERBASIS HOTS (HIGHER ORDER THINKING SKILLS) TERHADAP HASIL BELAJAR MAHASISWA PENDIDIKAN MATEMATIKA*. *Journal of Honai Math*, 2(2), 117–128. <https://doi.org/10.30862/jhm.v2i2.67>
- Bartlett, F. (1958). *Thinking: An experimental and social study*. Allen & Unwin.
- Belmonte, V. (2013). *Inteligencia emocional y creatividad: factores predictores del rendimiento académico* [Universidad de Murcia, España]. <http://hdl.handle.net/10201/35772>
- Biggs, J. B., & Collins, K. F. (1981). *Evaluating the Quality of Learning: The SOLO Taxonomy (Structure of the Observed Learning Outcome)* (A. J. Edward (Ed.)). Academic Press.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals* (1era

- ed.). Longman Group.  
<https://eclass.uoa.gr/modules/document/file.php/PPP242/Benjamin%20S.%20Bloom%20-%20Taxonomy%20of%20Educational%20Objectives%2C%20Handbook%201%20Cognitive%20Domain-Addison%20Wesley%20Publishing%20Company%20%281956%29.pdf>
- Boon, M., Orozco, M., & Sivakumar, K. (2022). Epistemological and educational issues in teaching practice-oriented scientific research: roles for philosophers of science. *European Journal for Philosophy of Science*, 12(1), 1–23. <https://doi.org/10.1007/s13194-022-00447-z>
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2000). *How people learn: Brain, mind, experience, and school*. National Research Council, National Academy Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.17226/9853>.
- Bruer, J. T. (1993). *Schools for thought*. MIT Press.
- Caamaño, A. (2003). Los trabajos prácticos en ciencias. *Enseñar Ciencias*, 95–118.  
<https://formacioncontinuaedomex.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/12/s3p11.pdf>
- Carlsen, W. S. (1993). Teacher knowledge and discourse control: Quantitative evidence from novice biology teachers' classrooms. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(5), 471–481.  
<https://doi.org/10.1002/tea.3660300506>
- Castillo, M. C. (2021). El trabajo practico en la enseñanza de las ciencias: Una revisión preliminar. *Convergencia Educativa*, 9, 30–44. <https://doi.org/https://doi.org/10.29035/rce.9.30>
- Chen, D., & Stroup, W. (1993). General system theory: Toward a conceptual framework for science and technology education for all. *Journal of Science Education and Technology*, 2(3), 447–459.  
<https://doi.org/10.1007/BF00694427>
- Chonkaew, P., & Faikhamta, C. (2016). Research and Practice attitudes towards science learning of grade-11 and mathematics ( STEM education ) in the study. *Chemistry Education Research and Practice*, 17, 842–861. <https://doi.org/10.1039/c6rp00074f>
- Crujeiras, B., & Jiménez-Aleixandre, M. P. (2013). Challenges in the implementation of a competency-based curriculum in Spain. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 208–220.  
<https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.07.001>
- Cuccio-Schirripa, S., & Steiner, H. E. (2000). Enhancement and analysis of science question level for middle school students. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 210–2024.  
[https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(200002\)37:2%3C210::AID-TEA7%3E3.O.CO;2-I](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(200002)37:2%3C210::AID-TEA7%3E3.O.CO;2-I)
- De Longhi, a. L., Ferreyra, a., Peme, C., Bermudez, G. M. a., Quse, L., Martínez, S., Iturralde, C., & Campaner, G. (2012). La interacción comunicativa en clases de ciencias naturales. Un análisis didáctico a través de circuitos discursivos. *Revista Eureka Sobre Enseñanza y Divulgación de Las Ciencias*, 9(2), 178–195. <http://www.redalyc.org/resumen.oa?id=92024542002>
- Dillon, J., & Scott, W. (2002). Perspectives on environmental education-related research in science education. *International Journal of Science Education*, 24(11), 1111–1117.  
<https://doi.org/10.1080/09500690210137737>
- Dori, Y. J., & Herscovitz, O. (1999). Question-posing capability as an alternative evaluation method: Analysis of an environmental case study. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(4), 411–430.  
[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2736\(199904\)36:4<411::AID-TEA2>3.O.CO;2-E](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2736(199904)36:4<411::AID-TEA2>3.O.CO;2-E)
- Dori, Y. J., Tal, R. T., & Tsaushu, M. (2003). Teaching Biotechnology Through Case Studies - Can We Improve Higher Order Thinking Skills of Nonscience Majors? *Science Education*, 87(6), 767–793.  
<https://doi.org/10.1002/sce.10081>
- Driver, R., Newton, P., & Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*, 84(3), 287–312. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1098-237x\(200005\)84:3<287::aid-sce1>3.o.co;2-a](https://doi.org/10.1002/(sici)1098-237x(200005)84:3<287::aid-sce1>3.o.co;2-a)
- Durand, Á. M., & Garcia, I. K. (2020). Pesquisa Bibliográfica: As Reações de Oxirredução de Acordo com os Modelos Mentais. *Investigacoes Em Ensino de Ciencias*, 25(3), 108–144.  
<https://doi.org/10.22600/1518-8795.IENCI2020V25N3P108>

- Duschl, R. A. (1990). Restructuring science education: The importance of theories and their development. In *New York*. Teachers College Press.
- Espinoza, P. L. (2021). Metacognitive, Critical and Creative Thinking in Educative Contexts: Conceptualization and Didactic Suggestions. *Psicologia Escolar e Educacional*, 25, 1–8. <https://doi.org/10.1590/2175-35392021220278>
- Fensham, P. J., & Bellocchi, A. (2013). Higher order thinking in chemistry curriculum and its assessment. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 250–264. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.06.003>
- Fitri, S. G. S., Hendriyani, M. E., & Sari, I. J. (2017). The Development of Biotechnology'S Learning Instruments Oriented Higher-Order Thinking and the Utilization of Natural Resources Tunda'S Island Potential. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA*, 3(1), 41. <https://doi.org/10.30870/jppi.v3i1.1085>
- García-Martínez, A. (2021). *Las comunidades de desarrollo profesional como vía de formación docente*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [https://die.udistrital.edu.co/publicaciones/las\\_comunidades\\_de\\_desarrollo\\_profesional\\_como\\_via\\_de\\_formacion\\_docente](https://die.udistrital.edu.co/publicaciones/las_comunidades_de_desarrollo_profesional_como_via_de_formacion_docente)
- Gil, A. C. (2002). *Como Elaborar Projetos de Pesquisa* (4a. ed.). Atlas.
- Guidoni, P. (1985). On natural thinking. *European Journal of Science Education*, 7(2), 133–140. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/0140528850070204>
- Heffington, D. (2019). *Higher order thinking skills among Latinx English language learners in elementary classrooms* [University of Florida Digital Collections]. <https://ufdc.ufl.edu/ufe0054346/00001>
- Herscovitz, O., Kaberman, Z., Saar, L., & Dori, Y. J. (2012). The relationship between metacognition and the ability to pose questions in chemical education. In *Contemporary Trends and Issues in Science Education* (Vol. 40). [https://doi.org/10.1007/978-94-007-2132-6\\_8](https://doi.org/10.1007/978-94-007-2132-6_8)
- Hill, C. T. (2007). The post-scientific society. *Issues in Science and Technology*, 24(1). [https://issues.org/c\\_hill/](https://issues.org/c_hill/)
- Hogan, K., Nastasi, B. K., & Pressley, M. (2000). Discourse patterns and collaborative scientific reasoning in peer and teacher-guided discussions. *Cognition and Instruction*, 17(4), 379–432. [https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1704\\_2](https://doi.org/10.1207/S1532690XCI1704_2)
- Ichsan, I. Z., Hasanah, R., Ristanto, R. H., Rusdi, R., Cahapay, M. B., Widiyawati, Y., & Rahman, M. M. (2020). Designing an Innovative Assessment of HOTS in the Science Learning for the 21st Century. *Jurnal Penelitian Dan Pembelajaran IPA*, 6(2), 211. <https://doi.org/10.30870/jppi.v6i2.4765>
- Izquierdo, A. M., & Sanmartí. (2000). Habilidades cognitivo-lingüísticas en la enseñanza de las ciencias naturales. In J. Jorba, I. Gómez, Á. Prat, & P. Benejam (Eds.), *Hablar y escribir para aprender: uso del lenguaje en situación de enseñanza – aprendizaje desde las áreas curriculares*.
- Izquierdo, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de Las Ciencias Sociales*, 6(Juny), 125–138. <https://www.redalyc.org/pdf/3241/324127626010.pdf>
- Kao, C. (2014). Exploring the relationships between analogical , analytical , and creative thinking. *Thinking Skills and Creativity*, 13, 80–88. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2014.03.006>
- Koch, A. (2017). *The effect of higher order thinking on reading achievement*. Brenau University.
- Kwangmuang, P., Jarutkamolpong, S., Sangboonraung, W., & Daungtod, S. (2021). The development of learning innovation to enhance higher order thinking skills for students in Thailand junior high schools. *Heliyon*, 7(6), e07309. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07309>
- Lacon, N., & Ortega, S. (2008). Cognición, metacognición y escritura. *Revista Signos*, 41(67), 231–255. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-09342008000200009>
- Levine, D. U. (1993). Reforms that can work. *American School Board Journal*, 180, 31–34.
- Lewis, A., & Smith, D. (1993). Defining Higher Order Thinking. *Theory Into Practice*, 32(3), 131–137. <https://doi.org/10.1080/00405849309543588>
- Maier, N. R. F. (1933). An aspect of human reasoning. *British Journal of Psychology*, 24(144–155). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.2044-8295.1933.tb00692.x>

- Maier, N. R. F. (1937). Reasoning in rats and human beings. *Psychological Review*, 44(5), 365–378. <https://doi.org/https://doi.org/10.1037/h0062900>
- Márquez, C., & Prat, A. (2005). Leer en clase de ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 23(3), 431–440. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3833>
- Marzano, R. J., & Kendall, J. S. (2007). *The New Taxonomy of Educational Objectives* (Second). Corwin Press. <https://www.ifeet.org/files/The-New-taxonomy-of-Educational-Objectives.pdf>
- Miri, B., David, B. C., & Uri, Z. (2007). Purposely teaching for the promotion of higher-order thinking skills: A case of critical thinking. *Research in Science Education*, 37(4), 353–369. <https://doi.org/10.1007/s11165-006-9029-2>
- Miri, B., & Dori, Y. J. (2009). Enhancing higher order thinking skills among inservice science teachers via embedded assessment. *Journal of Science Teacher Education*, 20(5), 459–474. <https://doi.org/10.1007/s10972-009-9141-z>
- Mitarlis, Ibnu, S., Rahayu, S., & Sutrisno. (2020). The effectiveness of new inquiry-based learning (NIBL) for improving multiple higher-order thinking skills (M-HOTS) of prospective chemistry teachers. *European Journal of Educational Research*, 9(3), 1309–1325. <https://doi.org/10.12973/eu-her.9.3.1309>
- National Research Council. (2012). *A framework for K-12 science Education: practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards, Board on Science Education, Division of Behavioral and Social Sciences and Education. [http://www.nap.edu/catalog.php?record\\_id=13165](http://www.nap.edu/catalog.php?record_id=13165)
- Newmann, F. M. (1990). Higher order thinking in teaching social studies: A rationale for the assessment of classroom thoughtfulness. *Journal of Curriculum Studies*, 22(1), 41–56. <https://doi.org/10.1080/0022027900220103>
- OCDE. (2022). El programa PISA de la OCDE Qué es y para qué sirve. *El Programa PISA de La OCDE Qué Es y Para Qué Sirve*, 34. <http://www.oecd.org/pisa/39730818.pdf>
- Oliva, J. M. (2019). Distintas acepciones para la idea de modelización en la enseñanza de las ciencias. *Enseñanza de Las Ciencias*, 2, 5. <https://doi.org/https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.2648>
- Osborne, J. (2013). The 21st century challenge for science education: Assessing scientific reasoning. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 265–279. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.07.006>
- Osborne, J., & Allchin, D. (2024). Science literacy in the twenty-first century: informed trust and the competent outsider. *International Journal of Science Education*, 1–22. <https://doi.org/10.1080/09500693.2024.2331980>
- Osborne, J., & Dillon, J. (2008). Science education in Europe: Critical reflections. A Report to the Nuffield Foundation. In *London: Nuffield Foundation* (Issue January). <https://www.nuffieldfoundation.org/about/publications/science-education-in-europe-critical-reflections>
- Partnership for 21st Century Learning. (2019). Framework for 21st century learning definitions. In *Framework for 21st century learning*. Battelle for Kids. All Rights Reserved. [https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21\\_Framework\\_DefinitionsBFK.pdf](https://static.battelleforkids.org/documents/p21/P21_Framework_DefinitionsBFK.pdf)
- Paz, V. A., Márquez, C., & Adúriz-Bravo, A. (2008). Análisis de una actividad científica escolar diseñada para enseñar qué hacen los científicos y la función de nutrición en el modelo de ser vivo. *Revista Latinoamericana De Estudios Educativos*, 4(2), 11–27. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=134112597002%0ACómo>
- Pellegrino, J. W., & Hilton, M. L. (2013). Education for life and work: Developing transferable knowledge and skills in the 21st century. In *Education for Life and Work: Developing Transferable Knowledge and Skills in the 21st Century*. <https://doi.org/10.17226/13398>
- Perkins, D. N. (1992). *Smart schools: From training memories to educating minds*. Free Press.
- Perkins, D. N., & Unger, C. (1999). Teaching and learning for understanding. In C. M. Reigeluth (Ed.), *Instructional-design theories and models. A new paradigm of instructional theory* (pp. 91–114). Lawrence Erlbaum Associates.

- Peterson, P. L. (1988). Teaching for higher order thinking in mathematics: The challenge for the next decade. In D. A. Grows & T. J. Cooney (Eds.), *Perspectives on research on effective mathematical learning* (pp. 2–26). Lawrence Erlbaum Associates.
- Pizzini, E. L., Shepardson, D. P., & Abell, S. K. (1989). A rationale for and the development of a problem solving model of instruction in science education. *Science Education*, 73(5), 523–534.  
<https://doi.org/10.1002/sce.3730730502>
- Pogrow, S. (1988). Teaching thinking to at-risk elementary students. *Educational Leadership*, 45, 79–85.  
[https://files.ascd.org/staticfiles/ascd/pdf/journals/ed\\_lead/el\\_198804\\_pogrow.pdf](https://files.ascd.org/staticfiles/ascd/pdf/journals/ed_lead/el_198804_pogrow.pdf)
- Pogrow, S. (1996). HOTS: Helping low achievers in grades 4–7. *Principal*, 76, 34–35.
- Raiyn, J., & Tilchin, O. (2016). The Impact of Adaptive Complex Assessment on the HOT Skill Development of Students. *World Journal of Education*, 6(2), 12–19.  
<https://doi.org/10.5430/wje.v6n2p12>
- Resnick, L. (1987). *Education and Learning to Think*. National Academy Press.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.17226/1032>
- Resnick, L. B., & Klopfer, L. E. (1989). Toward the thinking curriculum: An overview. In L. B. Resnick & L. E. Klopfer (Eds.), *Toward the Thinking Curriculum: Current Cognitive Research* (pp. 1–18). Yearbook of the Association for Supervision and Curriculum Development (ASCD).  
<https://eric.ed.gov/?id=ED328871>
- Richland, L. E., & Simms, N. (2015). Analogy, higher order thinking, and education. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Cognitive Science*, 6(2), 177–192. <https://doi.org/10.1002/wcs.1336>
- Russell, T. L. (1983). Analyzing arguments in science classroom discourse: Can teachers' questions distort scientific authority? *Journal of Research in Science Teaching*, 20(1), 27–45.  
<https://doi.org/10.1002/tea.3660200104>
- Saifer, S. (2018). *HOT Skills: Developing Higer-Order Thinking in Young Learners* (Vol. 19, Issue 5). Redleaf Press.
- Sanmartí, N., Izquierdo, M., & García, P. (2001). Hablar y escribir una condición necesaria para aprender ciencias. *Cuadernos de Pedagogía*, 281, 5. <https://ddd.uab.cat/record/164407>
- Scardamalia, M., & Bereiter, C. (1992). Text-Based and Knowledge-Based Questioning by Children. *Cognition and Instruction*, 9(3), 177–199. [https://doi.org/10.1207/s1532690xcio903\\_1](https://doi.org/10.1207/s1532690xcio903_1)
- Schraw, G., & Robinson, D. R. (Eds.). (2011). *Assessment of higher order thinking skills*. Information Age Publishing Inc.
- Shepardson, D. P., & Pizzini, E. L. (1991). Questioning levels of junior high school science textbooks and their implications for learning textual information. *Science Education*, 75(6), 673–682.  
<https://doi.org/10.1002/sce.3730750607>
- Sinatra, G. M., & Taasobshirazi, G. (2017). The self-regulation of learning and conceptual change in science: Research, theory, and educational applications. In D. H. Schunk & J. A. Greene (Eds.), *Handbook of self-regulation of learning and performance* (pp. 153–165). Routledge/Taylor & Francis Group. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781315697048-10>
- Soto, C., Blume, A. P. G. De, Jacovina, M., Benson, N., Riffo, B., Soto, C., Blume, A. P. G. De, Jacovina, M., Benson, N., Riffo, B., Soto, C., Blume, A. P. G. De, Jacovina, M., Mcnamara, D., & Soto, C. (2019). Reading comprehension and metacognition : The importance of inferential skills Reading comprehension and metacognition : The importance of inferential skills. *Cogent Education*, 6(1).  
<https://doi.org/10.1080/2331186X.2019.1565067>
- Su, K. D. (2021). A new assessment of hocs-oriented learning for students' higher-order thinking abilities by marzano's taxonomy. *Journal of Baltic Science Education*, 20(2), 305–315.  
<https://doi.org/10.33225/jbse/21.20.305>
- Suwono, H., & Dewi, E. K. (2019). Problem-based learning blended with online interaction to improve motivation, scientific communication and higher order thinking skills of high school students. *AIP Conference Proceedings*, 2081. <https://doi.org/10.1063/1.5094001>
- Tsaparlis, G. (2020). Higher and lower-order thinking skills: The case of chemistry revisited. *Journal of*

- Baltic Science Education*, 19(3), 467–483. <https://doi.org/10.33225/jbse/20.19.467>
- Utomo, A. P., Narulita, E., & Shimizu, K. (2018). Diversification of Reasoning Science Test Items of Timss Grade 8 Based on Higher Order Thinking Skills : a Case Study of Indonesian. *Journal of Baltic Science Education*, 17(1), 152–161. <https://doi.org/https://doi.org/10.33225/jbse/18.17.152>
- Vázquez, Á., & Manassero, M. A. (2005). La ciencia escolar vista por los estudiantes. *Bordón. Revista de Pedagogía*, 57(5), 717–736. <https://recyt.fecyt.es/index.php/BORDON/article/view/40802>
- Webb, N. L. (1997). Criteria for Alignment of Expectations and Assessments in Mathematics and Science Education. In *National Institute for Science Education (NISE) Publications* (Issue 8). <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.507.4349&rep=rep1&type=pdf>
- Webb, N. L. (2007). Issues Related to Judging the Alignment of Curriculum Standards and Assessments. *Applied Measurement in Education*, 20(1), 7–25. <https://doi.org/10.1080/08957340709336728>
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1998). Inquiry, modeling, and metacognition: Making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), 3–118. [https://doi.org/10.1207/s1532690xcii601\\_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xcii601_2)
- Wilks, S. (1995). *Critical and creative thinking: Strategies for classroom inquiry*. Eleanor Curtain.
- Yulina, I. K., Permanasari, A., Hernani, H., & Setiawan, W. (2018). Analytical thinking skill profile and perception of pre service chemistry teachers in analytical chemistry learning Analytical thinking skill profile and perception of pre service chemistry teachers in analytical chemistry learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1157, 042046, 0–7. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1157/4/042046>
- Zeidler, D. L., Lederman, N. G., & Taylor, S. C. (1992). Fallacies and student discourse: Conceptualizing the role of critical thinking in science education. *Science Education*, 76(4), 437–450. <https://doi.org/10.1002/sce.3730760407>
- Zohar, A. (2004). *Higher order thinking in science classrooms: Students' learning and teachers' professional development*. Springer Dordrecht. <https://doi.org/10.1007/978-1-4020-1854-1>
- Zohar, A. (2006). The nature and development of teachers' meta-strategic knowledge in the context of teaching higher order thinking. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(3), 331–377. [https://doi.org/https://doi.org/10.1207/s15327809jls1503\\_2](https://doi.org/https://doi.org/10.1207/s15327809jls1503_2)
- Zohar, A. (2007). El pensamiento de orden superior en las clases de ciencias : objetivos, medios y resultados de investigación. *Enseñanza de Las Ciencias. Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 24(2), 157–172. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3797>
- Zohar, A. (2013). Challenges in wide scale implementation efforts to foster higher order thinking (HOT) in science education across a whole school system. *Thinking Skills and Creativity*, 10, 233–249. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2013.06.002>
- Zohar, A., & Ben-Ari, G. (2022). Teacher'knowledge and professional development for metacognitive instruction in the context of higher order thinking. In *Metacognition and learning* (pp. 855–895). Springer. <https://doi.org/10.1007/s11409-022-09310-1>
- Zohar, A., & Dori, Y. J. (2003). Higher Order Thinking Skills and Low-Achieving Students: Are They Mutually Exclusive? *The Journal of the Learning Sciences*, 12(2), 145–181. <https://doi.org/10.1207/S15327809JLS1202>
- Zohar, A., & Schwartzter, N. (2005). Assessing teachers' pedagogical knowledge in the context of teaching higher-order thinking. *International Journal of Science Education*, 27(13), 1595–1620. <https://doi.org/10.1080/09500690500186592>
- Zoller, U. (1999). Teaching tomorrow's college science courses – Are we getting it right? *Journal of College Science Teaching*, 29(404–414). <https://www.proquest.com/scholarly-journals/teaching-tomorrows-college-science-courses-are-we/docview/200355075/se-2>
- Zoller, U., Dori, Y. J., & Lubezky, A. (2002). Algorithmic, LOCS and HOCS (chemistry) exam questions: Performance and attitudes of college students. *International Journal of Science Education*, 24(2), 185–203. <https://doi.org/10.1080/09500690110049060>