

Estructura de la materia en educación media en Brasil y Colombia

Structure of Matter in Secondary Education in Brazil and Colombia

Milton Aníbal Luna Rojas e Ivoni Freitas-Reis¹

Resumen

El conocimiento de la estructura de la materia es fundamental para comprender la química moderna y explicar fenómenos naturales y avances tecnológicos. Constituye un pilar conceptual para la alfabetización científica y tecnológica de la ciudadanía. No obstante, los estudios muestran dificultades significativas en su comprensión, lo que hace necesario problematizar su enseñanza. Se realizó una revisión bibliográfica guiada por la pregunta: ¿Cuáles han sido las estrategias didácticas y los estudios realizados para abordar la enseñanza de la estructura de la materia en Brasil y Colombia, en educación media?, con el objetivo de sistematizar la información reciente. De la revisión emergieron seis categorías: Contextualización, Modelamiento, uso de TIC, Análisis de libros didácticos, Ideas de los estudiantes y Discusiones teóricas. Estas categorías comparten fundamentos como el aprendizaje significativo, la concepción constructivista de la enseñanza, el reconocimiento de las ideas de los estudiantes, la democratización del espacio escolar y el trabajo colaborativo, todos ellos orientados a favorecer la comprensión y apropiación de conceptos complejos de la química.

Palabras clave: estructura, materia, enseñanza, química, educación.

Abstract

The knowledge of the structure of matter is essential for understanding modern chemistry and explaining natural phenomena and technological advances. It constitutes a conceptual pillar for the scientific and technological literacy of citizens. However, studies show significant difficulties in its comprehension, making it necessary to problematize its teaching. A bibliographic review was conducted guided by the question: What teaching strategies and studies have been implemented to address the teaching of the structure of matter in Brazil and Colombia at the secondary education level?, with the aim of systematizing recent information. Six categories emerged from the review: Contextualization, Modeling, use of ICT, Analysis of textbooks, Students' ideas, and Theoretical discussions. These categories share foundational principles such as meaningful learning, the constructivist conception of teaching, recognition of students' ideas, democratization of the classroom space, and collaborative work, all aimed at enhancing the understanding and appropriation of complex chemistry concepts.

Keywords : structure, matter, teaching, chemistry, education.

CÓMO CITAR:

Luna Rojas, M. A., y Freitas-Reis, I. (2025, octubre-diciembre). Estructura de la materia en educación media en Brasil y Colombia. *Educación Química*, 36(4). <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2025.4.90974>

¹ Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.

Introducción

Uno de los pilares para entender muchos fenómenos naturales y avances tecnológicos es la comprensión de la estructura de la materia (Porrás Contreras, 2014), que constituye uno de los núcleos articuladores del cambio conceptual en química (Gómez Crespo y Pozo, 2004). De hecho, la comprensión de la estructura de la materia ha permitido a los químicos crear nuevos y variados materiales y sustancias que sustentan gran parte del desarrollo tecnológico (Roussak y Gesser, 2013). Por tanto, su conceptualización en la educación media es imperativa, especialmente si el objetivo es la alfabetización científica y tecnológica ciudadana (Gil Pérez y Vilches, 2006). Sin embargo, la educación química tradicional ha desconocido la complejidad del proceso de enseñanza y aprendizaje de los conceptos científicos, al reducirlo a la transmisión de información, olvidando los problemas terminológicos (Quilez-Pardo y Quilez-Díaz, 2016), las dificultades conceptuales del estudiante y las discusiones epistemológicas subyacentes al conocimiento.

Esencialmente, los estudiantes conciben la estructura de la materia o bien como un continuo, sin movimiento ni espacios vacíos (Gómez Crespo y Pozo, 2000), o admitiendo la existencia de partículas que se mueven en el espacio vacío pero que conservan las propiedades macroscópicas del material (Trinidad-Velasco y Garritz, 2003). De ahí la necesidad de investigar y poner en práctica didácticas que ayuden a los estudiantes a superar tales concepciones y favorezcan su formación científica escolar.

El objetivo de esta revisión es dar respuesta a la pregunta: ¿Cuáles han sido las estrategias didácticas y los estudios realizados para abordar la enseñanza de la estructura de la materia en Brasil y Colombia, en educación media? Los resultados arrojaron seis categorías: contextualización, modelamiento, uso de las TIC, análisis de libros didácticos, ideas de los estudiantes y reflexiones.

Estructura de la materia

La química moderna tiene su origen en el trabajo artesanal de transformación de materiales realizado durante siglos (Chamizo, 2009), pero también en la reflexión filosófica iniciada en la antigua Grecia con las ideas de corpuscularidad, vacío y movimiento, retomadas en Europa en los siglos XVI y XVII, en una pluralidad de concepciones sobre la materia. Las cualidades químicas de la materia no podían explicarse únicamente con principios mecanicistas, lo que dio origen al atomismo químico, defendido por P. Gassendi (1592-1655), quien inauguró el marco químico que sustentaría el avance de la química experimental (Higueras, 2013).

El atomismo químico recibió un nuevo impulso con J. Dalton (1766-1844), quien, tras prolongadas investigaciones sobre los gases atmosféricos, formuló una teoría atómica en 1808 (Viana y Porto, 2010). Su desarrollo suscitó debates entre adeptos y retractores, especialmente con los equivalentistas y energetistas, hasta comienzos del siglo XX (Moreno González, 2006).

Por otro lado, las investigaciones sobre fenómenos eléctricos y electroquímicos, así como estudios espectroscópicos, condujeron a la idea de que las cargas eléctricas eran parte de los átomos. G. Stoney (1826-1911) reconoció las unidades de electricidad y las llamó electrones, y J. J. Thomson (1856-1940) les otorgó estatus corpuscular al determinar la relación e/m , siendo e y m la carga y la masa del electrón, respectivamente (Sánchez Ron, 1997). Estos trabajos permitieron concebir la idea de la estructura del átomo (Rodríguez y Niaz, 2004).

A finales del siglo XIX surgieron diferentes modelos atómicos, pero el de Thomson de 1904 fue el punto de partida del desarrollo teórico y experimental subsiguiente. En su modelo, las cargas negativas se movían sin resistencia describiendo anillos concéntricos dentro de una esfera homogénea de carga positiva, sin densidad ni viscosidad, pero cohesionada. Los patrones anulares le permitieron aproximar una explicación de la periodicidad de los elementos y de la serie electroquímica (Baily, 2013).

En 1909, a partir de las investigaciones sobre la dispersión de partículas α a través de metales, E. Rutherford (1871-1937) concluyó que la esfera de carga debía tener un radio muy pequeño en comparación con la distancia de interacción partícula α -átomo. Así, en 1911 propuso su modelo nuclear: una masa estacionaria de carga $\pm Ne$ en el centro del átomo, compuesta de electrones positivos y negativos, con un radio 10^4 veces más pequeño que el radio atómico. Su volumen era espacio vacío, donde se distribuye la carga electrónica necesaria para neutralizar la carga del núcleo. Si bien la configuración electrónica no era su objeto de investigación, fue consciente de algunas falencias del modelo (Webber y Davis, 2012).

En 1913, N. Bohr (1885-1962) realizó un quiebre epistemológico formulando dos hipótesis generales: 1) el equilibrio dinámico de los estados estacionarios está gobernado por la mecánica ordinaria; y 2) el paso entre estados estacionarios implica la emisión de radiación monocromática, cuya relación energía/frecuencia está dada por la teoría de Planck, $h = E/\nu$ (Bohr, 1913). Así, la frecuencia orbital, f , de un electrón es diferente de su frecuencia espectral, ν , aunque ambas son aproximadamente iguales para transiciones entre estados de mayor energía (Baily, 2013).

A partir del modelo de Bohr surgieron los modelos cuánticos del átomo, primero desde la mecánica matricial en 1925, desarrollada por W. Heisenberg (1901-1976), y luego desde la mecánica ondulatoria en 1926, desarrollada por E. Schrödinger (1887-1961).

Enseñanza de la estructura de la materia

La estructura de la materia es un concepto fundamental en el aprendizaje de las ciencias, especialmente si el objetivo es formar ciudadanos alfabetizados científicamente y tecnológicamente (Gil Pérez y Vilches, 2006). Muchos fenómenos fisicoquímicos se explican a partir de las ideas de movimiento corpuscular y vacío, que constituyen la base del conocimiento sobre la dinámica de la materia, permitiendo entender el comportamiento de las sustancias en la vida cotidiana (Job y Rüffler, 2011/2016). Además, se requieren conceptos de estructura atómica y molecular para comprender los fenómenos químicos de transformación de sustancias, muchos de los cuales apelan a modelos cuánticos (Chang y Goldsby, 2016).

El conocimiento de la estructura de la materia implica, a su vez, dos conceptos fundamentales: la naturaleza corpuscular y la estructura atómica, que, según Park y Light (2009), constituyen conceptos umbrales que los estudiantes deben superar para avanzar en la comprensión de otros conceptos científicos. Sin embargo, a pesar de la enseñanza, muchos estudiantes conservan la visión continuista de la materia, la cual termina siendo una barrera conceptual para comprender la química moderna (Gómez Crespo y Pozo, 2000). Esta visión podría estar ligada a la presentación inapropiada de estos conceptos en las instituciones escolares (Martínez et al., 2012) y en los libros didácticos. Flores-Camacho et al. (2007) identificaron cinco modelos en estudiantes de química de la Universidad Nacional Autónoma de México: 1) Continuo; 2) Sustancialista; 3) Molecular I; 4) Molecular II; y 5) Electrónico.

El paralelismo relativo de estas concepciones con el desarrollo histórico de la estructura de la materia permite sugerir un abordaje de contenidos que considere la lógica que los estudiantes utilizan en sus modelos explicativos (Bizzo, 1993) y el costo cognitivo para adoptar nuevos modelos (Campanario, 2002). Así, en los primeros años de educación secundaria, el énfasis podría estar en contrastar y analizar los modelos continuistas y corpusculares (Park y Light, 2009), considerando fenómenos asociados a mezclas, disoluciones, estados físicos y cambios de estado, llevando al aula diferentes situaciones históricas. En educación media, los estudiantes podrían relacionar estos fenómenos con las estructuras submicroscópicas que los explican y sus respectivas representaciones, en el marco de la concepción atomista (Park y Light, 2009), problematizando los modelos atómicos en su contexto histórico y contrastándolos con las ideas de los estudiantes (Gallegos, 2002).

Por otro lado, Izquierdo-Aymerich (2004) afirma que el estudiante actual debe ser capaz de relacionar significativamente las teorías químicas, la experimentación y los lenguajes que las describen, lo cual puede lograrse mediante la modelización (Tuzón Marco y Solbes, 2014). Esta estrategia implica formular preguntas significativas en las que el estudiante proponga las entidades y procesos necesarios para interpretar los fenómenos dentro de un marco coherente de explicación.

En la enseñanza de la estructura de la materia es urgente llevar al aula la riqueza de los contextos históricos, los diferentes debates sostenidos, así como las valoraciones éticas defendidas, sin caer en pseudohistorias ni análisis anacrónicos (Lobato, 2020).

Metodología

Se trata de una revisión bibliográfica de enfoque cualitativo, tipo estado del arte, con carácter descriptivo, que busca establecer lo realizado respecto a la enseñanza de la estructura de la materia en educación media en Brasil y Colombia. Para ello, se realizó una búsqueda exclusiva de artículos en las bases de datos Capes, Scopus y Scielo, utilizando las palabras clave “structure of matter”, “atomic structure”, “atomic models”, “phases of matter” e “intermolecular forces”, con el operador OR para hacer una búsqueda más precisa y acorde con el objetivo de la investigación. La búsqueda se repitió con las mismas palabras en español y portugués, idiomas del contexto latinoamericano, en el que se pretende tener alguna incidencia. Se escogió el periodo desde el año 2000 hasta 2023, considerando que refleja los resultados de las nuevas políticas educativas oficiales: Ley de Directrices y Bases de la Educación (1996) en Brasil, y Ley General de Educación (1994) en Colombia.

Tras la restricción temporal, se limitó la búsqueda al ámbito de la educación media, estableciendo la proporción por cada palabra clave, como se muestra en la Tabla 1, donde se observa que el 37 % de los artículos están dirigidos a educación media (proporción 102/277).

Base	Estructura de la materia	Estructura atómica	Modelos atómicos	Fases de la materia	Fuerzas intermoleculares	Proporción
Capes	7/15	5/9	46/69	1/3	4/5	63//101
Scopus	3/6	6/53	7/35	8/45	6/24	30/163
Scielo	1/1	1/3	5/5	1/2	1/2	9/13
Proporción	11/22	12/65	58/109	10/50	11/31	102/277

TABLA 1. Proporción de artículos orientados a educación media. Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se seleccionaron, entre los 102 artículos, aquellos restringidos al contexto brasileño y colombiano. Sin embargo, con resultados casi nulos para Colombia, se realizó una búsqueda manual en algunas revistas, principalmente colombianas, para subsanar esta falencia. Finalmente, a la luz de la pregunta orientadora, se adaptó la matriz diseñada por Ültay y Çalik (2012) para resumir y organizar la información, incorporando cinco encabezados: identificación, propósitos, metodología, marco conceptual y resultados.

La Tabla 2 muestra el número de artículos, discriminados por país de origen de la investigación o implementación, obtenidos de 31 revistas en portugués, 5 en español y 4 en inglés.

Idioma de la revista	Brasil	Colombia	Total
Español	3	3	6
Portugués	48	0	48
Inglés	4	1	5
Total	55	4	59

TABLA 2. Artículos por país seleccionados en la muestra de revistas.
Fuente: elaboración propia.

Resultados y Discusión

Entre los conceptos fundamentales de la química se encuentran estructura atómica, estructura molecular, fuerzas intermoleculares y enlaces químicos, todos ellos relacionados con el concepto de estructura de la materia. La mayoría de los artículos analizados aborda la enseñanza de estos conceptos desde perspectivas alternativas. Con ayuda de la matriz, se pudieron identificar seis categorías de acuerdo con el enfoque de los artículos: 1) Contextualización (CTX), 2) Modelamiento (MOD), 3) Uso de tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC), 4) Ideas de los estudiantes (IdE), 5) Análisis de libros didácticos (ALD), y 6) Reflexiones (RF), definidas como se indica en la Tabla 3.

TABLA 3. Definición de categorías encontradas.
Fuente: elaboración propia.

Categoría	Definición	Justificación
CTX	Estudios que consideran la influencia del entorno social, cultural o ambiental del estudiante o del contexto histórico en la construcción de sus conceptos.	La contextualización, social, cultural o técnica, es una forma de enfrentar la apatía y el desinterés de los estudiantes por la química, en la medida que mantienen su atención y motivación, dada la aproximación del contenido escolar con su cotidianidad, permitiéndoles ser protagonistas de su aprendizaje, dando significado y relevancia a los conceptos científicos, con la mediación del profesor (Meróni et al., 2015). También, a partir de los aspectos socio-históricos en los que se construyen los conceptos científicos, al mostrar la realidad del trabajo científico, contribuyendo a que lo perciban como una actividad humana (Solbes y Traver, 2003).
MOD	Estudios en los que la práctica escolar se centra en los procesos de modelización, sea por la creación de modelos o por la aplicación y revisión de los mismos.	Mucho de la actividad científica se hace a través de modelos, entendidos como una representación de algún aspecto de la realidad, con el propósito específico de explicar y hacer predicciones, especialmente en química (Adúriz-Bravo, 2012). El modelamiento en la enseñanza implica que los estudiantes se involucren en su construcción, socialización y evaluación, tomando decisiones de conjunto (Mendoza y Justi, 2011), y, de esta manera, que comprendan cómo se construye y se usa el conocimiento químico, y desarrollen habilidades relacionadas con los procesos de construcción de conocimientos a través de los modelos (Martins, 2024).

TIC	Estudios que apelan al uso de herramientas tecnológicas, tales como aplicativos, simulaciones, videos, juegos interactivos, recursos multimedia, tutoriales, plataformas en línea, aulas virtuales, blogs.	Los recursos didácticos basados en las TIC facilitan el aprendizaje, el desarrollo de habilidades metacognitivas y la visualización de conceptos abstractos que subyacen en la explicación química. Además, posibilitan la simulación de fenómenos, eliminando potenciales riesgos, o de experimentos virtuales que, de otra forma, serían arduos y costosos (Salcedo et al., 2007). De hecho, las simulaciones son necesarias si se quiere formar en el hacer científico actual (Greca et al., 2014). Sin embargo, se advierte que los contenidos deben diseñarse de modo que, siendo atractivos y desafiantes, no sobrecarguen la memoria sensorial del estudiante (Salica, 2019), lo que implica una planificación adecuada por el docente (Manivel Chávez et al., 2021). Estas herramientas impactan positivamente en la actitud de los estudiantes hacia el aprendizaje conceptual y las habilidades requeridas en química, así como en su interacción y desarrollo social (Al-Balushi y Al-Hajri, 2014).
IdE	Estudios que tratan con las concepciones de los estudiantes, cambio conceptual, perfiles conceptuales, evolución conceptual, en situaciones de aprendizaje.	A pesar de las investigaciones en didáctica de la química, en buena medida aún se mantiene el esquema tradicional de enseñanza en el que los estudiantes hacen una apropiación ingenua y memorística de los , con el único fin de cumplir con sus tareas escolares. Resolver esta dificultad implica superar la visión de estudiante como un receptor pasivo y reconocerlo como un constructor de significados, con sus intereses, experiencias y conocimientos previos (Ordaz González y Mostue, 2018). El problema de las ideas de los estudiantes respecto de los conceptos científicos sigue siendo objeto de investigación y ha dado pie a los estudios de cambio conceptual y los perfiles conceptuales, en los que el estudiante en el centro del proceso de aprendizaje, a través de la participación activa, la reflexión, la interacción, el debate, la autonomía y la responsabilidad (Zarkadis y Papageorgiou, 2020).
ALD	Estudios que analizan libros didácticos, desde su contenido, su metodología, su calidad gráfica o sus actividades en relación al eje temático.	El libro didáctico, LD, es un elemento destacado en el aula, llegando a ser una guía para la planificación y ejecución de las clases, tanto en su estructura como en su contenido (Gericke y Hagberg, 2010). Sin embargo, algunos estudios han mostrado falencias como: falta de contextualización, enfoque ceñido al método científico, visiones distorsionadas de la ciencia, además de las propias de su composición gráfica y textual (Occelli y Valeiras, 2013). Igualmente, la presentación ahistórica de los hechos científicos, cargadas de mitos de heroicidad, que impiden entender cómo se construye el conocimiento científico (Farías et al., 2013). También se ha señalado la falta de distinción entre los niveles molar, molecular y eléctrico, dando lugar a confusiones conceptuales en el estudiante (Jensen, 1998).
RF	Estudios que buscan reconstruir o fundamentar ideas, conceptos, polémicas en procura de mejorar las bases teóricas y/o la práctica pedagógica o de la actividad docente.	Son muchas las dificultades en la enseñanza y aprendizaje de la química reportadas en la literatura, ligadas al área de la enseñanza de las ciencias, de las cuales han derivado diversas reflexiones procurando establecer sus posibles marcos de referencia. Entre otras, los discursos del profesor en el aula y la comunicación (Mónaco, 2013), el papel del profesor como 'promotor de interacciones discursivas (Sasseron y Duschi, 2016), la relación entre la ciencia de los científicos y la escolar diseñada por el profesor (Izquierdo-Aymerich, 2007), la naturaleza del pensamiento crítico y su uso en la educación científica (Bailin, 2002), la cultura científica para el siglo XXI (Sanz Merino y López Cerezo, 2012), el modelo pedagógico constructivista (Niaz et al., 2003), los desafíos de las críticas a la ciencia (Greca y Freire Jr, 2004), y respecto de la evaluación de las competencias (Chamizo y Izquierdo, 2007).

La determinación final de las categorías implicó un proceso de depuración durante el análisis de los artículos, basado en los criterios de recurrencia y generalidad, con el fin de obtener un número de categorías suficientemente descriptivo. Se reconoce que no se han agotado todas las posibilidades, pero se espera haber logrado una aproximación válida. La Tabla 4 muestra la distribución de artículos por categoría para los dos países.

	CTX	MOD	TIC	IdE	ALD	RF	Total
Brasil	14	5	8	18	7	3	55
Colombia	0	0	1	1	1	1	4
Total	14	5	9	19	8	4	59

TABLA 4. Distribución de los artículos por categorías en los dos países. Fuente: elaboración propia.

Contextualización

Algunos estudios apelan a la contextualización histórica para la enseñanza de los modelos atómicos, permitiendo reflexionar sobre la naturaleza de la ciencia y desvirtuar ideas equivocadas, como la de mantener un progreso lineal (Moura y Guerra, 2016) o la de concebirla como un cuerpo de verdades acabadas (Kurz et al., 2023), mostrando su carácter provisional ligado a circunstancias sociohistóricas, lo que puede generar interés en los estudiantes. Otros estudios recurren a contextos socioculturales, como las relaciones CTSA para la enseñanza de conceptos ligados a la estructura de la materia a través de situaciones problema en el aula (Prates Junior y Simões Neto, 2015), exámenes de imagenología (da Silva et al., 2023), prácticas experimentales con recursos del medio (Messeder et al., 2018; Nery y Fernández, 2004) o situaciones ambientales de interés, como la calidad del aire interior (de Oliveira et al., 2015). Estos enfoques promueven la participación de los estudiantes, vinculando sus intereses con las problemáticas estudiadas y ayudándoles a percibir la ciencia como una actividad humana conectada con diversos contextos.

Modelamiento

El modelamiento se ha utilizado preferentemente para la enseñanza de los modelos atómicos. A través de la creación y crítica de analogías por los estudiantes, estos expresan sus ideas y negocian representaciones del modelo de Thomson (Ramos et al., 2019), también abordado mediante una secuencia didáctica que desarrolla habilidades de argumentación (de Sá et al., 2021). Asimismo, se han diseñado cursos inspirados en Design-Based Research donde la modelización permite seguir la evolución de los modelos mentales de los estudiantes (Pessanha y Pietrocola, 2016), al igual que secuencias didácticas donde las actividades de modelado son relevantes para seguir la evolución histórica de los modelos atómicos (Gomes da Silva et al., 2022). Actividades en pareja, socialización, experimentos virtuales e intervención directa del profesor actúan como mediadores importantes en la construcción de modelos sobre la estructura de la materia (de Vries y Arroio, 2017). También se han analizado las contribuciones del modelamiento en el aprendizaje de aspectos cualitativos del equilibrio químico desde el enfoque cinético (Maia y Justi, 2009) y elementos del modelamiento que apoyan el aprendizaje de enlaces iónicos (Cardoso Mendonça y Justi, 2011). El modelamiento permite a los estudiantes expresar diferentes concepciones mediante la construcción de modelos, aproximándolos al trabajo científico.

Uso de TICs

Una parte importante de los estudios se ha enfocado en el uso de recursos TIC, tales como videos de YouTube para reforzar conceptos sobre estructura atómica de manera lúdica (Gómez et al., 2023), juegos digitales para enseñar el modelo de Bohr (Adilson Vahldick y Thomas da Silva, 2020) o los números cuánticos (da Rocha y Cabral, 2021), simulaciones para la enseñanza de modelos atómicos (Cardoso y da Silva, 2021) y construcción de objetos virtuales de aprendizaje (Benite et al., 2011). En general, estos recursos facilitan la comprensión de conceptos altamente abstractos; sin embargo, debe cuidarse que la herramienta no distraiga del objetivo didáctico.

Ideas de los estudiantes

Reconociendo el papel de las ideas con las que los estudiantes llegan al aula como parte de su acervo cultural, los estudios han abordado concepciones sobre modelos atómicos (Furtado y Souza, 2021), formación de iones (França et al., 2009), concepto de solución y proceso de disolución (do Carmo et al., 2010), propiedades coligativas de las soluciones (Veríssimo y Campos, 2015), enlace químico mediante seguimiento del razonamiento analógico (Mozzer y Justi, 2012) y perfil epistemológico de los estudiantes (Pazinato et al., 2021). También se ha investigado la conceptualización alcanzada durante la enseñanza de modelos atómicos (Macedo et al., 2020) y del comportamiento de los electrones (Alvarado y Fanaro, 2022). Estos estudios han empleado estrategias como unidades de enseñanza significativas, construcción de modelos físicos, historietas, mapas conceptuales y juegos didácticos, promoviendo indagación, participación y organización de ideas.

Análisis de libros didácticos

Los estudios sobre libros didácticos han examinado aspectos relacionados con la estructura de la materia, incluyendo: el abordaje de conceptos y objetos cuánticos frente a objetos clásicos (Muñoz-Burbano et al., 2020), presentación de números cuánticos (de Almeida et al., 2023), enfoque de la estructura de la materia y reacciones químicas (Bego et al., 2019), eficiencia de recursos visuales en el aprendizaje de modelos atómicos (Silva et al., 2013), presentación de modelos atómicos para minimizar abstracción (Silva y Silva, 2019), concepciones de ciencia asociadas a fuerzas intermoleculares (Miranda et al., 2019), contenidos históricos de modelos atómicos (Chaves et al., 2014) y uso de analogías (Amaral et al., 2020). Entre los hallazgos destacan problemas con imágenes desconectadas del texto principal, visión de ciencia limitada, inteligibilidad de los contenidos, eficiencia de analogías, orientación de ejercicios y falta de referencias y enlaces a material complementario.

Reflexiones

Las reflexiones teóricas han versado sobre la enseñanza de la estructura atómica y molecular, vista desde los documentos del Ministerio de Educación Nacional de Colombia (MEN) y algunos libros didácticos, concluyendo que los documentos oficiales son ambiguos en cuanto a la articulación con la teoría cuántica, mientras que los libros didácticos presentan el tema de la estructura de la materia de forma descriptiva, escasa y formalista, desconociendo la teoría cuántica como un referente necesario (Solbes Matarredona et al., 2019). También se reflexiona sobre la necesidad de cambios pedagógicos y didácticos en la enseñanza de las ciencias en Brasil, dados los resultados de las pruebas PISA, destacando

que las perspectivas orientadas a la naturaleza de la ciencia resultan prometedoras para la enseñanza de la química, ya que fomentan la capacidad de argumentar y modelar de los estudiantes (do Nascimento, 2017). Asimismo, se ha analizado ciertos pasajes de una obra de Bohr que muestran aspectos relativos a la construcción de la física, como la relación entre teoría y experimento, las limitaciones de la ciencia y su carácter colectivo, los cuales pueden ser llevados al aula mediante la mediación del profesor y las adaptaciones pertinentes (Silva y Almeida, 2020).

Consideraciones finales

La revisión muestra que existe variedad de estudios sobre la enseñanza de la estructura de la materia en educación media, mucho más en Brasil que en Colombia, lo que podría indicar la mayor importancia otorgada a la enseñanza de la química en Brasil.

En los documentos oficiales que orientan el currículo de educación media, BNCC (2018) en Brasil y EBC (2004) en Colombia, se reconoce la relevancia del conocimiento de la estructura de la materia para “analizar fenómenos naturales y procesos tecnológicos” (BNCC, p. 554) y comprender las “propiedades físicas y químicas...[y el] cambio químico” (EBC, p. 22). Sin embargo, hace falta investigación educativa y desarrollo de propuestas didácticas acordes con la importancia de este concepto, especialmente en relación con los fundamentos de la teoría cuántica, así como un mayor estudio sobre las dificultades de los estudiantes y la manera de superarlas. Particularmente en Colombia, la investigación al respecto es aún escasa.

De los resultados se destacan dos categorías principales: el 32% de los estudios corresponden a la categoría ideas de los estudiantes, lo que refleja el reconocimiento del estudiante como eje del proceso de enseñanza-aprendizaje, otorgándole un lugar como interlocutor en el aula, con saberes coherentes o no, que permiten al docente orientar estrategias didácticas para favorecer el aprendizaje. El 24% de los estudios se ubican en la categoría contextualización, reconociendo que los conceptos se relacionan con la realidad, de modo que su aprendizaje se facilita mediante la conexión con situaciones sociales, culturales o ambientales que vive el estudiante, o a través de reconstrucciones históricas. Por ejemplo, enseñar modelos atómicos implica traer el contexto histórico para analizar los problemas que intentaron resolver y las limitaciones de cada modelo, como el caso del modelo de Bohr para evidenciar la insuficiencia de los modelos clásicos y darle sentido al concepto de niveles de energía.

Además, el 15% de los estudios se relaciona con la categoría uso de tecnologías de la información y las comunicaciones, que, bajo una adecuada planificación docente, constituyen un recurso valioso para visualizar estructuras químicas, realizar experimentos virtuales, simular fenómenos y facilitar la comprensión de conceptos abstractos. El 13% de los estudios se centran en la categoría análisis de libros didácticos, destacando su importancia como materiales que apoyan la planificación docente y se ajustan a las reformas educativas; no obstante, se cuestiona su cumplimiento pedagógico, ya que las dificultades de contenido y funcionalidad pueden generar actitudes negativas hacia la ciencia. El 8% de los estudios corresponde a la categoría modelamiento, considerada una perspectiva útil para entender el conocimiento científico y favorecer procesos de enseñanza-aprendizaje. Las analogías utilizadas en modelos científicos deben ser problematizadas para evitar que generen obstáculos epistemológicos.

En general, las categorías comparten presupuestos como la necesidad de aprendizaje significativo, la base constructivista del aprendizaje, el reconocimiento de las ideas de los estudiantes, la democratización del escenario escolar, la creación de ambientes argumentativos para la construcción del conocimiento y el trabajo en equipo.

Referencias

- Adilson Vahldick, A. V., y Thomas da Silva, W. (2020). Um jogo sério para suportar o aprendizado do modelo atômico de Bohr. *Revista Novas Tecnologias na Educação*, 18(1), <https://doi.org/10.22456/1679-1916.105940>
- Adúriz-Bravo, A. (2012). Algunas características clave de los modelos científicos relevantes para la educación química. *Educación Química*, 23(2), 248-256. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30151-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30151-9)
- Al-Balushi, S. M., y Al-Hajri, S. H. (2014). Associating animations with concrete models to enhance students' comprehension of different visual representations in organic chemistry. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(1), 47-58. <https://doi.org/10.1039/C3RP00074E>
- de Almeida, A. A. F., da Silva, Q. R. R., dos Santos, M. B., y Dantas Filho, F. F. (2023). Do livro ao professor: como os números quânticos têm sido abordados em aulas de química? *Revista Insignare Scientia*, 6(6), 168-192. <https://doi.org/10.36661/2595-4520.2023v6n6.13543>
- Alvarado, K. A., y Fanaro, M. de los A (2022). Conceptualización del comportamiento de los electrones según el enfoque de Feynman: un estudio en la escuela media colombiana. *Tecné, Episteme y Didaxis*, 51, 77-96. <https://doi.org/10.17227/ted.num51-10922>
- Amaral, L. de O., Soares, S. M., y de Melo, M. S. (2020). Utilização de analogias em seis livros didáticos de química aprovados no programa nacional do livro didático 2018: uma análise sobre estrutura atômica. *Revista Prática Docente*, 5(2), 1019-1039. <https://doi.org/10.23926/RPD.2526-2149.2020.v5.n2.p1019-1039.id687>
- Bailin, S. (2002). Critical thinking and science education. *Science & Education*, 11(4), 361-375. <https://doi.org/10.1023/A:1016042608621>
- Baily, C. (2013). Early atomic models -from mechanical to quantum (1904-1913). *The European Physical Journal H*, 38(1), 1-38. <https://doi.org/10.1140/epjh/e2012-30009-7>
- Bego, A. M., Suart Júnior, J. B., Prado, K. F., y Zulian, S. R. Q. A. (2019). Qualidade dos livros didáticos de química aprovados pelo programa nacional do livro didático: análise do tema estrutura da matéria e reações químicas. *Revista electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 18(1), 104-123.
- Benite, A. M. C., Benite, C. R. M., y da Silva Filho, S. M. (2011). Cibercultura em ensino de química: elaboração de um objeto virtual de aprendizagem para o ensino de modelos atômicos. *Química nova na Escola*, 33(2), 71-76.
- Bizzo, N. M. V. (1993). Historia de la Ciencia y Enseñanza de la Ciencia: ¿qué paralelismos cabe establecer? *Comunicación, Lenguaje y Educación*, 5(18), 5-14. <http://doi.org/10.1080/02147033.1993.10821069>

- Bohr, N. (1913). I. On the constitution of atom and molecules. *Philosophical Magazine*, 26(151), 1-25. <http://doi.org/10.1080/14786441308634955>
- Campanario, J. M. (2002). The parallelism between scientists' and students' resistance to new scientific ideas. *International Journal of Science Education*, 24(10), 1095-1110. <http://doi.org/10.1080/09500690210126702>
- Cardoso, H. C., y da Silva, T. (2021). A visualização como referencial teórico-metodológico no uso de simulações: uma proposta sobre os modelos atômicos. *Revista de enseñanza de la física*, 33(2), 133-141. <http://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n2.35186>
- Cardoso Mendonça, P. C., y Justi, R. (2011). Contributions of the model of modelling diagram to the learning of ionic bonding: analysis of a case study. *Research in Science Education*, 41(4), 479;503. <http://doi.org/10.1007/s11165-010-9176-3>
- do Carmo, M. P., Marcondes, E. R., y Martorano, S. A. A. (2010). Uma interpretação da evolução conceitual dos estudantes sobre o conceito de solução e processo de dissolução. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 35-52.
- Chamizo, J. A. (2009). Filosofía de la química: I. Sobre el método y los modelos. *Educación Química*, 20(1), 6-11. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(18\)30002-8](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(18)30002-8)
- Chamizo, J. A., e Izquierdo, M. (2007). Evaluación de las competencias de pensamiento científico. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*, 51, 9-19. <http://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2007.1.65971>
- Chang, R. y Goldsby, K. A. (2016). *Chemistry*. (12th ed.). MacGraw-Hill.
- Chaves, L. M. M. P., dos Santos, W. L., y Carneiro, M. H. (2014). História da ciência no estudo de modelos atômicos em livros didáticos de química e concepções de ciência. *Química Nova na Escola*, 36(4), 269-279. <http://doi.org/10.5935/0104-8899-20140032>
- Farías, D. M., Molina, M. F., y Castelló, J. (2013). Análisis del enfoque de Historia y Filosofía de la Ciencia en Libros de Texto de Química: el caso de la estructura atómica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(1), 115-133. <http://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n1.489>
- Flores-Camacho, F., Gallegos-Cázares, L., Garritz, A., y García-Franco, A. (2007). Incommensurability and multiple models: representations of the structure of matter in undergraduate chemistry students. *Science & Education*, 16(7-8), 775-800. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9049-3>
- França, A. C. G., Marcondes, M. E. R., y Carmo, M. P. (2009). Estrutura atômica e formação dos íons: uma análise das ideias dos alunos do 3º ano do ensino médio. *Química nova na Escola*, 31(4), 275-282.
- Furtado, S. M. K., y Souza, R. H. de (2021). Análise fenomenológica das representações mentais de alunos do ensino básico em uma perspectiva de resgate à História e Filosofia da Ciência. *Research, Society and Development*, 10(16), 1-21. <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.24221>
- Gallegos, L. (2002). *Comparación entre la evolución de los conceptos históricos y las ideas de los estudiantes: el modelo de la estructura de la materia*. [Tesis doctoral]. Universidad Nacional Autónoma de México.

- Gericke, N. M., y Hagberg, M. (2010). Conceptual incoherence as a result of the use of multiple historical models in school textbooks. *Research in Science Education*, 40(4), 605-623. <http://doi.org/10.1007/s11165-009-9136-y>
- Gil-Pérez, D., y Vilches, A. (2006). Educación ciudadana y alfabetización científica: mitos y realidades. *Revista Iberoamericana de educación*, 42, 31-53. <https://doi.org/10.35362/rie420760>
- Gómez, P., Arteaga, D., y Cabanzo, A. (2023). Finding keywords in a YouTube video: a fun tool to learn atomic structure in middle school students. *Journal of Chemical Education*, 100(2), 1017-1022. <http://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00750>
- Gómez Crespo, M. A., y Pozo, J. I. (2000). Las teorías sobre la estructura de la materia: discontinuidad y vacío. *Tarbiya, Revista de Investigación e Innovación Educativa*, (26), 117-139.
- Gómez Crespo, M. Á., y Pozo, J. I. (2004). Relationships between everyday knowledge and scientific knowledge: understanding how matter changes. *International Journal of Science Education*, 26(11), 1325-1343. <http://doi.org/10.1080/0950069042000205350>
- Gomes da Silva, A. S., Alves Pereira de Carvalho, H., y Strieder Philippsen, G. (2022). Ensino de física moderna no ensino médio: uma proposta didática para o estudo da evolução do modelo atômico. *Revista Insignare Scientia-RIS*, 5(3), 392;408. <http://doi.org/10.36661/2595;4520.2022v5n3.12823>
- Greca, I. M., Seoane, E., y Arriasecq, I. (2014). Epistemological issues concerning computer simulations in science and their implications for science education. *Science & Education*, 23(4), 897-921. <http://doi.org/10.1007/s11191-013-9673-7>
- Greca, I. M., y Freire Jr, O. (2004). A “crítica forte” da ciência e implicações para a educação em ciências. *Ciência & Educação*, 10(3), 343-361. <http://doi.org/10.1590/S1516;73132004000300004>
- Higueras, Manuel. (2013). El atomismo molecular de Gassendi y la concepción corpuscular de la materia en el joven Leibniz. *Cultura. Revista de História e Teoria das Ideias*, 32, 255-270. <https://doi.org/10.4000/cultura.2026>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4-6), 115-136. <https://doi.org/10.17227/01203916.4997>
- Izquierdo-Aymerich, M. (2007). Enseñar ciencias, una nueva ciencia. *Enseñanza de las Ciencias Sociales*, (6), 125-138.
- Jensen, W. B. (1998). Can we unuddle the Chemistry Textbook? *Journal of Chemical Education*, 75(7), 817-828. <https://doi.org/10.1021/ed075p817>
- Job, G. y Rüffler, R. (2016). *Physical chemistry from a different angle*. (Robin Fuchs, Trans.). Springer International Publishing (Original publicado en 2011) <http://doi.org/10.1007/978-3-319-15666-8>

- Kurz, D. L., Bedin, E. y Dal-Farra, R. A. (2023). A história da evolução dos modelos atômicos sob a perspectiva do novo ensino médio. *Revista de ensino de ciências e matemática*, 14(2), 1-24. <https://doi.org/10.26843/rencima.v14n2a15>
- Lobato, C. D. B. (2020). A história da ciência como “remedio” no ensino de química: episódio-estudo sobre a invenção da teoria atômica-molecular moderna. *Química Nova*, 43(9), 1350-1361. <http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170595>
- Macedo, M. S., Pantoja, G. C. F., y Moreira, M. A. (2020). Modelos atômicos no ensino médio: uma unidade de ensino potencialmente significativa com ênfase em uma descrição epistemológica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 235-258. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p235>
- Maia, P. F., y Justi, R. (2009). Learning of chemical equilibrium through modelling-based teaching. *International Journal of Science Education*, 31(5), 603-630. <http://dx.doi.org/10.1080/09500690802538045>
- Manivel Chávez, R. A., Ramos Rendón, M., y Sánchez Vázquez, R. (2021). Apps como herramientas digitales en la enseñanza de nomenclatura inorgánica. *Educación Química*, 32(4), 180-190. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2021>
- Martínez, A., Valdés, J., Talanquer, V. y Chamizo, J. A. (2012). Estructura de la materia: de saberes y pensares. *Educación química*, 23(3), 361-369. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(17\)30121-0](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(17)30121-0)
- Martins, M. (2024). Analysis of high school students' argumentative dialogues in different modelling situations. *Science & Education*, 33(1), 175-212. <https://doi.org/10.1007/s11191-022-00372-w>
- Mendoça, P. C. C., y Justi, R. (2011). Contributions of the model of modelling diagram to the learning of ionic bonding: analysis of a case study. *Research Science Education*, 41(0), 479-503. <https://doi.org/10.1007/s11165-010-9176-3>
- Meroni, G., Copello, M. I., y Paredes, J. (2015). Enseñar química en contexto. Una dimensión de la innovación didáctica en educación secundaria. *Educación Química*, 26(4), 275-280. <https://doi.org/10.1016/j.eq.2015.07.002>
- Messeder, J. C., dos Santos, R. L., y de Castro, D. L. (2018). Variações de ensaios de chamadas como propostas experimentais para o ensino de química. *Educação química em ponto de vista*, 2(1), 144-160. <http://doi.org/10.30705/eqpv.v2i1.1132>
- Miranda, A. C. G., Pazinato, M. S., y Braibante, M. E. (2019). A visão de ciência apresentada em livros didáticos de química na abordagem de forças intermoleculares. *Vivências: Revista Eletrônica de Extensão da URI*, 15(28), 23-34. <http://doi.org/10.31512/vivencias.v15i28.10>
- Mónaco, S. (2013). Comprender la comunicación para enseñar mejor. Acciones docentes apoyadas en la psicolingüística. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 209-227. <http://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.521>

- Moreno González, A. (2006). Atomismo versus energetismo: controversia científica a finales del siglo XIX. *Enseñanza de las Ciencias*, 24(3), 411-428. <https://doi.org/10.5565/rev/ensciencias.3791>
- Moura, C. B., y Guerra, A. (2016). Reflexões sobre o processo de construção da ciência na disciplina de química: um estudo de caso a partir da história dos modelos atômicos. *Revista Eletrônica de Investigação em Educação em ciencias*, 11(2), 64-77. <http://doi.org/10.54343/reiec.v11i2.205>
- Mozzer, N. B., y Justi, R. (2012). Students' Pre- and Post-teaching analogical reasoning when they draw their analogies. *International Journal of Science Education*, 34(3), 429-458. <http://doi.org/10.1080/09500693.2011.593202>
- Muñoz-Burbano, Z., Solbes, J., y R-Zambrano, G. (2020). Análisis de la enseñanza de conceptos cuánticos en la unidad de "Estructura atómica de la materia" en libros de texto. *Praxis & Saber*, 11(27), 1-18. <https://doi.org/10.19053/22160159.v11.n27.2020.10754>
- do Nascimento Júnior, J. V. (2017). Práticas epistêmicas no ensino médio de química no tema estrutura da matéria. *Revista Binacional Brasil Argentina*, 6(1), 221-233. <https://doi.org/10.22481/rbba.v6i1.1521>
- Nery, A. L. P., y Fernández, C. (2004). Fluorescência e estrutura atômica: experimentos simples para abordar o tema. *Química nova na Escola*, (19), 39-42.
- Niaz, M., Abd-El-Khalick, F., Benarroch, A. et al. (2003). Constructivism: defense or a continual critical appraisal -A response to Gil-Pérez et al. *Science & Education*, 12(8), 787-797. <https://doi.org/10.1023/B:SCED.0000004555.57519.8f>
- Occelli, M., y Valeiras, N. (2013). Los libros de texto de Ciencias como objeto de investigación: Una revisión bibliográfica. *Enseñanza de las Ciencias*, 31(2), 133-152. <https://doi.org/10.5565/rev/ec/v31n2.761>
- de Oliveira, S., Guimarães, O. M., y Lorenzetti, L. (2015). Uma proposta didática com abordagem CTS para o estudo dos gases e a cinética química utilizando a temática da qualidade do ar interior. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Tecnologia*, 8(4), 75-105.
- Ordaz González, G. J., y Mostue, M. B. (2018). Los caminos hacia una enseñanza no tradicional de la química. *Revista Actualidades Investigativas en Educación*, 18(2), 599-579. <https://doi.org/10.15517/aie.v18i2.33164>
- Park, E.-J., y Light, G. (2009). Identifying atomic structure as a threshold concept: student mental models and troublesomeness. *International Journal of Science Education*, 31(2), 233-258. <https://doi.org/10.1080/09500690701675880>
- Pazinato, M. S., Bernardi, F. M., Miranda, A. C. G., y Braibante, M. E. F. (2021). Epistemological profile of chemical bonding: evaluation of knowledge construction in High school. *Journal of Chemical Education*, 98(2), 307-318. <https://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00353>
- Pessanha, M., y Pietrocola, M. (2016). O ensino de estrutura da matéria e aceleradores de partículas: uma pesquisa baseada em design. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 16(2), 361-388.

- Porras Contreras, Y. A. (2014). Una propuesta de aprendizaje de “la estructura de la materia” desde la perspectiva Ciencia, Tecnología, Sociedad y Ambiente (CTSA). *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 9(1), 88-95. <https://doi.org/10.14483/23464712.7315>
- Prates Junior, M. S. L. y Simões Neto J. E. (2015). Situações-problema como estratégia didática para o Ensino dos modelos atômicos. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e tecnologia*, 8(2), 181;201. <https://doi.org/10.3895/rbect.v8n3.2725>
- Quilez-Pardo, J., y Quilez-Díaz, A. M. (2016). Clasificación y análisis de los problemas terminológicos asociados con el aprendizaje de la química: obstáculos a superar. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 13(1), 20-35. http://dx.doi.org/10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2016.v13.i1.03
- Ramos, T. C., Mendonça, P. C., y Mozzer, N. B. (2019). Argumentação de estudantes na criação e crítica de analogias sobre o modelo atômico de Thomson. *Ciência & Educação*, 25(3), 607-624. <https://doi.org/10.1590/1516-731320190030003>
- da Rocha, A. C., y Cabral Neto, J. (2021). Uso da gamificação no ensino de química. *Revista de Estudos e Pesquisas sobre Ensino Tecnológico*, 7, e151321, 1-14. <https://doi.org/10.31417/educitec.v7.1513>
- Rodríguez, M. A., y Niaz, M. (2004). A Reconstruction of structure of the atom and its implications for general physics textbooks: a history and philosophy of science perspective. *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), 409-424. <https://doi.org/10.1023/B:JOST.0000045468.49500.3b>
- Roussak, O. V. y Gesser, H. D. (2013). *Applied chemistry. A textbook for engineers and technologists*. (2nd ed). Springer. <http://doi.org/10.1007/978-1-4614-4262-2>
- de Sá, C. R. A. de, Moralles, V. A., y Bego, A. M. (2021). Modelo atômico de Thomson e o ensino fundamentado em modelagem: uma intervenção no ensino médio. *Revista de Ensino de Ciências e Matemática*, 12(2), 1-24. <http://doi.org/10.26843/rencima.v12n2a17>
- Salcedo, L., Villareal, M., Zapata, P., Colmenares, E., García, M., y Moreno, S. (2007). *Tecnologías de la información y la comunicación en educación química*. Universidad Pedagógica Nacional.
- Salica, M. (2019). Carga cognitiva y aprendizaje con TIC: estudio empírico en estudiantes de química y física de secundaria. *Revista Iberoamericana de Tecnología en Educación y Educación en Tecnología*, (24), 67-78. <https://doi.org/10.24215/18509959.24.e08>
- Sánchez Ron, J. M. (1997). J. J. Thomson y la génesis del descubrimiento del electrón. *Arbor*, 158(622), 137-171. <https://doi.org/10.3989/arbor.1997.i622.1802>
- Sanz Merino, N., y López Cerezo, J. A. (2012). Cultura científica para la educación del siglo XXI. *Revista Iberoamericana de Educación*, 58, 35-59. <https://doi.org/10.35362/rie580472>
- Sasseron, L., y Duschi, R. (2016). Ensino de Ciências e as práticas epistêmicas: o papel do professor e o engajamento dos estudantes. *Investigações em Ensino da Ciências*, 21(2), 52-67. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2016v21n2p52>

- Silva, A. C., y Almeida, M. J. P. M. (2020). Trechos de Bohr sobre modelos atômicos: indícios sobre como a física é construída e possibilidades enquanto recurso didático. *ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, 13(1), 277-293. <https://doi.org/10.5007/1982-5153.2020v13n1p277>.
- Silva, Giovanna S., Braibante, Mara E. F. y Pazinato, Maurícius, S. (2013) Os recursos visuais utilizados na abordagem dos modelos atômicos: uma análise nos livros didáticos de química. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 13(2), 159-182.
- da Silva, M. E. P., Santos, C. R., Braga Neto, M. R., Schettino, A. C. V., y Guimarães. O. B. (2023). O sentido do conhecimento no itinerário de medicina, saúde e biológicas no novo ensino médio: como funcionam os exames de imagem a partir dos conceitos de modelos atômicos. *Brazilian Journal of Health Review*, 6(6), 30313-30321. <https://doi.org/10.34119/bjhrv6n6-287>.
- Silva, R. S., y Silva, S. A. (2019). Analisando no livro didático os modelos atômicos: utilizando a abstração na perspectiva piagetiana como possibilidade no ensino de química. *Brazilian Journal of Development*, 5(6), 6907-6919. <http://doi.org/10.34117/bjdv5n6-180>
- Solbes Matarredona, J., Muñoz Burbano, Z. E., y Ramos Zambrano, G. E. (2019). Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia. *Revista Historia de la Educación Colombiana*, 22(22), 117-140. <http://doi.org/10.22267/rhec.192222.54>
- Solbes, J., y Traver, M. (2003). Against a negative image of science: History of science and teaching of physics and chemistry. *Science & Education*, 12(7), 703-717. <http://doi.org/10.1023/A:1025660420721>
- Trinidad-Velasco, R. y Garritz, A. (2003). Revisión de las concepciones alternativas de los estudiantes de secundaria sobre la estructura de la materia. *Educación Química*, 14(2), 72-85. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2003.2.66255>
- Tuzón Marco, P. y Solbes, J. (2014). Análisis de la enseñanza de la estructura de la materia e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*, (28), 175-195. <https://doi.org/10.7203/dces.28.3599>
- Ültay, N., y Çalik, M. (2012). A thematic review of studies into the effectiveness of context-based curricula. *Journal Science education and technology*, 21(6), 686-701. <https://doi.org/10.1007/s10956-011-9357-5>
- Veríssimo, V. B., y Campos, A. F. (2015). Concepções dos estudantes de química sobre as propriedades coligativas das soluções. *Revista Dynamis*, 21(2), 41-52. <http://doi.org/10.7867/1982-4866.2015v21n2p41-52>
- Viana, H. E. B., y Porto, P. A. (2010). The development of Dalton's atomic theory as a case study in the history of science: reflections for educators in chemistry. *Science & Education*, 19(1), 75-90. <http://doi.org/10.1007/s11191-008-9182-2>
- de Vries, M. G., y Arroio, A. (2017) Construindo atividades de modelagem sobre a estrutura e transformação da matéria em sala de aula: uma análise sobre suportes necessários. *Enseñanza de las Ciencias*, (Número extraordinario), 4421;4426. <http://doi.org/10.13140/RG.2.2.11641.16484>

- Webber, B. R., y Davis, E. A. (2012). Commentary on 'The scattering of α and β particles by matter and the structure of the atom' by E. Rutherford (*Philosophical Magazine* 21 (1911) 669-688). *Philosophical Magazine*, 92(4), 399-405. <http://doi.org/10.1080/14786435.2011.614643>
- Zarkadis, N. y Papageorgiou, G. (2020). A fine-grained analysis of students' explanations based on their knowledge of the atomic structure. *International Journal of Science Education*. 42(7), 1162-1182. <http://doi.org/10.1080/09500693.2020.1751340>