

PERSPECTIVAS ONTOLÓGICAS EN EL CONOCIMIENTO PROFESIONAL DEL PROFESOR DE QUÍMICA: UNA REVISIÓN DE ANTECEDENTES DESDE LAS CATEGORÍAS OEQ Y CPPQO

Rubiano Arévalo, Daniel Alexander ¹

RESUMEN

En este artículo se presenta una revisión documental sobre publicaciones asociadas a la dimensión ontológica en dos categorías propuestas en la enseñanza de la química: dimensión ontológica en la enseñanza de la química (OEQ) y conocimiento profesional del profesor de química desde la dimensión ontológica (CPPQO), desde dos formas: implícita y explícita. Para este fin, se realizó una búsqueda en bases de datos especializadas (hasta el año 2022) empleando criterios de búsqueda definidos. En la categoría OEQ se obtuvo un total de 27 publicaciones, de las cuales 16 son de forma explícita, estas que tienen relaciones directas entre la dimensión ontológica y los conceptos de química tratados; 11 tienen relaciones tácitas con la dimensión ontológica y no tienen como objetivo declarado esta dimensión, aunque tienen implícitamente una perspectiva ontológica. Se encontraron 10 publicaciones en la categoría CPPQO, que tienen relaciones implícitas con la dimensión ontológica y 2 que tienen relación explícita. Se afirma que hay preocupaciones investigativas por evitar errores conceptuales o mal entendidos conceptuales, teniendo como referente principal ontologías derivadas del marco conceptual de la química. Solo algunas publicaciones abren la posibilidad de otras ontologías y visiones de mundo químico escolar en el conocimiento profesional del profesor desde perspectivas ontológicas que integran formas de mundo de otros conocimientos como el común, el ancestral, el relacionado con el cuidado de medio ambiente.

Palabras claves: enseñanza de la química, dimensión ontológica, ontología en la enseñanza de la química, conocimiento profesional del profesor

ONTOLOGICAL PERSPECTIVES IN THE PROFESSIONAL KNOWLEDGE OF THE CHEMISTRY TEACHER: A BACKGROUND REVIEW FROM THE OEQ AND CPPQO CATEGORIES

ABSTRACT

This paper presents a documentary review of publications associated with the ontological dimension in two categories proposed in the teaching of chemistry: ontological dimension in the teaching of chemistry (OEQ) and ontology in teacher's chemical professional knowledge (CPPQO), in two ways: implicit and explicit. For this purpose, a search was carried out in specialized databases (until the year 2022) using defined search criteria. In the OEQ category, a total of 27 publications were obtained, of which 16 are explicitly, these have direct relationships between the ontological dimension and the chemical concepts related; 11 have tacit relations with the ontological dimension and do not have this dimension as their declared objective, although they implicitly have an ontological perspective. 10 publications were found in the CPPQO category, which have implicit relationships with the ontological dimension and 2 that have an explicit relationship. It is stated that there are investigative concerns to avoid conceptual errors or conceptual misunderstandings, having as main reference ontologies derived from the conceptual framework of chemistry. Only a few publications open the possibility of other ontologies and visions of the school chemical world in the teacher's professional knowledge from ontological perspectives that integrate forms of world of other knowledge such as the common, the ancestral, that related to the care of the environment.

Keywords: chemistry teaching, ontological dimension, ontology in chemistry teaching, teacher's professional knowledge

¹Estudiante Doctorado Interinstitucional en Educación Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Secretaría de Educación de Medellín (Colombia).
Docente Institución Educativa Gabriel García Márquez. Email: daarubiano@correo.udistrital.edu.co

1. Introducción

Desde hace unas décadas, el conocimiento profesional del profesor (CPP) de ciencias es reconocido como un conocimiento epistemológicamente diferenciado del conocimiento científico y otros tipos de conocimiento, debido a que posee una racionalidad específica y experiencias propias, diferentes a las de las ciencias naturales (Martínez, 2017; Porlán, 1998;). Este conocimiento está integrado por cuatro componentes: el saber académico, que se funda en los saberes propios de una disciplina científica como un referente; las teorías implícitas del docente, que permiten comprender sus creencias y acciones; los saberes basados en la experiencia profesional de los profesores, que se adquieren en la práctica como profesores de disciplinas escolares; y las rutinas y guiones, como esquemas de actuación que tienen como función construir, predecir y controlar ámbitos de actuación cotidiana y experiencial (Perafán, 2005; Rivero, Porlán y Martín del Pozo, 1998).

En ese sentido, el conocimiento profesional del profesor no tiene un único referente como el conocimiento científico, sino que se amplía a otros referentes como lo son la formación pedagógica y didáctica, la experiencia profesional y las formas de actuar. Es decir que, preferiblemente, el conocimiento profesional del profesor es un constructo complejo y epistemológicamente diferenciado que relaciona otros conocimientos en la búsqueda de la construcción de un conocimiento genuino. Además, el conocimiento profesional del profesor de ciencias es, en términos de Martínez y Jirón (2014), un conocimiento particular que se identifica por ser: práctico, integrador, profesionalizado, evolutivo y procesual que reconoce la complejidad y singularidad de la escuela.

Por lo tanto, reconocer una particularidad epistemológica del conocimiento profesional del profesor, puede plantear preguntas sobre la dimensión ontológica, no solo sobre el estatus de este constructo, sino también sobre las visiones y representaciones que se tienen de las entidades que caracterizan la ontología del CPP sobre las disciplinas escolares. Entonces, se puede afirmar, así como Martínez (2017) señala, que se construyen mundos y realidades particulares desde el conocimiento profesional del docente de ciencias y el conocimiento escolar, “diferentes al mundo de la química, de la biología, etc. A través de procesos, también particulares, en los que reconocemos la complejidad de la vida escolar, de los diversos actores y de sus problemáticas” (p. 114).

Desde los preceptos del realismo pluralista y las ontologías múltiples (Lombardi y Pérez-Ranzans, 2011; Rubiano-Arévalo, 2017) se admite la idea de que una pluralidad epistemológica es síntoma de una pluralidad ontológica, dado que este tipo de realismo se basa en las raíces kantianas del conocimiento a partir de la inseparable dualidad razón-experiencia. Esto implica que las cosas, los fenómenos del mundo (las-cosas-para-nosotros) son producto de la síntesis entre marcos conceptuales, las prácticas y la racionalidad que estos comprenden y la interacción con la realidad externa. Rubiano-Arévalo (2017), en un estudio sobre la dimensión ontológica del conocimiento de profesores de química, encuentra que una población de docentes (en la mayoría de los casos) posee visiones híbridas del mundo que aun así resultan funcionales para

generar explicaciones a los niveles molar, molecular y eléctrico, dada su necesidad y pertinencia en un determinado contexto educativo.

Cabe aclarar que, en este artículo, se retoma de Lombardi y Labarca (2005), el término 'híbrido' el cual se refiere a teorías que incorporan elementos incompatibles desde un punto de vista ontológico; por ejemplo, el caso de las teorías provenientes de la química cuántica sobre el enlace químico, como lo son; la Teoría del Enlace de Valencia (TEM) y la Teoría del Orbital Molecular. En este sentido, García (1998) ya había mencionado la posibilidad de complejización del conocimiento profesional del profesor y del conocimiento escolar, pasando de las epistemologías provenientes del conocimiento científico a la epistemología escolar, entendiendo la realidad en estos constructos como una complejidad que va desde el mesocosmos hacia el microcosmos, mesocosmos y macrocosmos, involucrando situaciones propias de un contexto: situaciones o problemas ambientales, necesidades de formación técnica e industrial y uso razonado de los recursos naturales.

Puede entonces reconocerse el cuestionamiento por la pluralidad y la particular dimensión ontológica en la enseñanza de las ciencias y en específico de la química, pregunta que podría configurar hoy en día un problema poco o parcialmente explorado y que suscita realizar una revisión inicial en la literatura científica sobre este objeto de estudio. Para ello, se emplearon bases de datos como ERIC, Web of Science, Science Direct, Springer Link, Scopus, Taylor & Francis; Dialnet, Scielo, EBSCO y OEI. Como se puede notar, las tres primeras son bases de datos que tienen publicaciones mayoritariamente en inglés, mientras que en las siguientes cuatro predominan los escritos en español y portugués. Por lo tanto, la búsqueda de publicaciones se hizo a través de los términos clave: "ontología en la enseñanza de la química" (OEQ) y "conocimiento profesional del profesor de química desde la dimensión ontológica" (CPPQO), lo que permitió configurar también las dos categorías principales de estudio en este trabajo y sus formas, implícita o explícita.

En vista de lo anterior, el objetivo general de este trabajo fue identificar algunos signos y significados de las posibles tendencias y perspectivas sobre la dimensión ontológica que existen en el conocimiento profesional del profesor de química en bases de datos, al ser estas un importante medio de consulta para la investigación.

2. Metodología

Tal como se mencionó anteriormente, la revisión de la literatura fue llevada a cabo mediante un proceso de búsqueda en múltiples bases de datos y repositorios usando los términos clave: "ontología en la enseñanza de la química" y "conocimiento profesional del profesor de química". Para lograr resultados de búsqueda más específicos se utilizaron los operadores booleanos AND, OR y XOR, con los que se construyeron los términos clave que se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1

Términos clave introducidos en el buscador de las bases de datos empleadas

Término clave	Operador	Término clave
Ontología enseñanza de la química (OEQ)	AND	Conocimiento profesional del profesor de química (CPPQ)
Ontología enseñanza de la química (OEQ)	OR	Conocimiento profesional del profesor de química (CPPQ)
Ontología enseñanza de la química (OEQ)	XOR	Conocimiento profesional del profesor de química (CPPQ)

Es de notar que los términos clave que están tanto a la izquierda como a la derecha de la tabla 1, se emplearon en inglés, español y portugués, según los idiomas de la base de datos y el tesoro de la UNESCO² en la búsqueda de publicaciones. En la columna central se muestran los operadores booleanos que por conveniencia se eligieron para unir los términos clave; además, se usaron las variaciones de estos términos de acuerdo con el idioma, según el tesoro en cada uno de los casos.

Al buscar con los términos clave y los operadores, se encontró una pequeña cantidad de publicaciones (≤ 50 en las bases de datos consultadas). Se asumió que las publicaciones encontradas podrían organizarse de acuerdo con los términos clave según las finalidades centrales de cada una de estas publicaciones; por lo tanto, se admitió que los términos clave darían lugar a las ahora dos categorías generales: OEQ y CPPQO, puesto que una parte de las publicaciones atienden a problemas directos en la enseñanza de la química desde una perspectiva ontológica explícita o implícita; el otro grupo tiene relación con el conocimiento de los profesores de química y que involucra de una manera explícita o implícita la dimensión ontológica. Es de aclarar que la relación explícita hace referencia a que se menciona de esta forma la palabra ontología, ontologías, ontológico, entidad, entidades, mundo o mundos de la química, etc., y que tienen algún interés en el desarrollo de las publicaciones frente a la enseñanza y el aprendizaje de la química. Lo implícito refiere a que se identifican intenciones no declaradas y tácitas a lo largo del texto, al indagar sobre entidades, propiedades, causalidad, multicausalidad frente a la enseñanza y el aprendizaje de la química dentro del conocimiento profesional del profesor de química.

De otro modo, la categoría OEQ hace referencia a lo que los investigadores han encontrado e interpretado de manera implícita o explícita sobre el problema de la naturaleza de las entidades y en general lo ontológico y la enseñanza de la química. La categoría CPPQO también se relaciona con los intereses investigativos de manera implícita o explícita sobre el problema del ontológico, direccionado particularmente a los profesores de química y su conocimiento profesional.

En algunos artículos no se encontraron los términos clave de forma expresa; sin embargo, las palabras contenidas en estos términos compuestos y claves permitieron

² El tesoro utilizado para la construcción de los términos clave está disponible en: <https://vocabularies.unesco.org/browser/thesaurus/es/>

rastrear fragmentos importantes de cada uno de ellos y asociar las publicaciones en las categorías creadas. Los resultados de la búsqueda se muestran en la tabla 2, obteniéndose 27 artículos de la categoría OEQ, de los cuales 16 son de forma explícita y 11 de forma implícita. A su vez, la categoría CPPQO, arrojó 10 publicaciones en total, de las cuales, dos son de forma explícita y ocho de forma implícita.

Tabla 2

Resultados de la búsqueda. Total, y subtotales por categoría

Categoría	Forma explícita	Forma implícita	Total de publicaciones
OEQ	16	11	27
CPPQO	2	8	10
Total	18	19	37

3. Resultados y discusión

3.1 Ontología en la enseñanza de la Química (OEQ)

Esta categoría es la más amplia en cuanto al número de publicaciones con un total de 27. Para su análisis se procedió a agrupar las publicaciones en los dos grupos o formas como se relacionan con la dimensión ontológica: implícitas y explícitas. Las publicaciones que de forma explícita tratan problemas relativos a esta categoría, se muestran en la tabla 3.

Tabla 3

Publicaciones relacionadas con la categoría OEQ (forma explícita)

Autor	Objetivo del trabajo
Galagovsky, Rodríguez, Stamati y Morales (2003)	Analizar diferentes lenguajes de estudiantes sobre la reacción química en diferentes niveles de "representación mental", retomando a Johnstone (1982, 1991).
Nash (2004)	Realizar un análisis del realismo científico acerca del currículo escolar y el realismo ontológico en el problema de lo "necesario" y lo "arbitrario" en la educación científica.
Bucat y Mocerino (2009)	Examinar la importancia del lenguaje verbal y pictórico en el nivel submicroscópico. Consideran que la característica de este nivel es que se conciben múltiples partículas en las reacciones químicas.
Cheng, M. y Gilbert, J. (2009)	Argumentar sobre las relaciones conceptuales de los estudiantes desde el pensamiento diagramático, pues el análisis lingüístico no da cuenta de todos los aspectos de relaciones entre el "tripleto" macro/submicro/simbólico.
Tan (2012)	Analizar la relación entre la naturaleza de la ciencia y la educación en ciencias y la enseñanza de la química, desde una perspectiva del realismo social y la multiculturalidad.

Taber (2013)	Revisar las formas en que el conocimiento químico y la enseñanza pueden ofrecer información sobre cómo enseñar mejor los aspectos macroscópicos, submicroscópicos y simbólicos del conocimiento químico.
Pinto y Costa (2013).	Analizar la posibilidad de centrar las bases del pensamiento químico que esté relacionado con la didáctica de la química, desde una reconstrucción de la filosofía de la química y su importancia para la enseñanza.
Chamizo y Garritz (2014)	Argumentar sobre la historia y la filosofía de la química y la física como estrategias centrales en la enseñanza de la estructura atómica y molecular, desde el modelo de Dalton hasta la mecánica cuántica moderna y la química cuántica.
Chia-Ju, I-Lin, Houn-Lin & Treagust (2014)	Identificar los estados mentales, emociones, representaciones internas y externas a través del inventario de Aprendizaje Conceptual del Estado Mental (MSCLI) antes y después de aprender sobre ácidos y bases.
Thagard (2014)	Examinar, desde una perspectiva histórica, ideas sobre entidades como aire, fuego, tierra, aire, sal, agua, oro, etc., en términos del cambio conceptual sufrido y que puede estar relacionado con el cambio conceptual que puede estar relacionado con la mejora del aprendizaje.
Merino y Quiroz (2015)	Desarrollar una herramienta para identificar errores [conceptuales, epistemológicos, semánticos, determinísticos, mecánicos] en la presentación de leyes naturales basada en la epistemología y ontología del Realismo Científico de Mario Bunge, al respecto de la ley de Boyle en química general.
Özalp y Kahveci (2015)	Analizar estudios sobre conceptos químicos erróneos desde lo ontológico. El objetivo es realizar un diagnóstico para evaluar el entendimiento sobre la materia, basándose en las relaciones entre ontología y errores conceptuales.
Merino, Spinelli, Morales y Quiroz. (2016)	Diseñar una herramienta ontológica realista desde la perspectiva de Bunge, para analizar el proceso natural de la ósmosis en 16 libros de texto de química y biología de diferentes niveles.
Tümay (2016)	Identificar los conceptos erróneos y las dificultades de aprendizaje de los estudiantes centrándose en el problema de la emergencia de entidades en el tema ácido-base.
Freire, Talanquer y Amaral (2019)	Realizar un análisis en un grupo de profesores de química sobre la herramienta de enseñanza estructura molecular desde la perspectiva de diferentes ontologías que surgen de profesor a profesor.
Picón, Sevia, y Mortimer (2020)	Analizar 6 perfiles conceptuales alrededor del concepto de sustancia química, lo que permite [aseguran los autores] mediar las tensiones y dificultades de aprendizaje debido al conocimiento común e ideas canónicas, para mediar también estas como diferentes formas de conceptualizar el mundo.

Galagovsky *et al.*, (2003), retomando a Johnstone (1982) en la propuesta del “tripleto químico”, analizan diferentes lenguajes de estudiantes sobre la reacción química en diferentes niveles de “representación mental”. Encuentran que es importante entender formas de lenguaje para mejorar la comunicación entre docentes y estudiantes; también, que hay una diversidad de “representaciones mentales idiosincráticas [de entidades] acerca del mundo natural” de los estudiantes y diferencias con las representaciones de los expertos al momento de generar coherencia entre los niveles macro y micro y simbólico. Por esta misma perspectiva del “tripleto químico”, Bucat y Mocerino (2009) examinan la importancia del lenguaje verbal y pictórico en el nivel submicroscópico, identificando que una de sus características es que se conciben múltiples partículas [entidades] en las reacciones químicas, lo que puede contener una

fuerza de errores conceptuales si no se asumen las reacciones químicas como interacciones entre partículas singulares. Cheng y Gilbert (2009) tienen como objetivo el análisis de las relaciones conceptuales en química de los estudiantes desde el pensamiento diagramático, puesto que los análisis lingüísticos no dan cuenta de todos los aspectos de relaciones entre el “tripleto” macro/submicro/simbólico. Por su lado, Taber (2013), revisa las formas en que el conocimiento químico e ideas clave de las ciencias del aprendizaje que pueden ofrecer información sobre cómo enseñar mejor los aspectos macroscópicos, submicroscópicos y simbólicos del conocimiento químico. Argumenta que el problema radica en que este tripleto ha sido ampliamente empleado en la enseñanza y el diseño curricular, con múltiples interpretaciones, lo que genera una diversidad de formas de entenderlo y usarlo para la enseñanza.

Nash (2004) realiza un análisis frente al realismo científico en el currículo escolar, revisando las ideas de Bourdieu y Bernstein sobre el realismo ontológico en el problema de lo “necesario” y lo “arbitrario” en la educación científica. Su preocupación reside en reconocer una multiplicidad de factores que son propios de las culturas, sobre lo que se puede plantear una reconciliación entre lo arbitrario del currículo y lo que es necesario. Tan (2012), pregunta por la posibilidad de incluir la multiculturalidad en contextos de enseñanza de las ciencias desde el enfoque NOS (*Nature of Science*), permitiendo la posibilidad de repensarse la naturaleza de la química desde la pregunta ¿[en el aula de clases] Son entonces los principios ontológicos y las virtudes epistémicas los mismos que tenemos hoy? (Tan, 2012, p. 654).

Chia-Ju, I-Lin, Houn-Lin y Treagust (2014) identifican los estados mentales (como una primera en la que el estudiante estructura contenidos), emociones, representaciones internas y externas a través del inventario de Aprendizaje Conceptual del Estado Mental (MSCLI) antes y después de aprender sobre las entidades ácidos y bases. Los resultados muestran que los estados mentales posteriores de los estudiantes están relacionados con lo que ellos logran en términos conceptuales y procedimentales. Los autores se centran en las perspectivas ontológicas y el cambio conceptual desde Chi (1992), abriendo la posibilidad de afirmar aquí, que una posible ontología particular tiene sentido y es justificable en un contexto cuando es funcional, para quien valora y quien aprende, en el marco de resolver problemas conceptuales, asociar conceptos, seguir procedimientos y resolver problemas.

A su vez, Merino y Quiroz (2015), realizan la construcción de categorías ontológicas de rastreo de errores conceptuales en libros de texto de biología y química de diferentes niveles educativos sobre el tema de osmosis, alcanzando unas categorías ontológicas que permitieron identificar que los textos están centrados en lo sustancial y en propiedades macro como la concentración y las constantes de equilibrio, así como otras relacionadas con el proceso del equilibrio osmótico; estas como causas de cambio o entidades de causación. Thagard (2014), desde una perspectiva del cambio conceptual, realiza una aproximación para reconstruir el cambio conceptual de conceptos de fenómenos y entidades como aire, fuego, agua, sal, entre otras, y da cuenta de las

transiciones que estas entidades han sufrido en la historia de la ciencia, empleando este análisis para la enseñanza.

Özalp y Kahveci (2015) se enfocan en estudios que abordan los conceptos químicos erróneos desde un punto de vista ontológico. El objetivo y perspectiva de los autores radica en la importancia de la naturaleza particular de la materia, para diagnosticar y valorar errores conceptuales desde categorías ontológicas. Por otra parte, Merino, Spinelli, Morales y Quiroz (2016), diseñan una herramienta ontológica realista desde la perspectiva de Bunge, para analizar el proceso natural de la ósmosis en 16 libros de texto de química y biología de diferentes niveles. Los resultados muestran que los libros de texto se basan en las entidades relacionadas con la concentración y no con el equilibrio osmótico, lo que permite suponer errores conceptuales y desconexiones en la explicación de este fenómeno. Tümay (2016) identifica los conceptos erróneos y las dificultades de aprendizaje de estudiantes sobre el concepto de ácido fuerte y fuerza de los ácidos, por lo que argumenta que la emergencia de entidades teóricas (entendida como la aparición de estas en los niveles que no se puede observar directamente) desempeña un papel crítico en la epistemología y la ontología de la química, pues implican diferencias y errores conceptuales en los estudiantes.

Pinto y Costa (2013) buscan analizar la posibilidad de centrar las bases del pensamiento químico que esté relacionado con la didáctica de la química, desde una reconstrucción de la filosofía de la química y su importancia para la enseñanza, mientras que Chamizo y Garritz (2014) argumentan sobre la historia y la filosofía de la química y la física como estrategias centrales en la enseñanza de la estructura atómica y molecular, desde el modelo de Dalton hasta la mecánica cuántica moderna y la química cuántica. Los autores encuentran importantes avistamientos ontológicos y epistemológicos que puedan ser punto de observación en la enseñanza de estos conceptos.

En la misma línea de ideas, Freire, Talanquer y Amaral (2019) indagan sobre la dimensión ontológica en los perfiles conceptuales, identificando características de las zonas de perfiles conceptuales como monista, aversiva, epistémico, pragmático, procesual y atractivo. Cada una de estas zonas emana una naturaleza de las entidades de la química en su descripción particular, tomándolo desde distintas perspectivas, como la histórica, ambiental, social, ética y ecológica. De ese mismo modo, y en armonía con la afirmación anterior, Picón, Sevia y Mortimer (2020) analizan seis perfiles conceptuales alrededor del concepto de sustancia química, lo que permite [aseguran los autores] mediar las tensiones y dificultades de aprendizaje debido al conocimiento común e ideas canónicas, y mediar estas como diferentes formas de conceptualizar el mundo. El estudio adoptó un enfoque de análisis cualitativo inductivo-deductivo para analizar los datos secundarios de la historia de la química, la filosofía de la química y el pensamiento de los estudiantes.

En lo que se refiere a las publicaciones de forma implícita (Tabla 4), mucho trabajo se ha realizado sobre el triplete macro, submicro y simbólico de la química y del

pensamiento químico en la escuela (sea del profesor y/o del estudiante). El trabajo de Johnstone (1991) es pionero en esta perspectiva, de la cual quedan muchas dudas como el supuesto de que el nivel macro se corresponde con lo experimentable, cuando en esa época ya se tenía experimentación indirecta con entidades teórico-prácticas por técnicas como difracción de rayos X, espectroscopías UV-VIS, entre otras. Igual para el nivel simbólico, en donde seguramente recaen mayormente las críticas sobre la idea de Johnstone, al cuestionarse la idea de que el nivel simbólico solo corresponde al nivel de representación de los símbolos químicamente aceptados por la comunidad científica, a pesar de que lo macro y lo micro también puede ser representado por diferentes símbolos (Talanquer, 2011).

A este respecto, el trabajo de Jensen (1999) amplía y re-denomina el triplete triángulo de Johnstone a otros niveles como molar, molecular y eléctrico, incluyendo dimensiones como composición y estructura, energía y una posible cuarta dimensión que es el aspecto temporal de las reacciones químicas. No obstante, Jensen centra la mirada en tipos “modelo” de representación de las entidades y propiedades en un lenguaje muy ceñido a la química y a las formas simbólicas que proporcionan los manuales y libros de texto, así como afirma desde una “reconstrucción histórica” (y epistemológica); dejando así por fuera lo que más adelante, en 2009, Treagust y Gilbert reconocen como la posibilidad de otras formas de representaciones y aproximaciones a los diferentes niveles del pensamiento químico en la enseñanza de la química, renombrando el triplete como “triángulo o triplete de relaciones o triplete representacional”. Esto permite afirmar que, ontológicamente, estas aristas del triplete químico permiten establecer relaciones y condicionar una estructura o mapeo del pensamiento en la enseñanza y aprendizaje de la química (Taber, 2009; Gilbert y Treagust, 2009; Tsaparlis, 2009; Chwee *et al.*, 2009; Treagust y Chandrasegaran, 2009). Sobre este particular, Gilbert y Treagust (2009) realizan un *handbook* con múltiples colaboraciones que redefinen y analizan en torno a los tres siguientes objetivos principales:

Los desafíos enfrentados en la enseñanza y el aprendizaje sobre el triplete representacional, la mejora de la pedagogía existente con respecto a la relación del triplete y las soluciones en el aula a los desafíos que plantea la relación del triplete.
(Gilbert y Treagust, 2009, s/p)

Aun así, este breve recorrido deja muchas preguntas por la posible reducción del conocimiento del profesor de química a un triplete representacional, pues como se posiciona en esta revisión, se asume que este constructo (CPPQ) surge de la integración de múltiples conocimientos, de la historia, del contexto, de lo algorítmico, matemático, las finalidades que pretende, lo ambiental, los criterios y fuentes de selección, los referentes epistemológicos, el conocimiento y la formación del profesor y los criterios de validación (Martínez, 2017; Cárdenas, 2021). En todo caso, el conocimiento químico, como lo plantean Gilbert y Treagust (2009) es un referente y centro importante, que comporta un rasgo característico ontológico fundamental que identifica en la química escolar lo respectivo a la existencia y la realidad de entidades

en cuanto a su composición e identidad, sus cambios y procesos, tal como lo identifica la filosofía de la química.

En este sentido, Talanquer (2011) argumenta que puede entenderse como una primera aproximación a las necesidades anteriormente mencionadas y como aproximación a la solución que deja el recorrido del “tripleto químico o tripleto representacional”, donde el tripleto inicial ahora es un espacio complejo (se asume acá como una apuesta ontológica de complejidad), donde es posibilidad de ontologías múltiples y particulares propias del conocimiento profesional del profesor de química sobre el conocimiento escolar de la química, por la amplitud de aproximaciones (*approaches*) desde lo histórico, conceptual, matemático y algorítmico, y, sobre todo, lo contextual abordando así de una manera más amplia la detección y superación de errores conceptuales o malentendidos conceptuales. Joki y Aksela (2018) afirman que algunos de los estudiantes de *middle school* emplean aún conceptos adecuados sobre el enlace químico, conceptos basados en interacciones electrostáticas (nivel o escala eléctrica). No obstante, al llegar a los cursos superiores de secundaria retoman ideas que se basan en la regla del octeto, ideas que llevan a explicaciones causales o teleológicas que limitan la explicación de los estudiantes y posiblemente forzando la aparición de errores conceptuales.

Manteniendo este hilo conductor, Tümay (2016) argumenta que una fuente fundamental de conceptos erróneos en química es la incapacidad de los alumnos para comprender la naturaleza emergente de las entidades químicas, sus propiedades e interacciones. Los resultados de esta investigación arrojan que de las prácticas de enseñanza típicas surgen consecuencias que pueden ser discutidas desde una perspectiva de la emergencia de las entidades y propiedades de la química, lo que tiene una implicación en los conocimientos de los profesores y la enseñanza directamente. Musa (2015), hace alusión a las otras características, sentidos y significados de la representación de las entidades químicas en conceptos cruciales que se necesitan enseñar de manera ceñida al conocimiento químico de la química y, por ende, aprenderse de esa forma.

Por su lado, Nimmermark, *et al.* (2016) realizan un estudio en donde casi 700 estudiantes de Suecia y Sudáfrica responden un cuestionario que apunta a identificar los principales modelos representacionales del enlace químico. Se encuentra que hay modelos que dependen mucho de las fuentes de consulta como los libros de texto, sobre todo en el enlace químico y en el modelo de enlace químico de repulsión de pares de electrones del enlace de valencia. Se encuentra que los docentes de los niveles a los cuales apunta el estudio (nivel de superiores de secundaria el primer nivel de estudios universitarios) deben preparar estrategias para la enseñanza de estos tópicos y evitar errores o malentendidos conceptuales (*misconceptions o misunderstandings*).

Tabla 4

Publicaciones relacionadas con la categoría OEQ (forma implícita)

Autor	Objetivo del trabajo
Johnstone (1991)	Diseñar un modelo para el procesamiento de la información de los estudiantes dentro de los niveles marco, micro y submicroscópico. Argumenta que las dificultades de la enseñanza de la química corresponden a la propia naturaleza de la química y a las formas como esta es enseñada.
Jensen (1999)	Proponer los niveles molar, molecular y eléctrico; para cada uno de estos las dimensiones composición y estructura, energía y tiempo. Además de proponer una cuarta dimensión que refiere a la evolución espontánea de sistemas en un entorno particular.
Tsaparlis (2009)	Presentar una postura crítica sobre el papel de las prácticas de laboratorio por su importancia en la observación de hechos y fenómenos de las sustancias y sus propiedades químicas dentro de los niveles macro, submicro y simbólico.
Chwee, Tan, Ngoh, Goh, Chia y Treagust (2009)	Diseñar, implementar y evaluar una estrategia de laboratorio sobre análisis químico cualitativo inorgánico en un curso de décimo grado de química en Singapur, para relacionar los niveles macro, submicro y simbólico.
Treagust y Chandrasegaran (2009)	Analizar las ideas de los estudiantes sobre siete tipos de reacciones químicas en el "tripleto" de niveles de la química. Se afirma que la transferencia de explicaciones entre los niveles mejora las explicaciones en química y el entendimiento de los estudiantes.
Gilbert y Treagust (2009)	Recoger y analizar los resultados obtenidos en tres tópicos específicos: el aprendizaje de la química respecto al tripleto, cómo la enseñanza puede apoyar el tránsito entre los niveles del tripleto y aproximaciones de diseño curricular basadas en el "tripleto": macro, submicro y simbólico.
Taber (2009)	Analizar la importancia del nivel simbólico del "tripleto" químico para la comunicación y entendimiento entre docentes y estudiantes. Se emplean las bases teóricas del constructivismo alrededor de los conocimientos construidos sobre la expresión reacción química.
Talanquer (2011)	Proponer un tripleto representacional químico más amplio, retoma el trabajo de Johnstone y Jensen (1999) denominado Chemical Knowledge Space. Afirma que existen dificultades en docentes y estudiantes frente a este enfoque debido a las múltiples adaptaciones e interpretaciones.
Musa (2015)	Identificar como materiales de enseñanza sobre el enlace químico mejoran el aprendizaje de este concepto. Se basa en el uso de modelos estructurales con adecuado lenguaje científico y las formas de explicación que emplean los químicos entre los niveles del tripleto.
Nimmermark, Öhrström, Jerker Mårtensson y Davidowitcz (2016)	Realizar el análisis de una encuesta aplicada a 700 estudiantes de química acerca del enlace químico, para analizar los modelos que utilizan y las fuentes de consulta como libros de texto empleados.
Joki y Aksela (2018)	Realizar un análisis sobre las explicaciones que dan estudiantes de alta y baja secundaria sobre el enlace químico alrededor de la regla del octeto, el principio de mínima energía y el principio electrostático.

3.2 Conocimiento Profesional del profesor de química en relación con la Dimensión Ontológica (CPPQO)

La búsqueda arrojó un total de 10 publicaciones, de las cuales ocho establecían una relación, de forma implícita, con la pregunta de investigación en cuanto a la dimensión ontológica en la enseñanza de la química con relación al conocimiento profesional del

profesor. Solo dos publicaciones establecían una relación explícita. En la tabla 5 se mencionan las publicaciones con relación de forma implícita:

Tabla 5

Publicaciones relacionadas con la categoría CPPQ (forma implícita)

Autor	Objetivo del trabajo
Porlán-Ariza, Rivero y Martín Del Pozo (1997)	Presentar una revisión sobre el constructo teórico del Conocimiento Profesional del Profesor desde su dimensión epistemológica. El trabajo presenta también una aproximación al desarrollo histórico y el estado del constructo en ese momento, identificando que este conocimiento posee unas particularidades epistemológicas.
Porlán-Ariza, Rivero y Martín Del Pozo (1998)	Presentar una revisión y reflexión sobre lo teórico acerca del constructo Conocimiento Profesional del Profesor desde su dimensión epistemológica. El trabajo presenta algunos estudios empíricos que dan cuenta del conocimiento profesional de los profesores al respecto de sus ideas.
De Jong & Van Driel (2005)	Proporcionar resultados de un curso de formación de profesores de química. Se analiza el desarrollo del Conocimiento Pedagógico del Contenido (Pedagogical Content Knowledge, PCK).
Cetin-Dindar, A., Boz, Y., Sonmez, D. y Celep, N. (2017)	Analizar el uso de ayudas tecnológicas en la enseñanza de la química molecular en el mejoramiento de la comprensión.
Bergqvist y Rundgren (2017)	Mostrar la influencia de los libros de texto en la selección y el uso de representaciones por parte de los maestros cuando enseñan modelos de enlaces químicos aludiendo a que puede causar dificultades de comprensión en los estudiantes.
Atalar y Ergun (2018)	Analizar el conocimiento de un grupo de 5 profesores alrededor de enlace químico, configuración electrónica y propiedades químicas, en relación con la formación, fuentes de consulta, la evaluación, la relación con el contexto, ciencia, tecnología y sociedad.
Schultz, Lawrie, Bailey y Dargavillea (2018)	Caracterizar el conocimiento profesional del profesor de química a nivel terciario en secundaria, empleando la metodología representación de contenidos Loughran's CoRe en cinco ediciones de workshops sobre PCK en profesores de química.
Sibanda (2018)	Explorar como los profesores de química estructuran el contenido de enlace químico. Para ello se utiliza la metodología representación de contenidos Loughran's CoRe,

Como publicaciones en español se tiene a Porlán-Ariza, Rivero y Martín del Pozo, (1997; 1998) que realizan un recorrido histórico sobre el conocimiento profesional del profesor (CPP) en su consolidación como un conocimiento epistemológicamente diferenciado de otros conocimientos, lo cual deja visualizar la posibilidad de un pluralismo ontológico en el CPP. Ahora, desde la perspectiva del PCK (*Pedagogical Content Knowledge*), con sus bases en Shulman (1986; 1987; 2005); Wilson, Borowski y Van Driel (2019), y De Jong y Van Driel (2007) los resultados obtenidos permiten entender que en los profesores en formación avanzada se priorizan visiones de enseñanza sobre las partículas y los fenómenos de estas, pero no se emplean modelos ni se recurre a la modelización, a pesar de que los docentes manifiestan un conocimiento y perspectivas desde esta concepción.

Por su parte, Bergqvist, Drechsler y Rundgren (2016) afirman que la perspectiva de enseñanza bajo el uso de los modelos no solo comporta una forma de explicación de los fenómenos, sino que puede generar concepciones alternativas y erradas en los

estudiantes, lo que permite suponer que, aunque para los mencionados autores las concepciones alternativas son marcos conceptuales con una base teórica y epistemológica de la química (*alternative conceptual framework*), son explicaciones parciales o suplentes de los fenómenos de naturaleza química.

Podría resultar similar la anterior afirmación para el caso de la publicación de Cetin-Dindar, *et al.* (2017), pues el objetivo de los investigadores es analizar si el uso de ayudas tecnológicas en la enseñanza de la química molecular mejora la comprensión en cuanto a este tema, lo que lleva a pensar que, para este caso, el conocimiento profesional de los profesores sobre el conocimiento escolar puede ser caracterizado en un lugar cercano al ejemplo anterior, con la particularidad de que la visión de mundo que proyecta se centra en la geometrización del espacio tal como lo establece la química estructural. En el caso de Atalar y Ergun (2018), se analiza el conocimiento profesional de cinco profesores de química acerca de los temas de configuración electrónica y propiedades químicas, integrando aspectos que en este conocimiento particular son relevantes como: la formación, las fuentes de consulta, la evaluación, la relación con el contexto, y la ciencia, tecnología y sociedad dentro del precepto de transposición didáctica de Chevallard. A partir de las actividades de clase, sea lo que hace el docente, lo que es el estudiante o lo que hace el estudiante, aparece el conocimiento enseñado en la actividad y el conocimiento aprendido.

Desde otra mirada, tanto Schultz, *et al.* (2018) como Sibanda (2018) emplean la metodología *Loughran's CoRe*, sobre las características del PCK de un grupo de profesores de química, acerca de las características propias del conocimiento específico de la materia. Se encuentra que hay preferencias en los profesores por un grupo de contenidos que se enmarcan en cursos establecidos "tradicionalmente" como química general, química inorgánica, química orgánica y fisicoquímica, resaltando unas formas particulares de los contenidos que enseñan los profesores, dejando ver generalidades de la naturaleza de las entidades que pueblan la dimensión ontológica del conocimiento de estos profesores. Sibanda (2018) también emplea esta metodología para identificar particularidades del PCK de profesores sobre la manera como se estructuran contenidos relacionados con el enlace químico, encontrando que el tipo de formación del profesor influye en sus concepciones sobre estos conocimientos escolares, pues en el estudio se presentan diferencias entre la manera como los profesores describen entidades.

De acuerdo con lo expuesto, se puede observar, entonces, que la dimensión ontológica (en esta categoría) no es un tema explícito de interés, ni en los fundamentos teóricos ni en el problema central de estas investigaciones. Implícitamente, los estudios referenciados muestran aspectos característicos de visiones de mundo que obedecen a diferentes modelos y descripciones ontológicas que, aun así, están enmarcadas en los modelos y teorías científicas de la química: teorías y modelos como el enlace químico, la química estructural geométrica, equilibrio químico, electroquímica, niveles de representación macro, micro y submicro, niveles energéticos y supuestos teóricos provenientes de la mecánica cuántica, como orbitales y enlaces de valencia.

Tabla 6

Publicaciones relacionadas con la categoría CPPQ (forma explícita)

Autor	Objetivo del trabajo
Patron, Wikman, Edforde, Johansson-Cederblad y Linder (2017)	Caracterizar el razonamiento de los profesores sobre sus prácticas de representación visual en el aula desde un enfoque analítico, rastreando dificultades conceptuales y posibles errores conceptuales por la diferencia y variación de estas representaciones.
Olivera y Mortimer (2022)	Analizar los modelos moleculares que establecen los profesores desde la perspectiva de la acción mediada inicialmente presentada por Vigotski y ampliada por Wertsch.

Respecto a las publicaciones que establecen una relación de forma explícita con la categoría CPPQO, Patron *et al.* (2017), afirman que poco se conoce sobre las investigaciones y trabajos prácticos que se hayan hecho en relación con el pensamiento de los profesores acerca de las representaciones visuales en la química. Estos autores afirman que los profesores participantes suponen que los estudiantes no asumen estas representaciones y, por supuesto, las descripciones de entidades de la misma manera como las concibe el profesor en los contenidos, señalando que “durante las discusiones con los profesores, surgió la percepción de que los objetos de aprendizaje previstos, representados y vividos a menudo son entidades bastante diferentes en la educación química” (Patron *et al.*, 2017, p. 10). En este mismo sentido, Olivera y Mortimer (2022) analizan seis casos de profesores acerca de las características y cambios sobre las representaciones del recurso para la enseñanza de la estructura molecular a través de la perspectiva de mediación (Teoría de Acción Mediada) de Vygotsky. Los investigadores encuentran que hay cambios en la representación del recurso de enseñanza estructura molecular a lo largo de las acciones de los profesores en la mediación. Por supuesto, sí implica la posibilidad de pensar en una variación ontológica en las perspectivas de cada uno de los casos estudiados.

4. Conclusiones

Se puede iniciar esta sección afirmando que, debido al número bajo de publicaciones encontradas, la temática sobre la dimensión ontológica del CPPQ, tiene un bajo interés investigativo, pero se evidencia algún interés creciente desde el 2009 hasta el 2022, sobre todo al encontrar publicaciones que cada vez más mencionan explícitamente la relación ontológica.

Respecto a las tendencias que se encuentran en las publicaciones revisadas, se puede concluir que las perspectivas hacia la dimensión ontológica, dadas en la categoría construida OEQ, permiten resaltar y reconocer que hay dos tendencias en las publicaciones, tanto en la forma implícita como explícita. Estos dos intereses o tendencias en cuanto a las perspectivas ontológicas sobre el conocimiento profesional del profesor de química son: optar por el “tripleto químico” o, como más adelante lo llamarían Treagust y Gilbert (2009), “el tripleto representacional de la química”. En esta

tendencia de las perspectivas resulta importante para los autores mencionados aludir a este triplete químico como una de las formas importantes de entender el pensamiento en la pregunta por la dimensión ontológica. La segunda tendencia en cuanto a las perspectivas ontológicas es la de reconciliar y potenciar este “triplete representacional” con la identificación y superación de errores o malentendidos conceptuales de algún tópico específico de la química, habiéndose encontrado algunos como el enlace químico y la modelización, la estructura molecular, fenómenos ácido-base, entre otros, lo cual da lugar a una predominancia ontológica del marco conceptual, teórico y epistemológico proveniente de la enseñanza científicista y también tradicional, tal como lo define Martínez (2014, 2016, 2017).

En cuanto a la categoría CPPQO, se puede concluir que existen una tercera y cuarta tendencia. La literatura científica alude a la modelización y perfiles conceptuales en la medida que el docente se enfrenta a los posibles errores o malentendidos conceptuales propiciados en la dimensión ontológica, argumentando, y es el centro de esta tendencia, que en las múltiples representaciones y perfiles conceptuales puede existir una diferencia en las descripciones del mundo y las entidades que pueblan una ontología específica de un tema tópico particular. En ese mismo sentido, las investigaciones que se centran en la perspectiva el PCK, (en su totalidad en inglés), tienen como referente el conocimiento científico químico sobre diferentes temas centrales de química y ponen el foco en las posibles diferencias ontológicas en el PCK de los profesores.

Caso contrario, es el caso de Porlán, Rivero y Martín del Pozo (1997 y 1998), donde aparecen entidades importantes como el saber académico, rutinas y guiones de acción, en donde posiblemente hay diferenciaciones ontológicas muy marcadas, incluso de un profesor a otro. No obstante, algunas publicaciones, como la de Galagovsky *et al.* (2003) o la de Oliver y Mortimer (2022), permiten suponer una particularidad en la dimensión ontológica del CPPQ a raíz de reconocer el contexto, fuentes y criterios de selección de los contenidos, modelos, representaciones y múltiples referentes epistemológicos con los que profesor guía la enseñanza. Esta particularidad abiertamente ontológica permite suponer que enfoques como la multiculturalidad, perfiles conceptuales y la entrada en escena de otras dimensiones como la social, la ética, la ambiental y la ecológica permitirían una pluralidad ontológica, siendo esta la cuarta perspectiva ontológica o sobre el conocimiento profesional del profesor de química que se encuentra en este trabajo.

Quedan entonces, al menos, algunas preguntas importantes para ser respondidas en futuras investigaciones orientadas a lograr un mayor entendimiento acerca de la dimensión ontológica del conocimiento profesional del profesor de química. Entre estas interrogantes destacan las siguientes: ¿qué particularidades tienen el CPPQ frente a las entidades importantes del mundo que se construye en el contexto escolar?, ¿cuáles son las relaciones que existen entre el CPPQ y los conocimientos escolares en cuanto a la dimensión ontológica?, ¿qué nuevos niveles, escalas o dimensiones de la química podrían aparecer en un determinado contexto, o incluso en otros contextos; según la propuesta de Talanquer (2011)?

Referencias

- Atalar, F. y Ergun, M. (2018). Development of Pre-Service Chemistry Teachers' Technological Pedagogical Content Knowledge. *Universal Journal of Educational Research* 6(1), 298-307. https://www.hrpub.org/journals/article_info.php?aid=6692
- Bergqvist, A. y Rundgren, C. (2017). The influence of textbooks on teachers' knowledge of chemical bonding representations relative to students' difficulties understanding. *Research in Science & Technological Education*, 35(2), 215-237. <https://doi.org/10.1080/02635143.2017.1295934>
- Bucat, B. y Mocerino, M. (2009). *Learning at the Sub-micro-Level: Structural Representations. Models and Modeling in Science Education. Multiple Representations in Chemical Education*. Library of Congress Control Number. Springer Science+Business Media B.V. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-8872-8>.
- Cetin-Dindar, Boz, Sonmez y Celep (2017). Upper Secondary Teachers' Knowledge for Teaching Chemical Bonding Models. *Chem. Educ. Res. Pract.*, (17). 167-183. <https://doi.org/10.1039/C7RP00175D>
- Chamizo, J. y Garritz, A. (2014). *Historical Teaching of Atomic and Molecular Structure. International Handbook of Research in History, Philosophy and Science Teaching*. Michael Mathews, ed. (eBook). <https://doi.org/10.1007/978-94-007-7654-8>.
- Cárdenas, A. (2021). *El conocimiento escolar en los lineamientos curriculares, estándares básicos de competencias y derechos básicos del aprendizaje para el área de ciencias naturales en Colombia: estudio de caso*. Tesis Doctoral. Universidad Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Cheng y Gilbert (2009). *Towards a Better Utilization of Diagrams in Research into the Use of Representative Levels in Chemical Education. Models and Modeling in Science Education. Multiple Representations in Chemical Education*. Library of Congress Control Number. Springer Science+Business DOI 10.1007/978-1-4020-8872-8.
- Chi, M. T. H. (1992). Conceptual change within and across ontological categories: examples from learning and discovery in science. In R. N. Giere (Ed.), *Cognitive models of science*. Minneapolis: University of Minnesota. 129-186.
- Chia-Ju, L., I-Lin, H., Houn-Lin, C. y Treagust, D. (2014). An Exploration of Secondary Students' Mental States When Learning About Acids and Bases. *Sci Educ*, (44),133-154. <https://doi.org/10.1007/s11165-013-9373-y>.
- Chwee, K. Tan, D., Goh, N., Chia, L., y Treagust, D. (2009). *Linking the Macroscopic, Sub-microscopic and Symbolic Levels: The Case of Inorganic Qualitative Analysis. Multiple Representations in Chemical Education*. Library of Congress Control Number. Springer Science+Business <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-8872-8>.
- De Jong, O. y Van Driel, J. (2005). Growth of prospective chemistry teachers pedagogical content knowledge of particle models. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(8), 947-964. <https://doi.org/10.1002/tea.20078>
- Freire, M., Talanquer, V. y Amaral, E. (2019). Conceptual profile of chemistry: a framework for enriching thinking and action in chemistry education. *International Journal of Science Education*, 41(5), 674-69. <https://doi.org/10.1080/09500693.2019.1578001>.
- García, E. (1998). *Hacia una teoría alternativa sobre los contenidos escolares*. Serie Fundamentos, Colección Investigación y Enseñanza, 8. Sevilla: Díada.

- Galagovsky, L. Rodríguez, M., Stamati, N. y Morales, L. (2003). Representaciones mentales, lenguajes y códigos en la enseñanza de ciencias naturales. un ejemplo para el aprendizaje del concepto de reacción química a partir del concepto de mezcla. *Enseñanza de las Ciencias*, 21(1), 107-121. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21898>.
- Gilbert y Treagust (2009). *Towards a Coherent Model for Macro, Submicro and Symbolic Representations in Chemical Education. Models and Modeling in Science Education. Multiple Representations in Chemical Education*. Library of Congress Control Number. Springer Science+Business Media B.V DOI 10.1007/978-1-4020-8872-8.
- Treagust y Chandrasegaran (2009). *The Efficacy of an Alternative Instructional Programme Designed to Enhance Secondary Students' Competence in the Triplet Relationship. Models and Modeling in Science Education. Multiple Representations in Chemical Education*. Library of Congress Control Number. Springer Science+Business Media B.V <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-8872-8>.
- Jensen, W. (1999). Does chemistry have a logical structure? *Chemical Education Today, Journal of Chemical Education*, 75(6), 679-687. <https://doi.org/10.1021/ed075p679>
- Johnstone, A. (1991). Why is science difficult to learn? Things are seldom what they seem. *Journal of Computer Assisted Learning*, (7), 75-83. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.1991.tb00230.x>
- Joki, J and Aksela, M. (2018). *The challenges of learning and teaching chemical bonding at different school levels using electrostatic interactions instead of the octet rule as a teaching model. Chemistry Education Research and Practice*, DOI: 10.1039/c8rp00110c
- Lombardi, O. y Labarca, M. (2005). *The Ontological Autonomy of the Chemical World*, Foundations of Chemistry (número a designar).
- Lombardi, O. y Pérez, R. A (2011). *Los múltiples mundos de la ciencia: un realismo pluralista y su aplicación a la filosofía de la física*. Siglo Veintiuno Editores, México.
- Martínez, C. y Jirón, P. (2014). La investigación sobre el conocimiento profesional de los profesores de primaria en ciencias y el conocimiento escolar: una revisión (parte II). *Revista Tecné, Episteme y Didaxis: TED*. Año 2014, Número Extraordinario. ISSN Impreso: 0121-3814, ISSN web: 2323-0126. Memorias, Sexto Congreso Internacional sobre Formación de Profesores de Ciencias. 08 al 10 de octubre de 2014, Bogotá. <https://doi.org/10.17227/01203916.3366>
- Martínez, C., Valbuena, O., y Molina, A. (2013). *El conocimiento profesional de los profesores sobre el conocimiento escolar*. Fondo de Publicaciones U. Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. ISBN: 978-958-8832-41-8.
- Martínez, C. (2016). *El conocimiento profesional del profesor (a) de ciencias sobre el conocimiento escolar: dos estudios de caso, en aulas vivas y aulas hospitalarias del Distrito Capital del Bogotá*. Fondo de Publicaciones U. Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. ISBN: 978-958-8972-29-9.
- Martínez, C. (2017). *Ser maestro de ciencias: Productor de conocimiento profesional y conocimiento escolar*. Fondo de Publicaciones U. Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá, Colombia. ISBN: 978-958-5434-41-7.
- Merino, C. y Quiroz, W. (2015). Natural laws and ontological reflections: the textual and didactic implications of the presentation of Boyle's law in general chemistry. *Chem. Educ. Res. Pract.*, (16), 447-459. <https://doi.org/10.1039/C4RP00251B>.

- Merino, C., Spinelli, M., Morales, C. y Quiroz, W. (2016). Realist ontology and natural processes: a semantic tool to analyze the presentation of the osmosis concept in science texts. *Educ. Res. Pract.*, (17), 646-655. <https://doi.org/10.1039/C5RP00219B>.
- Musa, U. (2015). Constructing models in teaching of chemical bonds: Ionic bond, covalent bond, double and triple bonds, hydrogen bond and molecular geometry. *Educational Research and Review*, 10(4), 491-500. <https://doi.org/10.5897/ERR2014.1940>
- Nash, R. (2004). Can the arbitrary and the necessary be reconciled? Scientific realism and the school curriculum. *Journal of Curriculum Studies*, 36 (5), 605-623. <https://doi.org/10.1080/0022027032000186619>.
- Nimmermark, A., Öhrström, L., Mårtensson, J. y Davidowitcz, B. (2016). Teaching of chemical bonding: a study of Swedish and South African students' conceptions of bonding. *Chem. Educ. Res. Pract.* (17), pág. 985-1005. <https://doi.org/10.1039/C6RP00106H>
- Olivera, L. y Moprtimer, E. (2022). Percepções de Professores de Química do Ensino Superior Sobre o uso de Modelos Moleculares em Seus Percursos Profissionais. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, (22), 1–29. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2022u935963>
- Özalp, D. y Kahveci, A. (2015). Diagnostic assessment of student misconceptions about the particulate nature of matter from ontological perspective. *Chem. Educ. Res. Pract.*, (16), 619-639. <https://doi.org/10.1039/C5RP00096C>.
- Patron, E., Wikman, S., Edfords, I., Johansson-Cederblad, B. y Linder, C. (2017). Teachers' reasoning: Classroom visual representational practices in the context of introductory chemical bonding. *Science Education*, 1–20. <https://doi.org/10.1002/sce.21298>
- Perafán, G. (2005). Epistemologías del profesor de ciencias sobre su propio conocimiento profesional. *Enseñanza de las ciencias*, (Número Extra). Recuperado de: http://ensciencias.uab.es/webblues/www/congres2005/material/comuni_orales/3_Relacion_invest/3_3/Perafan_651.pdf.
- Picón, R., Sevia, H. y Mortimer, E. (2020). Conceptual Profile of Substance Representing Heterogeneity of Thinking in Chemistry Classrooms. *Science & Education*, (29), 1317–1360. <https://doi.org/10.1007/s11191-020-00152-4>.
- Pinto, M. y Costa, D. (2013). Constitutive Pluralism of Chemistry: Thought Planning, Curriculum, Epistemological and Didactic Orientations, *Science & Education*, (22), 1809–1837. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9434-4>.
- Porlán, R. (1998). Pasado, presente y futuro de la didáctica de las ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 16(I), 175-185. Porlán Ariza, R., Rivero García, A. y Martín Del Pozo, R. (1997). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores I: teoría, métodos e instrumentos. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 15(2), 155-171. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21488>
- Porlán Ariza, R., Rivero García, A. y Martín Del Pozo, R. (1998). Conocimiento profesional y epistemología de los profesores, II: estudios empíricos y conclusiones. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 16(2), 271-288. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21534>
- Rubiano, D. (2017). *La concepción estructural del enlace químico. Aportes la didáctica de la química*. Tesis de Maestría, Universidad Pedagógica Nacional, Bogotá, Colombia.

- Sibanda, D. (2018). Characterization of teacher professional knowledge and skill through content representations from tertiary chemistry educators. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 22 (2), 196–208. <https://doi.org/10.1080/18117295.2018.1484408>
- Schultz, M., Lawrie, G., Bailey, D. y Dargavillea, B. (2018). Evaluation of the Knowledge of Science Teachers with Didactic Transposition Theory. *Chem. Educ. Res. Pract.*, (19), 508-519. <https://doi.org/10.1039/C7RP00251C>
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Shulman, L. (1987). Knowledge and Teaching. Foundations of the New Reform. Harvard Educational Review, 57 (1). Trad. cast. (2001). Conocimiento y enseñanza. *Estudios públicos*, (63), 163-196.
- Taber, K. (2009). *Learning at the Symbolic Level. Models and Modeling in Science Education. Multiple Representations in Chemical Education*. Library of Congress Control Number. Springer Science+Business Media B.V <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-8872-8>.
- Taber, K (2013). Revisiting the chemistry triplet: drawing upon the nature of chemical knowledge and the psychology of learning to inform chemistry education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, (14), 156-168. <https://doi.org/10.1039/C3RP00012E>.
- Talanquer, V. (2011). Macro, Submicro, and Symbolic: The many faces of the chemistry “triplet”. *International Journal of Science Education*, 2(33), 179–195. <https://doi.org/10.1080/09500690903386435>
- Tan, M. (2012). Multicultural chemistry and the nature of science: but what about knowledge?, *Cult Stud of Sci Educ*, (7). 653–657. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11422-012-9411-5>.
- Thagard, P. (2014). Explanatory Identities and Conceptual Change. *Sci & Educ* (23), 1531–1548. <https://doi.org/10.1007/s11191-014-9682-1>.
- Treagust y Chandrasegaran (2009) *The Efficacy of an Alternative Instructional Programme Designed to Enhance Secondary Students’ Competence in the Triplet Relationship. Models and Modeling in Science Education. Multiple Representations in Chemical Education*. Library of Congress Control Number. Springer Science+Business Media B.V DOI 10.1007/978-1-4020-8872-8.
- Tsaparlis (2009). *Learning at the Macro Level: The Role of Practical Work. Models and Modeling in Science Education. Multiple Representations in Chemical Education*. Library of Congress Control Number. Springer Science+Business Media B.V DOI 10.1007/978-1-4020-8872-8.
- Tümay, H. (2016). Reconsidering learning difficulties and misconceptions in chemistry: Emergence in chemistry and its implications for chemical education. *Chem. Educ. Res. Pract.*, (2), 1-15. <https://doi.org/10.1039/C6RP00008H>.
- Wilson, D., Borowski, A., Van Driel, J. (2019). Perspectives on the Future of PCK Research in Science Education and Beyond. In: Hume, A., Cooper, R., Borowski, A. (eds) *Repositioning Pedagogical Content Knowledge in Teachers’ Knowledge for Teaching Science*. Springer, Singapore, 978-981. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-5898-2>.