

Formación de profesores para la enseñanza de la física cuántica en la secundaria: necesidad de la democratización del conocimiento científico

Teacher training for the teaching of quantum physics in high school: need for the democratization of scientific knowledge

pp. 115-126

ANDRÉS CUÉLLAR GARCÍA¹

REC: 25/02/2022

ACEP: 8/06/2022

Resumen

Teniendo en cuenta la enorme necesidad de generar procesos de alfabetización científica en nuestro país, que estén a la par con los descubrimientos y avances en el campo de la ciencia y la tecnología, se presenta una investigación doctoral enfocada en la formación de profesores de ciencias naturales, para la enseñanza de la física cuántica en la educación media. Por ende, el objetivo está orientado al diseño, desarrollo y evaluación de un proceso de formación de docentes para la enseñanza y el aprendizaje de la naturaleza cuántica de la luz en el ciclo de la educación media, a través de la modelización como estrategia didáctica y el uso de las TIC como herramientas cognitivas desde la perspectiva del conocimiento tecnológico y

pedagógico del contenido. Además, en el marco de referencia se analizan conceptos orientados tanto pedagógicos como disciplinares, entre ellos, el conocimiento tecnológico y pedagógico de contenido, los modelos científicos en la enseñanza de las ciencias, la modelización como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias, las herramientas cognitivas. Así mismo, se presenta la metodología de investigación a través del estudio de caso como proceso de investigación-acción enfocada en la formación de profesores de ciencias, al igual que el contexto de los participantes de estudio. Finalmente, a través de esta investigación se logra evidenciar la necesidad de generar espacios educativos enfocados en los descubrimientos, avances

1. Candidato a Doctor en Educación con énfasis en Ciencias, Universidad del Valle. Magíster en Ingeniería Informática, USC. Licenciado en Matemáticas y Física, Universidad del Valle. Docente de Física, Universidad ICESI, Universidad del Tolima y Secretaría de Educación de Cali – Normal Superior Farallones de Cali. Integrante del grupo de investigación GIIDEA – Universidad del Valle, sede Cartago. Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-4814-4578>

y aplicaciones de la física cuántica, buscando propender a la visualización de nuevas esferas del conocimiento que estén a la vanguardia en el desarrollo social, cultural, histórico, tecnológico y económico, permitiendo la formación de una sociedad crítica, conocedora de su entorno.

Palabras clave: formación, profesores de física, física cuántica, naturaleza cuántica de la luz, alfabetización científica, modelización.

Abstract

Taking into account the enormous need to generate processes of scientific literacy in our country, which are on a par with the discoveries and advances in the field of science and technology, is presented, a doctoral research focused on the training of natural science teachers, for the teaching of quantum physics in High school. Thus the objective is oriented to the design, development and evaluation of a teacher training process for the teaching and learning of the quantum nature of light in the secondary education, through the modeling as a didactic strategy and the use of information technologies as cognitive tools from the perspective of technological and pedagogical content knowledge. In addition, in the reference framework, pedagogical and disciplinary guiding concepts are analyzed, among them, technological and pedagogical content knowledge, scientific models in science teaching, modeling as a didactic strategy for science teaching, cognitive tools. Likewise, the research methodology is presented through the case study as an action research process focused on the training of science teachers, as well as the context of the study participants. Finally, through this research it is possible to demonstrate the need to generate educational spaces focused on the discoveries, advances

and applications of quantum physics, seeking to promote the visualization of new spheres of knowledge that are at the vanguard in social, cultural, historical, technological and economic development, allowing the formation of a critical society, aware of its environment.

Keywords: training, physics teachers, quantum physics, quantum nature of light, scientific literacy, modeling.

Introducción

Desde sus inicios, la física cuántica es considerada una de las teorías más exitosas en la ciencia moderna, permitiendo interpretar las propiedades del átomo, sus partes constituyentes, las propiedades de la radiación electromagnética y su interacción con la materia, entre otros (Giraldo, 2017). Esto ha suscitado diversos cambios profundos desde la visión del mundo (Ching-Ray et al., 2020), la cosmovisión científica y cultural de la sociedad, al igual que las posibles repercusiones en diferentes campos del saber (De la Torre, 2000; Fernández, 2014; Staderman et al., 2019; Cuéllar, 2021a).

Uno de estos cambios se ha evidenciado en las últimas dos décadas con las tecnologías basadas en las leyes de la física cuántica,² que muestran un progreso exponencial en cuatro áreas de desarrollo (en mayor medida): la información y comunicación cuántica, la simulación cuántica, la computación cuántica —en la que se emplean efectos cuánticos— y la detección cuántica y metrología (Cuéllar, 2016; Acín et al., 2018). Se han generado investigaciones,

² Conocidas como “tecnologías cuánticas” (Q.T.: Quantum Technology), incluyen tecnologías que surgieron a mediados del siglo XX como son: el láser, los semiconductores, las imágenes clínicas, el transistor, el circuito integrado, entre otros (Krijtenburg-Lewerissa et al., 2017; Jaeger, 2018; Cuéllar, 2016).

aplicaciones y descubrimientos que han con-
cebido directa e indirectamente diferentes
premios Nobel en Física,³ convirtiéndola en un
importante campo interdisciplinario de investi-
gación aplicada⁴ (Acín et al., 2018; Jaeger, 2018;
Cuéllar, 2021b).

Tanto así que en algunos países se han de-
sarrollado iniciativas referentes a procesos de
alfabetización científica para fomentar las in-
vestigaciones y proyectos educativos enfoca-
dos en la enseñanza y el aprendizaje de la física
cuántica en niveles anteriores al ciclo universi-
tario, incorporándola en muchos casos en sus
currículos oficiales (Michellini et al., 2000; Mü-
ller y Wiesner, 2002; Olsen, 2002; Escalada et
al., 2004; Hoekzema et al., 2007; Lautesse et
al., 2015; Stadermann et al., 2019, entre otros)
a través de diversas investigaciones que pro-
curan superar los retos, desafíos y dificultades
que conlleva la enseñanza de la física cuántica
en estos niveles educativos.

Lamentablemente en nuestro país no existe
una incorporación de la enseñanza de la física
cuántica en la educación media (Muñoz et al.,
2020). Esto se logra evidenciar tanto en los “Es-
tándares básicos de competencias en ciencias
naturales” (Ministerio de Educación Nacional
[MEN], 2004), como en “Los derechos básicos
de aprendizaje de ciencias naturales (DBA)”
(MEN, 2016), en los que el MEN no enuncia de
manera explícita posibles componentes para la
enseñanza de la física cuántica (Solbes et al.,
2019).

Por ende, se puede considerar que la en-
señanza de la física en la educación media
colombiana sigue enfocada en las problemáti-
cas de la física clásica (anteriores al siglo XX).

Como resultado, existe la necesidad urgente
de generar procesos investigativos referentes
a la formación de profesores de ciencias en la
enseñanza de la física cuántica, de esta manera
se podrían realizar propuestas significativas de
modificaciones al currículo de ciencias natura-
les (física) en los documentos oficiales del MEN,
integrando tópicos de física cuántica, lo que
aportaría significativamente a una mayor alfa-
betización científica en nuestra sociedad.

Uno de los factores clave para subsanar la
anterior situación está enfocado en la formación
inicial de los profesores de ciencias en tópicos o
problemas referentes a la enseñanza de la física
cuántica en la educación media, debido a que
en estos espacios se construyen las bases con-
ceptuales y teóricas, que se verán reflejadas en
el aula de clase (Polanco, 2018).

Es así que la investigación doctoral⁵ se ha
enfocado en el diseño, desarrollo y evaluación
de un proceso de formación de docentes para
la enseñanza y el aprendizaje de la naturaleza
cuántica de la luz en el ciclo de la educación
media a través de la modelización como estra-
tegia didáctica y el uso de las tecnologías de la
información como herramientas cognitivas des-
de la perspectiva del Conocimiento Tecnológico
y Pedagógico del Contenido (CTPC) (Koehler y
Mishra, 2008; Mishra y Koehler, 2006).

3 El Premio Nobel de Física del año 2022 se entregó a los doctores Alain Aspect, John Clauser y Anton Zeilinger por sus investigaciones relacionadas con las comunicaciones cuánticas a través del entrelazamiento cuántico.

4 La llamada “Segunda Revolución Cuántica” (Jaeger, 2018).

5 El CTPC del profesor de ciencias naturales en formación inicial y su desarrollo acerca de la naturaleza cuántica de la luz mediante la modelación en la enseñanza de las ciencias. Doctorado Interinstitucional en Educación énfasis en Ciencias - Física, Universidad del Valle.

Marco de referencia

Las TIC como herramientas cognitivas

Para esta formación inicial de profesores, referente a la enseñanza de la física cuántica en la educación media, se contó con los recursos de las TIC, teniendo en cuenta que en el desarrollo de estas alfabetizaciones científicas enfocadas en procesos de formación, las TIC podrían potenciar los procesos de razonamiento y acciones inteligentes llevadas a cabo por estudiantes y profesores en formación con el fin de desarrollar la solución más apropiada a una problemática específica dentro de un contexto de negociación de significados y formas de significar; por ende, las TIC tendrían la capacidad de generar procesos cognitivos en los sujetos a través de la velocidad, el dinamismo, la interacción y la precisión en el procesamiento de la información y las representaciones que en ellas se producen (Candela, 2020).

En las situaciones atípicas generadas por la pandemia del COVID-19, las TIC se convirtieron en el canal que facilitó⁷ las diversas interacciones entre profesores y estudiantes. Es por ello que el uso de estas herramientas —las cuales en muchas ocasiones fueron infrutilizadas e infravaloradas en el proceso educativo— se convirtió en la principal “herramienta didáctica” que permitió que profesores, acudientes y estudiantes se pudieran acoplar a este entorno de comunicación e interacción, las cuales, empleándose con el fin de generar aprendizajes significativos, tienen el potencial de alcanzar los más diversos niveles de educación y áreas de conocimiento (Matos et al., 2019).

Es por ello que las TIC en este proceso de formación, se utilizaron como formas de representación del pensamiento, más cercanas al lenguaje y por tanto ligadas a la forma del pensamiento (Maldonado y Serrano, 2008). Siendo herramientas de pensamiento y aprendizaje que potencian la construcción del conocimiento tanto a nivel individual como social. Desde este enfoque los estudiantes toman el papel de “diseñadores” y las TIC como “herramientas cognitivas”⁸ las cuales permiten la interpretación y organización del conocimiento desde un contexto sociocultural (Candela, 2020); es así que se genera el aprendizaje “con” la tecnología, mientras desarrollan las diferentes actividades planteadas en el aula (Oppenheimer, 1997).

Las herramientas cognitivas combinan las diferentes formas de razonamiento que sustentan el desempeño en un contexto determinado, así como en el contexto educativo permiten que los estudiantes diseñen de forma consciente diversas estrategias cognoscitivas, con el fin de dar una solución a los problemas planteados en el aula o, en este caso, dar solución a diversas actividades educativas científicas⁹ (Candela, 2016, 2020).

El conocimiento tecnológico y pedagógico del contenido (CTPC)

Igualmente, este espacio de formación de profesores se desarrolló dentro de un marco conceptual y metodológico, el cual permitió

⁷ En la medida de lo posible, teniendo en cuenta que en muchas regiones de nuestro país no se cuenta ni con la infraestructura ni con los recursos tecnológicos.

⁸ Gros (2013) afirma que la tecnología tiene sentido para mejorar el aprendizaje siempre y cuando se parta de una perspectiva constructivista a través de experiencias basadas en la interacción social, la participación activa y los entornos complejos.

⁹ “Actividades que ponen en juego las pautas de razonamiento e inferencia que los científicos realizan en sus investigaciones, pero en situaciones adaptadas y simplificadas para hacer viable su realización en las condiciones normales del aula” (Uribe y Solarte, 2017).

integrar las TIC como herramientas cognitivas con una propuesta pedagógica, y un contenido o eje temático con el cual trabajar, usando el CTPC para este proceso.

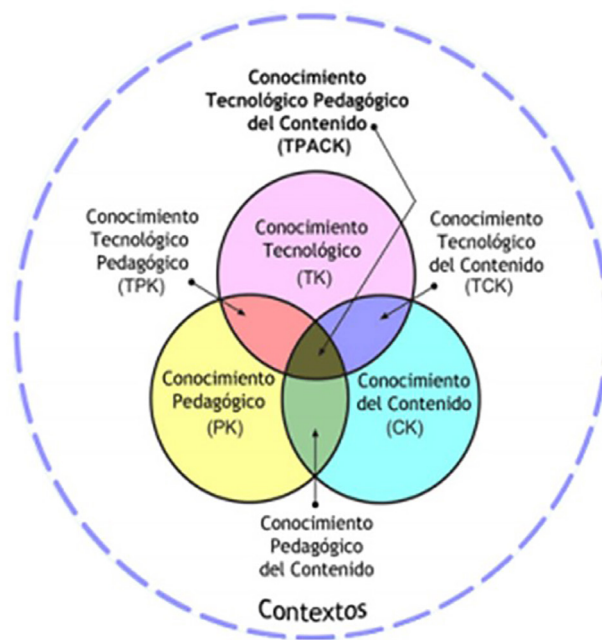
El CTPC propuesto por Mishra y Koehler en 2006 (Figura 1), toma como referencia la conceptualización del Conocimiento Pedagógico del Contenido (CPC) o PCK (Pedagogical Content Knowledge) propuesto por Shulman en 1986,¹⁰ articulándola con las técnicas pedagógicas que usan las tecnologías en formas constructivas para la enseñanza de un contenido en particular (Mishra y Koehler, 2006; Candela, 2020); siendo un marco conceptual que facilita que los profesores en formación generen procesos de diseño y construcción, enfocados en propuestas pedagógicas, por lo que las tecnologías se convierten en un complemento fundamental para la construcción y potencialización de conocimientos, habilidades y destrezas en sus futuros estudiantes (Polanco, 2018).

El CTPC está orientado a comprender el rol de las herramientas tecnológicas en el sistema educativo, las habilidades que requieren los profesores en el uso de las TIC y la relación de las tecnologías con el conocimiento pedagógico y el conocimiento de la disciplina o del contenido, al igual que todos los constructos que emergen de él (Lenin et al., 2017), permitiendo unificar la relación del conocimiento tecnológico con el conocimiento pedagógico y del contenido, al proporcionar una guía para la integración de la tecnología de una forma apropiada en la práctica pedagógica (Koehler y Mishra, 2008; Mishra y Koehler, 2006).

¹⁰ El cual es considerado como un constructo o marco conceptual y metodológico, que articula de manera coherente un conjunto de elementos de la enseñanza, con el fin de mediar el aprendizaje de unos sujetos dentro de un contexto particular (Shulman, 1986; Candela, 2020)

Figura 1.

Modelo del Conocimiento Tecnológico y Pedagógico del Contenido (CTPC).



Fuente: Koehler y Mishra (2008).

La modelización como estrategia de enseñanza de las ciencias naturales

Por otro lado, la modelización como estrategia de enseñanza ha tomado un papel protagonista en cuanto a la reflexión, el trabajo y la investigación de los pedagogos en la enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Izquierdo, 2004; Justí, 2006). Esta estrategia de enseñanza valora el papel de los modelos como uno de los ejes centrales del pensamiento científico y la modelización como una de las principales actividades de la ciencia en la construcción del conocimiento (Gieryn, 1988; Justí y Gilbert, 2002; Izquierdo, 2004; Zuluaga, 2017), lo que conlleva a reflexionar acerca de su importancia en la aproximación al proceso de construcción, transformación y comunicación del conocimiento científico de parte de los estudiantes o, en este caso, de los

profesores en formación (Chamizo y Franco, 2010; Zuluaga, 2017). Aunque se esperaba que esta estrategia de enseñanza sea reconocida e implementada en los procesos de formación, se ha evidenciado poco conocimiento de parte de los profesores en cuanto a la importancia de los procesos de modelización en el salón de clases (Van Driel et al., 1998; Justi y Gilbert, 2002; Zuluaga, 2017).

Por ende, se utilizó la modelización como estrategia de enseñanza en el espacio de formación mencionado anteriormente, convirtiéndose en el conocimiento pedagógico del marco conceptual, que hace posible contemplar diferentes propósitos que se relacionaron con la intencionalidad propia de la práctica educativa, lo que permitió la comprensión de los fenómenos de la naturaleza desde la organización de los saberes integrados en contextos reales a través de procesos de modelización, superando la axiomatización y las aplicaciones de carácter pragmático que se generan en un proceso transmisivo tradicional y conductista (Adúriz-Bravo e Izquierdo, 2009; Adúriz-Bravo, 2010; Tuay y Céspedes, 2018).

La naturaleza cuántica de la luz

Aunque existen varias propuestas referentes a las problemáticas o contenidos que se podrían abordar en los espacios de formación para la enseñanza de la física cuántica en la educación media (Staderman et al., 2019; Méndez, 2020), en este caso se decidió enfocar en un fenómeno físico cuyo descubrimiento y su relevancia histórica, posibilitó dar inicio a la física cuántica: la naturaleza cuántica de la luz (Cuéllar, 2016; Acín et al., 2018; Cuéllar, 2021b).

A finales del siglo XIX la discusión acerca de la interpretación de la naturaleza de la luz

parecía haber terminado. La síntesis de James Clerk Maxwell de los fenómenos eléctricos, magnéticos y ópticos y el descubrimiento por Heinrich Hertz de las ondas electromagnéticas fueron “triumfos” tanto a nivel teórico como experimental. Junto con el estudio de la mecánica y la termodinámica, el electromagnetismo de Maxwell tomó su lugar como un elemento fundamental de la física; sin embargo, justo cuando todo parecía “arreglado”, a inicios del siguiente siglo se generó un período de cambio revolucionario.

Una nueva interpretación de la emisión de luz por objetos calentados y nuevos métodos experimentales que abrieron el mundo atómico para el estudio condujeron a una desviación radical de las teorías clásicas de Newton y Maxwell: nació la mecánica cuántica y una vez más se reabrió el asunto referente a la naturaleza de la luz (Encyclopaedia Britannica, 2021; Salvat Editorial, 1973; Staderman et al., 2019). Precisamente la tecnología láser, las pantallas de televisión, las comunicaciones satelitales, entre otros... son muchos de los inventos que no hubieran sido posibles sin el conocimiento impartido a través del postulado de que la luz está formada por pequeñas partículas, conocidas como fotones, las cuales tienen la capacidad de mostrar propiedades ondulatorias; es decir, la dualidad entre el carácter corpuscular y el carácter ondulatorio de la luz (y de la materia), por lo que el estudio de la naturaleza cuántica de la luz no solo transformó el dominio de la física cuántica, sino que también influyó significativamente en otros campos de la ciencia y la tecnología (Brahmbhatt, 2021; Salvat Editorial, 1973; Cala y Eslava, 2011; Staderman et al., 2019).

Por esta razón, se propuso desarrollar el fenómeno correspondiente a la naturaleza

cuántica de la luz en el proceso de formación planteado como el conocimiento del contenido o de la disciplina, trabajado dentro del marco conceptual del CTPC.

Metodología de investigación

En la investigación doctoral se implementó el enfoque de investigación cualitativa, la cual en los últimos años ha impactado de manera importante en la enseñanza de las ciencias, permitiendo superar la tradición experimentalista de tipo cuantitativo, lo que ha posibilitado nuevas interpretaciones, entendimientos y aspectos más “holísticos”, propios del contexto educativo (Gutiérrez, 2000; Zuluaga, 2017). Para ello se aplicó un estudio de caso, el cual se caracteriza por ser un tipo de investigación cuyo objeto de estudio¹¹ es analizado en contextos reales, a profundidad.

El estudio de caso como método de investigación ha sido usado por diferentes investigadores y pedagogos de las ciencias naturales, quienes han caracterizado el desarrollo del CTPC de profesores en formación y en ejercicio, haciendo posible en muchos casos la comprensión del cómo y del porqué se desarrollan los conocimientos y concepciones de los profesores en el salón de clases, las secuencias de enseñanza, aprendizaje y evaluación, y la integración de herramientas tecnológicas sobre los contenidos que se van a enseñar (Maeng et al., 2013; Urban, 2012; Niess et al., 2010; Mishra y Koehler, 2006; Polanco, 2018).

Por ende, siendo una forma de investigación autorreflexiva por parte de los participantes en

situaciones de formación educativa, se pudo realizar un estudio de caso a través de un proceso de investigación-acción (Moreira, 1996; Zuluaga, 2017). Por consiguiente, se realizó un estudio de caso en el cual se buscó desarrollar el CTPC de un grupo de profesores de ciencias naturales (física) en formación inicial relacionado con la naturaleza cuántica de la luz, mediante la modelización en la enseñanza de las ciencias como estrategia didáctica, a través de un proceso de investigación-acción.

Contexto de los participantes en el estudio

Los participantes en el proceso de formación pertenecían al programa de Licenciatura en Ciencias Naturales de la Universidad ICESI,¹² quienes para el momento en el cual se desarrolló la formación estaban cursando los últimos dos semestres del respectivo programa (IX-X semestre), propiamente en el curso enfocado en la elaboración y ejecución del proyecto de grado, a través de la dirección de tesis, usando el espacio del “Laboratorio de experimentación pedagógica” de la Universidad ICESI, así como a través de algunos encuentros virtuales.

La tesis de los participantes del estudio estuvo enfocada en el diseño e implementación de una unidad didáctica a partir de la reflexión de los modelos de la naturaleza cuántica de la luz desde la perspectiva de la modelización como estrategia didáctica de enseñanza.

Esta unidad didáctica fue implementada con un grupo de estudiantes de grado once, pertenecientes a una institución educativa oficial de la ciudad de Cali, de forma presencial, a través

¹¹ En este caso, un grupo de profesores de ciencias naturales (física) en formación y un grupo de estudiantes que cursan último año de formación en la educación media vocacional.

¹² Universidad privada con acreditación de alta calidad, ubicada en la ciudad de Santiago de Cali.

de cinco sesiones, usando algunos recursos educativos propios del contexto de una institución educativa oficial: tablero, videobeam, uso de celulares, y el acceso a la unidad didáctica desarrollada de forma virtual.

Con el fin de cumplir el objetivo de la investigación mencionada, se plantearon y desarrollaron cinco etapas: (1) análisis del CTPC de los participantes del estudio; (2) el diseño del proceso de formación; (3) desarrollo de la unidad didáctica con los participantes del estudio; (4) implementación de la unidad didáctica en el salón de clases; y (5) evaluación del desarrollo del CTPC de los participantes del estudio.

Métodos de recolección de datos y análisis

Con el ánimo de recolectar la información en las etapas de formación, desarrollo e implementación y su respectiva evaluación, se utilizaron una serie de instrumentos, que pretendían “capturar” y retratar la complejidad del desarrollo del CTPC de los profesores de ciencias en formación inicial acerca de la naturaleza cuántica de la luz mediante la modelización en la enseñanza de las ciencias:

- El instrumento metodológico de la representación del contenido (ReCo): inicialmente elaborado por Loughran y otros autores (Loughran et al., 2000), es un cuestionario que consta de un conjunto de ocho preguntas llamadas “Base de la entrevista”, las cuales permiten reconocer o “capturar” el CTPC referente a una serie de conocimientos específicos, proporcionando información pertinente para la toma de decisiones de un proceso de formación y desarrollo (Loughran et al., 2004).

- El repertorio de experiencias profesionales y pedagógicas (PaP-eRs): Otro instrumento que permite identificar el conocimiento y la práctica del docente en un proceso formativo o de implementación, mientras enseña un eje temático, concepto o problemática en específico; es el repertorio de experiencias profesionales y pedagógicas conocido como PaP-eRs (Loughran et al., 2000; Candela, 2020). Son relatos narrativos que permiten evidenciar el CTPC del profesor de ciencias, al desarrollar y evidenciar los elementos propios de cada uno de los conocimientos desarrollados, en este caso, en la fase de formación (conocimiento tecnológico, pedagógico y del contenido) (Loughran et al., 2000; Candela, 2018, 2020; Zuluaga, 2017).
- El análisis textual discursivo: Es una estrategia metodológica adoptada para el análisis de diferentes datos en un proceso investigativo cualitativo (Moraes y Galiuzzi, 2006; Zuluaga, 2017). Esta técnica ideada por Moraes y Galiuzzi (2006) analiza datos cualitativos entre dos formas de análisis en la investigación cualitativa: el análisis del contenido y el análisis del discurso.

Resultados y análisis

Dada la investigación doctoral enfocada en el desarrollo del CTPC de un grupo de profesores de ciencias naturales en formación inicial, relacionado con la naturaleza cuántica de la luz, a través la modelización en la enseñanza de las ciencias como estrategia didáctica, se pueden mencionar las siguientes conclusiones:

- Aunque en varios países se implementa la enseñanza de la física cuántica dentro del currículo desde niveles anteriores a la educación superior, en nuestro país no se

hace explícito, por lo cual es necesario generar procesos investigativos que conlleven a discusiones, análisis y futuras incorporaciones de estas problemáticas.

- En los pocos textos de ciencias que presenten la física cuántica a nivel de la educación media, se destaca la ausencia de un análisis histórico, epistemológico de las problemáticas científicas alrededor de los fenómenos naturales que subyacen en esta física.
- En los programas de Licenciatura en Ciencias Naturales de nuestro país existen pocos espacios de formación en la enseñanza de la física cuántica, por lo que se deben establecer estos espacios a través de electivas profesionales, seminarios, coloquios, etc. Contrario a las grandes posibilidades de formación que se evidencian en los programas de Licenciatura en Física.
- Estructurar la enseñanza de la ciencia alrededor de los modelos teóricos permite recrear en el aula un saber disciplinar posibilitando que los sujetos comprendan el “funcionamiento del mundo natural”, para ello los aportes desde la perspectiva histórica y epistemológica son fundamentales para dicha comprensión del concepto o problema específico (Adúriz-Bravo, 2018).
- Las investigaciones enfocadas en la formación de profesores frente a la enseñanza de la física cuántica, podrán generar la inclusión de la física cuántica en el currículo educativo, buscando que el conocimiento desarrollado en el salón de clases de ciencias naturales-física, procure estar a la par de los avances científicos y tecnológicos contemporáneos, procurando la formación de un estudiante crítico y conocedor de su entorno.
- El 100% de los participantes del proceso investigativo continuaron con sus estudios posgraduales relacionados con la formación de profesores de ciencias naturales, enfocados en estudios de la física moderna y contemporánea.
- El 80% de los estudiantes de la institución educativa pudo lograr la comprensión de los fenómenos naturales presentados en la unidad didáctica para la enseñanza de la naturaleza cuántica de la luz, según las rúbricas y los métodos evaluativos.
- El acercamiento a la física cuántica a través de procesos fenomenológicos es un camino pertinente a seguir dentro de propuestas de investigación en la enseñanza de la física cuántica en el ciclo medio educativo.
- Los estudiantes logran una visión orgánica del esquema de la física cuántica a nivel teórico y experimental a partir de los estudios de los fenómenos que subyacen en este campo científico, y no desde el proceso formal, axiomático y teórico que comúnmente se imparte en los cursos de física cuántica o mecánica cuántica a nivel universitario.

Conclusiones y recomendaciones

El marco conceptual y metodológico del CTPC, y la modelación como estrategia didáctica para la enseñanza de las ciencias, permitieron los espacios de formación de profesores de ciencias naturales-física, acordes al actual contexto educativo, al uso efectivo de las TIC como herramienta cognitiva en los procesos educativos, la aproximación del proceso de construcción, transformación y comunicación del conocimiento científico.

A su vez, se logra evidenciar una enorme necesidad de generar espacios de alfabetización científica en la educación secundaria y media referente a los descubrimientos, avances y aplicaciones de la física moderna, propiamente de la física cuántica.

Es así que la educación secundaria y media debe propender a la visualización de nuevas esferas del conocimiento que están a la vanguardia en el desarrollo social, cultural, histórico, tecnológico y económico, permitiendo la formación de una sociedad crítica, conocedora de su entorno, de las implicaciones que se generan a medida que avanzan los descubrimientos científicos y tecnológicos.

Referencias

- Acin, A., Bloch, I., Buhrman, H., Calarco, T., Eichler, C., Eisert, J., Esteve, D., Gisin, N., Glaser, S., Jelezko, F., Kuhr, S., Lewenstein, M., Riedel, M., Schmidt, P., Thew, R., Wallraf, A., Walmsley, I y Wilhelm, F. (2018). The quantum technologies roadmap: a European community view. *New journal of Physics. The open access journal at the forefront of physics*. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/aad1ea/meta>
- Adúriz-Bravo, A. (2010). Concepto de modelo científico: Una mirada epistemológica de su evolución. En Coniced (Ed.), *Didáctica de las ciencias naturales: El caso de los modelos científicos* (pp. 141-161). Lugar Editorial.
- Adúriz-Bravo, A. (2018). Argumentación basada en modelos desde la perspectiva de la epistemología y la historia de la ciencia. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED, (Extraordin)*. <https://revistas.pedagogica.edu.co/index.php/TED/article/view/9201>
- Adúriz-Bravo, A. e Izquierdo, M. (2009). Un modelo de modelo científico para la enseñanza de las ciencias naturales. *Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias*, vol. 4, núm. 1, febrero, 2009. Argentina.
- Brahambhatt, R. (2021). *How Albert Einstein's Quantum Theory of Light Transformed Physics: Never underestimate the power of light*.
- Cala, F. y Eslava, E. (2011). *Mecánica cuántica: sobre su interpretación, historia y filosofía*. Universidad Jorge Tadeo Lozano. Departamento de Ciencias Básicas. Bogotá D.C. Colombia.
- Candela, B. (2016). *La ciencia del diseño educativo*. Programa Editorial: Universidad del Valle.
- Candela, B. (2018). Desarrollo del conocimiento tecnológico y pedagógico del Contenido de la química, de profesores en formación a través de la reflexión de los papers y videos. *Revista Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*. Vol. 13, No. 1. pp 101-119. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Colombia.
- Candela, B. (2020). *Integrando las TIC a la escuela de la sociedad del conocimiento. Formación y desarrollo profesional docente*. Programa editorial Universidad del Valle. Colombia.
- Chamizo, J. y Franco, A. (2010). *Modelos y modelaje en la enseñanza de las ciencias naturales*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Ching-Ray, C. et al. (2020). *The Second Quantum Revolution with Quantum Computers*. February 2020 vol. 30 no. 1.
- Cuéllar, A. (2016). *Informática Cuántica: Un acercamiento a sus métodos, desarrollos y aplicaciones*. Maestría en Informática. USC. Colombia.
- Cuéllar, A. (2021a). Enseñanza de la Física Cuántica en la Educación Media. Proyecto de investigación para el avance de la alfabetización científica en Colombia. *Revista Caja de Herramientas*. Universidad del Valle.
- Cuéllar, A. (2021b). Informática Cuántica: Un acercamiento a sus métodos, desarrollos y aplicaciones. *Revista Caja de Herramientas 2*. Universidad del Valle.
- De la Torre, A. C. (2000). *Física cuántica para filósofos*. México: Fondo de Cultura Económica.

- Encyclopaedia Britannica (2021). *Article: light in physics. Quantum theory of light*. Encyclopaedia Britannica.
- Escalada, L., Rebello, N. y Zollman, D. (2004). Student explorations of quantum effects in LEDs and luminescent devices, *Phys. Teach.* 42, 173.
- Fernández, P. (2014). *Teorías y modelos en la enseñanza-aprendizaje de la Física Moderna*. Universidad Nacional de Córdoba. Facultad de Matemática, Astronomía y Física. Argentina.
- Giere, R. (1988). *Examinando la ciencia*. <https://www.uma.es/contrastes/pdfs/SUPL1998/ContrastesE98-01.pdf>
- Giraldo, Y. (2017). La Fascinación de la Mecánica Cuántica. En: *Ciclo de Conferencias Encuentro con la Ciencia*. Universidad de Nariño. Colombia.
- Gros, B. (2013). La educación más allá de la escuela: del espacio-lugar al espacio-nodo. En Rodríguez Illera, J. L. (Comp.), *Aprendizaje y educación en la sociedad digital*. Barcelona.
- Gutiérrez, J. (2000). *Fundamentos pedagógicos y didácticos*. En: Palacios, F. J. P.; Cañal De Leon.
- Hoekzema, D., den Berg, E., Schooten, G. y van Dijk, L. (2007). The particle/wave-in-a-box model in Dutch secondary schools. *Physics Education*, 42(4), 391-398. <https://eric.ed.gov/?id=EJ771615>
- Izquierdo, M. (2004). Un nuevo enfoque de la enseñanza de la química: contextualizar y modelizar. *The Journal of the Argentine Chemical Society*, 92(4-6), 115-136. <http://www.scielo.org.ar/pdf/aaqa/v92n4-6/v92n4-6a13.pdf>
- Jaeger, L. (2018). *The Second Quantum Revolution. From Entanglement to Quantum Computing and Other Super-Technologies*. Springer Nature Switzerland.
- Justi, R. (2006). La enseñanza de ciencias basada en la elaboración de modelos. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 2, n. 24.
- Justi, R. y Gilbert, J. (2002). Modelling, teachers' views on the nature of modelling, and implications for the education of modellers. *International Journal of Science Education*, n. 24.
- Koehler, J. y Mishra, P. (2008). Introducing technological pedagogical content knowledge. In AACTE Committee on Innovation and Technology (Ed.), *Handbook of technological pedagogical content knowledge (TPCK) for educators* (pp. 3-29). New York: Routledge.
- Krijtenburg, K., Pol, J., Brinkman, A and van Joolingen, W. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1), 13-21. <http://dx.doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010109>
- Lautesse, P. et al. (2015). Teaching Quantum Physics in Upper Secondary School in France: 'Quanton' Versus 'Wave-Particle' Duality, Two Approaches of the Problem of Reference. *Science & Education*.
- Lenin, F., Morán, F. y Albán, J. (2017). Formación del docente y su adaptación al modelo TPACK. *Revista Ciencias Pedagógicas e Innovación*. Ecuador.
- Loughran, J. et al. (2000). Science cases in action: developing an understanding of science teachers' pedagogical content knowledge. In: *annual meeting of the national association for research in science teaching*.
- Loughran, J. et al. (2004). In search of pedagogical content knowledge in science: developing ways of articulating and documenting professional practice. *Journal of Research in Science Teaching*, v. 41, n. 4, pp. 370-391.
- Maeng, J. et al. (2013). Preservice Teachers CTPC: Using Technology to support Inquiry instruction. *Journal of science Education and Technology*.
- Maldonado L. y Serrano, E. (2008). Construcción de una red de aprendizaje. *Nomadas*, pp. 211-222.
- Matos, J. et al. (2019). Aprendizagem Significativa por meio do Uso de TICs: Levantamento das Produções da Área de Ensino de 2016 a 2018.

- RENTE-Revista Novas Tecnologias na Educação, 17(1).
- MEN (2004). *Estándares Básicos de Competencias en Ciencias Naturales*. Proyecto Ministerio de Educación Nacional - Ascofade. Colombia.
- MEN (2016). *Derechos Básicos de Aprendizaje*. V1. Ciencias Naturales. Colombia.
- Méndez, N. (2020). *Dificultades de aprendizaje de estudiantes de licenciatura en física al abordar el estudio del experimento de la doble rendija con electrones*. Doctorado Interinstitucional en Educación. Santafé de Bogotá. Colombia.
- Michellini, M. et al. (2000). Proposal for quantum physics in secondary school, *Phys. Educ.* 35, 406.
- Mishra, P. y Koehler, M. (2006). *Technological pedagogical content knowledge: A framework for teacher knowledge*. Teacher college record.
- Moraes, R. y Galiazzi, M. (2006). Análise Textual Discursiva: processo constitutivo de múltiplas faces. *Ciência & Educação*, São Paulo.
- Moreira, M. (1996). Modelos mentais. *Ienci Investigações em Ensino de Ciências*, 1(3), 193-232. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/634/425>
- Müller, R. y Wiesner, H. (2002). Teaching quantum mechanics on an introductory level, *Am. J. Phys.*
- Muñoz-Burbano, Z., Solbes, J., y Ramos, G. (2020). *Análisis de la enseñanza de conceptos cuánticos en la unidad de "Estructura atómica de la materia" en libros de texto*. Praxis & Saber.
- Niess, M., Van Zee, E., y Gillow, H. (2010). Knowledge Grow in Teaching Mathematics/Science with spreadsheets. *Journal of digital Learning in Teacher Education*.
- Olsen, R. (2002). Introducing quantum mechanics in the upper secondary school: a study in Norway. *International Journal of Science Education*.
- Oppenheimer, T. (1997). *The Computer Delusion*. The Atlantic Monthly.
- Polanco, C. (2018). *Desarrollo del CTPC de una profesora de ciencias naturales en formación inicial desde una propuesta pedagógica basada en la construcción de una Webquest sobre las aguas subterráneas*. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia.
- Salvat Editorial (1973). *La nueva física*. Biblioteca Salvat de grandes temas. España.
- Shulman, L. (1986). Those who understand: Knowledge growth in teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- Solbes, J., Muñoz, Z. y Ramos, G. (2019). Enseñanza de la estructura atómica de la materia en Colombia. *Rev. His. Educ. Colomb.*
- Staderman H. K. E., van den Berg, E. y Goedhart, M. J. (2019). Analysis of secondary school quantum physics curricula of 15 different countries. *Rev. Phys. Educ*, 15(1), 1-25. <https://journals.aps.org/prper/pdf/10.1103/PhysRevPhysEduRes.15.010130>
- Tuay, R. y Céspedes, N. (2018). Modelización en mecánica cuántica desde la contextualización. *Revista Tecné, Episteme y Didaxis*.
- Urban, H. (2012). *Integrating technology into pre-service Physics teachers' pedagogical content Knowledge*. University of Vienna.
- Uribe, C. y Solarte, C. (2017). *Educar mentes para pensar. Desarrollo del pensamiento científico en el aula*. Programa editorial: Universidad del Valle. Colombia.
- Van Driel, J., Verloop, N. y De Vos, W. (1998). Developing science teachers' pedagogical content knowledge. *Journal of Research in Science Teaching*.
- Zuluaga, C. (2017). *O conhecimento pedagógico do conteúdo (PCK) do professor de química e seu desenvolvimento a partir da reflexão sobre os modelos de ligação química e sua modelagem*. Tese de Doutorado. Universidade Estadual Paulista. Brazil.