

Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia¹

Jordi Solbes Matarredona²

Universidad de València, España

Zulman Estela Muñoz Burbano³

Universidad de Nariño, Colombia

Germán Enrique Ramos Zambrano⁴

Universidad de Nariño, Colombia

Resumen

Este artículo de investigación presenta los resultados parciales, correspondientes a la primera hipótesis de la investigación doctoral: “Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia”. Para ello se presenta un análisis de los Lineamientos Curriculares y los Estándares Básicos de Competencias establecidos por el Ministerio de Educación Nacional y los resultados iniciales del análisis de libros de texto utilizados por docentes colombianos en la enseñanza de esta temática. Se adopta una metodología de análisis documental, que permite concluir que los documentos emitidos por el Ministerio de Educación Nacional no hacen referencia clara y específica a la enseñanza de la Teoría Cuántica y las ciencias modernas y contemporáneas en general, dejando libertad al docente de asumir o no la Teoría y la profundidad con que se haga. Por otra parte, en los libros de texto no se evidencia la Teoría Cuántica como referente teórico necesario en esta unidad didáctica y existen vacíos y errores conceptuales.

Palabras clave: Enseñanza de la física; Estándares Básicos; Libro de texto; Teoría cuántica.

- 1 Este artículo es resultado de la investigación doctoral titulada: “Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia” del programa de doctorado en Ciencias de la Educación –RUDECOLOMBIA – Universidad de Nariño.
- 2 Doctor en Ciencias Físicas. Catedrático del Departamento de Didáctica de las Ciencias Experimentales y sociales de la Universidad de València, España. Director del GIUV2013-175. Grupo de investigación en educación científica y formación del profesorado en ciencias. Líneas de investigación: La formación del profesorado de ciencias, Didáctica de la Física y Química, Cuestiones sociocientíficas CSC y pensamiento crítico en la Educación científica, Utilización de la historia de la ciencia y de las relaciones ciencia- tecnología-sociedad (CTS) en la enseñanza de la ciencia, Enseñanza de las ciencias por indagación en educación primaria y Secundaria, Neurociencias aplicadas a la educación científica. Correo electrónico: Jordi.solbes@uv.es. Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8220-209X>
- 3 Candidata a Doctora en Ciencias de la Educación. Grupo de investigación: GIDEP. Línea de investigación: Enseñanza de las Ciencias. Correo electrónico: zullmamu0706@hotmail.com. Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2325-9405>
- 4 Doctor en Física. Grupo de investigación: Altas Energías. Línea de investigación: Teoría Cuántica de Campos. Correo electrónico: gramoszge@gmail.com. Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5619-6733>

Teaching the atomic structure of matter in Colombia

Abstract

This research article showcases the partial results corresponding to the first hypothesis of the doctoral research called: “Teaching the atomic structure of matter in Colombia”. For this purpose, an analysis of the Curricular Guidelines and Basic Standards of Basic Competencies established by the Ministry of National Education and the initial results of the analysis of textbooks used by Colombian teachers in the teaching of this subject are presented. Through the extensive literature review it is possible to conclude that the documents issued by the Ministry of National Education do not make clear and specific reference to the teaching of Quantum Theory and modern or contemporary sciences, leaving the teachers on their own assumptions of such theories and the depth they decide to teach them. On the other hand, textbooks do not show Quantum Theory as a necessary theoretical reference for any didactic unit and there are gaps and conceptual errors as well.

Keywords: Physics Teaching; Basic Standars; Textbook; Quantum Theory.

Ensino da estrutura atômica da matéria na Colômbia

Resumo

Este artigo de pesquisa apresenta os resultados parciais, correspondentes à primeira hipótese de pesquisa de doutorado: “Ensino da estrutura atômica da matéria na Colômbia”. Para isso, é apresentada uma análise das Diretrizes Curriculares e dos Padrões Básicos de Habilidades Básicas estabelecidos pelo Ministério da Educação Nacional e os resultados iniciais da análise dos livros didáticos utilizados pelos professores colombianos no ensino desta matéria. É adotada uma metodologia de análise documental, que permite concluir que os documentos emitidos pelo Ministério da Educação Nacional não fazem referência clara e específica ao ensino da Teoria Quântica e das ciências modernas e contemporâneas em geral, deixando o professor livre para assumir ou não a teoria e a profundidade com que é feita. Por outro lado, a teoria quântica não é evidenciada nos livros didáticos como referência teórica necessária nesta unidade didática e existem lacunas e erros conceituais.

Palavras-chave: Ensino de física; Padrões básicos; Livro de texto; Teoria quântica.

1. Introducción

Este artículo tiene como objetivo presentar los resultados preliminares de la investigación doctoral titulada “Enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia en la educación secundaria, en Colombia”.

Para la primera fase, se realiza el análisis documental de los estándares de competencia que se encuentran vigentes actualmente, así como los Lineamientos curriculares y los derechos básicos de aprendizaje, por ser los documentos que rigen los procesos de planeación y desarrollo curricular en Colombia. Por otra parte, se establece la necesidad de realizar un análisis documental de libros de texto de Química utilizados por docentes colombianos.

El análisis documental implica búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, registrados en fuentes documentales¹ que, en este caso, corresponden a los documentos que ha emitido el Ministerio de Educación Nacional (MEN) y los libros de texto. Estos documentos, de dominio público, se han concebido para la consulta y su análisis se desarrolló en dos etapas: una heurística y una hermenéutica. La etapa heurística corresponde a la búsqueda y recopilación de fuentes de información. En la etapa hermenéutica, que representa el trabajo de lectura, análisis, interpretación y comprensión crítica y objetiva,² se concretó una categorización inductiva, que determina condiciones que constituyen el sentido del análisis.

Los resultados preliminares permiten evidenciar que, en los Lineamientos Curriculares (LC), los Estándares Básicos de Competencia de Ciencias Naturales (EBCCN), hay ambigüedad, pues, si bien permitiría la articulación de la Teoría Cuántica a la enseñanza de la Estructura Atómica de la Materia (EAM), deja en manos del docente qué tanto se puede o no trabajar y la profundidad con que se hiciera. Con respecto a los Libros de Texto (LT), su análisis evidencia la presencia de errores conceptuales, así como temas importantes que no se abordan mediante estos recursos educativos. Y es muy preocupante que, con las múltiples implicaciones sociales y tecnológicas (relaciones Ciencia, Tecnología y Sociedad, CTS) de la cuántica en la actualidad (celulares, ordenadores, nanotecnología, energía y armamento nuclear...), apenas se tratase en el currículo.

1 Fidiás Arias, *El proyecto de Investigación: Introducción a la metodología científica* (6ª edición. Caracas: Editorial Episteme. 2012).

2 Jorge Barbosa Chacón *et al.*, “Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas”, *Investigación bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información*, vol 27. No. 61 (2013): 83-105.

2. Problema de investigación

Como temática que corresponde a la enseñanza de las Ciencias Naturales, la EAM se plantea principalmente desde la Química y abarca la Teoría Atómica, los Modelos Atómicos, la distribución y configuración electrónica, así como la Tabla periódica. Abordar esta temática implica hacerlo desde la Teoría Cuántica, pues, de no ser así, su aprendizaje quedaría incompleto y generaría muchos vacíos conceptuales, epistemológicos e incluso errores conceptuales.³

Desde esta perspectiva, la educación científica en Colombia enfrenta un problema relacionado con la brecha entre el desarrollo tecno-científico y la enseñanza de las ciencias en las aulas, pues, a pesar de que los niños y jóvenes se relacionan de forma espontánea con productos tecnológicos (láseres, ordenadores, telefonía celular, etc.) y demás aplicaciones de la ciencia moderna, en la escuela no encuentran las herramientas para comprender los fundamentos de estos avances y su existencia en la cotidianidad. Al respecto, Castrillón, Rodríguez y Olival⁴ concluyen que la enseñanza de la mecánica cuántica en Colombia es un campo en formación; plantean que lo sucedido hoy en las clases de Física podría tomarse como una crisis, ya que “deliberadamente” se excluye a los estudiantes de secundaria de la actividad cultural derivada de las investigaciones de ciencia y tecnología actuales. Esta afirmación de los investigadores de Colombia abre la discusión sobre ¿cómo es posible excluir deliberadamente a los estudiantes colombianos del mundo contemporáneo?

Por ello, es necesario revisar cómo se articulan los planes y programas de enseñanza de las ciencias en Colombia y cómo, en ellos, se manejan los conceptos relacionados tanto con la Química como con la Física moderna y contemporánea, ya que la exclusión mencionada antes pudiera relacionarse, entre otras, con la recepción de las ciencias contemporáneas y la forma cómo se asumen en los Estándares Curriculares propuestos por el MEN.

La situación problemática descrita lleva a establecer estos interrogantes: ¿Cómo se enseñan, en la educación secundaria de Colombia, los conceptos básicos de la EAM? ¿En la educación colombiana, se relacionan los conceptos básicos de la EAM desde el enfoque conceptual de la Teoría Cuántica (TC)? Y, respecto a ellos, plantearse una primera hipótesis de investigación: La enseñanza de la EAM en Colombia es descriptiva, escasa o muy formalista y esta característica se impone como una fuente de errores conceptuales en los procesos de aprendizaje.

3 Jordi Solbes *et al.*, “Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos”, *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 5. No. 3 (1987): 189-195.

4 Jhonny Castrillón *et al.*, “Mecánica cuántica fundamental: Una propuesta didáctica”, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 36. No. 1 (2014): 1505-1-1505-12.

Para contrastar esta primera hipótesis, se plantea este objetivo:

- Caracterizar la enseñanza de la EAM y su relación con la TC.

A su vez, para caracterizar la enseñanza de la EAM, es necesario

- Analizar los estándares básicos de competencia, establecidos por el MEN.
- Establecer cómo se presenta la unidad de la EAM en los libros de texto; si se hace o no desde la base conceptual de la TC.
- Establecer cómo se enseña en instituciones oficiales y privadas la EAM; si se hace o no desde la base conceptual de la TC.
- Establecer qué conceptos relacionan con la EAM los estudiantes de educación secundaria.

3. Fundamentación de la hipótesis

Se entiende por enseñanza descriptiva aquella que solo efectúa una narración cronológica de los modelos atómicos; escasa, cuando solo llega al átomo de Bohr y omite la fundamentación cuántica; formalista, cuando se centra en las fórmulas y ecuaciones científicas, sin trabajo experimental ni relaciones CTS, todas ellas ajustadas únicamente a currículos envejecidos y desactualizados, sin tener en cuenta los avances recientes de la ciencia y de la didáctica de las ciencias. Así, esta enseñanza se caracterizará por la ambigüedad y se sustenta únicamente en la presentación acrítica de los modelos atómicos.⁵ Como se explicó antes, en este documento se presentan resultados parciales de la primera fase y describen los resultados del análisis documental.

Dentro de la unidad de estructura de la materia, se considera que diferenciar los modelos clásicos, precuántico y cuántico, relacionarlos con la dualidad onda-partícula y con las relaciones de indeterminación y explicar que los números cuánticos, son consecuencia de la solución de la ecuación de Schrödinger, son elementos básicos de la TC que deberían articularse en su enseñanza. Aunque esto debe hacerse de una forma secuenciada, al limitarse a los modelos clásicos y mostrar sus límites, en los primeros cursos de secundaria obligatoria, al modelo precuántico y sus límites, a continuación, para finalizar en los últimos cursos de secundaria con el modelo cuántico. Resulta un problema no asumir el modelo cuántico, pues es necesario para comprender la estructura electrónica de los átomos, el ordenamiento periódico y los enlaces de las moléculas;⁶ además, conceptos fundamentales de la TC permiten explicar la evolución de fenómenos

5 Paula Tuzón y Jordi Solbes, “Análisis de la enseñanza de la estructura e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato”, *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. No. 28 (2014): 175-195.

6 Solbes *et al.*, “Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos”.

microscópicos, los avances en otras disciplinas como la Biología e incluso la Medicina; igualmente, para comprender mejor las teorías clásicas y demostrar sus límites de validez y diferencias con la TC.⁷

Además, abordar la TC implica trabajar desde asuntos socio-científicos, que incluyen el componente CTS y aportan para la comprensión de los aspectos relacionados con una imagen más apropiada del desarrollo de la ciencia, con abandono de la ingenuidad respecto a absolutismo y conocimiento pleno, las crisis de las sociedades actuales, el trabajo de los científicos y su interacción con temas socio-científicos; además, en la escuela se debería aprovechar el creciente interés que los temas relacionados con las TC despiertan en los estudiantes.⁸

4. Diseño experimental para comprobar la primera hipótesis

En el diseño experimental, se describe el proceso metodológico a seguir para someter a prueba cada una de las hipótesis planteadas. Articulados al diseño experimental, se presentan los instrumentos construidos para la consecución de los objetivos que subyacen a cada una de las hipótesis. Para el desarrollo de los dos primeros objetivos, correspondientes al análisis de LC, EBCCN, y LT, se asume como metodología el análisis documental, al tomar en cuenta los parámetros establecidos en la investigación, relacionados con la enseñanza de la EAM, al tomar como base conceptual la TC.

Se analizan estos documentos, porque direccionan las temáticas que se pueden abordar como mínimo en la enseñanza, y los libros de texto, por considerarse como un vector científico, didáctico y pedagógico;⁹ se plantea que el objetivo de examinar los libros de texto se relaciona con el análisis del contenido científico, la forma cómo se presenta este contenido, la presencia de errores conceptuales, la terminología y la contextualización utilizada para la presentación de las ideas relacionadas con la EAM. El análisis de los libros de texto (LT) tiene como objetivo confrontar los hallazgos en los LC, EBCCN y DBA con la práctica en el aula. Esta relación se establece, al tomar en cuenta que uno de los problemas de mayor relevancia en la introducción de la TC en la educación secundaria es la falta de preparación que los docentes tienen al respecto¹⁰ y, por tanto, se

7 Jordi Solbes y Vicent Sinarcas, “Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias”, *Revista de enseñanza de la Física*, vol. 23 Nos.1-2 (2011): 57-84.

8 Solbes y Sinarcas, “Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica...”.

9 María Victoria Alzate, Clara Lanza y Miguel Gómez, *Usos de los libros de texto escolar: actividades, funciones y dispositivos didácticos* (Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira-Postergraph, 2007).

10 María Fanaro, “*La enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media*”. Tesis doctoral en Universidad de Burgos, 2009; Patricia Fernández, “*Teorías y modelos en la enseñanza aprendizaje de la Física moderna*”. Tesis doctoral en Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2014.

otorga a los LT un papel predominante en su enseñanza.¹¹ Con respecto a estos materiales, Martínez Bonafé,¹² Gimeno Sacristán¹³ y Solarte¹⁴ los asumen como herramientas mediadoras, que traducen y concretan aquellos significados incluidos en el estándar prescrito por las instituciones que reglamentan los sistemas educativos. Páez Vanegas¹⁵ (2016) afirma que, en Colombia, existe un vínculo indisoluble entre los LT y los procesos educativos, de ahí la importancia de su estudio.

Para el análisis de los LT, se trabajó desde un marco analítico, basado en la investigación de Jordi Solbes y colaboradores (1987), con el recurso a una adaptación de su instrumento. La rejilla busca constatar cómo se realiza la introducción del tema de EAM a través de establecer si se realiza un recorrido histórico y si explica adecuadamente las limitaciones de la Física clásica para dar cuenta de algunos fenómenos.

5. Resultados y discusión: Una mirada a los estándares vigentes en Colombia

Los LC, entendidos como el horizonte deseado en la formación en ciencias para Colombia, son orientaciones epistemológicas, pedagógicas y curriculares, definidas por el MEN, diseñadas para apoyar el proceso de fundamentación y planeación de las áreas obligatorias, documento presentado al país en 1998, sobre el que, hasta ahora, no hay una actualización o revisión. El documento, en una primera parte, presenta: Referente filosófico y epistemológico, Referente sociológico, Referente psico-cognitivo. El Referente filosófico y epistemológico desarrolla el concepto del mundo de la vida, de Husserl: “punto de partida y de llegada”. En el apartado que corresponde al Sentido del área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental en el Mundo de la Vida, comienza por formular una diferencia entre el mundo de la vida (cotidianidad) y el mundo de las teorías, situación que podría generar una amplia discusión epistemológica (pero no se abordará en esta comunicación).

Al seguir esta línea, asume los fenómenos químicos como un proceso de evolución desde átomos simples a átomos más complejos e incluso a la formación de moléculas.

11 Nathan Lima *et al.*, “Física Quántica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015”, *Caderno brasileiro de ensino de Física*, vol. 34. No. 2 (2017): 435-459, doi: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p435>

12 Jaume Martínez Bonafé, *Políticas del libro escolar* (Madrid: Morata, 2002).

13 José Gimeno Sacristán, “El currículum: ¿Los contenidos de la enseñanza o un análisis de la práctica?”, en: *Comprender y transformar la enseñanza*, eds. José Gimeno Sacristán y Ángel I. Pérez Gómez (Madrid: Morata, 2005).

14 María Claudia Solarte, “Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica”, *Revista ierEd*, vol. 1. No.4, <http://revista.iered.org>

15 Leonardo Páez Vanegas, “El libro de texto escolar y la tercera misión pedagógica alemana: Aportes a los procesos de enseñanza desde el diseño editorial en Colombia”. Tesis de Maestría en Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, 2016.

El hidrógeno, que representa el mayor porcentaje de la materia del universo, en su núcleo tiene un protón y un neutrón alrededor del cual gravita un electrón. El helio, que sigue al hidrógeno en complejidad y porcentaje de materia que representa, aunque este porcentaje es mucho menor, en su núcleo tiene dos protones y dos neutrones alrededor del cual gravitan dos electrones...

Entre estos átomos se dan interacciones gracias a los electrones residuales que se redistribuyen alrededor de dos o más átomos. La atracción eléctrica causada por la redistribución de los electrones causa la adhesión entre átomos para formar moléculas. Además de los procesos físicos que hemos descrito, se inicia entonces un nuevo tipo de procesos: los procesos químicos.¹⁶

La propuesta de los LC, diseñados por el MEN, pretende una enseñanza de las Ciencias Naturales interdisciplinar, integral, con un enfoque “holístico” y contextualizado siempre con el “mundo de la vida”. Sin embargo, lo que se puede evidenciar es que, en su afán por integrar y articular los contenidos y el enfoque, no hay profundización y ni siquiera referencia a la ciencia moderna y contemporánea; tan solo se refiere a la ciencia moderna representada por Galileo Galilei y Newton, lo que constituye un problema para la planeación curricular en Ciencias Naturales; si el documento que traza los “horizontes deseables” se encuentra anquilosado en conceptos que abarcan hasta el siglo XVIII, los docentes no tendrán un referente para modernizar su enseñanza.

En esta comunicación, no se analizan los referentes sociológico y psico-cognitivo, porque no incluyen específicamente el saber disciplinar en Ciencias Naturales. Los LC presentan, además, otro apartado referido a Pedagogía y Didáctica, dentro del cual se desarrolla el papel del laboratorio en la enseñanza de las Ciencias Naturales. En este acápite, se motiva la utilización de este recurso en la enseñanza a través de argumentos, que incluyen la posición de Kant frente a la experimentación, y, afirma, además: “El experimento tiene el papel de confirmar o falsear las hipótesis que el científico ha construido sobre la base de sus idealizaciones acerca del Mundo de la Vida” y continúa planteando situaciones experimentales referidas a Galileo, Mendel y Pasteur básicamente, lo que nuevamente permite evidenciar hasta dónde avanza el saber en los LC.

De esto, se concluye que si el objetivo general de la enseñanza de las Ciencias Naturales en Colombia es:

Que el estudiante desarrolle un pensamiento científico que le permita contar con una teoría integral del mundo natural dentro del contexto de un proceso de desarrollo humano integral, equitativo y sostenible que le proporcione una concepción

16 Ministerio de Educación Nacional, *Lineamientos curriculares en Ciencias Naturales y Educación Ambiental* (Bogotá: MEN, 1998), http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-89869_archivo_pdf8.pdf, 10.

de sí mismo y de sus relaciones con la sociedad y la naturaleza armónica con la preservación de la vida en el planeta,¹⁷

y que, dentro de los objetivos específicos, se encuentre:

- Que el estudiante desarrolle la capacidad de:
 - Construir teorías acerca del mundo natural.
 - Formular hipótesis derivadas de sus teorías.
 - Diseñar experimentos que pongan a prueba sus hipótesis y teorías”,¹⁸

difícilmente se puedan alcanzar, al seguir, en la planeación de los docentes de Química, solo este referente.

De igual manera, los EBCCN, una “Guía sobre lo que los estudiantes deben saber y saber hacer con lo que aprenden”¹⁹ en el área de Ciencias Naturales y Educación Ambiental, abarcan Ciencias Naturales, Química y Física, y se definen como referentes que permiten evaluar los niveles de desarrollo de las competencias que alcanzan los estudiantes en su vida escolar; su diseño no constituye un listado de temas y se articulan de manera horizontal, vertical y transversal, como desempeños mínimos para los estudiantes. En esta articulación, se buscan elementos de la ciencia moderna, específicamente relacionados con la TC, sin que se encuentren taxativamente señalados, como sí ocurre en otros países desde hace más de treinta años.

Este documento, que resulta de referencia obligada en la Planeación curricular del área para los docentes colombianos, en la parte introductoria señala: el mundo cada vez cambiante y desafiante requiere de personas que “cuenten con los conocimientos y herramientas necesarias que proveen las ciencias para comprender su entorno”.²⁰ La pregunta que surge es: ¿si no existe una referencia clara a las ciencias modernas y contemporáneas que induzca o señale su enseñanza, pueden los estudiantes colombianos realmente “comprender el mundo de hoy”?, o esa comprensión se limita, tal y como lo explican Oliveira, Vianna, y Gerbassi,²¹ a contenidos curriculares obsoletos, descontextualizados y desactualizados en esos estándares, que resultan un problema para profesores y, especialmente, para los estudiantes.

17 Ministerio de Educación Nacional, *Lineamientos curriculares en Ciencias Naturales...*, 52.

18 Ministerio de Educación Nacional, *Lineamientos curriculares en Ciencias Naturales...*, 66.

19 Ministerio de Educación Nacional, *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales* (Bogotá: MEN, 2004), https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-81033_archivo_pdf.pdf

20 Ministerio de Educación Nacional, *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales...*, 96.

21 Fabio Ferreira de Oliveira, Deise Vianna, Reuber Gerbassi. “Física moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores”. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 29. No. 3 (2007): 447-454.

En los EBCCN, en que se referencia a Kuhn, en torno a la “verdad científica”, como un conjunto de paradigmas provisionales, susceptibles de reevaluarse y reemplazarse por nuevos paradigmas (p. 98),²² se asume, además, que la actividad científica se da, principalmente, por un proceso de formulación de hipótesis y diseño de estrategias investigativas para su constatación, sin reglas fijas, en un proceso flexible y reflexivo, en el que hombres y mujeres, dentro de su realidad cultural, social, política y económica, movilizan esos procesos. Esta visión del proceso científico es dinámica y se vería fortalecida si se aludiera a las nuevas teorías (TC) que explican el mundo nuevo.

La revisión a los Estándares Curriculares, entendidos como desempeños mínimos para la educación en Colombia, confirma lo que Lobato y Greca²³ concluyen sobre cómo el desarrollo científico y tecnológico del siglo XX no se halla presente en la educación secundaria, pues, si bien se da cierta libertad curricular, puntos específicos de la Física y Química modernas y contemporáneas no se señalan como obligatorios. Así, se enfatiza en la poca importancia dada a estos temas, pese a que los requerimientos sociales e intelectuales de esta época dependen de conceptos como la relatividad, la probabilidad, la incertidumbre, la no causalidad e incongruencia, entre otros,²⁴ conceptos propios de la TC y, en general, de la Física Moderna y Contemporánea.

Los EBCCN señalan, en el apartado, “manejo conocimientos propios de las ciencias naturales”, una sub división: entorno vivo, entorno físico y relación ciencia, tecnología y sociedad, en las que se aclara deben leerse y trabajarse de forma integrada los procesos físicos y dentro del entorno vivo: procesos biológicos y procesos químicos. Al revisar detenidamente las “acciones” relacionadas con el conocimiento científico que mencionan los Lineamientos, se encuentran las siguientes acciones relacionadas con la enseñanza de la EAM:

Grados Sexto a Séptimo: Clasifico y verifico las propiedades de la materia. (...)
Describo el desarrollo de modelos que explican la estructura de la materia. (...)
Explico y utilizo la Tabla periódica como herramienta para predecir procesos químicos.
Explico la formación de moléculas y los estados de la materia a partir de fuerzas electrostáticas.

Grado Octavo y Noveno: No se encuentra ninguna referencia al tema. En el Grado Décimo y Once:

-
- 22 Ministerio de Educación Nacional, *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales...*, 98.
23 Teresa Lobato e Ileana Greca. “Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do ensino médio”. *Ciência e Educação*, vol. 11. No. 1 (2005): 119-132.
24 Marco Antonio Moreira. “Aprendizaje significativo, campos conceptuales y pedagogía de la autonomía: implicaciones para la enseñanza”. *Aprendizagem Significativa em Revista*, vol. 2. No. 1 (2012): 44-45.

Explico la estructura de los átomos a partir de diferentes teorías.
Explico la relación entre la estructura de los átomos y los enlaces que realiza.²⁵

Estas acciones, descritas en los EBCCN, son la carta de navegación para los docentes y se plasman en los libros de texto que, si bien, no aluden en forma directa a la TC, dejan abierto el espacio para que se trabajase desde ella. Esta amplitud puede generar ambigüedad y dificultades, toda vez que, en el grado sexto a séptimo, con estudiantes cuya edad estaría entre 11 y 13 años, los docentes deberán realizar un análisis respecto a qué temas se deberían articular, pues la edad y los conocimientos de los estudiantes no permitirían abordar temas relacionados con la TC. Con respecto al grado décimo y once, nuevamente, tal como se plantean las actividades, sin detallar, se abre la posibilidad del trabajo desde la TC, de ahí que se necesitara confrontar lo que los Estándares plantean con el trabajo desarrollado por los docentes.

Con respecto al primer documento de los Derechos Básicos de Aprendizaje (DBA), que guardan coherencia con los LC y los EBCCN, plantean rutas de enseñanza y, aunque por sí solos no constituyen una propuesta curricular,²⁶ se han diseñado para articularse a los Proyectos Educativos de cada Institución, no presentan referencia directa a la enseñanza de tópicos de la TC o Física Moderna y Contemporánea, en general. En el caso de los DBA para grado 7^o,²⁷ se refiere a la estructura de la materia y su relación con el sistema periódico, pero, para los otros niveles de escolaridad, no se vuelve a referir en forma taxativa a la EAM.

6. Una mirada a los Libros de Texto

Respecto a la relación existente entre los estándares curriculares (para el caso de Colombia) y los LT, estos últimos se tornan, también, productores de políticas curriculares, debido a que reinterpretan y crean nuevos sentidos, lo que afecta tanto al contexto de la práctica como al contexto de la producción de los textos.²⁸

Se analizaron 17 LT de Química, de grado décimo, de las editoriales más representativas de circulación en Colombia: Voluntad, Susaeta, Bedout, Migema, Norma, y Santillana, en un periodo comprendido entre 1994 y 2018, teniendo en cuenta el advenimiento de la Ley general de Educación, en 1994, y los cambios que generó. De igual manera, tanto la temporalidad, como las editoriales analizadas —que, en Colombia, no son muchas— permite una muestra heterogénea.

25 Ministerio de Educación Nacional, *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales...*, 19, 22.

26 Ministerio de Educación Nacional, *Derechos Básicos de aprendizaje. Ciencias Naturales* (Vol. 1, Bogotá: MEN, 2017), <http://aprende.colombiaaprende.edu.co/siemprediae/93226>, 6.

27 Ministerio de Educación Nacional, *Derechos Básicos de aprendizaje. Ciencias Naturales...*, 24.

28 Rozana Gomes de Abreu et al., “Contextualização e tecnologias em livros didáticos de Biologia e Química”. *Investigações em ensino de Ciências*, vol. 10. No. 3 (2005): 405-417.

La rejilla que se adaptó, según el cuestionario validado de Solbes,²⁹ consta de 24 ítems. En nuestro caso, hemos considerado diez (ver Tabla 1), con el objetivo de constatar cómo se realiza la introducción del tema EAM a través de establecer estas categorías de análisis:

- Presentación histórica de los modelos.
- Limitaciones de la física clásica para explicar algunos fenómenos (efecto fotoeléctrico).
- TC como un nuevo marco de conocimientos, en ruptura con la visión clásica.
- Modelo Cuántico.

Para cada ítem, se establecieron unos criterios, que permiten valorar no solo la presencia, sino, también, la corrección con que se introducen los conceptos. Los tres niveles establecidos son: Lo hace correctamente, No lo hace o No lo hace correctamente y Lo hace parcialmente, cuando no incorpora todos los elementos relacionados en los criterios necesarios para que la respuesta se pudiera considerar correcta.

Tabla 1. Resultados de los Libros de Texto.

%	Ítem	Lo hace correctamente	Lo hace parcialmente	No lo hace
	Introducción Histórica al concepto de átomo	46%	42%	12%
	Presenta antecedentes de modelos atómicos	48%	12%	40%
	Se señalan las inconsistencias de los modelos atómicos	30%	48%	12%
	Se diferencian los modelos clásicos	0%	36%	44%
	Se diferencian los modelos pre-cuánticos	18%	30%	42%
	Se diferencia el modelo cuántico	48%	12%	40%
	Se explica el efecto fotoeléctrico	0%	12%	88%
	Se introducen adecuadamente las relaciones de indeterminación	6%	24%	70%
	El electrón se explica como un objeto cuántico	18%	30%	52%
	Se introducen los números cuánticos como solución de la ecuación de Schrödinger	12%	18%	70%
	Se explica el orbital como función de onda o de estado	12%	18%	70%

Fuente: Esta investigación.

29 Jordi Solbes *et al.*, “Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos”. *Enseñanza de las ciencias*, vol. 5. No. 3 (1987): 189-195.

La presencia de errores conceptuales, en los LT, se ha analizado ampliamente, así como inexactitudes e incluso una mirada reduccionista sobre los temas expuestos.³⁰ Con respecto a la los LT, si bien solo el 12 % de los textos analizados no hacen una presentación histórica de los modelos atómicos, de sus antecedentes, es importante enfatizar en que no se establece una clara diferenciación entre los modelos clásicos, pre-cuántico y cuántico, lo que permite contrastar una presentación reduccionista de este aspecto, ya que es importante la diferenciación para justificar el modelo cuántico, debido a que la estructura de la materia no se puede explicar desde la visión clásica.

Con respecto a la enseñanza de la EAM, se considera fundamental que los materiales de estudio enfatizen en los límites de la Física clásica;³¹ para ello, es necesario que se trabaje la descripción de fenómenos, tales como el efecto fotoeléctrico; del mismo modo, podría hablarse de la radiación del cuerpo negro o la catástrofe del ultravioleta. Justamente, uno de los aspectos que llama la atención es que, en el 88% de los LT analizados, el efecto fotoeléctrico ni siquiera se menciona y esto limita la posibilidad de presentar el quiebre de la Física clásica y el surgimiento de la TC,³² lo que dificulta diferenciar entre conceptos y teoría clásica y conceptos y teoría cuántica y que, en el momento de desarrollar la conceptualización de los objetos cuánticos, no se comprenda su complejidad.

Por otra parte, sería importante mencionar las inconsistencias de los modelos atómicos; solo en un 30% de los libros analizados se asumen detalladamente las inconsistencias de estos modelos. Los aspectos que se presentan con mayor detalle se refieren

- 30 Solbes *et al.*, “Errores conceptuales...”; Manuel Malaver *et al.*, “La calidad científica del contenido sobre el tema de la estructura de la materia en textos universitarios de química general”. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 25. No. 2 (2007): 229-240; Elisângela Oliveira de Freitas e Isabel Martins, “Concepções de saúde no livro didático de ciências”. *Ensaio - Pesquisa Educação em Ciências*, vol. 10. No. 2 (2008): 222-248; Elisabeth Schussler, “From Flowers to Fruits: How children’s books represent plant Reproduction. *International Journal of Science Education*, vol. 30. No. 12 (2008): 1677-1696; John Sullivan, “The use of photographs to portray urban ecosystems in six introductory environmental science textbooks”. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 45. No. 9 (2008): 1003-1020; Uxío Pérez Rodríguez *et al.*, (2009). “Los errores de los libros de texto de primer curso de ESO sobre la evolución histórica del conocimiento del universo”. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 27. No. 1 (2009): 109-120; Juan Quílez, “Análisis de los errores que presentan los libros de texto universitarios de química general al tratar la energía libre de Gibbs”. *Enseñanza de las Ciencias*, vol. 27. No. 3 (2009): 317-330; Dalva María Bonotto y Angela Semprebone, “Educação ambiental e educação em valores em livros didáticos de ciências naturais”. *Ciência & Educação*, vol. 16. No. 1 (2010): 131-148; Chris John Henry King, “An Analysis of Misconceptions in Science Textbooks: Earth science in England and Wales”. *International Journal of Science Education*, vol. 32. No. 5 (2010): 565-601; Rachel Cohen y Anat Yarden. “How the Curriculum Guideline «The Cell Is to Be Studied Longitudinally» is expressed in six Israeli junior-high-school Textbooks”. *Journal of Science Education and Technology*, vol. 19. No. 3 (2010): 276-292.
- 31 Daniel Gil y Jordi Solbes, “The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science”, *International Journal of Science Education*. 15(3) (1993):255-260.
- 32 Jordi Solbes y Vicent Sinarcas, “Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias”, *Revista de enseñanza de la Física*, vol. 23. Nos. 1-2 (2010): 57-84.

a la imposibilidad del átomo de Thomson para explicar la dispersión de las partículas alfa en la laminilla de oro. Pero no se desarrolla con detalle la imposibilidad del modelo de Rutherford de explicar la estabilidad de los átomos, en contraposición de la teoría electromagnética clásica, de tal manera que nuevamente se presenta una descontextualización del conocimiento y los modelos se presentan sin una justificación previa para su formulación.

Al respecto, es necesario enfatizar en que la historia y epistemología de las ciencias han tenido un fuerte impacto en la enseñanza de las ciencias en general y en la enseñanza de la TC en particular.³³ Sin embargo, en el estudio realizado a los LT, se presentan los modelos atómicos en orden cronológico, pero sin enfatizar en el proceso histórico y científico previo, que allanó el camino para la formulación de uno u otro modelo; no tomar este referente didáctico genera una presentación del conocimiento de una forma descontextualizada,³⁴ tal como se señala en el párrafo anterior.

Otro de los aspectos con mayor dificultad, tanto en la enseñanza como en su presentación en los LT, tiene que ver con las relaciones de indeterminación, que es uno de los tres conceptos clave en la TC. Al respecto, es necesario aclarar que, el 100% de los libros que en Colombia asumen este aspecto, lo trabajan como “Principio de Incertidumbre”, lo que se puede considerar como un error en la comprensión de este concepto³⁵ (Levy-Leblond, 2002; Solbes, 2018). Por otra parte, en los LT analizados, el 70% introduce de manera reduccionista las relaciones de indeterminación, en especial al relacionarlas con una analogía común, como es el fotón en un microscopio, o relacionar la inexactitud de los instrumentos de medida, lo que se constituye en un problema de carácter epistemológico.³⁶

Por último, el 70% de los LT no trabaja los números cuánticos, ni el concepto de orbital en relación con la solución de la ecuación de Schrödinger y se asumen más bien desde los modelos pre-cuánticos. El electrón no se determina como un objeto cuántico, sino como una partícula clásica y, en algunos casos, una partícula con propiedades ondulatorias.

33 Jordi Solbes y Vicent Sinarcas, “Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos clave de la Física cuántica”. *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. No. 23 (2009): 123-151.

34 Rodríguez María y Mansoor Niaz, “La teoría cinético-molecular de los gases en libros de Física: una perspectiva basada en la historia y filosofía de la ciencia”. *Journal of Science Education*, vol. 5. No. 2 (2004): 68-72; Fatima Neves Sandrin, Giuseppe Puerto y Roberto Nardi, “Serpentes e acidentes ofídicos: um estudo sobre erros conceituais em livros didáticos”. *Investigações em Ensino de Ciências*, vol. 10. No. 3 (2005): 281-298; Mansoor Niaz *et al.*, “Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks”. *Science Education*, vol. 94. No. 5 (2010): 903-931.

35 Jean Marc Lévy-Leblond, “On the Nature of Quantons”. *Science & Education*, vol. 12. Nos. 5-6 (2003): 495-502; Jordi Solbes, “El modelo cuántico del átomo. Dificultades de comprensión y propuestas para su enseñanza”. *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*. No. 93 (2018): 26-33.

36 Solbes y Sinarcas, “Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de...”.

Conclusiones

Es necesario referir que los EBCCN plantean, dentro de los logros esperados, temas relacionados con la EAM, ya fuese a través de las teorías que explican el átomo, la teoría atómica, la distribución y estructura electrónica, los enlaces y el ordenamiento periódico, pero el planteamiento es general; esto, a la vez que permite introducir temas relacionados con la TC, asume una estructura muy ambigua, donde el profesor tiene toda la potestad de tomar o no la TC como referente conceptual y, en el año escolar que lo hiciera, con la poca preparación del docente en esta área,³⁷ genera una dificultad en la enseñanza de la EAM. La enseñanza de la TC, en la educación secundaria, se estableció en países como España, México, Argentina y Brasil desde hace ya muchos años.

Los Lineamientos Curriculares, Estándares de Competencia y ahora Derechos Básicos de Aprendizaje dan libertad al docente para la estructuración de sus currículos y existen temáticas que podrían y, más aún, deberían relacionarse con la TC, pero no se señala específicamente la necesidad de diferenciar los modelos clásicos, precuántico y cuántico, relacionar la enseñanza de la dualidad onda-partícula, las relaciones de indeterminación y explicar que los números cuánticos son consecuencia de la solución de la ecuación de Schrödinger, lo cual genera confusiones y mezclas de nociones clásicas y cuánticas en la explicación de los fenómenos.

Con respecto a la los LT, si bien en la mayoría se hace una presentación histórica de los modelos atómicos, de sus antecedentes, no se establece una clara diferenciación entre los modelos clásicos, pre-cuántico y cuántico y no se presentan sus inconsistencias. Esto fortalece la idea de ciencia lineal y acumulativa, en la que el conocimiento se adiciona, una teoría reemplaza a otra sin resistencia ni conceptual ni experimental, de ahí que la imagen de ciencia y de construcción del conocimiento se alejase del contexto socio-cultural en el que realmente se desarrolla. No se relacionan los hechos que ponen de manifiesto las limitaciones de la Física Clásica, tales como el efecto fotoeléctrico y los espectros atómicos, lo que dificulta diferenciar entre conceptos y teoría clásica y conceptos y TC.

Por último, en los LT no se trabajan los números cuánticos y, por ende, el concepto de orbital en relación con la solución de la ecuación de Schrödinger, lo cual genera el error de mezclar conceptos clásicos con nociones cuánticas. El electrón no se determina como un objeto cuántico, al que, por ende, le subyace un comportamiento dual, sino como una partícula clásica, lo que constituye un error, pues se trata de un objeto nuevo con un comportamiento nuevo.

37 María Fanaro, “*La enseñanza de la mecánica cuántica en la Escuela Media*”, Tesis doctoral en Universidad de Burgos, 2009; Patricia Fernández. “*Teorías y modelos en la enseñanza aprendizaje de la Física moderna*”. Tesis doctoral en Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2014.

En esta fase de la investigación, hemos intentado realizar una caracterización de la enseñanza del tema de la EAM desde el análisis de los LC y de los LT más utilizados, lo que se complementará con el análisis de lo que enseñan los profesores y de lo que aprenden los estudiantes. En la segunda fase de la investigación, que tiene como base los resultados de la primera fase, así como aportes recientes de la ciencia y de la didáctica de las ciencias, realizaremos una propuesta de enseñanza de la EAM, donde plantearemos no solo los temas que se considera conveniente incluir, sino, además, la forma de hacerlo para que mejorase el aprendizaje de los estudiantes.

Referencias

- Abreu, Rozana Gomes de; Gomes, Maria, y Lopes, Alice Casimiro. "Contextualização e tecnologias em livros didáticos de Biologia e Química". *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 10. No. 3, (2005): 405-417.
- Alzate, María Victoria; Lanza, Clara, y Gómez, Miguel. *Usos de los libros de texto escolar: actividades, funciones y dispositivos didácticos*. Pereira: Universidad Tecnológica de Pereira/Postergraph, 2007.
- Barbosa Chacón, Jorge; Barbosa, Juan Carlos y Rodríguez Villabona, Margarita. "Revisión y análisis documental para estado del arte: una propuesta metodológica desde el contexto de la sistematización de experiencias educativas". *Investigación Bibliotecológica: archivonomía, bibliotecología e información*. Vol. 27. No. 61, (2013): 83-105.
- Bonotto, Dalva Maria Bianchini y Semprebone, Angela. "Educação ambiental e educação em valores em livros didáticos de ciências naturais". *Ciência & Educação*. Vol. 16. No.1, (2010): 131-148.
- King, Chris. "An Analysis of Misconceptions in Science Textbooks: Earth science in England and Wales". *International Journal of Science Education*. Vol. 32. No. 5, (2010): 565-601.
- Cohen, Rachel y Yarden, Anat. "How the Curriculum Guideline «The Cell Is to Be Studied Longitudinally» is expressed in Six Israeli Junior-High-School Textbooks". *Journal of Science Education and Technology*. Vol. 19. No. 3, (2010): 276-292.
- Castrillón, Jhonny; Freire, Olival, y Rodríguez, Boris. "Mecánica cuántica fundamental: Una Propuesta Didáctica". *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 36. No. 1, (2014): 1505-1-1505-12.
- Fanaro, María. "La enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media". Tesis doctoral en Universidad de Burgos, Burgos, España, 2009.
- Fernández, Patricia, "Teorías y modelos en la enseñanza aprendizaje de la física moderna". Tesis doctoral en Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, 2014.
- Ferreira, Fabio de Oliveira; Vianna, Deise, y Gerbassi, Reuber. "Física moderna no Ensino Médio: o que dizem os professores". *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Vol. 29. No. 3, (2007): 447-454.
- Freitas, Elisângela Oliveira de, y Martins, Isabel. "Concepções de saúde no livro didático de ciências. *Ensaio - Pesquisa Educação em Ciências*. Vol. 10. No. 2, (2008): 222-248.
- Gil, Daniel y Solbes, Jordi. "The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science". *International Journal of Science Education*. Vol. 15. No. 3, (1993): 255-260.
- Lévy-Leblond, Jean Marc. "On the Nature of Quantons". *Science & Education*. Vol. 12. Nos. 5-6, (2003): 495-502.
- Lima, Nathan; Ostermann, Fernanda y Cavalcanti, Claudio de Holanda. "Física Quântica no ensino médio: uma análise bakhtiniana de enunciados em livros didáticos de Física aprovados no PNLDEM2015". *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*. Vol. 34. No. 2, (2017): 435-459. doi: <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2017v34n2p435>
- Lobato, Teresa y Greca, Ileana. "Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do ensino médio". *Ciência e Educação*. Vol. 11. No. 1, (2005): 119-132.
- Malaver, Manuel; Pujol, Rafael, y D'Alessandro Martínez, Antonio. "La calidad científica del contenido sobre el tema de la estructura de la materia en textos universitarios de química general". *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 25. No. 2, (2007): 229-240.
- Martínez Bonafé, Jaume. *Políticas del libro escolar*. Madrid: Morata, 2002.
- Ministerio de Educación Nacional. *Lineamientos curriculares de Ciencias Naturales y Educación Ambiental*. Bogotá: MEN, 1998. <http://www.mineducacion.gov.co/1621/articles-89869archivopdf8.pdf>.
- Ministerio de Educación Nacional. *Serie Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales y Ciencias Sociales*. Bogotá: MEN, 2004. <https://www.mineducacion.gov.co/1759/articles-81033archivopdf.pdf>
- Ministerio de Educación Nacional, Serie Derechos Básicos de aprendizaje. Ciencias Naturales. Vol. 1. Bogotá: MEN, 2017. <http://aprende.colombiaaprende.edu.co/siempreDiaE/93226>

- Moreira, Marco Antonio. "Aprendizaje significativo, campos conceptuales y pedagogía de la autonomía: implicaciones para la enseñanza". *Aprendizagem Significativa em Revista*. Vol. 2. No. 1, (2012): 44-45.
- Neves Sandrin, Fatima Neves; Puerto, Giuseppe y Nardi, Roberto. "Serpentes e acidentes ofídicos: um estudo sobre erros conceituais em livros didáticos". *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 10. No. 3, (2005): 281-298.
- Niaz, Mansoor *et al.* "Reconstruction of the history of the photoelectric effect and its implications for general physics textbooks". *Science Education*. Vol. 94. No. 5, (2010): 903-931.
- Ostermann, Fernanda y Moreira, Marco Antonio. "Física contemporánea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando la formación de profesores". *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 18. No. 3, (2000): 391-405.
- Páez Vanegas, Leonardo. "El libro de texto escolar y la tercera misión pedagógica alemana: Aportes a los procesos de enseñanza desde el diseño editorial en Colombia". Tesis de Maestría en Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, 2016.
- Pérez Rodríguez, Uxío; Álvarez Lires, María y José Francisco Serrallé Marzoa. "Los errores de los libros de texto de primer curso de ESO sobre la evolución histórica del conocimiento del universo". *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 27, No. 1, (2009): 109-120.
- Quílez, Juan. "Análisis de los errores que presentan los libros de texto universitarios de química general al tratar la energía libre de Gibbs". *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 27. No. 3, (2009): 317-330.
- Rodríguez María y Niaz, Mansoor. "La teoría cinético-molecular de los gases en libros de Física: una perspectiva basada en la historia y filosofía de la ciencia". *Journal of Science Education*. Vol. 5. No. 2, (2004): 68-72.
- Gimeno Sacristán, José. "El currículum: ¿Los contenidos de la enseñanza o un análisis de la práctica?". En: *Comprender y transformar la enseñanza*, editado por Gimeno Sacristán, J. y Pérez Gómez, Ángel I. Madrid: Morata, 2005.
- Solarte, María Claudia. "Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica". *Revista ierRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa*. Vol. 1. No. 4, (2006): 1794-8061. <http://revista.iered.org>.
- Solbes, Jordi, y Sinarcas, Vicent. "Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la física cuántica". *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. No. 23, (2009): 123-151.
- Solbes, Jordi. "El modelo cuántico del átomo. Dificultades de comprensión y propuestas para su enseñanza". *Alambique: Didáctica de las ciencias experimentales*. No. 93, (2018): 26-33.
- Solbes Jordi *et al.* "Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos". *Enseñanza de las Ciencias*. Vol. 5. No 3, (1987): 189-195.
- Schussler, Elisabeth. "From Flowers to Fruits: How children's books represent plant reproduction". *International Journal of Science Education*. Vol. 30. No. 12, (2008): 1677-1696.
- Sullivan, John. "The use of photographs to portray urban ecosystems in six introductory environmental science textbooks". *Journal of Research in Science Teaching*. Vol. 45. No. 9, (2008): 1003-1020.
- Tuzón, Paula y Solbes, Jordi. "Análisis de la enseñanza de la estructura e interacciones de la materia según la física moderna en primero de bachillerato". *Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales*. No. 28, (2014): 175-195.

