

La enseñanza de la Estructura Atómica desde la Teoría Cuántica a la luz de la transposición didáctica⁺*

Zulman Estela Muñoz Burbano¹

Universidad de Nariño

Pasto – Colômbia

Jordi Solbes¹

Universidad de Valencia

Valencia – España

Gustavo Marmolejo Avenía¹

Universidad de Nariño

Pasto – Colômbia

Resumen

El objetivo de este artículo de investigación es dar a conocer cómo se enseña la estructura atómica por parte de docentes colombianos y si se tienen en cuenta en la misma elementos conceptuales de la Teoría Cuántica. El estudio se realizó desde la perspectiva teórica de la Transposición Didáctica. La muestra del mismo fueron 71 docentes de distintas regiones de Colombia que se desempeñan como profesores de secundaria, especialmente de grado décimo. Los resultados indicaron que la temática de Estructura Atómica no es abordada desde la base conceptual de la Teoría Cuántica, que hay confusiones importantes en algunos conceptos fundamentales relacionados con la dualidad de los objetos cuánticos, las relaciones de indeterminación, los niveles de energía, entre otros, lo que configura una enseñanza escasa, basada en los prototipos atómicos, formalista y con errores conceptuales.

Palabras-clave: *Estructura Atómica; Trasposición Didáctica; Formación del Profesorado.*

⁺ The teaching of the Atomic Structure from the Quantum Theory in the light of the didactic transposition

^{*} *Recebido: 3 de junho de 2023.*

Aceito: 2 de outubro de 2023.

¹ E-mails: zulmamu@udenar.edu.co; jordi.solbes@uv.es; g.marmolejo.math@udenar.edu.co

Abstract

The objective of this research article is to establish how the atomic structure is taught by Colombian teachers and if conceptual elements of Quantum Theory are taken into account in it. The study was carried out from the theoretical perspective of Didactic Transposition. The sample of the same were 71 teachers from different regions of Colombia who work as teachers of secondary, especially tenth grade. The results indicated that the topic of Atomic Structure is not approached from the conceptual basis of Quantum Theory, that there are important confusions in some fundamental concepts related to the duality of quantum objects, indeterminate relationships, energy levels, among others, which configures a scarce teaching, based on atomic prototypes, formalist and with conceptual errors.

Keywords: *Atomic Structure; Didactic Transposition; Teacher Training.*

I. Introducción

La enseñanza de la estructura atómica en Colombia es un campo de investigación en desarrollo y los resultados que a continuación se presentan corresponden una parte de los obtenidos en la investigación doctoral denominada “Enseñanza de la Estructura Atómica en la Educación Secundaria en Colombia” y buscan contribuir en el reconocimiento de esta vertiente de investigación, importante para la educación en ciencias en un país como Colombia. Para evaluar la enseñanza se analizaron previamente los documentos curriculares emanados por el Ministerio de educación Nacional que son la normativa vigente para el Sistema Educativo colombiano (SOLBES; MUÑOZ BURBANO; RAMOS-ZAMBRANO, 2019) y también los libros de texto que los docentes utilizan como apoyo tanto en la planeación como desarrollo de sus clases (MUÑOZ BURBANO; SOLBES; RAMOS-ZAMBRANO, 2020).

Esto debe ser completado con el análisis de cómo asumen los docentes la temática en aula.

Lo que nos lleva a plantearnos la pregunta que constituye el problema: ¿Cómo enseñan los profesores los conceptos básicos de la Estructura Atómica en la educación secundaria en Colombia? Este interrogante, busca conocer los temas que se relacionan en la enseñanza de la estructura atómica en la educación secundaria, prestando especial atención a si dentro de esas temáticas, se aborda la base conceptual de la Teoría cuántica. Y busca, en último término, una explicación de las razones que llevan a la enseñanza observada

Para dar respuesta a la misma, hay que tener en cuenta que la enseñanza de la estructura atómica (EA) desde la base de la Teoría Cuántica, en países como Brasil, España o

Argentina, es una tendencia de investigación prolija y con resultados importantes (LOBATO; GRECA, 2005; PAULO, 2006; FANARO, 2009; FERNÁNDEZ; GONZÁLEZ; SOLBES, 2005; PENA, 2006, SAVALL, 2015; TUZÓN; SOLBES, 2014, 2016; MARTÍNEZ; SAVALL; DOMÉNECH; REY; ROSA, 2016; CASTRILLÓN; FREIRE; RODRÍGUEZ, 2014). Situación, que en Colombia aún no está consolidada, de ahí que en el desarrollo de esta investigación se parte de la pregunta que constituiría el problema: ¿Cómo enseñan los profesores los conceptos básicos de la Estructura Atómica en la educación secundaria en Colombia? Este interrogante, busca conocer los temas que se relacionan en la enseñanza de la estructura atómica en la educación secundaria, prestando especial atención a si dentro de esas temáticas, se aborda la base conceptual de la Teoría cuántica.

Con el fin de dar respuesta a este problema, se plantea una hipótesis que permite establecer un proceso metodológico con miras a confrontarla: “La enseñanza de la estructura atómica en Colombia es escasa, descriptiva, formalista y no tiene en cuenta la teoría cuántica, por tanto, se configura como una fuente de errores”. Para el desarrollo de esta hipótesis es necesario precisar que se asume- como una enseñanza escasa: aquella que aborda los modelos atómicos hasta el modelo de Bohr, excluyendo el modelo cuántico y por tanto, tópicos de la teoría cuántica; descriptiva, la enseñanza que solo efectúa una narración cronológica de los modelos atómicos, sin un análisis crítico de sus antecedentes y limitaciones; y una enseñanza formalista, cuando se centra en las fórmulas y ecuaciones matemáticas, sin trabajo experimental y sin abordar cuestiones socio-científicas (SOLBES; MUÑOZ-BURBANO; RAMOS, 2019).

II. Marco Teórico

Desde esta perspectiva, partimos de que en la escuela secundaria se requieren cambios significativos en lo que se enseña, y por tanto es importante conocer la formación didáctica y disciplinar de los docentes de ciencias naturales, pues la preparación docente es la piedra angular de cualquier renovación en la educación científica (ACEVEDO, 2009, MARTÍN-DÍAZ; JULIÁN; CRESPO, 2013, KLEICKMANN *et al.*, 2013). Para el caso específico de la enseñanza de la Teoría Cuántica, la investigación didáctica ha permitido deducir que, uno de los aspectos que más ha limitado su enseñanza es la preparación de los docentes (KALKANIS; HADZIDAKI; STAVROU, 2003; FANARO, 2009; GRIEBELER, 2012; SAVALL *et al.*, 2016).

Consideramos la Teoría de la Transposición Didáctica, definida por Chevallard (1985), como un instrumento eficiente para analizar el proceso mediante el cual el conocimiento producido por los científicos al que se le ha denominado el saber Sabio, se convierte en conocimiento para enseñar. Partimos de la base, que la transformación que se da en el conocimiento, no puede ser una mera simplificación, puesto que es un “nuevo” conocimiento que responde a dos dominios epistemológicos diferentes: la ciencia y el aula (BROCKINGTON; PIETROCOLA, 2005).

Ahora bien, si el docente no es responsable de la producción del conocimiento científico, es responsable del conocimiento que se genera en el aula, por tanto, es responsable de qué tanto se transforma el conocimiento científico, evitando errores, omisiones y la configuración de una brecha muy grande entre el conocimiento científico y el enseñado.

Este nuevo conocimiento, que será producto de la razonable transformación, deberá cumplir con ciertos requerimientos: ser comprensible para los estudiantes, estar contextualizado en el tiempo y en las características de los estudiantes, corresponder al conocimiento aceptado por la comunidad científica, no haber sido desvirtuado, trivializado o deformado y que por tanto genere errores en su enseñanza y aprendizaje; de ahí la posibilidad de analizar la enseñanza desde la Teoría de la Trasposición Didáctica.

Por otra parte, consideramos de especial importancia revisar la transposición de la teoría cuántica, por cuanto, tal como lo advierte Chevallard (1985), puede ocurrir un envejecimiento biológico, “el saber enseñado se vuelve viejo con relación a la sociedad” (p. 26). El concepto de envejecimiento biológico, se entiende como una *disconformidad* con el saber correspondiente de la comunidad científica, ya sea porque los progresos de la investigación han revelado falsos los resultados que son enseñados en la escuela o porque nuevas adquisiciones o conocimientos han sido elaboradas (GÓMEZ, 2005). Lo anterior, pone de manifiesto un problema en la enseñanza de la estructura atómica, pues específicamente en este tema, se enseñan modelos que la ciencia ha advertido de sus incongruencias desde mucho tiempo atrás y no se toma en cuenta la teoría cuántica.

El distanciamiento entre el saber a enseñarse y el saber que se ha denominado sabio, constituye una brecha que la padecen los estudiantes, pero que el profesor podría procurar cerrar. Sin embargo, el profesor no siempre es consciente de dicho distanciamiento, por tanto, es necesario verificar que el saber que se enseña en torno a la temática de Estructura Atómica no se desvirtúe, no pierda su esencia, o sea trivial o se contradiga con los planteamientos de la TC, pues se corre el riesgo de generar errores o ser escaso.

Otro de los conceptos importantes de esta Teoría, es la idea del Sistema Didáctico de Chevallard (1991), correspondiente a una relación ternaria entre quien enseña, quien aprende y el saber, como elemento constitutivo fundamental. Asumir el conocimiento, en términos de un elemento importante para el sistema, es otra de las razones por las cuales se considera pertinente este referente. Como se enunció antes, es necesario un análisis que permita establecer un hilo conductor apegado al desarrollo de la TC en la enseñanza de la estructura atómica, determinar aquellos elementos conceptuales y epistemológicos necesarios para lograr su comprensión, así como escenarios que facilitasen quiebres epistemológicos relacionados con los aspectos contra intuitivos de la TC.

Desde la perspectiva de la Teoría de la Trasposición Didáctica, cada contenido generará un sistema didáctico diferente a la hora de enseñarlo. Obviamente, el contexto en el que se enseña dará un matiz especial, así como los recursos que se utilicen, esto en conjunto genera una transformación. Cuando el docente establece un proceso de planificación de qué,

cómo, cuándo, con qué y a quién enseña, debería prever qué tanto se transforma el conocimiento y cómo evitar que la transformación se convierta en un saber que se desvirtúa.

En este sentido, la transposición didáctica de Chevallard ofrece un marco referencial prolijo para el análisis de los datos y la estructuración de una propuesta para la enseñanza y aprendizaje. La necesidad de indagar en los docentes las estrategias seguidas para la enseñanza de la estructura atómica, está en que “las posibles transposiciones didácticas para la escuela secundaria dependen en gran medida de una formación conceptual sólida” (OSTERMANN; PRADO, 2005, p. 194), por tanto, de las respuestas obtenidas, se relaciona la formación conceptual del docente y si el conocimiento se transforma para la enseñanza o se desvirtúa.

También conviene señalar que la teoría de la transposición didáctica ha sido cuestionada por no tener en cuenta el papel del estado y de las administraciones educativas en la misma lo que deja afuera los elementos de hegemonía e ideología que son constitutivos del proceso mismo (CARDELLI, 2004).

III. Enfoque Metodológico

El desarrollo de esta investigación se describe, desde la perspectiva de Bisquerra (2004), como una investigación educativa. El tipo de diseño elegido para la investigación es cuasi-experimental, puesto que no se asigna de forma aleatoria a los sujetos para trabajar con ellos; los grupos se conforman y su muestreo es intencional. Con el fin de confrontar la hipótesis, se plantean el siguiente objetivo: caracterizar la enseñanza en Colombia de la Estructura Atómica y su relación con la TC.

Para caracterizar la enseñanza, se diseñó un cuestionario dirigido a 71 docentes en ejercicio en la educación secundaria. La muestra abarca docentes de diversas especialidades y lugares de trabajo: 17 docentes trabajan en instituciones privadas y 54 trabajan en el sector público. De la muestra total, 21 de los profesores se desempeñan en el sector rural y, por tanto, 50 docentes corresponden al sector urbano.

En Colombia el ejercicio de la docencia, puede ser realizada por licenciados y profesionales no licenciados. Los programas de licenciatura son ofrecidos por instituciones de educación superior, con una duración entre 8 y 10 semestres y que habilita al egresado para el ejercicio de la docencia en los diferentes niveles educativos, áreas o poblaciones, según el énfasis de la formación. Los profesionales no licenciados son aquellos que han recibido formación en el campo disciplinar o como ingenieros, pero no tienen ninguna formación en didáctica y pedagogía. Razón por la cual, se describe a continuación la formación de los docentes a quienes se aplicó el instrumento: licenciados en Química 13, en Biología 6, en Ciencias Naturales y Educación Ambiental 12, Bioquímica 1, en Biología y Química 14 y profesionales no licenciados: Químicos 17, Ingeniero químico 1, ingenieros agroforestales 6 y zootecnista 1. El licenciado en Química en Colombia se prepara para ser docente de, en este caso, física o química, el Químico no trabaja en su formación nada que tenga que ver con

componentes pedagógicas o didácticas.

En el cuestionario, se orientaron las preguntas desde una perspectiva didáctica, que permitiera caracterizar la enseñanza, los conceptos relacionados, las estrategias, el tiempo empleado en el desarrollo de la temática. El objetivo del instrumento no era evaluar el conocimiento de los docentes respecto a la temática; sí, en cambio, conocer si la temática se introduce en el aula y cómo se hace.

El instrumento se sometió a validación. La validación se hizo con el propósito de determinar específicamente si el instrumento medía lo que debía medir o se adecuaba al propósito para el que fue creado (COHEN; MANION; MORRISON, 2011). Todo instrumento de investigación que sea sometido a una validación, debe contar con dos criterios de calidad: validez y fiabilidad (ROBLES GARROTE; ROJAS, 2015). Con respecto a la validez, se solicitó a un grupo de 5 expertos que se pronunciasen sobre el contenido y la manera cómo se diseñó el instrumento, para determinar si el cuestionario aborda la temática de la investigación y apunta al objetivo de determinar cómo es la enseñanza de la estructura atómica. Con respecto a la fiabilidad, entendida como el grado con el que un instrumento mide con precisión y descarta el error (ROBLES GARROTE; ROJAS, 2015), se obtuvo el valor del alfa de Cronbach de 0,762 (entre 0.70 y 0.90, indica una buena consistencia interna).

El cuestionario constó de dos partes. La primera de preguntas cerradas, estos ítems, relacionan la práctica y la planificación escolar, el grado de aceptación y el uso que los docentes confieren a los libros de texto. La segunda parte, corresponde a 10 preguntas abiertas, cuyos enunciados aparecen en las tablas de resultados 1 a 10, por tanto, se solicita dar respuesta con toda la información que el docente considera conveniente, además, se abre la posibilidad de ampliar mediante entrevista.

IV. Discusión de resultados

Los resultados obtenidos para los cuatro primeros ítems, coinciden con investigaciones previas, específicamente en que los docentes utilizan los LT para su planeación escolar, especialmente para determinar los contenidos y estándares curriculares a desarrollar, lo que convierte a los LT en mediadores entre los estándares establecidos por el Ministerio de Educación Nacional (MEN) en el caso de Colombia y las planeaciones escolares, de ahí que Martínez (2002), Sacristán (2005) y Solarte (2006), los asumen como herramientas mediadoras, que traducen y concretan aquellos significados incluidos en el estándar prescrito por las instituciones que reglamentan los sistemas educativos.

Con respecto a la segunda parte, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 1. Resultados de docentes del ítem 1 – Segunda Parte.

Ítem	Internet	Textos Científicos	Internet y textos Científicos	Ninguno	MEN
En caso de no utilizar los libros de texto en la planeación de la enseñanza de la EA, ¿qué otros elementos considera?	46.4 %	14 %	21 %	6 %	12 %

Nota: Elaboración propia.

La tabla No. 1, describe los resultados del ítem 1, que tiene como objetivo relacionar la enseñanza que los docentes relacionan con los libros de texto, esto en cuanto, estos también han sido analizados y presentan errores conceptuales IMPORTANTES (MUÑOZ BURBANO; SOLBES; RAMOS-ZAMBRANO; 2020). Teniendo en cuenta los resultados de la primera parte del cuestionario aplicado a profesores, se deduce que, el 80 % de los docentes entrevistados utilizan los LT como referencia en la planeación educativa, un resultado que otras investigaciones también refieren (HERNÁNDEZ, 2007; BRIGAS; MARTINS, 2005; BARRIA *et al.*, 2016; VILLARROEL, 2019). Al preguntarles, además del libro o en lugar del libro de texto, qué otros elementos consideran conveniente tener en cuenta en la planeación, se estableció que el 46.4 % de los docentes prefieren usar el Internet, en cualquiera de sus modalidades, buscando en la red textos científicos o páginas de libre acceso que apoyen su proceso.

Cabe mencionar que, dentro de los docentes que no consideran los libros de texto en los procesos de planificación escolar, están principalmente docentes licenciados en química. Ellos estiman que es una mejor fuente de conocimiento los artículos científicos u otros libros diferentes a los de texto. Por el contrario, los licenciados en ciencias naturales y educación ambiental y otros profesionales no licenciados, manifiestan adicionalmente que los libros de texto son una buena fuente de consulta en su labor docente. Estos hallazgos confirman la importancia de un análisis del contenido de los libros de texto, al ser aún, una fuente de consulta para los docentes.

Tabla 2. Resultados de docentes del ítem 2 – Segunda Parte.

Ítem	Conceptual-Propedéutico	Ambiental	Epistemo-lógica	No es relevante	No responde
¿Por qué considera importante la enseñanza de la EA en la educación media de nuestro país?	88%	6%	3%	1.4%	1.4%

Nota: Elaboración propia.

La tabla 2 describe los resultados del segundo ítem, esta pregunta tiene como objetivo conocer qué peso conceptual y epistemológico dan los docentes a la enseñanza de la EA. Para el análisis de este ítem se establecieron algunas recurrencias, la opción que obtuvo

un mayor porcentaje equivalente al 88 %, son docentes que atribuyen una importancia conceptual y propedéutica a la enseñanza de la EA (AIKENHEAD, 1994; FENSHAM, 2004), las razones que argumentan están en que esta temática permite comprender otras temáticas o se requiere de conocimiento en EA para comprender saberes bases para grados de educación superiores, sin especificar contenidos o conceptos.

Solo un 3 % de los docentes referencian una significancia epistemológica, denotada por la importancia de evidenciar la naturaleza del trabajo científico y el proceso de construcción de la ciencia. Llama la atención que 6 % aducen que la importancia de la enseñanza de la EA está en que permite incentivar el cuidado del medio ambiente. Sin embargo, esta argumentación carece de contenidos específicos que configuren la relación, más bien, es una presentación acrítica de que todos los contenidos de ciencias naturales deberían apuntar a generar una conciencia de cuidado, conservación del medio ambiente.

Es importante recalcar que, la estructura atómica es uno de los núcleos conceptuales estructurantes tanto de la física como de la química (HENAO-GARCÍA; TAMAYO-ALZATE, 2010) y los profesores deberían, además, relacionar la necesidad de comprender cuál es la estructura atómica para comprender sus propiedades, el ordenamiento periódico y la formación de enlaces, excepciones a la regla de octeto, estructura de las moléculas, hibridación del átomo de carbono, entre otros.

Tabla 3. Resultados de docentes del ítem 3 – Segunda Parte.

Ítem	Clásicos	Pre-cuánticos	Cuánticos
¿Qué contenidos considera convenientes para desarrollar el tema de Estructura Atómica?	82%	14%	4%

Nota: Elaboración propia.

La tabla 3 describe los resultados del tercer ítem, esta pregunta tiene como objetivo conocer qué las temáticas que los docentes relacionan con enseñanza de la EA y por ende, determinar si relacionan conceptos cuánticos. Al analizar las respuestas de los docentes, se generaron tres tendencias inductivas: aquellos docentes que determinan unos contenidos netamente clásicos y que corresponden a un 82 %, dentro de estos contenidos los que tienen mayor predominio son: modelos atómicos clásicos y su historia (Dalton, Thomson, Rutherford), partículas subatómicas, comportamiento de los átomos, qué es la materia.

La segunda tendencia corresponde a docentes que mezclan contenidos clásicos y cuánticos, que corresponden a un 14 %, se denominó pre-cuántico. Este grupo refiere contenidos específicos de la teoría cuántica como: números cuánticos, el “principio de incertidumbre”, junto con contenidos referidos en el párrafo anterior. La tercera tendencia que corresponde a un 4%, refieren contenidos relacionados con la dualidad onda-partícula, “principio de incertidumbre” y números cuánticos.

Este interrogante, tiene como base establecer la importancia de los contenidos en el sistema didáctico, hecho que se pone de manifiesto después de los trabajos realizados por Chevallard e investigadores de la escuela francesa, donde se establece que el saber se constituye en un objeto de análisis dentro de dicho sistema (CARVAJAL y VÁSQUEZ, 2012).

Tabla 4. *Resultados de docentes del ítem 4 – Segunda Parte.*

Ítem	Clásico	Pre-cuántico	Cuántico
¿Qué estrategias utiliza para la enseñanza de los niveles de energía?	93%	7%	0%

Nota: Elaboración propia.

La tabla 4 describe los resultados del cuarto ítem, esta pregunta tiene como objetivo conocer las estrategias que los docentes refieren en la enseñanza de la EA, esto permite además relacionar las temáticas, las estrategias y los recursos utilizados. Hacer relación a las estrategias, permite revisar el proceso de transposición didáctica, por cuanto la descripción permite determinar si el conocimiento puede sufrir deformaciones importantes. Para el análisis de este ítem, se establecieron 2 recurrencias, que son: estrategias con un enfoque precuántico y estrategias con un enfoque clásico, según la descripción que los docentes realizan. Se esperaba un tercer grupo, que sería el que describa un enfoque cuántico, pero no hubo respuestas que permitan la estructuración de este grupo.

El 93 % de los docentes refieren estrategias diversas, pero con un enfoque clásico, por ejemplo, al referir que utilizan las analogías del átomo como “un sistema solar pequeño donde los electrones al igual que los planetas giran alrededor del núcleo a través de unos caminos de energía (sic)” o tal como se evidencia en la siguiente respuesta que hace alusión a un sentido esotérico pseudocientífico como “átomo: ser humano (alma, espíritu, cuerpo) (sic)” (PC3). Dentro de este enfoque, el 70 % de los docentes refieren el uso de videos, los cuales consideran muy completos y claros, al solicitar ampliación o especificar el tipo de video, se obtiene que se trata de recursos de la red que trabajan desde analogías o descripciones clásicas.

Las maquetas ocupan un porcentaje significativo de aproximadamente un 60 % dentro de esta temática, lo cual llama la atención, puesto que se refieren a maquetas que implican el llenado de los niveles al igual que los orbitales atómicos. Los docentes manifiestan que las maquetas utilizadas son de material reciclado, lo cual a su juicio las hace más valiosas. Sin embargo, es claro que se desconoce lo manifestado por Chamizo (2010), al explicar que los modelos (m) son representaciones, basadas generalmente en analogías, que se construyen contextualizando cierta porción del mundo (M), con un objetivo específico, esto pues, no se reconoce la escala y la correspondencia en los modelos y maquetas utilizadas en la enseñanza.

En el caso de la construcción de las maquetas relacionadas con los modelos atómicos, se presenta un problema al igual que con otros conceptos, puesto que se presentan transformaciones sobre los modelos científicos originales. En este caso, especialmente en lo relacionado con el tamaño, escala y dinámica del átomo, que se hace evidente en la construcción de maquetas, donde el tamaño de los electrones es básicamente el mismo de todo el núcleo.

Para las estrategias con un enfoque precuántico, que corresponde a un 7 %, se enmarcan aquellas en que los docentes, refieren de alguna manera el trabajo relacionado con el átomo de Bohr y los espectros atómicos o prácticas experimentales relacionadas con el modelo de Bohr, situación que llama la atención, pues no se cuenta con muchas prácticas experimentales en este campo, más allá de un espectrómetro casero, que ninguno de los docentes mencionó.

Las estrategias descritas permiten inferir que en la enseñanza de los niveles de energía los docentes prefieren analogías en las que se refieran capas y espacios de llenado, al igual que la realización de ejercicios de llenado de electrones. Estas formas de enseñanza pueden parecer dinámicas y generar claridad en el aprendizaje, pero como se ha descrito, el conocimiento científico se desvirtúa, evidenciando errores importantes en la enseñanza. Se entienden las analogías como una comparación entre lo conocido y en este caso, lo poco conocido, que son los niveles de energía. Se ratifica la preocupación de describir el orbital y niveles de energía como espacios que el electrón puede o no ocupar, es decir, orbitales estanterías que existen independientemente del electrón (SOLBES 2018).

Tabla 5. Resultados de docentes del ítem 5 – Segunda Parte.

Ítem	Clásico	cuántico	confusión	No trabaja
¿Qué estrategias utiliza para la enseñanza de los números cuánticos?	84.5 %	4.2 %	10 %	1.4 %

Nota: Elaboración propia.

La tabla 5 describe los resultados del quinto ítem, esta pregunta tiene como objetivo conocer cómo se enseña los números cuánticos, si se hacen derivados de la ecuación de onda o por el contrario se presenta confusión al relacionarlos con el átomo de Bohr o de Sommerfeld. Al igual que en el ítem anterior, de acuerdo con el enfoque que el docente refiera, se estableció dos tipos de estrategias, aquellas clásicas y las que se explican desde un enfoque cuántico, se requirió de un tercer grupo que alcanza un 10 %, en el que se evidencia confusión en los conceptos referidos por los docentes, tal es el caso de relacionar los números cuánticos con el número masa y número atómico.

Dentro de las estrategias con un enfoque convencional correspondiente a un 84.5 %, se describen metáforas, analogías y maquetas. Hay también, regularidad al mencionar el uso de gráficos y esquemas. Otros docentes manifiestan que se trata de un tema muy teórico y

que, de esa manera, hay que trabajarlo. Para finalizar, en este grupo con un enfoque convencional, se encuentra que los videos son referidos por los profesores como recurso didáctico para la temática.

Solo un 4,2 % de los docentes explican que parten de Bohr para llegar a los números cuánticos de Schrödinger (PC4), aunque no se detallan las explicaciones.

Nuevamente, la descripción de las estrategias para la enseñanza de los números cuánticos evidencia confusiones conceptuales, que en la transposición didáctica realizada deforman el conocimiento, generando así un círculo que explica los errores en el aprendizaje.

Tabla 6. Resultados de docentes del ítem 6 – Segunda Parte.

Ítem	Lo hace y muestra ruptura	Lo hace y no muestra ruptura	confusión	No lo hace	No responde
¿Qué estrategias utiliza para explicar el efecto fotoeléctrico?	4,2%	30.9%	19,7%	35,2%	9,8%

Nota: Elaboración propia.

La tabla 6 describe los resultados del sexto ítem, la intencionalidad de este ítem es conocer específicamente si se enseña esta temática que tiene importancia conceptual y epistemológica, y si se enseña, esta enseñanza se apega a las bases conceptuales de la Teoría Cuántica. Se establecieron tres tendencias en las respuestas de los docentes, aquellos que explican el efecto foto-eléctrico, aquellos que manifiestan que no lo hacen y docentes que no dan respuesta a la pregunta.

Los docentes que explican el efecto foto-eléctrico, alcanzan un 55 %. De los cuales solo un 4,2 % realizan una descripción correcta, ya que el resto no muestran la ruptura con la física clásico o dan explicaciones confusas. Por ejemplo, el docente que manifiesta trabajar “con circuitos eléctricos en paralelo y en serie, hacer un circuito eléctrico o comparar con luces decorativas para Navidad” (PN9), confundiendo la luz LED con el efecto fotoeléctrico. Por otra parte, docentes de este grupo manifiestan que se trata de un tema confuso, por tanto, se debe trabajar de forma teórica y muy general. Solo un 4,2 % del total de los docentes cuestionados manifiestan que explican la temática y hacen énfasis en el quiebre con la física clásica, incluso explican el uso de sencillos experimentos.

El segundo grupo, que corresponde al 35,2 % de los docentes, manifiestan que no trabajan esta temática con sus estudiantes y, entre otras razones, aducen que es un tema que no está dentro de los contenidos del curso o que no lo relacionan con el desarrollo de los modelos atómicos.

Un tercer grupo 9,8 % sencillamente no da respuesta a la pregunta y a los que es posible enfatizar sobre por qué no la responden, se generan respuestas evasivas que limitan continuar preguntando. Lo anterior, genera preocupación, por cuanto, el efecto fotoeléctrico se constituye uno de los puntos de quiebre entre la física clásica y la física cuántica, al

contradecir experimentalmente lo predicho por la teoría electromagnética y porque la explicación dada por Einstein con el uso de los quantums de Planck, reafirmaría la crisis de la física clásica (SOLBES; SINARCAS, 2010; SOLBES, 2018).

Tabla 7. Resultados de docentes del ítem 7 – Segunda Parte.

Ítem	Lo hace y muestra ruptura	Lo hace y no muestra ruptura	No lo hace	No responde
¿Qué estrategias utiliza para explicar la dualidad onda corpúsculo?	4.2 %	67.6 %	18 %	9.8 %

Nota: Elaboración propia.

La tabla 7 describe los resultados del séptimo ítem, siguiendo la línea de las preguntas anteriores, este ítem tiene como objetivo conocer no solo las estrategias, sino el fundamento conceptual que estas estrategias tienen. La dualidad onda-corpúsculo tiene importancia conceptual por ser base de una nueva comprensión de los objetos cuánticos, cómo importancia epistemológica. De igual manera que en el ítem anterior, se establecieron tres tendencias en las respuestas de los docentes, aquellos que explican el comportamiento dual de la materia, aquellos que manifiestan que no lo hacen y los docentes que no dan respuesta a la pregunta.

Si bien, un 71.8 % de los docentes afirman que trabajan esta temática, las explicaciones que dan al respecto son muy limitadas y evasivas, como: “ejemplos cotidianos de dualidad” (PP25), “se realizan experimentos” (PN5), o “videos por cuanto la temática es difícil de entender” (PN10). Al preguntar cómo o cuáles ejemplos de la vida cotidiana o videos, no hay claridad en la explicación.

Otro aspecto que es necesario destacar es que se evidencia una gran confusión en las explicaciones, por ejemplo: “uso la analogía con un trompo que parece que está quieto, pero gira y al final forma una onda”, “este tema se aborda en el laboratorio con la ayuda de un prisma, midiendo la dualidad onda partícula” (PN14). Para otros docentes es un tema muy teórico y sencillamente es necesario informar al respecto.

Dos docentes manifiestan que trabajan la temática desde situaciones experimentales que explican claramente y demuestran la idea de un comportamiento dual, como es el caso de la difracción de la luz de Yung (*sic*) o “el experimento de doble rendija en cubeta de agua” (difracción e interferencia de las ondas) (PC4).

Dentro del grupo de profesores que manifiestan que no explican esta temática están aquellos que aducen que se trata de un tema de la física, que es necesario pedir apoyo a los físicos o que no hay recursos suficientes para su explicación. Un grupo significativo de 9.8% de los docentes, simplemente no dan respuesta a la pregunta, lo cual es preocupante, es necesario que el docente trabaje con el estudiante el tema, también requiere de un análisis detallado, pues como lo señala Pereira, Ostermann y Cavalcanti (2009a y 2009b), tanto

profesores como estudiantes tienen dificultades para reconocer las características del comportamiento dual de los objetos cuánticos.

Lo argumentado por los docentes devela una serie de dificultades importantes, que a la luz de la Transposición didáctica de Chevallard (1985), son consecuencia de no ejercer una vigilancia epistemológica que permita evitar tanto el envejecimiento de los currículos como la transposición con errores conceptuales importantes.

Tabla 8. Resultados de docentes del ítem 8 – Segunda Parte.

Ítem	Lo hace y muestra ruptura	Lo hace y no muestra ruptura	confusión	No lo hace	No responde
¿Considera conveniente incorporar el principio de incertidumbre (relaciones de indeterminación) en la explicación de la teoría atómica? ¿Por qué?	4,2 %	40.8 %	26.7 %	21.1 %	7 %

Nota: Elaboración propia.

En la tabla 8 se describe los resultados del octavo ítem, con una intencionalidad basada en la importancia epistemológica de las relaciones de indeterminación, que además a la luz de la Teoría de la Transposición Didáctica ha sufrido deformación conceptual, pues se habla de principio de incertidumbre. Por tanto, la primera precisión que es necesario hacer, es que los docentes que afirman estar de acuerdo con incluir las relaciones de indeterminación en la enseñanza de la EA, se refieren a estas como principio de incertidumbre. Si bien este grupo abarca un 71.7 % de los docentes consultados, se encuentran respuestas que denotan gran confusión en la temática, por ejemplo: al mencionar que se utiliza para su enseñanza el “entorno rural” (PP21) o que “simplemente todo es imaginación” (PP8), o respuestas que manifiestan: “Si, porque permite al estudiante comprender la EA desde la caracterización de su masa, peso y otras propiedades” (PP14).

Otras respuestas que igualmente denotan confusión son: “Heisenberg introduce para qué sirve el átomo, no es tan importante conocer cómo es, sino para qué sirve” (PP20), concepción que no corresponde a las relaciones de indeterminación. O “es necesario para que los estudiantes comprendan que es imposible encontrar a un electrón en un lugar determinado, es complejo” (PC7) o sencillamente “es muy compleja su ecuación” o “es muy complicado para enseñar y entender” (PP28), y por eso hay que hacerlo solo de manera conceptual, o la utilización de una analogía “el colegio el átomo, el rector el electrón, es complejo encontrar al rector”.

Dentro del grupo de docentes que manifiestan estar de acuerdo con trabajar esta temática, la relacionan con un problema de la ciencia al no estar acabada o con la relatividad del conocimiento, es decir, con un problema de falta de conocimiento: “el principio demuestra que la teoría es inacabada, está en construcción” (PP25); es necesario enseñar para “mantener asombro cuando no todo se puede explicar” (PN13), “todo está en continuo cambio” (PN16).

Al igual que al hablar de dualidad los docentes aducen que estas temáticas “son complejas e interesantes” que “llevan a la misticidad de la ciencia” (PC5), tema que también aparece en otros trabajos (HOERNIG; MASSONI; HADJIMICHEF, 2023), lo que podría poner de manifiesto ideas pseudocientíficas en los docentes.

El 21 % de los docentes manifiestan no estar de acuerdo con trabajar esta temática porque es muy compleja y puede generar confusiones. Incluso los mismos docentes no se sienten preparados para abordar esta temática, así lo demuestran algunos argumentos: “se debe considerar si tocar este tema con los estudiantes, ya que puede suponer un tema de confusión para el estudiante, y si se aborda de manera teórica únicamente, puede representar la pérdida de interés del estudiante hacia el tema macro que se busca enseñar” (PC6). “No, porque no estoy claro en la explicación del modelo atómico, ya que es relativo en cada época de la historia” (PP6), “no todos los profesores manejamos este conocimiento, no para secundaria” (PP9). “No, porque el principio de indeterminación de Heisenberg es un concepto complejo y abstracto, que requiere que el docente explique todos los axiomas corrientes de la mecánica cuántica (postulados matemáticos), y hacer esta transposición didáctica en la educación secundaria y media, sería irrelevante, considerando primero que, el estudiante debería manejar un alto nivel cognitivo y metacognitivo” (PC2), “no lo conozco” (PN6), “es algo avanzado” (PC4).

Solo un 4,2 % de los docentes refieren la importancia de trabajar este tema y lo hacen pensando en la ruptura entre la física clásica y la teoría cuántica, argumentando: “porque se entiende la dualidad onda partícula” (PN4), “para demostrar la diferencia entre lo clásico y lo cuántico” (PN7).

Las respuestas permiten inferir poca claridad en las relaciones de indeterminación, se describen como parte de la teoría cuántica, pero no se precisa su explicación. Las respuestas son ambiguas, confirman lo señalado por Giribet (2005), al expresar que generan confusiones entre quienes se enfrenta a ellas por primera vez; de igual manera, se confirma también las investigaciones que demuestran que los problemas de aprendizaje de ciencias modernas, especialmente en lo relacionado con la física moderna, no son consecuencia de la naturaleza de la disciplina como tal, sino de una incorrecta orientación de su enseñanza y forma acrítica de introducir los conceptos modernos y contemporáneos (SOLBES; SINARCAS, 2009; SINARCAS; SOLBES, 2013). En este aspecto, bajo la noción de Chevallard (1985), se estaría desvirtuando el conocimiento científico, como consecuencia de un sistema curricular envejecido, porque los docentes han sido formados con currículos desactualizados.

La tabla 9 describe los resultados del noveno ítem, esta pregunta tiene como objetivo conocer desde qué enfoque consideran importante o no incluir la TC en la educación secundaria en Colombia, esto debido a que su enseñanza no está taxativamente señalada en los documentos curriculares (SOLBES, MUÑOZ-BURBANO, RAMOS-ZAMBRANO, 2019). Si bien un 65.9 % de los docentes consideran conveniente introducir el modelo mecánico cuántico en la educación media del país, las razones que aducen están relacionadas

en un 39 % desde lo conceptual y desde los fines netamente propedéuticos, como es el caso de una necesidad para grados superiores o incluso la universidad. Los elementos y razones descritas a continuación corresponden a lo que Chevallard (1985), determina como “envejecimiento biológico” por cuanto no se asume la urgencia de una actualización constante de los currículos y una vigilancia epistemológica que permita dicha actualización.

Tabla 9. Resultados de docentes del ítem 9 – segunda parte.

Ítem	Si conceptual	Si técnico	En ocasiones	No	No responde
¿Considera conveniente introducir la TC para explicar el átomo en la educación media en nuestro país? ¿Por qué?	39%	4.4%	22.5%	28%	5.6%

Nota: Elaboración propia

Sin embargo, dentro de este grupo es necesario relacionar respuestas que no son claras y se acercan a un uso pseudocientífico de la cuántica denunciado por algunos autores (SOLBES, 2019; SANDIN, 2020), por ejemplo: “Considero que si es conveniente, por cuanto el estudiante tendrá la capacidad de comprender su relación con el universo y el mundo natural, dando lugar a la importancia de la trascendencia” (PP3), “los modelos cuánticos nos permiten adentrarnos en la mística de la ciencia”, (PN14), “si ...se trata de conocer más para poder hacer un modelo que brinde y dé respuestas a muchos interrogantes que se explican, usando disciplinas diferentes a las ciencias” (PN13).

También se explica que se debería trabajar solo de manera informativa: “como historia” (PN6), “no lo considero conveniente, pero sí lo comparto por cultura general, porque la relación entre lo cuántico aplicado, está alejado de la posibilidad en nuestras zonas” (PN7). “Sí, porque no solo es un concepto que se aplica a la estructura de la materia, sino a los procesos de pensamiento filosófico, que han modificado bases y principios dados en años anteriores a este boom actual de la era atómica, nuclear y espacial que tienen a muchos científicos motivados a buscar refugio en otros planetas” (PP5).

Hay un grupo de docentes, que relacionan el modelo mecánico-cuántico, con argumentos como: “para generar curiosidad” (PP4), “explorar nuevas ideas en los jóvenes” (PP5) o para “la aplicabilidad en el campo profesional” (PC2).

Nuevamente, lo ambiental se refiere específicamente en la temática, con argumentos como: “Nuestro país ofrece variedad de recursos naturales con esta temática, da la posibilidad de investigar y ahondar en este tema” (PC5). Consideramos que la presentación acrítica en la relación de la temática con la educación ambiental es preocupante, por cuanto el docente no hace una presentación sustentada de sus argumentos, más bien se muestra como si se requiriera cumplir siempre con la idea de enseñar a cuidar o valorar el medio ambiente.

Un 4,2 % asume que es conveniente trabajar esta temática, al explicar la relación con la tecnología actual. Finalmente, solo un docente manifiesta que sí es importante trabajar esta

temática: “no introducirlo deja incompleta la visión de la ciencia, trabajo teórico no la ecuación” (PN4).

Hay un grupo de docentes que condicionan la enseñanza del modelo mecánico-cuántico, incluso con el tipo de educación: “se debería trabajar con mayor profundidad en física” (PP7), “solo un poco, porque se necesita mucha matemática y los jóvenes no están preparados, incluso, yo debo pedir el favor que me ayuden los físicos” (PP8), “lo consideraría conveniente, sin embargo, en educación básica pública, sobre todo, no se cuenta con los conceptos previos necesarios” (PN12). “El nivel de profundización, de desarrollo de pensamiento no lo permiten en la mayoría de los casos. Se hace de manera mecánica y simplemente informativa” (PP25), “sí, pero es muy complicado para enseñar y entender” (PP28), “no para todos los estudiantes, deberíamos tener una educación más focalizada para los diferentes desempeños profesionales de los alumnos” (PN2).

Dentro del 28 % de los docentes que manifiestan no estar de acuerdo con la enseñanza del modelo mecánico-cuántico se encuentran argumentos como: “no, para secundaria” (PP9), “es difícil que los chicos lleguen a comprender” (PP19). El 5,6 % de los docentes, sencillamente no responden el interrogante.

Dichos resultados se pueden explicar, en parte, si se tiene en cuenta, como hemos visto en los datos de la muestra estudiada, a que en Colombia hay pocos licenciados en física ejerciendo en secundaria. Esto puede ser debido a que hay pocos licenciados en física y a que estos prefieran otras salidas profesionales. Y a que la formación del profesorado en física en las otras licenciaturas en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, en Biología y Química, etc., que pueden acabar enseñando la EA, solo algunas de ellas tienen profundización en física o materias de química física que permitirían un mayor conocimiento de la física cuántica. Por tanto, si el profesorado de secundaria no tiene conocimientos de física cuántica, difícilmente podrá realizar una trasposición didáctica de los mismos. E incluso incurrirá, como hemos podido comprobar en los ítems 5, 6 y 7 en ideas científicas equivocadas como relacionar el efecto fotoeléctrico con un circuito eléctrico. Y, lo que es peor, en ideas pseudocientíficas o místicas sobre la cuántica, como hemos visto en el ítem 8 sobre las relaciones de indeterminación. También se observa un envejecimiento biológico de los currículos de secundaria, pues, en ellos no se contemplan teorías como la cuántica o la relatividad. Consideramos que la administración educativa y las instituciones de formación inicial de Colombia deben ser conocedoras de esta situación, para que intenten resolverla con una actualización de los currículos.

V. Conclusiones

El análisis de los datos, nos permite concluir en primer lugar que no se toma como eje conductor la TC en la enseñanza de la EA. En segundo lugar, más que una trasposición didáctica se presenta una deformación de los conceptos e incluso se desvirtúa el

conocimiento, enseñando cosas que están en contraposición a lo aceptado por la comunidad científica.

Con respecto a la formación de los docentes, son relevantes las confusiones en las temáticas relacionadas con la teoría cuántica y, se evidencia ideas pseudocientíficas en 3 de los ítems, que no preguntaban explícitamente por ello. Las estrategias descritas por los docentes, si bien son de uso generalizado, no son justificadas o explicadas detalladamente, lo cual permite inferir un uso acrítico. Es el caso de los videos, que deben ser elegidos con precaución, pues en su presentación pueden darse errores conceptuales importantes.

Con respecto a las estrategias utilizadas por los docentes, la historia de las ciencias, es reconocida como un recurso didáctico de mucha importancia. Sin embargo, su uso evidencia que se trata de una descripción cronológica de los hechos que marcaron el desarrollo de los modelos atómicos, pero esta descripción es acrítica por cuanto además de ser anecdótica, no se conecta con situaciones sociocientíficas, de ahí que se asume como una enseñanza descriptiva.

Con respecto a los contenidos, los docentes evidencian confusión al momento de explicar fenómenos y nociones cuánticas como: efecto fotoeléctrico, dualidad de los objetos cuánticos, relaciones de indeterminación, niveles de energía, orbital y espín. Las respuestas son evasivas para estas temáticas o describen estrategias de enseñanza que demuestra la yuxtaposición y mezcla de conceptos clásicos y cuánticos en su explicación. Las analogías utilizadas y descritas son otro elemento que permite deducir confusión en los docentes con respecto a nociones cuánticas, por lo que se confirma lo que la investigación didáctica dice respecto a las analogías y también lo referido a la elaboración de maquetas, pues los docentes al describir demuestran que trasladan el concepto directamente a la analogía o la maqueta, sin determinar sus limitaciones o diferenciar sus errores.

Por otra parte, las respuestas frente a las preguntas sobre la importancia de enseñar el modelo cuántico, son ingenuas y más como un formalismo acrítico. Con respecto a la enseñanza de las relaciones de indeterminación y la dualidad de los objetos cuánticos, se deja ver nociones pseudocientíficas al relacionarlas con trascendencia o acción de energías. Los docentes dan un énfasis a la enseñanza de aspectos simbólicos y de cálculos, frente a la estructura del átomo.

Los resultados descritos, permiten corroborar la hipótesis de que la enseñanza de la estructura Atómica, es escasa, descriptiva, formalista y no se aborda la teoría cuántica, se hace desde concepciones clásicas. Y esto pone de manifiesto síntomas de envejecimiento biológico, en terminología de Chevallard (1985), del currículo colombiano de Física y de Química. No se enseña cuántica en el secundario cuando estamos en la época de la computación cuántica o de la inteligencia artificial, reconocidas con los premios Nobel de Física de 2022 a Alain Aspect, John F. Clauser y Anton Zeilinger por su trabajo pionero en la información cuántica.

Como ya hemos señalado en la discusión esto se pueden explicar, en parte, porque en

Colombia hay pocos licenciados en física ejerciendo en secundaria. Y a que la formación del profesorado en física en las otras licenciaturas en Ciencias Naturales y Educación Ambiental, en Biología y Química, etc., solo algunas de ellas tienen profundización en física.

Referencias

ACEVEDO, J. A. Conocimiento didáctico del contenido para la enseñanza de la naturaleza de la ciencia (I): el marco teórico. **Revista Eureka sobre enseñanza y divulgación de las ciencias**, v. 6, n. 1, p. 21-46. 2009.

AIKENHEAD, G. What is STS science teaching. STS education. **International perspectives on reform**, v. 2. n.12, p. 47-59, 1994.

BISQUERRA, R. **Metodología de la investigación educativa**. Madrid: La Muralla. 2004.

BRIGAS, M. A.; MARTINS, I. P. Libros de texto de Química y aprendizaje de los alumnos: pensamiento y prácticas del profesorado. **Tarbiya: Revista de investigación e innovación educativa**, v. 36, p. 149-165, 2005.

BARRIA, M. S.; MORALES, C.; MERINO, C.; QUIROZ, W. Realist ontology and natural processes: a semantic tool to analyze the presentation of the osmosis concept in science texts. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 17, n. 4, p. 646-655, 2016.

BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de física moderna? **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 10, n. 3, p. 384-404, 2005.

CASTRILLÓN, J.; FREIRE, O. Y; RODRÍGUEZ, B. Mecánica cuántica fundamental, una propuesta didáctica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 36, n. 1, p. 1-12, 2014.

CARDELLI, J. Reflexiones críticas sobre el concepto de Transposición Didáctica de Chevallard. **Cuadernos de Antropología Social**, n. 19, p. 49-61, 2004.

CARVAJAL, C. A.; VÁSQUEZ, J. C. La transposición didáctica: un ejemplo en el sistema educativo costarricense. **Uniciencia**, v. 26, n. 1-2, p. 153-168, 2012.

COHEN, L.; MANION, L.; MORRISON, K. **Research methods in education**. Routledge, Taylor & Francis. London and New York. 2011. <https://doi.org/10.4324/9780203720967>.

CORRAL, Y. Validez y confiabilidad de los instrumentos de investigación para la recolección de datos. **Revista Ciencias de la Educación**, v. 19, n. 33, p. 229-247, 2009.

CHAMIZO, J. A. Una tipología de los modelos para la enseñanza de las ciencias. **Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias**, v. 7, n. 1, p. 26-41, 2010.

CHEVALLARD, Y. **La transposition didactique: du savoir savant au savoir enseigné**. Paris: La Pensée Sauvage, 1985.

FANARO, M. **La enseñanza de la Mecánica Cuántica en la Escuela Media**. 2009. Tesis (Doctoral) - Universidad de Burgos, Burgos, España.

FENSHAM, P. J. Beyond Knowledge: Other Scientific Qualities as Outcomes for School Science Education. En: JANIUK, R. M.; SAMONEK-MICIUK, E. (Ed.) Science and Technology Education for a Diverse World – dilemmas, needs and partnerships. International Organization for Science and Technology Education (IOSTE), XIth, 2004. **Symposium Proceedings...** p. 23-25. Lublin, Poland: Maria Curie-Sklodowska University Press, 2004.

FERNÁNDEZ, P.; GONZÁLEZ, E.; SOLBES, J. Evolución de las representaciones docentes en la física cuántica. **Enseñanza de las Ciencias**, n. extra, p. 1-5, 2005.

GIRIBET, G. E. Sobre el principio de incertidumbre de Heisenberg entre tiempo y energía: una nota didáctica. **Revista Mexicana de Física**, Junio, p. 23-30, 2005.

GRIEBELER, A. **Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa**. 2012. Disertación (Maestría) - Universidad Federal do Rio Grande do Sul.

GÓMEZ, M. Transposición didáctica, saber escolar y enseñanza de la filosofía. **Cuestiones de Filosofía**, v. 7, p. 3-26, 2005.

HENAO-GARCÍA, J.; TAMAYO-ALZATE, O. Enseñanza y Aprendizaje del concepto naturaleza de la materia mediante la resolución de [33] problemas. **Unipluriversidad**, v. 14, n. 3, p. 25-45, 2010.

HERNÁNDEZ, A. L. Libros de texto y profesionalidad docente. **Avances en supervisión educativa**, v. 6, p. 1-13, 2007.

HOERNIG, A. F.; MASSONI, N. T.; HADJIMICHEF, D. Ensino de Física Quântica e a

Teoria das Representações Sociais: investigando a presença de conceitos de Misticismo Quântico entre alunos de Ensino Médio no sul do Brasil. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 40, n. 1, p. 57-83, 2023.

KALKANIS, G.; HADZIDAKI, P.; STAVROU, D. An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. **Science Education**, v. 87, n. 2, p. 257-80, 2003.

KLEICKMANN, T. *et al.* Teachers' content knowledge and pedagogical content knowledge: The role of structural differences in teacher education. **Journal of teacher education**, v. 64, n. 1, p. 90-106, 2013.

LOBATO, T.; GRECA, I. M. Análise da inserção de conteúdos de Teoria Quântica nos currículos de Física do ensino médio. **Ciência e Educação**, v. 11, n. 1, p. 119-132, 2005.

MARTÍN-DÍAZ, M. J.; JULIÁN, M. S. G.; CRESPO, M. Á. G. ¿Por qué existe una falla entre la innovación e investigación educativas y la práctica docente? **Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad-CTS**, v. 8, n. 22, p. 11-31, 2013.

MARTÍNEZ, J. **Políticas del libro escolar**. Madrid: Ediciones Morata, 2002.

MARTÍNEZ, J. *et al.* La enseñanza problematizada de la física cuántica en el nivel introductorio. Una propuesta fundamentada. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 28, n. 2, p. 77-100, 2016.

MARTÍN ARRIBAS, M. C. Diseño y validación de cuestionarios. **Matronas Profesión**, v. 5, n. 17, p. 23-29, 2004. http://enferpro.com/documentos/validacion_cuestionarios.pdf.

OSTERMAN F; PRADO, S. D. Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 27, n. 2, p. 193-203, 2005.

PAULO, I. J. C. **A Aprendizagem Significativa Crítica de Conceitos da Mecânica Quântica Segundo a Interpretação de Copenhague e o Problema da Diversidade de Propostas de Inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**. 2006. Doutorado (Ensino de Ciências) - Universidade de Burgos, Burgos.

PENA, F. Por que, nós professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e idéias de física moderna e contemporânea na sala de aula? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n. 1, p. 1-2, 2006.

PEREIRA, A.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. On the use of a virtual Mach-Zehnder interferometer in the teaching of quantum mechanics. **Physics Education**, v. 44, n. 3, p. 281, 2009 a.

PEREIRA, A.; OSTERMANN, F.; CAVALCANTI, C. O ensino de Física Quântica na perspectiva sociocultural: uma análise de um debate entre futuros professores mediado por um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. **Revista electrónica de enseñanza de las ciencias**, v. 8, n. 2, p. 376-398, 2009b.

ROBLES GARROTE, P.; ROJAS, M. del. La validación por juicio de expertos: dos investigaciones cualitativas en Lingüística aplicada. **Revista Nebrija de Lingüística Aplicada a la Enseñanza de Lenguas**, v. 918, p. 124-139, 2015.
<https://doi.org/10.26378/rmlael918259>

SACRISTÁN, G. El currículum: ¿Los contenidos de la enseñanza o un análisis de la práctica? En: GIMENO, J.; PÉREZ, A. I. **Comprender y transformar la enseñanza**. Madrid: Morata, 2005.

SABIN, C. **Verdades y mentiras sobre la física cuántica**. Madrid: La Catarata, 2020.

SAVALL, F. **L'ensenyament problematitzat de la física quàntica en batxillerat com a instrument de millora de l'aprenentatge**. 2015. Tesis (Doctoral) - Universidad de Alicante, España.

SAVALL-ALEMANY, F.; DOMÈNECH-BLANCO, J. L.; GUIASOLA, J.; MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. Identifying student and teacher difficulties in interpreting atomic spectra using a quantum model of emission and absorption of radiation. **Physical Review Physics Education Research**, v. 12, n. 1, p. 010132, 2016.

SINARCAS, V.; SOLBES, J. Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la Física Cuántica en el bachillerato. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 3, n. 13, p. 9-25, 2013.

SOLARTE, M. Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica. **Revista ierRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa** [en línea], v. 1, n. 4, 2006. <http://revista.iered.org>.

SOLBES, J. El modelo cuántico del átomo. Dificultades de comprensión y propuestas para su enseñanza. **Alambique. Didáctica de las ciencias experimentales**, v. 93, p. 26-33, 2018.

SOLBES, J. Cuestiones socio-científicas y pensamiento crítico: Una propuesta contra las pseudociencias **TED: Tecne, Episteme y Didaxis**, n. 46, p. 81-99, 2019.
<https://doi.org/10.17227/ted.num46-10541>.

SOLBES, J.; MUÑOZ, Z.; RAMOS, G. Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia. **Revista Historia de la Educación Colombiana**, v. 22, n. 22, p. 117-140, 2019.
<https://doi.org/10.22267/rhec.192222.54>.

SOLBES, J.; SINARCAS, V. Utilizando la historia de la ciencia en la enseñanza de los conceptos claves de la física cuántica. **Didáctica de las Ciencias Experimentales y Sociales**, v. 23, p. 123-151, 2009.

SOLBES, J.; SINARCAS, V. 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**, v. 23, n. 1 y 2, p. 57-84, 2010.

TUZÓN, P.; SOLBES, J. 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**, v. 28, p. 175-195, 2014.

VILLARROEL, P. A. C. La enseñanza de la Química y sus conceptos en los textos escolares: un estudio exploratorio documental. **Areté: Revista Digital del Doctorado en Educación de la Universidad Central de Venezuela**, v. 5, n. 10, p. 45-70, 2019.



Direito autoral e licença de uso: Este artigo está licenciado sob uma [Licença Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).